



## รายงานการวิจัย

ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจาก  
อุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน;  
กรณีศึกษา อ.ปทุมชัย จ.นครราชสีมา

Options and opportunities; Textile wastewater management in  
small communities by using public participation; Case study  
Amphoe Pak Thong Chai, Nakhon Ratchasima province

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจาก  
อุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของ  
ชุมชน; กรณีศึกษา อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา

Options and opportunities; Textile wastewater management in  
small communities by using public participation; Case study  
Amphoe Pak Thong Chai, Nakhon Ratchasima province

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรียา ยิ้มรัตน์บวร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2562

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2559 คณะผู้ศึกษาวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย สถานที่ในการทำวิจัย และเครื่องมือ-อุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์ คณะผู้ศึกษาวิจัยขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานราชการ บุคลากร และประชากรของอำเภอขามสะแกแสง จังหวัดนครราชสีมา ในการให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง และความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง และข้อมูลต่าง ๆ สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ นางสาวธาริกา แก่นจันทร์ นายณัฐวุฒิ ศรีประดิษฐ์ นางสาวนฤชา ศรีสายหยุด นายวิทยา ปัตตะเน นางสาวอรณี รุ่งเรือง และนางสาวพัชรีพร โสระสิงห์ ผู้ช่วยในการวิจัย ที่ทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จรียา ยี่มรัตน์บวร  
(หัวหน้าโครงการวิจัย)  
6 มิถุนายน 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยเฉพาะกลุ่มทอผ้าไหมจัดเป็นแหล่งมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำเสียมีค่าความเข้มข้นสีสูง ความเป็นกรด-ด่างสูง และค่าซีโอดีสูง จึงควรต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ แต่เนื่องด้วยปัจจัยในด้านปริมาณน้ำเสียที่ไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณน้อย ทำให้การสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งของแต่ละสถานประกอบการจะไม่คุ้มทุน ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบโคแอกกูเลชัน ระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายต่อการบำบัด มีต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในการศึกษาวิจัยวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน และนำระบบ Analytic Hierarchy Process (AHP) มาใช้ในการประเมินระบบที่เหมาะสมโดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ขอบเขตพื้นที่ในการศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนออกเป็น 2 กลุ่มตามชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการผลิต ซึ่งสีย้อมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี โดยเลือกสถานประกอบการที่เป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน 2 แห่ง ได้แก่ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านตู เป็นตัวแทนกลุ่มทอผ้าใช้สีธรรมชาติ และห้างหุ้นส่วนจำกัดมีชชาดาไหมไทย เป็นตัวแทนกลุ่มทอผ้าใช้สีเคมี ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าทั้งกระบวนการดูดซับและระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ร้อยละ 28.56-38.61 และ ร้อยละ 55.62-71.31 ตามลำดับ สำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และ ร้อยละ 32.42-76.92 และ ร้อยละ 68.39-81.69 ตามลำดับ สำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ผลการประเมินทางเลือกโดยใช้ AHP พบว่า ระบบ Coagulation มีความเหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic และ Adsorption ตามลำดับ มีค่าความสำคัญเท่ากับ 0.44 0.30 และ 0.26 ตามลำดับ และผลสรุปการมีส่วนร่วมของชุมชนเห็นด้วยว่าระบบ Coagulation มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน แต่ไม่เห็นด้วยในการจัดตั้งศูนย์กลางในการจัดการน้ำเสียสิ่งทอ เนื่องจากปัจจัยในเรื่องพื้นที่จัดตั้ง การจัดการและงบประมาณ

## Abstract

The household textile industry in Thailand, especially Thai silk enterprises, is considerable source of environmental contamination due to wastewater contains strong color, high pH and chemical oxygen demand (COD). Thus, they should be removed completely before they are discharged into received water. However, the wastewater treatment system is not cost effective due to small volume of wastewater and discontinue flow. Therefore, coagulation, adsorption and anaerobic process to treat wastewater from the household textile industry is an interesting alternative treatment system due to it is an easy to treat, low cost of construction and easy to operate. The aim of this study was to investigate the optimum condition and efficiency of textile wastewater treatment in the household. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to evaluate the suitable wastewater system and via the process of public participation. The textile household industries which locate at amphoe Pak Thong Chai, Nakhon Ratchasima was selected as area scope of this study. The household textile industries were divided in two groups according with dye type. The dyes can be classified as natural and synthetic dye. The two sampling sites of textile household industries were selected; one sites has used synthetic dyes in the process namely, Mudchada enterprise group and the other site has used natural dyes in process namely, Bandu enterprise group. The results showed the coagulation process have higher efficiency than adsorption and anaerobic process. The COD and color removal efficiency were in range of 28.56-38.61% and 55.62-71.31 % respectively for natural dye group and in range of 32.42-76.92 % and 68.39-81.69% respectively for synthetic dye group. The results of AHP evaluation showed the coagulation process was the most suitable wastewater system for household textile industry, the anaerobic and adsorption were the second and third respectively with the important value are 0.44, 0.30 and 0.26 respectively. And the conclusion of public participation also agree that coagulation process was the most suitable wastewater system for household textile industry. But, they did not agree in the issue to establish the textile wastewater management center due to site location, organization and budget.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ต
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
<b>2 ปรัชญ์นั้วรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม.....	4
2.1.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม.....	4
2.1.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนในพื้นที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา.....	4
2.2 กระบวนการผลิตผ้าไหม.....	5
2.2.1 กระบวนการลอกกาวไหม.....	5
2.2.2 กระบวนการฟอกขาวไหม.....	7
2.2.3 กระบวนการย้อมสีไหม.....	7
2.2.4 กระบวนการทอผ้าไหม.....	8
2.2.5 สรุปกระบวนการผลิตผ้าไหม.....	9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 10
2.3.1	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไป..... 10
2.3.2	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในครัวเรือน..... 10
2.4	สีย้อม..... 14
2.4.1	สีย้อมธรรมชาติ..... 14
2.4.2	สีย้อมเคมี..... 16
2.5	ระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม..... 19
2.5.1	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์..... 19
2.5.2	ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 19
2.5.3	กระบวนการใช้โอโซนออกซิเดชั่น..... 19
2.5.4	กระบวนการตกตะกอนไฟฟ้า-เคมี..... 20
2.5.5	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม..... 21
2.6	กระบวนการการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation/Flocculation)..... 22
2.6.1	กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน..... 22
2.6.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน..... 24
2.6.3	การกำจัดสีโดยกระบวนการ Coagulation-Flocculation..... 26
2.6.4	การเปรียบเทียบชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้..... 30
2.6.5	การควบคุมกระบวนการโคแอกกูแลชั่น..... 31
2.7	การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Adsorption)..... 31
2.7.1	กลไกของกระบวนการดูดซับ..... 37
2.7.2	ประเภทของการดูดซับ..... 37
2.7.3	สรุปการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์..... 39
2.8	ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ..... 39
2.9	กฎหมายที่เกี่ยวข้อง..... 39
2.10	การมีส่วนร่วมของชุมชน..... 40
2.10.1	ความหมายและความสำคัญ..... 40
2.10.2	ความสำคัญของการมีส่วนร่วมของประชาชน..... 40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10.3 กลุ่มเทคนิคการมีส่วนร่วมในการรับฟังความคิดเห็น.....	41
<b>3 วิธีการดำเนินการ.....</b>	<b>43</b>
3.1 พื้นที่การศึกษา.....	43
3.2 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลภาคสนาม.....	43
3.2.1 การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย.....	43
3.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนของสามทางเลือก.....	46
3.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 3 ทางเลือก.....	56
3.3 การประเมินทางเลือกทางด้านวิศวกรรม.....	56
3.4 กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน.....	58
3.4.1 การรวบรวมข้อมูลผู้ประกอบการอุตสาหกรรมทอผ้าไหมภายในพื้นที่.....	58
3.4.2 การรับฟังความคิดเห็นของการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	59
<b>4 ผลการศึกษาและการอภิปรายผลการศึกษา.....</b>	<b>60</b>
4.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลสถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในพื้นที่.....	60
4.1.1 สถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน.....	60
4.1.2 ผลการศึกษากระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน.....	62
4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน.....	63



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2	ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม.....70
4.2.1	ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....70
4.2.2	ทางเลือกที่ 2 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....79
4.2.3	ทางเลือกที่ 3 กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....101
4.3	ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด.....106
4.3.1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ของทั้ง 3 ทางเลือก.....106
4.4	การประเมินทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมทางด้านวิศวกรรม.....110
4.4.1	ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญของค่าใช้จ่าย แต่ละทางเลือก.....110
4.4.2	ขั้นตอนการหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล.....111
4.4.3	ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด.....113
4.4.4	สรุปผลทางเลือกทางด้านวิศวกรรมที่เหมาะสมในการบำบัด น้ำเสียฟอกย้อม.....114
4.5	กระบวนการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลาง การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม.....115
4.5.1	การสำรวจข้อมูลพื้นฐานและความคิดเห็นในเบื้องต้น.....115
4.5.2	การคัดเลือกสถานประกอบการเข้าร่วมโครงการ.....116
4.5.3	การจัดประชุมการมีส่วนร่วมหลังจากการศึกษาวิจัย.....116
5	สรุปผลการศึกษา.....121
5.1	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย.....121
5.1.1	น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....121
5.1.2	น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....121
5.2	การเปรียบเทียบทางเลือกทางด้านวิศวกรรมในการบำบัดน้ำเสีย.....121
5.3	กระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน.....121
5.4	ข้อเสนอแนะ.....122

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	160
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก    ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ.....	169
ภาคผนวก ข    กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	178
ภาคผนวก ค    กระบวนการดูดซับ.....	229
ภาคผนวก ง    กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	
ภาคผนวก จ    การประเมินทางเลือกทางวิศวกรรม	
ภาคผนวก ฉ    แบบสอบถามที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	
ภาคผนวก ช    การประชุมการมีส่วนร่วม	
ภาคผนวก ซ    บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา	
ประวัติผู้เขียน	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 11
2.2	ตัวอย่างวัตถุติดและสีย้อมจากธรรมชาติ..... 17
2.3	สรุปประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 20
2.4	เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย..... 21
2.5	ช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนชนิดต่าง ๆ..... 25
2.6	การทบทวนงานวิจัยสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม..... 33
2.7	การทบทวนงานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี..... 35
2.8	ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี..... 38
2.9	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม..... 40
3.1	ความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่าง..... 45
3.2	ค่าพารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะน้ำ..... 46
3.3	สภาวะที่กำหนดสำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน..... 47
3.4	สภาวะในการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 48
3.5	สภาวะในการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 49
3.6	สภาวะในการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 50
3.7	สภาวะในการศึกษาผลของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 51
3.8	รายละเอียดการสังเคราะห์น้ำฟอกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 53
3.9	การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลาง..... 54
3.10	สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ..... 56
3.11	ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (R.I.)..... 58
3.12	เกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด..... 58
4.1	รายละเอียดสถานประกอบการย้อมไหมในเขตอำเภอปักธงชัย..... 60
4.2	ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตไหม 1 กิโลกรัม..... 63
4.3	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 65

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....67
4.5	ลักษณะสัดส่วนของแข็งของตัวอย่างน้ำเสีย.....69
4.6	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....71
4.7	สรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....71
4.8	สรุปสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำเสียแต่ละชนิด.....73
4.9	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....75
4.10	ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....76
4.11	ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....80
4.12	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....81
4.13	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....82
4.14	สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....83
4.15	ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....83
4.16	สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....84
4.17	ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....85
4.18	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....86

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....	87
4.20 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....	88
4.21 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....	89
4.22 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	90
4.23 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	91
4.24 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	92
4.25 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	93
4.26 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	94
4.27 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....	94
4.28 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....	95
4.29 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมจาก สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	96
4.30 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	97

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.31 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	98
4.32 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	100
4.33 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....	100
4.34 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....	101
4.35 สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	103
4.36 ลักษณะน้ำเสียฟอกย้อมที่ใช้ในการศึกษาของ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	104
4.37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	107
4.38 เกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด.....	111
4.39 เปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญในการกำจัด COD (น้ำย้อมมีซซาตา).....	111
4.40 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำย้อมมีซซาตา).....	111
4.41 การคำนวณหาค่า C.R.....	112
4.42 การคูณเมตริกซ์ของค่าที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักสำคัญ.....	112
4.43 ผลลัพธ์จากการคูณเมตริกซ์.....	112
4.44 ผลหารในแนวนอนกับน้ำหนักสำคัญ.....	112
4.45 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของ เมตริกซ์ (Random Consistency Index; R.I.).....	113

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.46 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (สีย้อมมัดชชาดา).....	113
4.47 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำฟอกมัดชชาดา).....	113
4.48 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำฟอกมัดชชาดา).....	113
4.49 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (สีย้อมบ้านดู).....	113
4.50 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (สีย้อมบ้านดู).....	114
4.51 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำฟอกบ้านดู).....	114
4.52 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำฟอกบ้านดู).....	114
4.53 ค่าความสำคัญเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดแต่ละทางเลือก.....	114
4.54 ค่าความสำคัญของค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือก.....	115
4.55 สรุปผลการเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละทางเลือก.....	115
4.56 ข้อมูลพื้นฐานและสรุปความคิดเห็นของผู้ประกอบการทั้ง 8 ราย.....	116
4.57 ตารางสรุปแบบสัมภาษณ์เชิงลึก.....	119

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการผลิตผ้าไหม..... 5
2.2	กระบวนการผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 8
2.3	กระบวนการผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี..... 9
2.4	ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 13
2.5	ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี..... 13
2.6	โครงสร้างสีและวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากครั่ง..... 15
2.7	โครงสร้างของ morin quercetin และลักษณะของแก่นเข..... 15
2.8	โครงสร้างสี และวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากฝักคูณ..... 16
3.1	ขั้นตอนการศึกษา..... 44
3.2	จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 45
3.3	จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี..... 46
3.4	การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสีย..... 48
3.5	ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย..... 49
3.6	แผนผังการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 50
3.7	แผนผังการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 51
3.8	แผนผังการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 52
3.9	ตัวอย่างถังปฏิบัติการแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 54
3.10	ชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้ในโครงการวิจัย..... 55
3.11	เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินทางเลือกด้านวิศวกรรม..... 57
4.1	การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมเคมี..... 61
4.2	การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 61
4.3	สมมูลมวลและสมมูลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 62



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	สมดุลงานและสมดุลงานน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี.....63
4.5	สัดส่วนของแข็งของน้ำเสียตัวอย่าง.....68
4.6	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl และ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์..... 72
4.7	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACl และ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์..... 74
4.8	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PAC และ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์.....77
4.9	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PAC และ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์.....79
4.10	กราฟลดทอนการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ด้วยถ่านกัมมันต์.....80
4.11	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....81
4.12	ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....83
4.13	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....84
4.14	กราฟลดทอนการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้ สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....85
4.15	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....86
4.16	ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....88

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....	89
4.18 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	91
4.19 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	92
4.20 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	93
4.21 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	95
4.22 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้ สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	96
4.23 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	98
4.24 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	99
4.25 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์.....	100
4.26 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง สำหรับน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	101
4.27 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง สำหรับน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....	102
4.28 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ ตลอดการศึกษาของน้ำฟอก.....	103
4.29 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก.....	104

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ ตลอดการศึกษาของน้ำสีย้อมธรรมชาติ.....	105
4.31 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ ตลอดการศึกษาของน้ำสีย้อมเคมี.....	105
4.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ทางเลือก.....	107
4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ทางเลือก.....	108
4.34 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ทางเลือก.....	109
4.35 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ทางเลือก.....	110
4.36 การประชุมการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลาง การบำบัดน้ำเสียพอกย้อม.....	119

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหลักที่สำคัญ สามารถนำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ มากมาย โดยอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมชั้นกลางของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนวัสดุสิ่งทอในรูปที่ยังเป็นวัตถุดิบ คือ เส้นด้ายหรือผ้าดิบ ให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปจำหน่ายแก่ผู้บริโภคได้โดยตรง หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมขั้นปลาย ซึ่งได้แก่ อุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป จากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าโรงงานฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่ตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย จากปริมาณการส่งออกที่มากของอุตสาหกรรมสิ่งทอในแต่ละปี โรงงานฟอกย้อมมีการใช้น้ำและสีย้อมเป็นจำนวนมากทำให้ปริมาณน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสีย้อมมีปริมาณมากตามไปด้วย ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นปัญหาสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยเฉพาะผู้ประกอบการในชุมชนขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่สร้างงานและรายได้ให้กับชุมชน และประเทศชาติ แต่ในขณะเดียวกันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ผู้ประกอบการประสบอยู่คือ สารมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำและดินโดยไม่ผ่านการบำบัด ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมทั้งทางแหล่งน้ำและดิน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาหาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมที่เกิดจากผู้ประกอบการขนาดเล็กในชุมชน เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมให้กับสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ภายในประเทศ จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของกรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่าผู้ประกอบการสินค้า OTOP ด้านสิ่งทอมีความประสงค์ให้หน่วยงานราชการใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีช่วยแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษในน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อม ได้แก่ สี ความเป็นกรด-ด่าง ความเน่าเสียของน้ำทิ้งในรูปบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) โดยระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น ทางเคมี ทางกายภาพเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสีแต่ละประเภทแตกต่างกัน ได้แก่ วิธีทางเคมี เช่น วิธีก่ตะกอน (Coagulation-Flocculation) เหมาะสำหรับสีประเภทที่ไม่ละลายน้ำ วิธีกายภาพเคมี เช่น กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เหมาะสมสำหรับสีประเภทละลายน้ำ ส่วนวิธีทางชีวภาพนั้นเหมาะสำหรับสีย้อมทั่วไป ซึ่งระบบบำบัดทางชีวภาพเป็นระบบที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูง และลดปัญหาตะกอนของเสียอันตรายได้ สำหรับระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ และระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งมีข้อดี-เสียที่แตกต่างกัน สำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศสามารถสลายพันธะขององค์ประกอบในสี ส่งผลให้ความเข้มข้นของสี และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งในรูปของค่าบีโอดี ซีโอดี มีค่าลดลง อีกทั้งระบบดังกล่าวยังมีต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการนำระบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กระดับครัวเรือน แต่อย่างไรก็ตามน้ำเสียฟอกย้อมบางชนิด มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการควบคุม หรือปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการบำบัดน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพในการบำบัด การนำไปประยุกต์กับชุมชน เป็นการประเมินทางด้านวิศวกรรม

แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการศึกษาร่วมของผู้วิจัยและกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ทำการศึกษาโครงการบำบัดสีในน้ำทิ้งจากสถาน

ประกอบการด้านสิ่งทอนั้น ผลการศึกษาในเบื้องต้นได้ผลสรุปว่า เนื่องด้วยปัจจัยในด้านปริมาณน้ำเสียที่ไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณน้อย ทำให้การสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งของแต่ละสถานประกอบการจะไม่คุ้มทุน ทั้งในด้านการก่อสร้างและการดำเนินการ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความคิดเห็นว่า หากสถานประกอบการขนาดเล็กในชุมชนเกิดการร่วมตัวและสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับทรัพยากรสิ่งแวดล้อม และบุคลากรที่มีอยู่ของชุมชน โดยอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมของสถานประกอบการขนาดเล็กและคนในชุมชน เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย และก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาและดูแลรักษาของระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อมของสถานประกอบการขนาดเล็ก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันภายในชุมชน โดยผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน สามารถนำไปเป็นต้นแบบรูปแบบการมีส่วนร่วมในจัดตั้งศูนย์รวมการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ให้กับพื้นที่อื่นซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ หรือ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 นำเสนอทางเลือกของระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อมอย่างน้อย 2 ทางเลือก ได้แก่ ระบบบำบัดทางเคมี ระบบบำบัดทางชีวภาพ หรือระบบแบบผสมผสาน เป็นต้น

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทางเลือกของระบบการบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อม เพื่อนำไปประเมินความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม

1.2.3 นำผลการศึกษาทางเลือกของระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อม ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อให้ได้ระบบที่มีความเหมาะสมทั้งทางวิศวกรรมและเป็นที่ยอมรับของชุมชน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของชุมชนขนาดเล็กที่ถูกคัดเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา โดยจะเลือกพื้นที่ศึกษาจำนวน 1 อำเภอ คือ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นอำเภอที่มีสถานประกอบการสิ่งทอขนาดเล็กจำนวนมาก มีสิ่งทอเป็นสินค้าท้องถิ่นที่มีเอกลักษณ์สำคัญ เป็นการส่งเสริมการสร้างรายได้ในท้องถิ่น อีกทั้งยังเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาของคนในชุมชน

1.3.2 ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานต่างๆ และเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยใช้แบบสอบถาม สัมภาษณ์ความต้องการและความคิดเห็นของประชาชน และข้อมูลพื้นฐานของชุมชน เช่น จำนวนประชากร จำนวนสถานประกอบการสิ่งทอภายในพื้นที่ และสภาพภูมิประเทศภายในพื้นที่

1.3.3 ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการจัดการน้ำเสียของสถานประกอบการภายในพื้นที่ศึกษา เช่น ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อวัน ระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ใช้ คุณภาพน้ำทิ้ง และปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งข้อมูลทุติยภูมิและการสำรวจภาคสนาม

1.3.4 เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากสถานประกอบการสิ่งทอต่างๆ เพื่อนำไปตรวจลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อนำไปประเมินความเหมาะสมของระบบที่จะนำเสนอทางเลือกต่อไป

1.3.5 ทำการสำรวจข้อมูลพื้นฐาน และความคิดเห็นของสถานประกอบการสิ่งทอต่างๆ โดยใช้เทคนิคการสัมภาษณ์เชิงลึก (focus group)

1.3.6 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของชุมชน แบบสำรวจความคิดเห็นเชิงลึก และข้อมูลคุณภาพน้ำเสียของสถานประกอบการสิ่งทอ และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปประเมินทางเลือกและโอกาสในการจัดการน้ำทิ้งอุตสาหกรรมฟอกย้อม

1.3.7 ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของแต่ละทางเลือกของระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อนำไปประเมินความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม

1.3.8 นำผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมดประเมินปัญหาสถานการณ์การจัดการน้ำทิ้งจากสถานประกอบการสิ่งทอขนาดเล็กของชุมชน และนำเสนอทางเลือกที่เหมาะสม และประเมินโอกาสในการจัดตั้งศูนย์กำจัดน้ำทิ้งสิ่งทอ เพื่อใช้ร่วมกันระหว่างสถานประกอบการขนาดเล็กในพื้นที่ใกล้เคียง

1.3.9 นำเสนอทางเลือกจากผลการศึกษา และผลการประเมินโอกาสในการจัดตั้งศูนย์บำบัดน้ำเสียรวม ให้กับสถานประกอบการขนาดเล็กในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง โดยผ่านกระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน ตามแนวทางการมีส่วนร่วมของประชาชนในการพัฒนาชุมชน (จิตจำนง กิติกิริติ, 2532)



## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เพื่อนำไปประเมิณทางด้านวิศวกรรม และผ่านกระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน มีรายละเอียดข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

#### 2.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม

##### 2.1.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม

อุตสาหกรรมผ้าไหม เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทยในแง่เศรษฐกิจสามารถทำรายได้ให้กับประเทศทั้งจากการตลาดภายในประเทศ และจากการส่งออกผ้าไหมไปต่างประเทศ เนื่องจากผ้าไหมเป็นที่นิยมใช้ในหมู่ชนชั้นสูงในเมืองไทยและมีจุดเด่นเป็นที่สนใจของชาวต่างชาติ อุตสาหกรรมผ้าไหมเป็นอุตสาหกรรมที่ทำให้มีอัตราการจ้างแรงงานสูง การผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะของอุตสาหกรรมในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อม ถือเป็นรายได้เสริมสำหรับครอบครัวเกษตรกร ผู้ประกอบการ ตลอดจนผู้ที่อยู่ในกระบวนการจัดจำหน่ายสินค้า โดยผ้าไหมไทยไม่เพียงแต่จะมีความสำคัญในแง่เอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมเท่านั้น ยังมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการจ้างงาน และการกระจายรายได้ทั้งแก่ครัวเรือนในภาคชนบทและผู้ประกอบการที่อยู่ในอุตสาหกรรมนี้ ซึ่งจากสถิติที่ผ่านมาการผลิตและจำหน่ายผ้าไหมมีแนวโน้มที่ค่อนข้างดี ถึงแม้บางช่วงเวลาจะประสบปัญหาบ้างแต่ก็ยังคงรักษาตลาดไว้ได้อย่างต่อเนื่องและตลาดผ้าไหมไทยยังมีโอกาสขยายตัวได้สูงในอนาคต

โดยการผลิตไหม และผลิตภัณฑ์ไหมพบได้ทุกภาคของประเทศ ดังนี้ ภาคเหนือ 43 แห่ง ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ แพร่ ลำพูน พิชญ์โลก เป็นต้น ภาคกลาง 4 แห่ง ได้แก่ ราชบุรี สุพรรณบุรี เป็นต้น ภาคใต้ 4 แห่ง ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี ชุมพร เป็นต้น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 159 แห่ง ได้แก่ จังหวัดอุดรธานี ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด สุรินทร์ บุรีรัมย์ นครราชสีมา เป็นต้น (กรมหม่อนไหม, 2553) จะเห็นว่าในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุตสาหกรรมผ้าไหมมากกว่าในภาคอื่น ๆ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการปลูก หม่อนเลี้ยงไหมจำนวนมาก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไหม และผลิตภัณฑ์ไหม ซึ่งเป็นอาชีพหลักของประชาชนในภูมิภาคนี้

##### 2.1.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนในพื้นที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

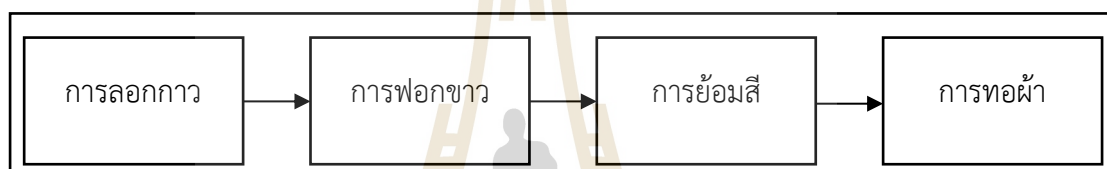
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่ในการศึกษา คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนที่ตั้งอยู่ภายในตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ได้มีการทบทวนเอกสาร และข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา ดังนี้

จังหวัดนครราชสีมาแบ่งการปกครองแบ่งออกเป็น 32 อำเภอ 289 ตำบล 3,743 หมู่บ้าน สำหรับการปกครองส่วนท้องถิ่นจังหวัดนครราชสีมาแบ่งการปกครองส่วนท้องถิ่นออกเป็น 1 เทศบาลนคร 4 เทศบาลเมือง 85 เทศบาลตำบล และ 243 องค์การบริหารส่วนตำบล อำเภอปักธงชัยเป็น 1 ใน 32 อำเภอของจังหวัดนครราชสีมา โดยมีขนาดของพื้นที่ 1,347 ตารางกิโลเมตร มีจำนวน

ประชากรทั้งสิ้น รวม 115,568 คน จำนวนประชากรชาย รวม 56,715 คน จำนวนประชากรหญิง รวม 58,853 คน มีอาชีพหลัก ได้แก่ ทำนา ทำไร่ ทำสวน และมีอาชีพเสริม ได้แก่ ทอผ้าไหม เลี้ยงสัตว์ โดยในอำเภอปรางค์กู่มีอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมขนาดใหญ่จำนวน 1 แห่ง ขนาดเล็กจำนวน 23 แห่ง โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ ตำบลเมืองปักมีอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมขนาดเล็กจำนวน 11 แห่ง ได้แก่ กลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านตู, กลุ่มผ้าไหมศรียาบาติก และกลุ่มผู้ประกอบการทอผ้าไหมมัชชาดา เป็นต้น

## 2.2 กระบวนการผลิตผ้าไหม

กระบวนการผลิตผ้าไหม ประกอบด้วยกระบวนการย่อย ๆ ได้แก่ การลอกกาบ การฟอกขาว การย้อมสี และการทอผ้า มีรายละเอียดในแต่ละกระบวนการแสดงในรูปที่ 2.1 (ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2550) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตผ้าไหม

### 2.2.1 การลอกกาบไหม

การลอกกาบไหม คือ การไฮโดรไลซ์กาบไหม หรือการทำลายพันธะเพปไทด์ของกาบไหมให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ที่ละลายน้ำได้ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้กรด ต่าง เอนไซม์ สบู่น้ำอุ่นอุณหภูมิสูงภายใต้ความดันที่เหมาะสม ปริมาณกาบไหมที่ถูกกำจัดออกจะทำให้ได้คุณภาพของเส้นไหมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะกระบวนการ และสารเคมีที่ใช้

#### 1) ความสำคัญของการลอกกาบไหม

เนื่องจากเส้นไหมถูกเคลือบด้วยกาบทำให้เส้นไหมมีความกระด้าง แม้จะนำไปต้มที่ความร้อนสูงก็ไม่สามารถกำจัดกาบไหมได้หมด ดังนั้น การลอกกาบไหมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อกำจัดกาบไหม (Sericin) รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ออกจากเส้นไหม โดยอาจเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มความนุ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิตเส้นนอกจากจะทำให้ไหมนุ่มแล้วยังทำให้ไหมเกิดความเงามันอีกด้วย

#### 2) วิธีลอกกาบไหม

ก่อนที่ไหมจะเข้าสู่ขั้นตอนการลอกกาบไหมต้องมีการเตรียมไหมก่อน ซึ่งเส้นไหมที่ได้จากการเตรียมไหม เรียกว่า ไหมดิบ โดยต้องนำไหมดิบมากรอ และตีเกลียว เพื่อรอนำไปลอกกาบ ฟอกขาว และย้อมสี โดยส่วนประกอบของเส้นไหมดิบเป็นโปรตีน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) ร้อยละ 62.5-67.0 และส่วนที่เป็นกาบไหม เรียกว่า เซรีซิน (sericin) ร้อยละ 23-27.5 นอกจากนี้ในเส้นไหมดิบยังประกอบไปด้วยส่วนอื่น ๆ ได้แก่ ไขมัน



น้ำมัน แร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งสีสกรปรกต่าง ๆ ที่ปะปนมากับเส้นไหมด้วย เมื่อเตรียมไหมเรียบร้อยแล้วจึงนำไหมไปเข้าสู่กระบวนการลอกกาไหม โดยการลอกกาไหมมีหลายวิธีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ไหม รูปแบบของไหมก่อนลอกมีผลต่อการลอก เช่น ไหมเป็นเช็ดหรือ เป็นผ้า วิธีลอกกาไหม อาจเลือกใช้ได้ทั้ง วิธีทางกายภาพหรือ ทางเคมี วิธีที่นิยมใช้ได้แก่

2.1) การลอกกาไหมด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water degumming)

การลอกไหมพันธุ์ต่าง ๆ สามารถต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำแบบเดียวกัน 3-4 ครั้ง การต้มไหมในน้ำเป็นเวลานาน ๆ จะค่อย ๆ ทำให้เส้นไหมเกิดการเสื่อมสลายและไฮโดรซิซอย่างช้า ๆ หากมีการใช้อุปกรณ์ความดันสูงจะทำให้เส้นไหมเสื่อมสลายหรือถูกทำลายน้อยที่สุด

2.2) การลอกกาไหมด้วยด่าง (Alkaline degumming)

ในการลอกกาไหมด้วยสารละลายด่างต้องคำนึงถึง pH และอุณหภูมิ โดยหากลอกกาไหมด้วยสารละลายด่างที่ pH มากกว่า 9 ใช้เวลา 30 นาที กาวไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ เนื่องจาก pH ในอ่างลอกกาไหมมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ของเส้นใยไฟโบรอิน โดยต้องทำการลอกกาไหมที่อุณหภูมิไม่เกิน 90°C เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นไหมเปื่อย

2.3) การลอกกาไหมด้วยกรด (Acid degumming)

ในการลอกกาไหมด้วยสารละลายกรดที่ pH น้อยกว่า 2.5 หรือระหว่าง 1.5-2 กาวไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรดแร่ (mineral acids) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก มีประสิทธิภาพในการลอกกาไหมมากกว่ากรดอินทรีย์ (organic acids) เนื่องจาก pH ในอ่างลอกกาไหมมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ของเส้นใยไฟโบรอินด้วย

2.4) การลอกกาไหมด้วยสบู่ (Soap degumming)

ปัจจุบันมีหลายโรงงาน หรือหลายหมู่บ้านใช้สบู่ในการลอกกาไหม สบู่ที่ใช้ลอกกาไหม คือ สบู่ ซันไลต์ ซึ่งปัจจุบันจะมีลักษณะเป็นเกล็ดหรือผงเพื่อให้ง่ายต่อการผลิต การลอกกาไหมด้วยสบู่ต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยต้มสารละลายสบู่ และควบคุม pH ให้เป็นด่างอ่อนๆ เท่านั้นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เส้นไหม (fibroin) ถูกทำลาย วิธีนี้จะต้มสารละลายสบู่ที่อุณหภูมิ 90-95°C เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำอ่อน หรืออาจมีการเติมสาร sequestering เพื่อลดความกระด้างของน้ำ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้สบู่ตกค้างและปนเปื้อนอยู่ในเส้นไหม

2.5) การต้มด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์ (Synthetic detergent degumming)

สารซักฟอกสังเคราะห์ถูกนำมาใช้ลอกกาไหมแทนการใช้สบู่มากขึ้น เนื่องจากสบู่มีข้อเสียหลายประการ เช่น มีราคาแพง ต้องใช้ปริมาณสูง และใช้เวลาในการลอกกาไหมนานถึง 1-2 ชั่วโมง และหากลอกกาไหมด้วยสบู่โดยใช้เครื่องจักรแบบต่อเนื่อง (continuous machine) สบู่จะไม่สามารถลดความเป็นกรดที่เกิดจากการไฮโดรไลซ์กาวไหม (sericin hydrolysis products) ที่สะสมอยู่ในอ่างลอกกาไหมได้เหมือนสารซักฟอกสังเคราะห์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดกาวไหมไม่ดี การลอกกาไหมด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์แทนการใช้สบู่สามารถลดการขึ้นขนของไหม (silk lice, piling) ได้

## 2.6) การลอกกาวยางด้วยเอนไซม์ (Enzymatic degumming)

เทคโนโลยีชีวภาพมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตเอนไซม์หลากหลายประเภทและมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน ประกอบกับการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะกับเส้นใยหรือ Substrate ทำให้ไม่เกิดการทำลายเส้นใย ภาวะที่ใช้ในการลอกกาวยางเป็นอันตรายสามารถนำมาใช้แทนสารเคมีได้ และปริมาณที่ใช้ไม่สูงมากนัก ทำให้สามารถประหยัดน้ำและพลังงานได้

### 2.2.2 กระบวนการฟอกขาวไหม

การฟอกขาวไหม (Bleaching) ทำให้เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวยางมีสีขาวมากเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการย้อมสีให้ได้เฉดสีตามที่ต้องการ และสีไม่เพี้ยน โดยสารเคมีที่ใช้ในฟอกขาวไหม ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียม ไฮโดรซัลไฟต์ โพรแทสเซียม เปอร์แมงกาเนต มีรายละเอียดในการฟอกขาวไหม ดังนี้

#### 1) กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 1

ใส่น้ำสะอาด 30 ลิตรลงในภาชนะ ต้มให้ถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใส่สบู่แท่ง สบู่เทียม และโซเดียมลงไปจนละลาย จากนั้นนำตะแกรงใส่รองกันถึงฟอก นำเส้นไหมแบ่งใส่ห้วงฟอกย้อม 3 – 4 ห้วง ทำการจัดและขยายไฟไหมแล้วนำลงฟอก กลับเส้นไหมไปมาเป็นช่วง ๆ ประมาณ 30 นาที หรือนานกว่านั้นหากเส้นไหมยังไม่ขาวพอ จากนั้นนำเส้นไหมทั้งชุดขึ้นผึ่งให้เย็น แล้วบิดให้หมาดที่สุด นำไปล้างในน้ำเย็น 4 ครั้ง บิดให้หมาดทุกครั้ง แล้วนำไปล้างในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บิดให้หมาด กระตุกเส้นไหมให้เรียงตัวขนานกัน และผึ่งให้แห้งด้วยลมในที่ร่ม

#### 2) กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 2

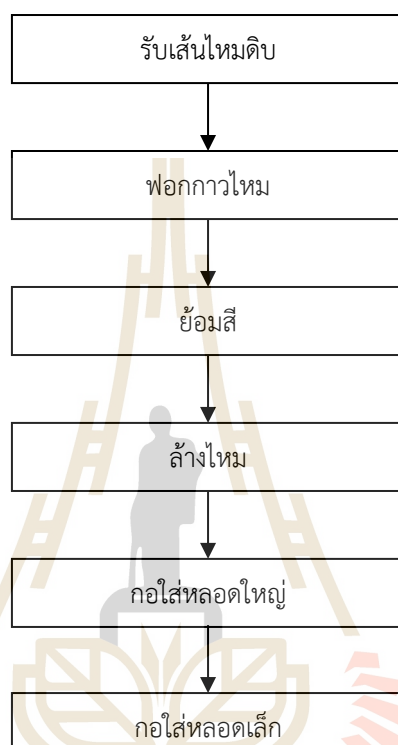
กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เส้นไหมมีความสะอาด หดจืด และมีความขาวมากยิ่งขึ้น จนเหมาะสมในการย้อมสีอ่อนมาก ๆ เพื่อให้สีย้อมชัดเจน และมีความสดใสงิ่งขึ้น โดยเตรียมน้ำสะอาด 30 ลิตร ลงในภาชนะ ต้มจนถึง 90 องศาเซลเซียส ใส่สบู่เทียม โซดาแอส และโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ลงไปจนละลาย แล้วใส่ตะแกรงรองกันถึง นำเส้นไหมทั้งชุดลงฟอก และกลับเส้นไหมไปมาเป็นช่วง ๆ ประมาณ 30 นาที หรือนานกว่านั้นหากเส้นไหมยังไม่ขาวพอ จากนั้นนำเส้นไหมไปผึ่งให้เย็นแล้วบิดให้หมาดที่สุดนำไปซักล้างในน้ำเย็น 2 – 3 ครั้ง สลับกับการบิดให้หมาด แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที บิดให้หมาดล้างด้วยน้ำเย็น 1 – 2 ครั้ง บิดให้หมาดกระตุกเส้นไหมให้เรียงตัว และผึ่งให้แห้งด้วยลมในที่ร่ม

### 2.2.3 กระบวนการย้อมสีไหม

การย้อมสีไหม แบ่งตามประเภทของสีย้อมออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ สีธรรมชาติและสีสังเคราะห์ มีรายละเอียด ดังนี้

1) การย้อมสีธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เปลือกไม้ ใบไม้ ผล ลำต้น แก่น ต้นไม้และรากไม้ ซึ่งจะมีวิธีในการเตรียมน้ำย้อมสีและวิธีการย้อมสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและส่วนที่นำมาใช้ในการย้อมสี โดยขั้นตอนการย้อมผ้าไหมโดยใช้สีธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 2.2

2) สีสังเคราะห์หรือสีเคมี เป็นสีที่มีความบริสุทธิ์ของตัวสีมาก สามารถนำสีเหล่านี้มาผสมให้ได้สีตามที่ต้องการและปรับระดับความเข้มของสีได้ วิธีการย้อมทำได้ง่ายและสะดวก สีที่ได้จะมีความสดสวย และมีความทนทานของสีดี สีสังเคราะห์ที่นำมาย้อมมีหลายประเภท แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติของสีย้อม วิธีการย้อม คุณภาพสีย้อมที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนการย้อมผ้าไหมโดยใช้สีย้อมเคมีแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 กระบวนการย้อมผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ

#### 2.2.4 กระบวนการทอผ้าไหม

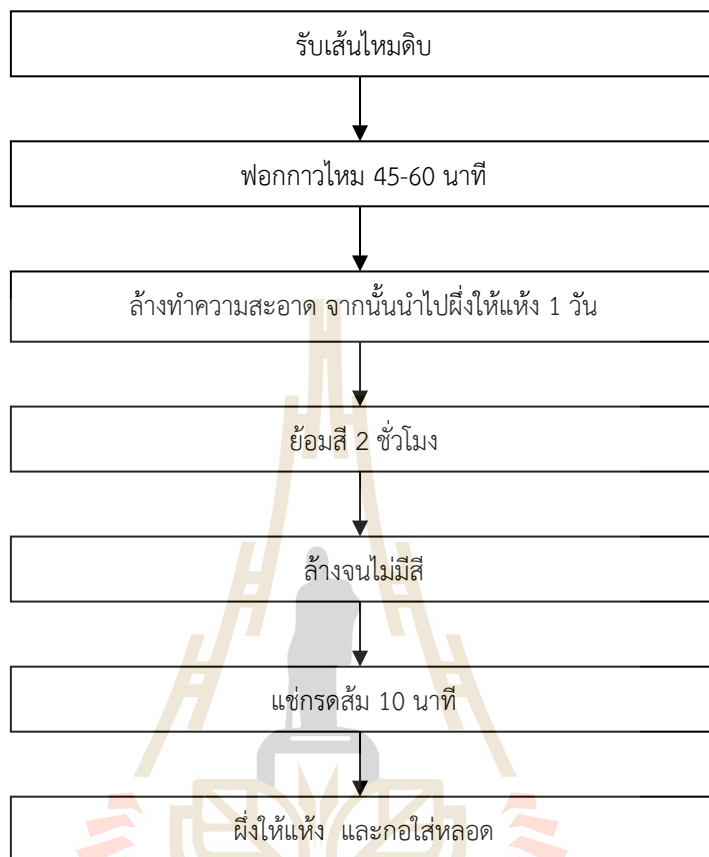
การทอผ้าไหม คือ การเอาเส้นไหมมากกว่า 2 เส้นขึ้นไปมาขัดสลับกัน ซึ่งมีวิธีการทอเป็นชั้น ๆ ดังนี้

1) เมื่อเตรียมไหมเส้นพุ่งและไส้หูกเรียบร้อยแล้ว นำเอาเส้นหูกอันใหม่สับต่อกับไส้หูกที่ค้างอยู่ในเขาหูกและร่องฟันพิมพ์เดิม กางก็หรือหูกให้เรียบร้อย

2) เอาหลอดไหมเข้าร่องกระสวย ร้อยไหมจากหลอดผ่านรูเล็ก ๆ ข้างกระสวย หากเส้นไหมหมดจากหลอดแรก ต้องเอาหลอดที่ 2, 3 ตามลำดับ หลอดที่ร้อยไว้บรรจุเข้ากระสวยและทอตามลำดับ

3) คล้องเชือกจากเขาหูกอันหนึ่งเข้ากับไม้คั่นเหยียบข้างใดข้างหนึ่งและคล้องเชือกเขาหูกที่เหลืออีกอันเข้ากับไม้คั่นเหยียบอีกอัน เมื่อเหยียบไม้คั่นเหยียบข้างหนึ่ง ไส้หูกกางออกเป็นช่องเนื่องจากการดึงของเขาคูก พุ่งกระสวยผ่านช่องว่างนั้นแล้วดึงพิมพ์กระทบเส้นฝ้ายที่ออกมาจากกระสวยเข้าไปเก็บไว้ เหยียบไม้คั่นเหยียบอีกอัน พุ่งกระสวยผ่านช่องว่างกลับมาทางเดิม ดึงพิมพ์

กระทบเส้นฝ้ายเข้าเก็บ เหยียบไม้คั้นเหยียบอีกอัน ฟุงกระสวย ดึงพืมกระทบ เหยียบไม้คั้นเหยียบ ทำสลับกันไปเรื่อย ๆ จนได้ผืนผ้าเกิดขึ้น จากนั้นพันผืนผ้าไว้ด้วยไม้ก้ำพัน



รูปที่ 2.3 กระบวนการย้อมผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี

## 2.2.5 สรุปกระบวนการผลิตผ้าไหม

โดยจากการศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหมโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การลอกขาวไหม การฟอกไหม การย้อมไหม และการทอผ้าไหม ซึ่งกระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี มีขั้นตอนที่คล้ายกันดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมจากธรรมชาติจะมีการล้างไหมหนึ่งครั้ง คือ หลังจากที่ทำกราย้อมไหมเสร็จแล้ว ส่วนกระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมจากเคมี จะมีการล้างไหมสองครั้ง คือ หลังจากฟอกขาวไหมและหลังจากที่ย้อมไหมเสร็จแล้ว เป็นสาเหตุที่ทำให้การย้อมไหมโดยใช้สีย้อมเคมีใช้ปริมาณน้ำมากกว่าการย้อมไหมโดยใช้สีย้อมธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย

## 2.3 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

### 2.3.1 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไป

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไป ประกอบด้วย สารแขวนลอย (Total Suspended solids) และสารอินทรีย์จากกระบวนการย้อมในปริมาณสูง ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดอะซิติก และเส้นใยเส้นด้ายที่ปนเปื้อนออกมาจากกระบวนการผลิต อีกทั้งยังมีสารอนินทรีย์ประเภทโลหะหนักจากสีย้อมปนเปื้อนในน้ำทิ้ง เช่น ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) สังกะสี (Zn) เป็นต้น โดยน้ำเสียจากการอุตสาหกรรมสิ่งทอมีลักษณะสำคัญ คือ มีการปนเปื้อนของสีย้อม และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูง หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อนุภาคสีจะขัดขวางการส่องผ่านของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้พืชน้ำ และสาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ แหล่งน้ำขาดออกซิเจน ทำให้มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ รวมถึงสีของน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาทำให้แหล่งน้ำเป็นที่น่ารังเกียจของผู้พบเห็น

จากการศึกษาลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่า น้ำเสียมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 2.1 สามารถสรุปได้ว่า น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนสี ค่า COD TSS และ TDS สูง ค่า pH ของน้ำเสียจะอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง ซึ่งคล้ายกับลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไปที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัย คือ สารมลพิษจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการย้อมสีซึ่งมีการใช้สารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ สารที่ช่วยในการกระจายตัว (dispersing agents) สารลดแรงตึงผิว เกลือ และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการปนเปื้อนสี ค่า COD TDS และสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (nonbiodegradable compounds) สูงมีค่า pH ตั้งแต่ 2 ถึง 12 (Poots et al., 1978, Szpyrkowicz et al, 2000; Mazumder, 2011; Franco et al., 2013) และ อุตสาหกรรมสิ่งทอใช้น้ำและสารเคมีปริมาณมาก (เช่นสีย้อมสีเกลือสารลดแรงตึงผิว) ในระหว่างการดำเนินการต่าง ๆ เช่น การย้อมสี การพิมพ์ และการตกแต่ง (Guimaraes et al, 2012)

### 2.3.2 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในครัวเรือน

กระบวนการผลิตผ้าไหมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนจะมีการใช้วัตถุดิบที่แบ่งเป็น 2 ประเภทตามประเภทของสีย้อม คือ สีย้อมจากธรรมชาติและสีย้อมจากสารเคมี ทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีลักษณะแตกต่างกัน จากการศึกษาวัตถุดิบและกระบวนการผลิตใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีรายละเอียด ดังนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า มีการใช้ สบู่ไขว้หรือหัวสบู่ ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำเกิดคราบไขมัน โซดาแอชที่ใช้ในกระบวนการลอกกาวย้อมจะทำให้มีค่า pH สูงขึ้น แป้งมันที่นำไปใช้เพื่อช่วยให้ไหมกลมทำให้ง่ายต่อการทอผ้าทำให้เกิดสารอินทรีย์ในน้ำ สารส้มใช้ในกระบวนการย้อมสีเพื่อทำให้สีติดไหมได้ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ และสีจากธรรมชาติจะทำให้เกิดของแข็งละลายน้ำในรูปของสารอินทรีย์และทำให้เกิดสีปนเปื้อนในน้ำ

ตารางที่ 2.1 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

References	Parameter					
	pH	COD (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	Color (ADMI)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)
Priya et al.(2017)	5.5-10.5	350-700	150-350	-	200-1,100	1,500-2,200
Pirkarami et al.(2017)	8.27-9.71	267-714	143	-	73-328	1,724-5,381
Luong et al.(2016)	7.5±0.5	2,367±125	731±80	-	-	-
Francis and Sosamony (2016)	10-11	600-800	180-240 <sup>a</sup>	40-100	-	2,000-3,000
Kumar et al.(2014)	8-10	1400-1600	-	-	180-120	3,700-3,900
Eslami et al.(2013)	6.50	1,800	320	1,080(ADMI)	-	-
Deowan et al. (2013)	8.2±0.2- 10.5±0.2	2,450	200	-	-	-
El-Gohary and Tawflk (2009)	8.8-9.4	595±131	379±110	-	276±76	-
Dos Santos et al.(2007)	5-10	1,100-4,600	-	1,450-1,475	-	50

หมายเหตุ <sup>a</sup> BOD<sub>3</sub> day 27 °C

จากการศึกษาวัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีรายละเอียดดังนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าสบูจะใช้ในการฟอกขาวไหมซึ่งจะทำให้เกิดคราบไขมันและการใช้ โซดาแอชในกระบวนการฟอกขาวไหมทำให้น้ำเสียมีค่า pH ในน้ำสูงขึ้น การใช้สารส้มในการทำให้สีติดไหมง่ายขึ้นทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ การย้อมด้วยสีเคมีจะทำให้เกิดปริมาณของแข็งละลายน้ำในรูปของสารอนินทรีย์สูง

จากกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี พบว่า มีพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ ดังนี้

1) ซีโอดี (COD)

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีค่าซีโอดีสูงอยู่ในช่วง 500-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใย สบู่ ไขมันและตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นต้น (จารย์ทัศน์ มลิินทะเลข, 2537)

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

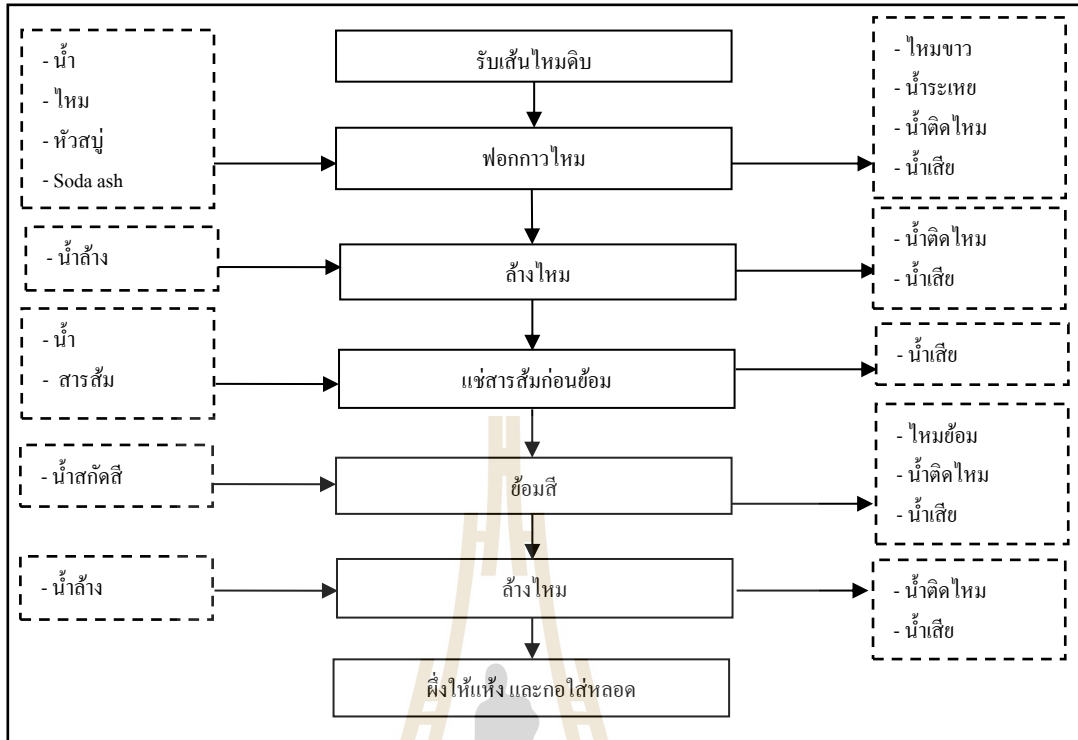
เป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิต พบว่า มีการใช้สารเคมีที่มีความเป็นกรดและด่างในปริมาณมาก ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ได้แก่ กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) กรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เป็นต้น ดังนั้น หากทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจะพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะแปรผันไปตามกระบวนการผลิตของแต่ละสถานประกอบการ (ประเสริฐ ตปนียางกุล, 2536) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5-11 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid )

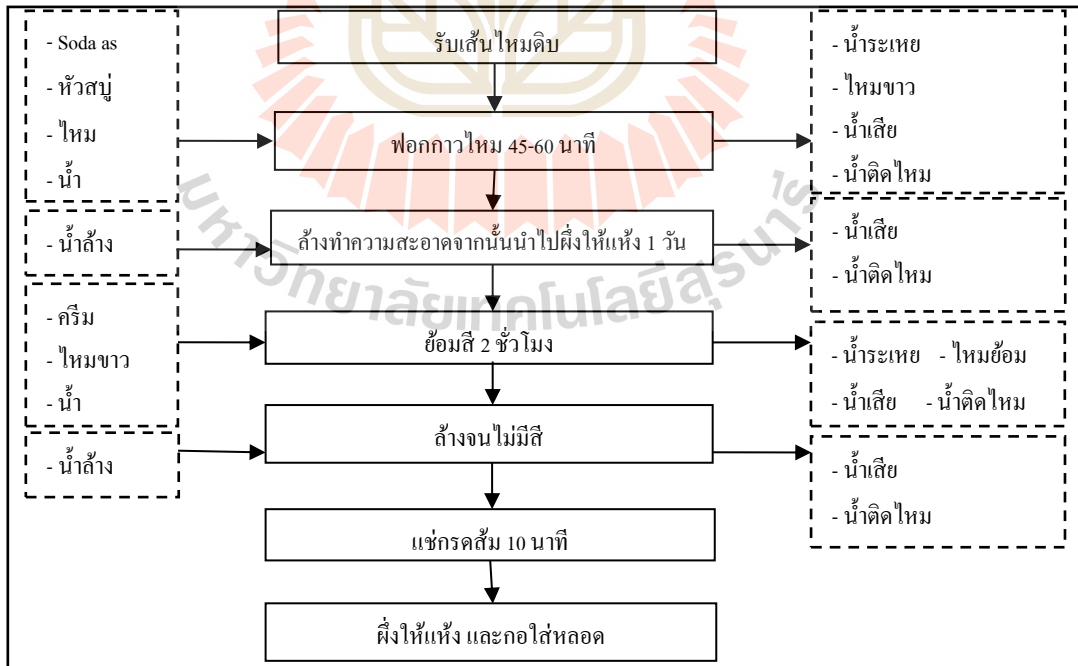
ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการลอกขาวไหมจะทำให้เกิดของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายน้ำ กระบวนการย้อมสีไหมโดยใช้สี ทำให้เกิดของแข็งละลายน้ำ เป็นต้น ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอขึ้นอยู่กับชนิดสี และสารเคมีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน

4) สี (Color)

ปริมาณสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย ชนิดของกระบวนการย้อม ปริมาณสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อม และชนิดของสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อม โดยสีย้อมแต่ละชนิดมีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยแตกต่างกันทำให้ปริมาณสีในน้ำเสียมีปริมาณแตกต่างกัน โดยสีที่มีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยสูงจะมีปริมาณสีปนเปื้อนในน้ำเสียต่ำกว่าสีที่มีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยต่ำ



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี



ดังนั้น ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีลักษณะของค่า BOD COD สี สารแขวนลอยและค่า pH สูง ทำให้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยลักษณะของน้ำเสียดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และประเภทของสีย้อม เนื่องจากสีย้อมแต่ละประเภทมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน เช่น สี Disperse สี Vat และสี Sulfur เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่สามารถพอกย้อมสีใดสีหนึ่งได้ตลอดเวลา เนื่องจากต้องย้อมให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียจึงต้องสามารถรองรับน้ำเสียได้ในทุกสภาวะ โดยสามารถแบ่งสีย้อมเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สีย้อมจากธรรมชาติและสีย้อมจากเคมี

## 2.4 สีย้อม (Dyes)

สีย้อม (Dye stuff) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยผ้า อาจเป็นสารอินทรีย์ หรือ สารอนินทรีย์มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด ซึ่งบางชนิดสามารถละลายน้ำได้ และบางชนิดไม่สามารถละลายน้ำได้ต้องใช้ตัวทำละลายมาช่วยในการละลาย เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยเกิดพันธะไอออนิก (Ionic Bond) หรือพันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond) กับเส้นใย สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันไป ทำให้มองเห็นสีที่แตกต่างกัน (พิเชษฐ์ หนูหมื่น, 2557) โดยทั่วไปสีย้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี

### 2.4.1 สีย้อมธรรมชาติ (ศูนย์ส่งเสริมศิลปศึกษาพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2550)

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ในอดีตใช้สีย้อมธรรมชาติย้อมผ้า และแต่งสีอาหาร ซึ่งข้อดีของสีธรรมชาติ คือ ได้สีที่ไม่ฉูดฉาด สีอ่อนเย็นตากว่าสีสังเคราะห์ ปัจจุบันมีการใช้สีธรรมชาติมากขึ้น เพราะไม่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ปลอดภัย บางชนิดเป็นอาหารและยาได้ โดยการย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีการสืบทอดกันมาตั้งแต่อดีต จากรุ่นสู่รุ่น ควบคู่กับกรรมวิธีการทอผ้าพื้นบ้าน ซึ่งการย้อมสีธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน แต่การใช้สีธรรมชาติถือเป็นความภาคภูมิใจของชาวบ้าน เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่ยังคงความร่วมมืออยู่เสมอ

#### 2.4.1.1 ตัวอย่างสีธรรมชาติและวิธีการสกัด

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไหมไทย ได้แก่

##### 1) ครั่ง

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Laccifer lacca*

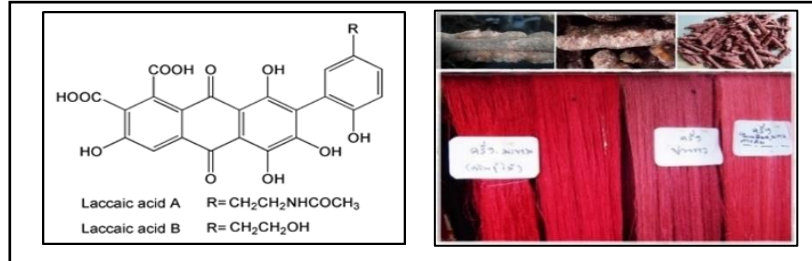
ชื่อพื้นเมือง ครั่ง

ลักษณะทั่วไป ครั่งเป็นแมลงตัวสีแดงขนาดเล็ก อาศัยอยู่ตามกิ่งต้นไม้ การเจริญเติบโตมี 4 ระยะ คือ ระยะไข่ ระยะตัวอ่อน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ตัวเมียมีอายุอยู่ได้ 6 เดือน สืบพันธุ์ได้ 2 ครั้ง ใน 1 ปี สีที่ได้จากครั่งมีสีแดง ใช้แต่งสีอาหาร และเป็นสีย้อมขนสัตว์ ผ้าไหม และหนังฟอก เป็นต้น

การสกัดสีจากครั่ง

ต้มน้ำให้เดือด นำรังครั่งที่ล้างทำความสะอาดแล้วใส่ลงในครกแล้วตำให้ละเอียด เมื่อละเอียดดีแล้วเติมน้ำที่กำลังเดือดอยู่เทลงในครก ใช้สากนวดเนื้อครั่งไปมาจนกระทั่งได้น้ำสีแดงเข้ม จากนั้นเติมน้ำออกจากครกและเก็บไว้ในหม้อ ตักน้ำเดือดเทลงในครกอีกครั้งใช้สากนวดจนกระทั่งได้น้ำสีแดงเข้มจึงตัก

น้ำออกใส่หม้ออีกรอบ ทำเช่นนี้ 2-6 ครั้ง จนน้ำสีแดงจากเนื้อครั้งหมด ขึ้นอยู่กับคุณภาพของรังครั้ง โครงสร้างสีที่ได้จากครั้งซึ่งประกอบไปด้วย Laccaic acid A, B, C, D และ E ซึ่งองค์ประกอบหลัก ๆ คือ Laccaic acid A ร้อยละ 71-96 และ B ร้อยละ 0- 20 (Erwin, 2008) โครงสร้างสีและวัตถุดิบแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างสี (Erwin, 2008) และวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากครั้ง

## 2) ต้นเข

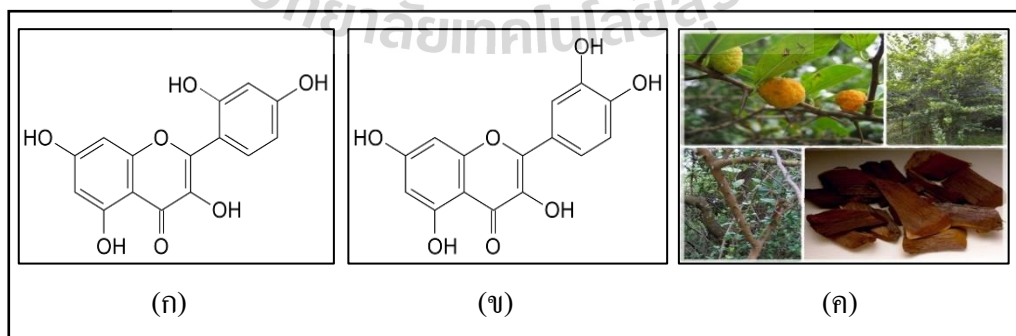
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cudrania Javancnsis*

ชื่อพื้นเมือง เหลือง, แกล (ไทยภาคกลาง), แก้ว (แพร่, น่าน), แกล แห (ใต้), เข (นครราชสีมา), ช้างงาตอก (ลำปาง), หนามเข (ประจวบคีรีขันธ์), น้ำเคียวโซ (ปัตตานี)

ลักษณะทั่วไป ต้นเขเป็นต้นไม้ประเภทเถาเนื้อแข็งขนาดใหญ่ มักเกาะพันกับต้นไม้อื่น ส่วนที่ทอดไปกับพื้นดินจะแตกรากขึ้นเป็นพุ่มเตี้ย ๆ มักพบในป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณชื้น หรือที่ที่มีความชุ่มชื้นมาก โดยแก่นไม้จะใช้ทำสีย้อมไหม ให้สีเหลืองทอง

การสกัดสีจากเข

ผ่าแก่นเขเป็นชิ้นเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และแช่น้ำไว้ในหม้อ 1 คืน จากนั้นนำไปต้มให้เดือดประมาณ 30 นาที จากนั้นนำออกเก็บไว้แล้วเติมน้ำลงไป แล้วต้มให้เดือดอีกประมาณ 30 นาที ทำเช่นนี้ 3 ครั้ง จึงจะได้สีเพียงพอต่อการย้อมไหม โดยในโครงสร้างของสีย้อมจากเขจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 อย่าง คือ morin และ quercetin ซึ่งโครงสร้างทั้งสองมีลักษณะคล้ายกันดังแสดงในรูปที่ 2.7 (Venkataraman, 2012)



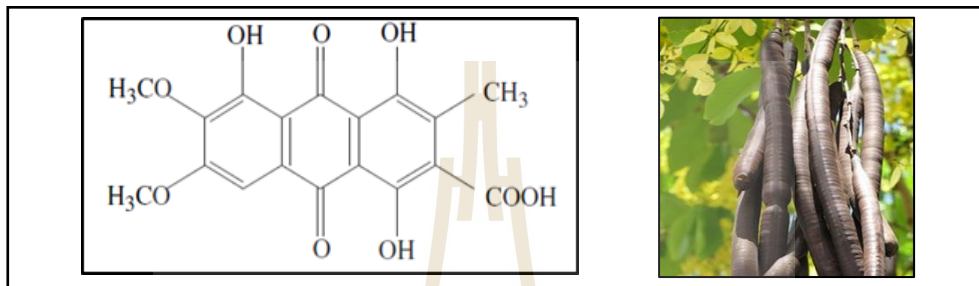
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ morin (ก) quercetin (ข) (Venkataraman, 2012) และลักษณะของแก่นเข (ค)

## 3) คุณ

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Cassia fistula L.*

ชื่อพื้นเมือง คุณ, ชัยพฤกษ์, ลมแล้ง, ลักเคยลักเกลือ  
ลักษณะทั่วไป เป็นไม้ผลัดใบสูง 8-15 เมตร ดอกเป็นช่อสีเหลือง ผลเป็นฝักทรงกระบอกยาว 20-60 เซนติเมตรผ่านศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร มีผลกลมโตเปลือกของต้นจะให้สีเหลือง  
การสกัดสีจากฝักคุณ

ฝักสด 6-8 กิโลกรัมใช้ย้อมไหม 1 กิโลกรัม เมื่อนำมาโขลกและแช่น้ำค้างคืน เมื่อกรองกากออกได้น้ำย้อมสีหมากสุก นำเส้นไหมลงย้อมแบบย้อมเย็นและย้อมร้อน ย้อมเสร็จให้นำไหมขึ้นผึ่งจนเย็นแล้วล้างน้ำจนสะอาด จากนั้นนำไปแช่น้ำปูนใส นาน 5 นาทีและล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆครั้ง ได้เส้นไหมสีน้ำตาลอมม่วง โดยโครงสร้างสีย้อมจากฝักคุณแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะประกอบไปด้วย *fistulic acid* เป็นหลัก (Misra et al.,1997)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างสี (Bahorun et al.,2005) และวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากฝักคุณ

#### 2.4.1.2 สรุปรายการทบทวนเอกสารสีย้อมธรรมชาติ

จากตัวอย่างวัตถุดิบและวิธีการสกัดสีย้อมที่กล่าวมาข้างต้น และตัวอย่างวัตถุดิบและสีย้อมธรรมชาติดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า พืชแต่ละชนิดมีส่วนที่ให้สี และวิธีสกัดสีที่แตกต่างกัน ซึ่งสีที่ได้จะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่เลือกใช้ และจากการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการ พบว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการย้อมบ่อยที่สุด คือ ครั่ง คราม เข และฝักคุณ ตามลำดับ ซึ่งการย้อมในแต่ละครั้งวัตถุดิบที่ใช้จะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

#### 2.4.2 สีย้อมเคมี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

##### 2.4.2.1 ประเภทสีย้อมเคมี

ประเภทของสีย้อมสามารถเป็นบ่งบอกลักษณะของน้ำเสีย เช่น มีการปนเปื้อนสารละลายที่มีประจุลบ ความสามารถในการละลายน้ำ อุณหภูมิในการย้อมสี และสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำให้สีติดผ้าได้ดี เป็นต้น โดยสีสังเคราะห์มีข้อดี คือ สีที่ได้จะสด สามารถเตรียมให้มีสีต่าง ๆ ได้ตามต้องการ สีคงทน ไม่ตกง่าย ทนต่อการซักฟอก และแสงแดด ประเภทของสีเคมีที่นิยมใช้ในการฟอกย้อมมีดังนี้

##### 1) สีไดแรกต์ (Direct dye)

สีไดแรกต์เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย และทนแสง

##### 2) สีรีแอกทีฟ (Reactive dye)

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นต่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นต่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างวัตถุดิบและสีย้อมจากธรรมชาติ (กลุ่มสารสันทะเทศเฉพาะทาง สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศและเทคโนโลยี, 2560)

สีที่ได้จากธรรมชาติ	ส่วนที่ให้สี	สารช่วยติดสี	สีที่ได้จากการย้อม
เข	แก่น ลำต้น	สารส้ม	เหลืองทองเข้ม
ครั่ง	รัง ชีครั่ง	น้ำมะขามเปียก + เกลือ	แดงเข้ม
คูณ/ ราชพฤกษ์	ฝักคูณสด	สารส้ม น้ำปูนใส	กาบ น้ำตาลแดง
มะกอกไทย	เปลือกลำต้น	สารส้ม	น้ำตาลชมพู
มะเกลือ	ผล	น้ำต่าง + โคลน	ดำ
มังคุด	เปลือก	น้ำสนิมเหล็ก จุนสี สารส้ม	น้ำตาล น้ำตาลแดง แดงแม่ชมพู
ตะแบก	เปลือก	สารส้ม	น้ำตาล
จำปา, จามจุรี	ดอก	เกลือ	นวลอมชมพู
คราม	ใบ	น้ำต่าง + ใบโมง (ชะมวง)	น้ำเงิน
ประดู่บ้าน ประดู่ลาย	เปลือก	สารส้ม จุนสี	น้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง
สะเดา	ใบ	สารส้ม สนิมเหล็ก	เขียวอ่อน เทา
ฝางแดง	แก่น	สารส้ม ใช้น้ำปูนใสหลังย้อม	ชมพู แดง ม่วงอ่อน
ดินแดง	เนื้อดินแดง	ไม่ระบุ	แดงอิฐ
โคลน	โคลน	ไม่ระบุ	เทาอ่อน เทาเข้ม
สัก	ใบ	สารส้ม จุนสี	ส้มอ่อน น้ำตาลอ่อน เขียวขี้ม้า
สมอ	เปลือก	สารส้ม จุนสี	น้ำตาลออกเหลือง น้ำตาลออกเขียวเข้ม

### 3) สีแว้ต (Vat dye)

สีแว้ตเป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว้ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว้ตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว้ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid)

#### 4) สีเอซิด (Acid dye)

สีเอซิด เป็นสีที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรด เจือจางสีเอซิด บางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน โยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

#### 5) สีดิสเพอร์ส (Disperse dye)

สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตทเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสง และการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควีนหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดิสเพอร์ส แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมแอมมิโนแอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทราโนลามีน (Ethanalamine;  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

#### 6) สีเบสิก (Basic or cationic dye)

สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (Organic base) ให้ประจุบละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิก ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซัก และแสง

#### 7) สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye)

สีซัลเฟอร์ เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลสภาวะที่ละลายน้ำได้แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูกแต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

#### 8) สีมอร์แดนต์ หรือโครม (Mordant or chrome dye)

สีมอร์แดนต์ หรือโครม สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้ คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดนต์เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนต์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่ายซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี

#### 9) สีอะโซอิก (Azoic dye)

สีอะโซอิก สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้เกิดการรวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซักแต่ไม่ทนต่อการขัดถู

#### 2.4.2.2 สรุปการทบทวนเอกสารสีย้อมเคมี

จากการศึกษาประเภทของสีย้อมเคมีทั้ง 9 ประเภท ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ฟอกย้อมและสิ่งทอ พบว่า สีแต่ละประเภทมีวิธีการย้อมที่ต่างกัน เนื่องจากสีแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ต่างกัน บางชนิดสามารถละลายในน้ำได้ แต่บางชนิดต้องใช้ตัวทำละลายเพื่อช่วยให้สีละลายก่อนที่จะนำไปใช้ย้อมผ้าได้ และจากการศึกษาคุณสมบัติของสีย้อม พบว่า สีเอซิด (Acid dye) เป็นสีเคมีที่ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน เช่น ไหม โยขนแกะ ปอ ป่าน เป็นต้น และจากการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการ พบว่าสีย้อมที่ใช้เป็นสีเอซิดเช่นกัน

## 2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

การกำจัดสีของน้ำเสียฟอกย้อมของอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมได้ถูกพัฒนาต่อ ๆ กันมา โดยในอดีตสีที่ถูกปล่อยออกมาจะมีปริมาณน้อยทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสถานประกอบการทั่วไปมักจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผ้าไหมมีการขยายตัวขึ้น และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วยสารเคมี และสีย้อมมากมายหลายชนิด จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการกำจัดสีหลายวิธีได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลาย คูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญขยายพันธุ์ต่อไป โดยสารอินทรีย์ต่าง ๆ นั้นจะถูกนำมาใช้สร้างเป็นจุลินทรีย์ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าน้ำสามารถตกตะกอนในถังตกตะกอนได้ง่าย และแยกออกจากน้ำได้ง่าย ขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะลอยขึ้นไปในอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจนละลาย ระยะเวลาในการบำบัด pH สารพิษ อุณหภูมิ การกวนและอัตราการไหลของน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ สามารถกำจัด COD และ สี ได้ประมาณร้อยละ 40-56 และ 13 - 30 ตามลำดับ (Aboulhassan et al., 2014) และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยระบบเอสปีอาร์ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์ และ COD ได้มากกว่าร้อยละ 90 (สันทัด และคณะ, 2559)

### 2.5.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic)

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย คูดซับ เปลี่ยนรูปของมลสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง มลสารที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ได้แก่ อุณหภูมิ pH ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (HRT) และเวลากักพักของแข็ง (SRT) สภาพความเป็นต่าง และศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน จากการศึกษาพบว่ากระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาสสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้น้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจน คือ สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 50-80 แต่สามารถบำบัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถสรุปประสิทธิภาพการบำบัดสีได้ดังตารางที่ 2.3

### 2.5.3 กระบวนการใช้ออกซิเจนออกซิเดชัน (Ozone oxidation )

โอโซน( $O_3$ ) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง จึงนิยมนำมาใช้ในการย่อยสลายสีและสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ การโอโซนขึ้นเป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลสีด้วยโอโซนทำให้พันธะของโมเลกุลที่มีความยาวมากและทำให้เกิดสี แดกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กที่มีขนาดสั้นลง ทำให้น้ำเสียลดลง ซึ่งโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงและมีประสิทธิภาพสูง สามารถกำจัดสีจริงได้ แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีย้อมซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยไนโตรเจนคลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม ซึ่งอาจจะจะมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ใน

แหล่งน้ำได้ รวมทั้งอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดในน้ำ และเกิดสารบางชนิดขึ้น โดยสารเหล่านั้นเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic compounds) จากการศึกษาการใช้โอโซนในการออกซิไดซ์รีแอกทีฟพบว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 1,4 และ6 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 48.51, 78.92 และ90.2 ตามลำดับ (Wijannarong et al., 2013) และจากการใช้โอโซนในการออกซิไดซ์รีแอกทีฟพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงถึงร้อยละ 99.99 โดยเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด COD จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุดร้อยละ 66.66 เมื่อความเข้มข้นสีเริ่มต้น 500 mg/l โดยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที (Sharma et al.,2013)

ตารางที่ 2.3 สรุปประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

ประเภทระบบ	ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย	สีย้อม	ความเข้มข้นสีเริ่มต้น(มก./ล.)	การกำจัดสี (%)
UAF	48 ชั่วโมง	Remazol black B (Diazo)	500	>95
UASB	8 ชั่วโมง	Mordant Orange 1 (Azo)	-	95
UASB	8 ชั่วโมง	Mordant Orange 1 (Azo)	-	>99
	8 ชั่วโมง	Azodisalicylate (Azo)	75	99
	24 ชั่วโมง	Azodisalicylate (Azo)	75	89
ABR	20 ชั่วโมง	Tartrazine (Azo)	-	95
AR	5 วัน	Vat Blue 1 (Indigoid)	-	>95
	10 วัน	Reactive Blue H3R (Azo)	-	98
	10 วัน	Reactive Red HE7B (Azo)	-	>99
AnACF	6 ชั่วโมง	Reactive Red 141 (Diazo)	40	82
	12 ชั่วโมง	Reactive Red 141 (Diazo)	40	95
	24 ชั่วโมง	Reactive Red 141 (Diazo)	40	98

หมายเหตุ : UAF = Upflow Anaerobic Filter UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket ABR = Anaerobic Baffled Reactor  
AR = Anaerobic Reactor AnACF = Anaerobic Activated Carbon Filter

#### 2.5.4 กระบวนการตกตะกอนไฟฟ้า-เคมี (Electro-coagulation)

กระบวนการกำจัดสีแบบไฟฟ้าเคมี สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมโดยเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดออกซิเดชันไปยัง สารที่เกิดรีดักชัน ผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสี ทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไปและสามารถดูดซับกับสีแชนลอนยต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโตรดให้เกิดการตกตะกอนขึ้น กระบวนการไฟฟ้าเคมีมีกลไกการกำจัดสีโดยกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) และการลอยตัว (Floatation) ทำให้สามารถกำจัดสีออกจากน้ำ จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี Methylene Blue โดยใช้วิธีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในกระบวนการ Electro-coagulation พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 80 โดยใช้เวลา 20 นาที (Mahmoud et al., 2013) การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมสีแดงประเภทสีย้อมแอสิค และหาประสิทธิภาพการบำบัด โดยผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการบำบัด 40 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 95 และประสิทธิภาพในการบำบัดสีไอดีร้อยละ 79 (พลกฤษณ์ และคณะ, 2559)

### 2.5.5 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสีย ของระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสีย ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น จากตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะเห็นว่าเทคโนโลยีในการบำบัดแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป ซึ่งแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงแต่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนี้ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ มีข้อจำกัด คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบ และดำเนินการค่อนข้างสูง กระบวนการทางเคมี มีข้อจำกัด คือ การเดินระบบมีความยุ่งยากซับซ้อน ผู้ดูแลระบบต้องมีความชำนาญเป็นอย่างมาก ส่วนกระบวนการทางชีวภาพ มีข้อจำกัด คือ หากมีสารพิษ หรือสารที่เป็นอันตรายเข้าสู่ระบบอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยจากลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณไม่มาก เนื่องจากการดำเนินการย้อมผ้าไม่ได้มีการดำเนินการทุกวัน หากมีการสร้างระบบบำบัดขนาดใหญ่และบำบัดน้ำเสียรวมจะทำให้เกิดความไม่คุ้มทุนและอาจใช้ระบบได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพเท่าที่ควร แต่หากมีการสร้างระบบบำบัดขนาดเล็กและติดตั้งในแต่ละแห่งจะมีความเหมาะสมและง่ายต่อการบำบัดมากกว่าโดยการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งกระบวนการทั้งสองมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ค่อนข้างสูง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) ซึ่งการใช้สองระบบร่วมกันสามารถช่วยลดปริมาณตะกอน และช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ เนื่องจากการช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ต้นทุนสูง (Papic et al., 2004) ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียสิ่งทอโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

เทคโนโลยีในการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางกายภาพ		
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	- เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง - สามารถกำจัดสีจริงและสีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ	- การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองออสโมซิสย้อนกลับ	- ใช้กำจัดไอออนสีย้อมและโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่	- กำจัดสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่ได้ - เกิดปัญหาการอุดตันและการเสียหายของเยื่อกรองขึ้นได้ง่ายหากน้ำที่นำมาบำบัดมีการปนเปื้อนสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน	- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง - สามารถนำวัสดุ(พีวีเอ โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก) และน้ำสามารถกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	- สีย้อมดีสเพอส์เมื่อผ่านกระบวนการแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชัน	- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง - แยกสารพวกอิลโคโรไลต์ออกและนำกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง
กระบวนการบำบัดทางเคมี		
การตกตะกอนเคมี	- เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง	- เกิดตะกอนขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งยุ่งยากในการกำจัด
กระบวนการเฟ้นต้น	- มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ	- ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
การใช้โอโซน/การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	- สามารถทำลายโมเลกุลของสี หมูโครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้	- ต้องควบคุม อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรด-ด่าง - สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า - อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารบางชนิด ทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งได้



ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) (ต่อ)

เทคโนโลยีในการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางเคมี		
การใช้ไฟฟ้าเคมี	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถกำจัดรีแอกทีฟ ในน้ำเสีย</li> <li>- มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง</li> <li>- สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้และใช้เวลาในการทำปฏิริยาน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิริยา และระยะเวลาการตกตะกอน</li> </ul>
กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา		
ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถกำจัดสีย้อมกลุ่ม azo และ anthraquinone</li> <li>- เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงาน</li> <li>- คุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีอัตราเร็วในการกำจัดต่ำ</li> <li>- เป็นระบบที่ต้องการแหล่งพลังงาน</li> </ul>
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถกำจัดรีแอกทีฟ และ azo ในน้ำเสียได้</li> <li>- อาจได้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อาจเกิดสารที่เป็นพิษขึ้น</li> <li>- ต้องมีระบบบำบัดขั้นที่สองต่อหลังบำบัดอีกครั้ง</li> </ul>

## 2.6 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation/Flocculation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน/กระบวนการฟล็อกคูเลชัน (Coagulation/Flocculation) กระบวนการโคแอกกูเลชัน เป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก คอลลอยด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1-1 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักการของกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ การเติมสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เช่น สารส้ม (Aluminum sulfate,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ ) ลงไปในน้ำเสียทำให้คอลลอยด์หลายๆอนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว สารโคแอกกูแลนต์ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นฟล็อก

ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการโคแอกกูเลชันมี 2 ส่วน คือ ถังกวนเร็ว และถังกวนช้า ถังกวนเร็วเป็นที่เติมสารเคมีและเป็นทางเข้าของน้ำเสีย สารเคมีและน้ำเสียจะผสมกันทันทีอย่างรวดเร็วในถังนี้ ส่วนถังกวนช้าเป็นที่สำหรับกระบวนการสร้างฟล็อก (Flocculation) ที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อส่งไปตกตะกอนในถังตกตะกอนซึ่งอยู่ตามหลังถังกวนช้าหรืออาจรวมอยู่ในถังเดียวกันถึงกวนช้า อนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่ถูกบำบัดโดยถังตกตะกอน จะถูกส่งต่อไปบำบัดในถังกรอง น้ำที่ออกจากถังกรองจึงมีความใสสูงมาก (ในระบบของโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นถังปฏิริยาไบโอเดียว (Reactor tank) โดยมีการเกิดกระบวนการทั้งสองขั้นตอนในถังเดียวกันคือกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการฟล็อกคูเลชัน กระบวนการตกตะกอนและแยกน้ำใส)

กระบวนการฟล็อกคูเลชัน เป็นขั้นตอนต่อจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยจะมีการกวนช้า (Slow mixing) เกิดขึ้นเพื่อสร้างตะกอนน้ำเสียให้มีขนาดใหญ่และหยาบมากขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ง่ายมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการรวมตะกอนประมาณ 30-60 นาทีสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟล็อกคูเลชัน หลังจากการเติมสารส้ม และปรับสภาพความเป็นกลางด้วยต่าง (Neutralization process) แล้วอาจจะต้องมีการเติมสารแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aid) เป็นสารเคมีประเภทโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยโคแอกกูแลนต์เอ็ด ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคหรือฟล็อกให้เกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย

### 2.6.1 กลไกการทำงานของสารสร้างตะกอนและสารรวมตะกอน

กระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกคูเลชัน มีความสำคัญต่อระบบน้ำประปา เนื่องจากสารเจือปนบางชนิดเป็นของแข็งไม่จมตัว (nonsetttable solids) สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ทำให้กำจัดออกจากระบบได้ยาก ดังนั้นกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกคูเลชัน จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญโดย เปลี่ยนของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและหนักขึ้น โดยการเพิ่มและผสม

สารสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดตะกอน หรือช่วยจับอนุภาคขนาดเล็กให้ตกตะกอนต่อไป (ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 2552)

อนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำดิบบางชนิดสามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง บางชนิดมีขนาดเล็ก ไม่สามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเองได้ บางชนิดเป็นพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมี ประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักรันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการที่จะทำให้อนุภาคมารวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้จะต้องอาศัยกลไกสองอย่าง คือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาค และการรวมตะกอนเข้าด้วยกัน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) ซึ่งมีหลักการดังนี้

2.6.1.1 การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคแขวนลอยทำได้หลายวิธี ได้แก่ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

1) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ทำได้โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่มีวอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจายจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำ และไม่ว่าจะเติมไอออน บวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้อนุภาคเปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวกได้ (Charge Reversal)

2) กลไกดูดติดผิว และทำลายประจุของอนุภาค (Adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงข้ามกับอนุภาค และดูดติดผิวได้ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของอนุภาค ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค

3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เป็นการเติมสารรวมตะกอนเพื่อสร้างผลึกให้เกิดขึ้นในน้ำเพื่อเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคมาเกาะจับ ได้แก่ การเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะเกิดการไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดผลึก  $Al(OH)_3$  เหมือนวุ้นสีขาวเพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อก (Floc) ได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคมีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของอนุภาค กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้สารรวมตะกอนจำนวนมากจึงจะเกิดฟล็อกได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้สารรวมตะกอนน้อยกว่า เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคจะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม การรวมตะกอนอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร ต้องมีการใช้สารรวมตะกอนในปริมาณสูงเพื่อสร้างเป้าสัมผัสให้กับอนุภาค แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

4) กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคเป็นการเติมสารช่วยรวมตะกอนโดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาค และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคตัวอื่น ๆ เพื่อทำให้เกิดฟล็อกได้ง่ายขึ้น

2.6.1.2 ทำให้อนุภาคที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นฟล็อกวิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี คือ

1) ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่าง ๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปมิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไปซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกकुเลชั่น เรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้ชื่อ

เทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคที่มีการรวมกลุ่มแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) การสัมผัสของอนุภาคอาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคกระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน เรียกว่า Perikinetic Flocculation

3) การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่าง ๆ การรวมกลุ่มแบบนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถรวมกลุ่มแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4) ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟล็อกอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจทำได้โดยใช้ ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสให้ และยังบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วยการใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกแบบนี้ เรียกว่า กรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้กรวดขนาดเล็ก แทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้ แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในการรวมตะกอนไม่ดีเท่าชั้นทราย หรืออีกวิธีคือใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งเป็นการใช้ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ซึ่งเป็นการนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคจากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ

5) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอนนั้นอาศัยอุปกรณ์ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังกวนช้า (Flocculation Tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมสารรวมตะกอนจะทำหน้าที่กระจายสีเคมีไปให้ส่วนต่าง ๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคเกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแม้ว่าถังกวนเร็วและถังกวนช้าทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอนและถังกรอง ซึ่งตามมาทีหลัง

## 2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน

ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

1) อุณหภูมิ มีผลต่อความหนืดของน้ำ คืออุณหภูมิต่ำความหนืดสูง ทำให้อัตราการตกตะกอนช้าลงเพราะการรวมตัวเกิดกลุ่มก้อนช้า และอุณหภูมิสูงความหนืดต่ำ ทำให้อัตราการตกตะกอนได้ดีเพราะการรวมตัวเกิดกลุ่มก้อนเร็ว

2) คุณสมบัติและชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือประจุลบหรือเป็นคอลลอยด์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ จะมีโอกาสถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าประเภทที่ชอบน้ำ หากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอน

ได้อย่างเหมาะสม จากการศึกษาผลของ pH ต่อการกำจัดสี พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี ดิสเพอร์ส และ สีรีแอกทีฟ ทำการศึกษาที่ pH 4 – 9 โดยใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ 0.15 mM สำหรับสีดิสเพอร์ส และ 0.50 mM สำหรับสีรีแอกทีฟ ซึ่งพบว่าที่ pH 5 สีดิสเพอร์ส กำจัด COD และสี ได้ร้อยละ 77.8 และ 93.9 ตามลำดับ ส่วนที่ pH 6 สีรีแอกทีฟกำจัด COD และสี ได้ร้อยละ 63.3 และ 43.9 ตามลำดับ (Kim et al, 2004)

3) ปริมาณของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าน้ำมีปริมาณคอลลอยด์มากจะตกตะกอนได้ดีกว่าและใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำที่มีปริมาณคอลลอยด์น้อย เพราะน้ำที่มีความเข้มข้นสูง ๆ อนุภาคจะมีโอกาสสัมผัสกันได้ง่าย

4) ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากการสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่ pH ต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่า pH ของน้ำก่อน เพื่อปรับสภาพการตกตะกอน ถ้าปฏิกิริยาไม่เกิดใน pH ที่เหมาะสม จะทำให้ผลการตกตะกอนที่เกิดขึ้นไม่ดีและเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมี อีกทั้งยังทำให้คุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควร โดยช่วง pH ที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน แสดงดังตารางที่ 2.5 จากการศึกษาผลของ pH ต่อการกำจัดสี โดยใช้ปริมาณสารส้ม 200 mg./l พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารส้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มขึ้นจาก pH 3.0 ถึง 6 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง เนื่องจากในช่วง pH ที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสีของน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้สารส้มมีค่าตั้งแต่ 5.0 ถึง 6.0 (El-Gohary and Tawfik, 2009)

ตารางที่ 2.5 ช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนชนิดต่าง ๆ (มัลลิกา ปัญญาคะโป, 2556)

สารสร้างตะกอน	ช่วง pH ที่เหมาะสม
Alum	4.0-7.0
PACL	5.5-8.0
Ferrous sulphate	8.5 และสูงกว่า
Ferric chloride	3.5-6.5 และสูงกว่า 8.5
Ferric sulphate	3.5-7.0 และสูงกว่า 9.0

5) ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในกระบวนการสร้างตะกอนจะสมบูรณ์ได้นั้น ต้องอาศัยส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่สำคัญ ได้แก่ สภาพความเป็นด่างในน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH สำหรับสารสร้างตะกอนบางตัวเพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6) เกลือแร่ต่าง ๆ และการมีอนุมูล เช่น ซัลเฟตหรือฟอสเฟต จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดกลุ่มก้อนเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

- เปลี่ยนแปลงช่วง pH ที่ดีที่สุดของการเกิดกลุ่มก้อน
- เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดกลุ่มก้อน
- ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหลือในน้ำเปลี่ยนแปลงไป
- ปริมาณสารที่ใช้ในการสร้างตะกอนสำหรับการเกิดกลุ่มก้อนจะมีการเปลี่ยนแปลง

7) คุณสมบัติและชนิดของสารที่ใช้ในการสร้างตะกอน ซึ่งสารแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติของการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของกลุ่มก้อน ความเร็วของการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน การเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีมาเป็นสารสร้างตะกอนพิจารณาได้จากคุณสมบัติของน้ำ เสียดังนั้นจึงต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารสร้างตะกอนจากการศึกษาการกำจัดสีโดยการ

ตกตะกอนด้วยสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า ระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวนอย่างต่ำ 10-20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ และ pH ที่เหมาะสมคือ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 95.68 และ 92.57 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติ พบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ 15-20 g ต่อ น้ำเสีย 100 ml ซึ่งสามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 93.71 และ 93.60 ตามลำดับ (วัชรพันธ์ และคณะ ,2550)

8) เวลาและการกวนผสมเพื่อให้สารเคมีมีการกระจายตัว ทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นในน้ำ ในช่วงแรกต้องทำการกวนเร็ว ในขณะที่มีการเติมสารเคมีช่วยในการตกตะกอน เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำได้อย่างทั่วถึงและยังเป็นการเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับสารเคมีให้มากขึ้น โอกาสที่อนุภาคคอลลอยด์จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนก็จะเพิ่มขึ้น ส่วนการกวนช้ามีวัตถุประสงค์เพื่อให้กลุ่มก้อนเล็ก ๆ จากการกวนเร็วมีโอกาสที่จะสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Matsushita et al, 2004) จากการศึกษาการกำจัดสีโดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า ระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวนมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยปฏิกิริยาจะเริ่มตั้งแต่นาทีแรก และจะเริ่มคงที่หลังจาก 10 นาที เป็นต้นไป จึงควรใช้เวลากวนอย่างต่ำ 10-20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ และ pH ที่เหมาะสมคือ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 95.68 และ 92.57 ตามลำดับ (วัชรพันธ์ และคณะ ,2550)

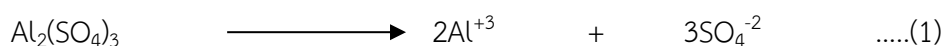
### 2.6.3 การกำจัดสีโดยกระบวนการ Coagulation-Flocculation

กระบวนการ Coagulation-Flocculation สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้ทั้งสีจริง และสีปรากฏ โดยการทำให้ตะกอน หรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถตกตะกอนได้ เนื่องจากอนุภาคของสารแขวนลอยมีประจุลบเป็นส่วนใหญ่มาพบกันจะทำให้เกิดการผลักรวมตัวกันไม่สามารถรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ได้ (วนิดา ชูอักษร, 2555) ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายประจุของอนุภาค หรือทำให้อนุภาคเป็นกลางโดยการเติมสารเคมีสร้างตะกอน ร่วมกับการปรับ pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการสร้างตะกอน โดยสารเคมีสร้างตะกอน (Coagulant) ที่นิยม คือ สารส้ม (Aluminium Sulfate; Alum) PAC (Polyaluminum chloride) Ferric chloride เป็นต้น โดยถ้าโมเลกุลของสีมีขนาดเล็ก และละลายน้ำได้ดี การสร้างตะกอนของสีจะเกิดขึ้นยาก จึงต้องมีการใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนมาช่วยให้การรวมตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ เช่น Polymer (ธนภุต พรหมทอง, 2552)

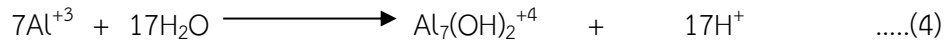
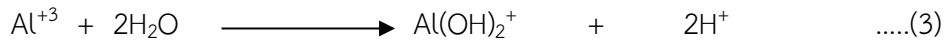
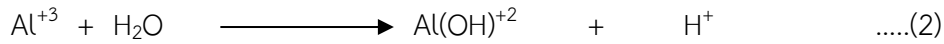
#### 2.6.3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Coagulation-Flocculation มีดังต่อไปนี้

##### 1) กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ( $Al_2(SO_4)_3$ )

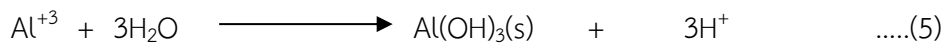
สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยมากที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม(อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล คือ  $Al_2(SO_4)_3$  เมื่อเติมสารส้มลงไปในน้ำจะแตกตัวให้อิออนบวก และลบ ดังปฏิกิริยาที่ (1)



เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำเกิดเป็น  $Al(H_2O)_6^{+3}$  หรือ  $Al^{+3}$  ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ  $Al^{+3}$  จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $OH^-$  จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังปฏิกิริยา (2) - (4) ต่อไปนี้



ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (5)



ผลของปฏิกิริยาที่เกิดจากการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก  $\text{Al}^{+3}$  ถึง  $\text{Al}(\text{OH})_3$  สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำคือถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero Point of Charge) ของ  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$  จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_5^{2-}$  ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้าของ  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$  ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก เช่น  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$ ,  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$  ซึ่งกลไกการกำจัดคอลลอยด์ด้วยสารส้ม ประกอบไปด้วย 3 กลไก คือ

1.1) กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) ซึ่งเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง

1.2) กลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) จะเกิดในกรณีที่มีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ทำให้เกิดผลึกของ  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถจับกับอนุภาค และทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

1.3) กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุกับกลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ โดยความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าการทำลายเสถียรภาพ โดยกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ

การศึกษาการตกตะกอนสีจากน้ำเสียด้วยสารตกตะกอนชนิด ต่าง ๆ ได้แก่ เพอริคคลอไรด์ เพอร์สซัลเฟต สารส้ม โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์ ในส่วนของ Alum เมื่อใช้ในการตกตะกอนสีโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจะเตรียมจากสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ ที่มีจำหน่าย ในท้องตลาดปัจจุบัน ได้แก่ สีรีแอกทีฟ สีแอสติก สีเบสิค สีไคเรกท์ และสีดีสเพอร์ส พบว่า สามารถตกตะกอนสีดีสเพอร์สได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีประมาณร้อยละ 99 และประสิทธิภาพในการลดค่า COD ประมาณร้อยละ 70-84 (จารุทัศน์ มิลินทะเลข, 2537)

จากการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ และสี ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยการทำการทดลอง Jar Test มีการกำหนดสภาวะในการศึกษา คือ การกวนเร็วใช้ความเร็วรอบ 100 rpm และกวนช้า 40 rpm ใช้น้ำเสีย 500 ml ซึ่งจากการทดลอง Jar Test พบว่า ปริมาณ

Alum ที่เหมาะสม คือ 2.56 g/l และ pH ที่เหมาะสม คือ 7.20 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94.02 76.28 และ 42.96 ตามลำดับ (สุเทพ และ วีระนุช, 2553)

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่า ที่ pH 4 ใช้ปริมาณ Alum 4 g/l โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 200 rpm 2 นาที และกวนช้า 40 rpm 15 นาที และใช้เวลาตกตะกอน 120 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด คือ ร้อยละ 35.4 (Rana and Suresh, 2017)

2) กลไกโคแอกกูเลชันด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl :  $Al_n(OH)_mCl_{3n+m}$ )

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ใน ประเทศญี่ปุ่น และบางประเทศในทวีปยุโรป PACl ถูกเตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น  $Al_2O_3$  นี้จะทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น  $AlCl_3$  หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลีเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไป ในสารละลายนี้ สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ  $Al_2O_3$  ให้เหลือร้อยละ 10-11 และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PACl คือ  $Al_n(OH)_mCl_{3n+m}$  เมื่อ PACl ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันที เกิดเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ  $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{+7}$  หรือ  $Al^{+3}$  ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมจะขึ้นอยู่กับอัตราการรวมตัวของต่างกับสารละลายอลูมิเนียม, ชนิดและความเข้มข้นของต่าง, ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์, อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาณของต่างที่เติมลงไป และ pH

การศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย PACl โดยทำการศึกษา pH ปริมาณ PACl และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสมกับน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่นำมาทดลอง แบ่งตามประเภทของสีย้อมออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รีแอคทีฟ เอซิด ไดเรกต์ และดิสเพิส ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม ชนิดของโตนสี ระดับ pH ที่เหมาะสม ปริมาณ PACl และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสม ซึ่งสีย้อมประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่า สีประเภทที่ละลายน้ำ และน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีระดับ pH ที่เหมาะสมที่ต่างกันแตกต่างกัน (กาญจนาภา ครองธรรมชาติ, 2535)

การศึกษาการตกตะกอนสีจากน้ำเสียด้วยสารตกตะกอนชนิด ต่าง ๆ ได้แก่ เพอริคลอไรด์ เพอร์ซัลเฟต สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์ ในส่วนของ PACl เมื่อใช้ในการตกตะกอนสี โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจะเตรียมจากสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ ที่มีจำหน่าย ในท้องตลาดปัจจุบัน ได้แก่ รีแอคทีฟ สีแอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ และสีดิสเพอร์ส พบว่า สามารถตกตะกอนสี ไดเรกต์ได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน สีประมาณร้อยละ 98 และประสิทธิภาพในการลดค่า COD ประมาณร้อยละ 83% (จารุทัศน์ มิลินทะเลข, 2537)

จากการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ และสี ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่งมีการใช้สีหลายประเภท เช่น ดิสเพอร์ส รีแอคทีฟ พิกเมนต์ และ แว้ต เป็นต้น ได้ทำการศึกษาโดยการทำการทดลอง Jar Test มีการกำหนดสภาวะในการศึกษา คือ การกวนเร็วใช้ความเร็วรอบ 100 rpm และกวนช้า 40 rpm ใช้น้ำเสีย 500 ml ซึ่งจากการทดลอง Jar Test พบว่า ปริมาณ PACl ที่เหมาะสม คือ 4 g/l และ pH ที่เหมาะสม คือ 7.40 โดยประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96.12 86.75 และ 54.18 ตามลำดับ (สุเทพ และ วีระนุช, 2553)

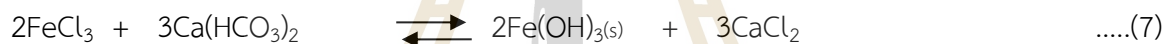
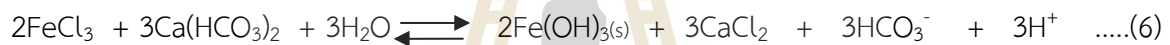
จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่า ที่ pH 6 ใช้ปริมาณ PACl 4 g/l โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 200 rpm 2 นาที และกวนช้า 40 rpm 15 นาที และใช้เวลาตกตะกอน 120 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด คือ ร้อยละ 26.4 (Rana and Suresh, 2017)

โดยจากการศึกษาของ Sanghi et.al. (2006) พบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจนถึง pH 9.5 ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการ pH มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PACl โดยที่ pH มากกว่า 7 จะเกิดอลูมิเนียมเชิงซ้อนได้มาก และจะเปลี่ยนไปเป็นตะกอนของเกลืออลูมิเนียม เมื่อ pH มากกว่า 10 เมื่อ pH 8.5-9.5 ในน้ำมีประจุบวก ( $H^+$ ) ต่ำ เมื่อเติม PACl ลงไปจะเกิดอลูมิเนียมเชิงซ้อนได้มาก ทำให้สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลไก Charge neutralization เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Wei et al. (2015) และการดูดซับผิว โดยที่ pH 8.5 – 9.5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแอสิตร้อยละ 42-61

### 3) กลไกโคแอกกูเลชันด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ )

เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมี คือ  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  หรือ  $FeCl_3$  anhydrous มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และมีรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติจะละลายน้ำได้ดี สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_3$ )

เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากคอลลอยด์ในน้ำได้ จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำและเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังปฏิกิริยาที่ (6) - (7) ดังนี้



เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในน้ำได้ทั้งในกระบวนการ Coagulation และ Flocculation ดังนี้

3.1) กระบวนการ Coagulation เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่าง ๆ ทั้งที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้เป็นกลางโดยการดูดซับประจุ และทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลง และอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดเป็นตะกอนเล็ก ๆ ขนาดระหว่าง  $10^{-2}$ - $10^{-7}$  เมตร

3.2) กระบวนการ Flocculation เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็ก ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการ Coagulation ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดมากกว่า  $10^{-7}$  เมตร ซึ่งถือว่าเป็นขนาดตะกอนที่ใหญ่ และหยาบทำให้ง่ายต่อกระบวนการตกตะกอนต่อไป

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม พบว่า ที่ pH 4 ใช้ปริมาณ Ferric chloride 4 g/l โดยกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 200 rpm 2 นาที และกวนช้า 40 rpm 15 นาที และใช้เวลาตกตะกอน 120 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด คือ ร้อยละ 54 (Rana and Suresh, 2017) โดยจากการทดลองของ Kim et.al. (2004) ได้มีการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อมแอสิต โดยใช้  $FeCl_3$  พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสี reactive 84 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 71.3 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD สูงสุด เท่ากับร้อยละ 66.5 ที่ความเข้มข้น  $FeCl_3$  เท่ากับ 2.78 mM และ pH 6 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมเป็นจุดที่มีค่า Zeta potential ต่ำจนเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่ง pH ของน้ำมีผลต่อค่า Zeta potential

### 4) สารเคมีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน (Coagulant Aids or Polyelectrolytes)



ในปัจจุบันสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ สารโพลีเมอร์ โดยสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือโพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Polymer) เช่น เซลลูโลส, เจลาติน, แป้ง เป็นต้นและโพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Polymer) โดยการนำโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกันซึ่งสามารถจัดสารสังเคราะห์ขึ้นได้ตามต้องการ โดยสามารถทำให้มีขนาดแตกต่างกันทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างและยังสามารถจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของโพลีเมอร์ให้เป็นเส้นตรงหรือกิ่งสาขาได้ (โกลม คิวบอร์และคณะ, 2534)โพลีเมอร์บางครั้งเรียกว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes) เมื่อพิจารณาถึงประจุที่มีอยู่บนสายโพลีเมอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

- Anionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นลบ เช่น Polyacryamide
- Cationic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นลบเช่น Polyamide
- Nonionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ เช่น แป้ง

โพลีเมอร์เป็นสารเคมีที่นำมาใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญคือใช้เป็นสารช่วยเร่งให้สร้างตะกอน ซึ่งโพลีเมอร์มีโครงสร้างเป็นสายยาวเมื่อเติมลงไปในการบวนการสร้างตะกอน โพลีเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น แต่หากเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สภาวะเสถียรอีกครั้ง โพลีเมอร์ที่มีประจุบวกสามารถให้เป็นสารสร้างตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ในน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงและต่ำได้ เมื่อใช้ค่า G (Velocity Gradient) ในการกวนเร็วมักกว่า 400 ต่อวินาที และทำให้ได้ตะกอนที่มีปริมาตรต่ำจึงง่ายต่อการนำไปกำจัด นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นจะหนักและมีความหนาแน่นมากกว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้สารสร้างตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ จึงทำให้การสร้างตะกอนและรวมตัวกันของตะกอนดีกว่า โพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้เนื่องจาก

- การใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดได้
- ทำให้ได้กลุ่มตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น
- ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็ก
- ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนที่รวดเร็วมากกว่าสารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน
- สะดวกในการใช้ ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้
- ทำให้มีสารเคมีบางชนิดตกค้างในน้ำในปริมาณน้อย เช่น ซัลเฟต
- โพลีเมอร์จะทำลายหรือลดสภาพความเป็นด่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน

การศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย PACl โดยทำการศึกษา pH ปริมาณ PACl และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสมกับน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่นำมาทดลองแบ่งตามประเภทของสีย้อมออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รีแอกทีฟ เอซิด ไตรเร็กท์ และดิสเพอร์ส ผลการศึกษา พบว่าเมื่อใช้ โพลีเมอร์ ร่วมกับ PACl ในการตกตะกอน พบว่ามี ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ เอซิด ไตรเร็กท์ และดิสเพอร์ส ประมาณร้อยละ 0.3-59.7, 8.2-84.5, 7.6- 81.9 และ 63.5-96.1 ตามลำดับ และ ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ประมาณร้อยละ 2.6-27.6, 10.6-58.0, 6.6-46.3 และ 54.2-95.0 ตามลำดับ (กาญจนา ครองธรรมชาติ, 2535)

#### 2.6.4 การเปรียบเทียบชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้

จากตารางที่ 2.6 พบว่า สารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้มีดังนี้ PACl, Alum, Aluminium chloride, Ferric chloride, Ferric sulfate และ Magnesium chloride ซึ่งสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี COD และของแข็งแขวนลอยในน้ำค่อนข้างสูง โดยสารโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี COD และของแข็งแขวนลอยในน้ำเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ PACl > Magnesium chloride > Ferric chloride > Alum > Ferric sulfate > Aluminium chloride ซึ่ง

จากประสิทธิภาพในการกำจัดจะเห็นว่า PACl มีประสิทธิภาพในการกำจัด สี และ COD ที่สูงสุด เมื่อเทียบกับสารโคแอกกูแลนต์ ชนิดอื่น ๆ และปริมาณ PACl ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้อยกว่าสารโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น และสารโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมา คือ Magnesium chloride และ Ferric chloride ตามลำดับ ซึ่งในการเลือกใช้สารโคแอกกูแลนต์ ควรคำนึงถึงคอลลอยด์ที่ต้องการกำจัด ได้แก่ ประจุของสี และคอลลอยด์ในน้ำเสีย ค่า pH ของน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับน้ำเสีย และต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินระบบด้วย โดยการปริมาณสารโคแอกกูแลนต์น้อยจะช่วยลดต้นทุนในการเดินระบบลงได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ของ Magnesium chloride และ Ferric chloride พบว่าปริมาณ Magnesium chloride ต้องใช้ปริมาณมากกว่า Ferric chloride แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีต่างกันเพียงร้อยละ 7 ดังนั้น ในการทดลองกระบวนการโคแอกกูแลชันสำหรับน้ำเสียที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี เลือกใช้ PACl และ Ferric chloride เป็นสารโคแอกกูแลนต์ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอสูง ทั้งสี ค่า COD และของแข็งแขวนลอย และจากการทบทวนเอกสาร พบว่า สาร Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสะดวกในการใช้ ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยจึงเลือกใช้ Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอน

### 2.6.5 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูแลชัน

ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูแลชันต้องรู้ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคแอกกูแลชัน ได้แก่ ชนิดและปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ระดับ pH ของน้ำ ความเร็วเกรเดียนท์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ จึงต้องมีการทดลองจาร์เทสเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสีย เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

#### 2.6.5.1 การทดลองจาร์เทสต์

จาร์เทสเป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยทำการทดลองในปิกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสามารถปรับความเร็วรอบได้ ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ และกำหนดสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง ความเร็วรอบระยะเวลาการกวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอน จากนั้นทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ และระดับ pH ของน้ำตัวอย่าง ซึ่งจากการทดลองจาร์เทสจะได้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ และ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูแลชันของน้ำตัวอย่าง โดยหากน้ำตัวอย่าง และชนิดสารโคแอกกูแลนต์ที่ต่าง จะมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนที่ต่างกัน และประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่างกันด้วย ดังข้อมูลในตารางที่ 2.6 ยกตัวอย่างเช่น ในการทดลองของ Wong et al. (2007) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ PACl, Alum และ Magnesium Chloride ซึ่งพบว่าปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมแตกต่างกัน คือ 150, 200, และ 3,000 mg/L และมีช่วง pH ที่เหมาะสมที่ต่างกันสำหรับสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด คือ 4.4-4.7, 4.1-4.3 และ 10.5-10.8 ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD มากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นในการศึกษาวิจัยจึงต้องมีการทำการทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอแต่ละชนิด

## 2.7 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือ

คอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) ซึ่งความสามารถในการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียด้วยวัสดุดูดซับขึ้นกับปัจจัยหลายประการดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งสามารถสรุปเป็นปัจจัยหลัก ๆ ได้ดังนี้

1) สมบัติของตัวดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ ในการศึกษาการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับประจุบนผิวของตัวดูดซับ และประจุของสีย้อมเมื่อละลายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับทางเคมี สีย้อมที่มีประจุลบในโมเลกุลจะถูกดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำ เพราะ ผิวของตัวดูดซับจะมีไอออนบวกจากไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ปริมาณมาก เกาะอยู่ที่ผิว ซึ่งสภาพประจุบนผิวของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของสารละลายในขณะนั้นด้วย (รวินิภา ศรีมูล, 2559)

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกการดูดซับจะเกิดเร็วมากเนื่องจาก concentration gradient ในสารละลายและที่ว่าง บนผิวของตัวดูดซับยังคงมีมากทำให้ดูดซับสีย้อมได้มาก หลังจากนั้นการดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะที่ว่าง เหล่านั้นดูดซับสีย้อมไว้เต็มที่แล้ว ดังในจากการศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 บน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับจะเริ่มช้าลง และเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง (จักรกฤษณ์ และบุญส่ง, 2555)

4) ปริมาณของตัวดูดซับ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลาย ดังในการศึกษาจลนพลศาสตร์ และสมดุลในการดูดซับสีย้อมสีทอโดยถ่านกะลามะพร้าว พบว่า การเพิ่มปริมาณสารดูดซับปริมาณสารดูดซับที่ดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของการดูดซับจะลดลง (Aljeboree et al., 2017) และการศึกษาโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยในการดูดซับสีคองโกเรด พบว่า เมื่อใช้ปริมาณถ่านต่อสารละลาย 0.5-0.35 g/L ร้อยละการดูดซับจะเพิ่มจาก 30.0 เป็น 70.1 (Jain and Sikarwa, 2008)

5) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับ ในกระบวนการดูดความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น แต่ในกระบวนการคายความร้อนการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การดูดซับลดลง เนื่องจากการละลายของสีย้อมเกิดขึ้นได้ดี ทำให้แรงดึงดูดระหว่างสีย้อมกับตัวดูดซับลดลง ดังในการศึกษาการดูดซับไอโซเทอร์เมอร์และจลนพลศาสตร์ของสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมะพร้าว พบว่าความสามารถในการดูดซับลดลงจาก 434.78 เป็น 384.62 mg / g เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 30-50 °C บ่งบอกถึงลักษณะความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความสัมพันธ์ทางกายภาพระหว่างสารประกอบอินทรีย์ (รวมทั้งสีย้อม) และ active sites ของสารดูดซับอ่อนลง นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของ Methylene Blue จะเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้แรงปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับสีย้อมมากกว่าสีย้อมกับตัวดูดซับ ดังนั้นสีย้อมถูกดูดซับได้ยากขึ้น (Tan et al., 2008) ดังนั้น กระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่เหมาะสม เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์หรือการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ กะลามะพร้าว และ ขี้เลื่อย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น สมบัติของตัวดูดซับ สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ ความเป็นกรดต่าง ความเข้มข้นของสารละลายระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ และอุณหภูมิ ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพและพฤติกรรมการดูดซับทั้งสิ้น การเลือกใช้วัสดุดูดซับควบคู่ไปกับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับจะช่วยให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีและช่วยลดปริมาณสี

ตารางที่ 2.6 การทบทวนงานวิจัยสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

Process conditions					Removal parameter (%)				References
ชนิดของสาร Coagulant	ความ เข้มข้น (mg/l)	pH	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะเวลา (min)	COD	BOD <sub>5</sub>	Color	Others	
PACl	300	7	Rapid 150	4	81	-	95	SS 97	Daud et al.(2015)
			Slow 20	30		O&G 97			
	800	4	Rapid 150	1	14	-		Irfan et al.(2017)	
PACl	150	4.4-4.7	Slow 50	2			52	TSS 47	Wong et al.(2007)
			Rapid 60-65	3	93.6	-	100	-	
			Slow 10	1					
Alum	500	7	Rapid 150	4	53	-	92	SS 92	Daud et al.(2015)
			Slow 20	30				O&G 99	
	800	5	Rapid 150	1	11	-		Irfan et al.(2017)	
Alum	200	4.1-4.3	Slow 50	2			38	TSS 46	Wong et al.(2007)
			Rapid 60-65	3	93.1	-			
			Slow 10	1				100	
Aluminium chloride	800	≤ 3	Rapid 150	1	13	-	52	TSS 48	Irfan et al.(2017)
			Slow 50	2					

ตารางที่ 2.6 การทบทวนงานวิจัยสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม (ต่อ)

Process conditions					Removal parameter (%)				References
ชนิดของสาร Coagulant	ความ เข้มข้น (mg/L)	pH	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะเวลา (min)	COD	BOD <sub>5</sub>	Color	Others	
Ferric Chloride	350	7	Rapid 150	4	63	-	93	SS 95	Daud et al.(2015)
			Slow 20	30				O&G 98	
	800	≤ 3	Rapid 150	1	16	-			Irfan et al.(2017)
		2	Slow 50	2			46	TSS 50	
Ferric Sulfate	450	7	Rapid 150	4	54	-	88	SS 88	Daud et al.(2015)
			Slow 20	30				O&G 94	
	800	5	Rapid 150	1	12	-			Irfan et al.(2017)
		4	Slow 50	2			37	TSS 42	
Magnesium Chloride	3,000	10.5-10.8	Rapid 60-65	3	85.7	-	99.9	-	Wong et al.(2007)
			Slow 10	1					

ตารางที่ 2.7 การทบทวนงานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี

ปัจจัย	อ้างอิง	สารที่ใช้ดูดซับ	ชนิดสี	ผลการวิจัย
ความเข้มข้นของสารละลาย	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นสูงขึ้น
	Aljeboree et al.(2017)	กะลามะพร้าว	Maxilon blue GRLและ Direct Yellow DY 12	
	Meziti and Boukerroui(2012)	regenerated spent bleaching earth (RSBE)	Basic dye	
ปริมาณตัวดูดซับ	Jain and Sikarwa(2008)	ซีลี้อย	คองโกเรด	การเพิ่มปริมาณสารดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่การดูดซับทำให้ดูดซับได้เพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของการดูดซับจะลดลง
	Aljeboree et al.(2017)	กะลามะพร้าว	Maxilon blue GRLและ Direct Yellow DY 12	
ระยะเวลาที่สารละลายสัมผัสกับสารดูดซับ	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น
	จักรกฤษณ์ และบุญส่ง (2555)	ชานอ้อย	Reactive Black 5	
ความเร็วรอบในการกวน	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	เมื่อความเร็วในการกวนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น
	Aljeboree et al.(2017)	กะลามะพร้าว	Maxilon blue GRLและ Direct Yellow DY 12	
พื้นที่ผิวของถ่าน	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	พื้นที่ผิวของสารดูดซับเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น
	Al-Degs et al.(2008)	Activated carbon	Reactive	

ตารางที่ 2.7 การทบทวนงานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี (ต่อ)

ปัจจัย	อ้างอิง	สารที่ใช้ดูดซับ	ชนิดสี	ผลการวิจัย
อุณหภูมิ	Aljeboree et al.(2017)	กะลามะพร้าว	Maxilon blue GRLและ Direct Yellow DY 12	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถความสามารถในการดูดซับของ GRL และ DY 12 ลดลง เพราะอุณหภูมิสูงทำให้ความสามารถในการละลายของสียอมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างสียอมและตัวทำละลายดีกว่าระหว่างยอมและ CSAC
	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับลดลง ที่อุณหภูมิ 30°C มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด
	Al-Degs et al.(2008)	Activated carbon	Reactive	ที่อุณหภูมิ 25 °C มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด
	จักรกฤษณ์ และบุญส่ง (2555)	ชานอ้อย	Reactive Black 5	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นด้วย
ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย	Tan et al. (2008)	กะลามะพร้าว	Methylene Blue	-
	Al-Degs et al.(2008)	Activated carbon	Reactive	pH สูงขึ้นความสามารถในการดูดซับลดลง
	Meziti and Boukerroui(2012)	regenerated spent bleaching earth (RSBE)	Basic dye	ที่ pH ต่ำ การดูดซับต่ำลงเนื่องจากpH เป็นกรดจะมี H + ไอออนส่วนเกินเกิดขึ้น ทำให้เกิดการแข่งขันกับกลุ่มไอออนบวกของสียอมทำให้การดูดซับลดลง
	Aljeboree et al.(2017)	กะลามะพร้าว	Maxilon blue GRLและ Direct Yellow DY 12	ที่ pH 3 การดูดซับเกิดได้สูงที่สุด แต่ที่ pH 10 ดูดซับได้ต่ำที่สุด

### 2.7.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับหรือการดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้อาจเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว- ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –Solid Interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

### 2.7.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

#### 1) การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

#### 2) การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่างดังตารางที่ 2.8

นอกจากการแบ่งประเภทการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแล้วยังอาจแบ่งประเภทการดูดซับตามกลไกเพิ่มเติมได้อีก คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (exchange



adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม และการดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุล ตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมการดูดซับนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและเคมี

ตารางที่ 2.8 ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี (กุลธิดา สะอาด, 2557)

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 kJ/mol	50-400 kJ/mol
อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์มาเกี่ยวข้อง	มีพลังงานก่อกัมมันต์มาเกี่ยวข้อง
รูปแบบชั้นของการดูดซับ	เกิดการดูดซับหลายชั้น	เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว
อัตราเร็วของการดูดซับ	คงที่	เพิ่มตามอุณหภูมิ

จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมผ้า ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีเมทิลเรดจากน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุดร้อยละ 64.47 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีเมทิลเรด คือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 g ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 mg/l และในสภาวะที่เป็นกรด (วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ, 2558) สอดคล้องกับผลการศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี Methylene Blue ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ เวลาเข้าสู่สมดุล ความเป็นกรดต่าง และไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่า ปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 32 g/l เวลาในการดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 150 นาที ความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 5.00 และเป็นไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และเมื่อใช้ถ่านในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมพบว่า สีย้อมในน้ำทิ้งตัวอย่างมีความเข้มข้นสีลดลงร้อยละ 63.5-75.6 (อรดี และ ศศิธร, 2557) และจากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตสำหรับการดูดซับสีย้อม พบว่าในการทดสอบการดูดซับสีย้อม และศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับสีย้อมด้วยแบบจำลองจลนศาสตร์อันดับหนึ่งเทียมและอันดับสองเทียม พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเป็น 500 mg/g และการดูดซับดังกล่าวเป็นการไปตามแบบจำลองจลนศาสตร์อันดับสองเทียม (ศรีสุตา และคณะ, 2558) ในการศึกษาของ Liu et al.(2012) และ Gecgel et al (2013) พบว่า ผลของ pH ในสารละลายส่งผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสีย้อมประจุลบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีเมื่อพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก (pH <math>pH\_{zpc}</math>) หรือในสภาวะที่เป็นกรด และจากผลการศึกษาของ Katheresan et al.(2018) พบว่าค่า pH ที่

มีผลต่อการดูดซับ คือ อัตราการดูดซับต่ำเมื่อ pH ต่ำและในทางกลับกันอัตราการดูดซับสูงสุดถ้า pH อยู่ที่ประมาณ 6 และในการศึกษาการดูดซับสีย้อมเอซิดซึ่งเป็นสีย้อมที่นิยมใช้ในการย้อมไหม พบว่า การดูดซับสีย้อมเอซิดส่วนใหญ่การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสอง (Ho and Chang, 2001 ; จักรกฤษณ์ อัมพูช, 2548; Cretescu et al.,2017)

### 2.7.3 สรุปการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากการทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น กะลามะพร้าว ชานอ้อย เปลือกปู เป็นต้น และจากงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่าสีย้อมในน้ำสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากกว่าร้อยละ 60 โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่มีขายอยู่ทั่วไป เนื่องจากการศึกษาระบบรวมนี้นี้ เป็นการศึกษาเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ดังนั้น ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์จึงเป็นทางเลือกที่ง่ายต่อการซื้อ และง่ายต่อการใช้งานที่สุด

## 2.8 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ทำให้สารอินทรีย์ลดลงได้โดย Isik and Sponza (2004) ได้ทำการศึกษาระบบบำบัด C.I. Direct Black 38 azo dye ที่ได้ผ่านระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) และต่อด้วยระบบ Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 18 ชั่วโมง ซึ่งระบบ CSTR สามารถบำบัดน้ำเสียสีโดยพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ COD BOD<sub>5</sub> TOC Total Aromatic Amines และสี โดยมีประสิทธิภาพ 64% 92% 54% 81% และ 67% ตามลำดับ การศึกษาของ Khelifi et al. (2008) ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดสีประเภท Indigo โดยมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 96 ชั่วโมง มีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.92 g/l-d พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีไอดีได้สูงถึง 80% และ 77% ตามลำดับ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการบำบัดสีเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสีได้ เช่น การศึกษาของ Kapdan et al. (2002) ได้นำระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มมาประยุกต์ในการบำบัดสีประเภท Blue G โดยมีสถานะในการเดินระบบคือ มีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 50 ชั่วโมง และมีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.96 g/l-d สามารถกำจัดสีและซีไอดีได้ 90% และ 82% ตามลำดับ ข้อดีอีกอย่างสำหรับการบำบัดน้ำเสียประเภทฟอกย้อมด้วยระบบแบบใช้อากาศสามารถลดสารพิษ Aromatic Amine ซึ่งเป็นสารพิษ และสารก่อมะเร็งได้

## 2.9 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรมให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นอาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ไว้ดังตารางที่ 2.9 ส่วนสี่

ให้ใช้วิธีเอดีเอ็มไอ (ADMI Method) ADMI ย่อมาจาก American Dye Manufacturers Institute ถือเป็นหน่วยมาตรฐานในการวัดค่าสี เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของสีย้อมและเม็ดสีในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอกระดาษอาหาร พลาสติก และเครื่องสำอาง จากการกำหนดค่าสีในน้ำทิ้ง ให้มีค่าสี (Color) ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ โดยประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยจะมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 07 มิถุนายน 2560 เป็นต้นไป

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพ.ศ. 2560

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	
พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน
ค่าความเป็นกรด ต่าง pH	5.5 – 9.0
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สี (Color)	ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS)	-กรณีระบายลงแหล่งน้ำ ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร -กรณีระบายลงแหล่งน้ำที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำทิ้งที่จะระบายได้ต้องมีค่าเกินกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดนั้นไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร
น้ำมันและไขมัน (Fat and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2.10 การมีส่วนร่วมของชุมชน

### 2.10.1 ความหมายและความสำคัญ

การมีส่วนร่วมของประชาชน หมายถึง กระบวนการที่ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องมีโอกาสได้เข้าร่วมในการรับรู้ เรียนรู้ ทำความเข้าใจ ร่วมแสดงทัศนะ ร่วมเสนอปัญหา/ประเด็นที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ร่วมคิดแนวทาง ร่วมการแก้ปัญหา ร่วมในกระบวนการตัดสินใจ และร่วมกระบวนการพัฒนาในฐานะหุ้นส่วนการพัฒนา (กรมชลประทาน, 2552)

การเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารราชการ หมายถึง กิจกรรมที่หน่วยงานภาครัฐสนับสนุนให้ประชาชนเข้าร่วมในขั้นตอนการบริหารราชการต่าง ๆ ตั้งแต่ร่วมคิด ร่วมตัดสินใจ ร่วมดำเนินการ ร่วมรับผลประโยชน์ และร่วมประเมินผล

### 2.10.2 ความสำคัญของการมีส่วนร่วมของประชาชน

1) เพื่อต้องการให้ประชาชนเกิดความผูกพัน รู้สึกรัก และมีจิตสำนึกเป็นเจ้าของท้องถิ่นของตนเอง

2) เพื่อให้หน่วยงานของรัฐต่าง ๆ บริหารงานด้วยความโปร่งใส ตรงกับความต้องการของประชาชน และรับผิดชอบต่อประชาชนมากที่สุด

3) เพื่อให้มีการตรวจสอบการบริหารงานของหน่วยงานของรัฐทุกขั้นตอน

### 2.10.3 กลุ่มเทคนิคการมีส่วนร่วมในการรับฟังความคิดเห็น

ประกอบด้วย 6 เทคนิค ดังนี้

#### 1) การสัมภาษณ์รายบุคคล (Community Interview)

เพื่อให้ได้ข้อมูล ความเป็นจริง ความคิดเห็นในเรื่องใดหรือหลายเรื่องอย่างลึกซึ้ง และตรงกับความเป็นจริงของสถานการณ์ เหตุการณ์ หรือโครงการที่จะดำเนินการในพื้นที่ ทำให้รับรู้ลักษณะทั่วไปของบุคลิกภาพ ทักษะ ค่านิยม และอื่น ๆ จากการแสดงอารมณ์หรือพฤติกรรมออกมา ระหว่างการสัมภาษณ์ ลักษณะของการสัมภาษณ์ที่ดี ควรต้องคำนึงถึงในเรื่องต่อไปนี้

-ผู้สัมภาษณ์ คือ ผู้ศึกษา หรือผู้สัมภาษณ์ ต้องได้รับการฝึกฝนวิธีการสัมภาษณ์ เข้าใจวัตถุประสงค์ของเรื่องที่จะทำการศึกษาอย่างละเอียด

-ผู้ให้สัมภาษณ์ คือ บุคคลสำคัญในการให้ข้อมูลที่แท้จริง ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม วัฒนธรรมและประเพณีของผู้ให้สัมภาษณ์ ส่งผลต่อการแสดงออกในการตอบคำถามหรือไม่กล้าตอบคำถาม

#### 2) การสนทนากลุ่ม (Focus Group)

เพื่อใช้สร้างหรือทดสอบข้อมูลความจริงในเรื่องต่าง ๆ ที่เกิดข้อสงสัยและต้องการได้รับคำตอบจากกลุ่มคนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สืบหาความคิด ทักษะของบุคคลในความคิดเห็นเรื่องหนึ่ง ๆ อย่างไรบ้าง และประมวลความคิดเห็นประกอบการตัดสินใจดำเนินการในเรื่องนั้น ๆ และค้นหาคำตอบที่คลุมเครือ โดยอาศัยกลุ่มคนต่าง ๆ ในการแลกเปลี่ยนคำตอบที่ยังไม่ชัดเจน เทคนิคการสนทนากลุ่มย่อยเป็นการสนทนาแบบหลายคน มีผู้ดำเนินการสนทนา ผู้จัดบันทึก ผู้เฝ้าอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และวัสดุอุปกรณ์ มีบรรยากาศที่เป็นกันเอง สถานที่ร่มรื่น นั่งล้อมกันเป็นวงกลม เพื่อเห็นสีหน้าท่าทาง คำพูดของกันและกัน การสนทนามีจุดรวมศูนย์ของประเด็นเนื้อหาพร้อมกัน

#### 3) การแสดงความคิดเห็นผ่านเว็บไซต์ (Interactive Website)

ประชาชนสามารถแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับโครงการหรือกิจกรรมได้ อาจจัดให้เป็นเครื่องมือรับฟังความคิดเห็นของประชาชนแบบทางเดียว หรือแบบสองทางก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายของหน่วยงานบุคคล หรือองค์กรอื่นที่ประสงค์ได้รับความเห็นของประชาชน อาจดำเนินการได้ด้วยการนำข้อมูลและข่าวสารที่จัดให้บริการแก่ประชาชนไว้ที่ศูนย์ข้อมูลข่าวสารในรูปเอกสาร (Hard Copy) บรรจุไว้ในเว็บไซต์ในรูปเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (Soft Copy or Electronic Document) ในระบบฐานข้อมูล (Database System) และดำเนินการเผยแพร่ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ประชาชนสามารถแสดงและส่งความคิดเห็นของตนไปยังหน่วยงาน บุคคลหรือองค์กรอื่นที่ดำเนินการได้ แต่เป็นการส่งหรือแสดงความคิดเห็นผ่านเว็บไซต์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตและคอมพิวเตอร์ การจัดให้ประชาชนแสดงความคิดเห็นผ่านเว็บไซต์อาจดำเนินการโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการหรืออาจดำเนินการโดยบุคคลหรือองค์กรอื่นที่สนใจก็ได้

#### 4) การสำรวจความคิดเห็น (Surveys and Telephone Polls)

เป็นการสำรวจความคิดเห็นทั่วไปหรือเจาะจงประเด็น โดยใช้แบบสอบถาม (การพบปะหรือส่งไปรษณีย์) ด้วยการเขียนตอบหรือการถามตอบด้วยปากเปล่า (ทั้งพบปะตัวต่อตัวและทางโทรศัพท์) เป็นเทคนิคที่ใช้วัดปริมาณได้ซึ่งจะทำให้เห็นรูปธรรมที่เทคนิคอื่นไม่สามารถทำได้

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้สำรวจ ถ้าเป็นกลุ่มเล็กก็จะสอบถามทั้งหมด หรือหากเป็นกลุ่มใหญ่ก็จะสอบถามบาง คนโดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่าง ต้องใช้วิธีการทางสถิติเพื่อเลือกกลุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล แปลผล อย่าง เหมาะสม เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตั้งคำถามและการบริหารจัดการ ดำเนินการตลอดกระบวนการ ผลที่ได้จะคลาดเคลื่อนได้ง่าย ถ้าผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับการฝึกฝนที่ดี หรือมี ทัศนคติในเรื่องนั้นเป็นส่วนประกอบของการสัมภาษณ์ชุมชนโดยตรง

5) สายด่วนสายตรง (Hot line)

เป็นเครื่องมือที่ใช้รับฟังความคิดเห็นของประชาชน/ชุมชนทางโทรศัพท์ โดยที่ผู้ โทรศัพท์เข้ามาจะโทรฟรีโทรได้ตลอดเวลาทันทีที่ต้องการ เป็นการสื่อสารได้ทั้งทางเดียว และสองทาง คือให้ประชาชนโทรศัพท์เข้ามาสอบถามข้อมูล หรือเสนอข้อมูลหรือความคิดเห็นก็ได้ เป็นการเตรียม ข้อมูลที่ชัดเจน (ไม่ใช่ความคิดเห็น) โดยการบันทึกเทปไว้ เพื่อให้ประชาชนสามารถเลือกฟังรายละเอียด ที่เขาสนใจ โดยกดหมายเลขตามคำแนะนำในเทปได้ตลอดเวลา ประชาชนที่โทรศัพท์เข้ามาเพื่อเสนอ ข้อมูลหรือความคิดเห็นที่จะได้รับการบันทึกเทปไว้โดยอัตโนมัติตลอดเวลา ถ้าเป็นการแลกเปลี่ยน ข้อมูลเห็นจะมีเจ้าหน้าที่ประจำ

6) การรับฟังความคิดเห็นอย่างเป็นทางการ (ประชาพิจารณ์)

เป็นกิจกรรมที่ต้องจัดขึ้นก่อนการตัดสินใจ จึงอาจจัดในช่วงการร่างใบอนุญาต หรือช่วงที่หน่วยงานภาครัฐทำการปรับปรุงตัดแปลงข้อเสนอที่เคยจัดทำขึ้น หรือในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ที่เหมาะสม แต่ต้องเป็นก่อนทำการตัดสินใจขั้นสุดท้าย มีลักษณะเป็นทางการ กล่าวคือประชาชนจะ เสนอความคิดเห็น และจะต้องมีการจัดทำการบันทึกคำให้การ เป็นการสื่อสารทางเดียว กล่าวคือเป็น การให้ข้อมูลเพียงด้านเดียวจากประชาชนหรือผู้แทนกลุ่มที่ส่วนได้เสีย ผู้จัดรับฟังความคิดเห็นจะนั่งฟัง และทำการบันทึก เนื่องจากเป็นเวทีการรับฟังความคิดเห็นของประชาชน มิใช่เวทีการสนทนาโต้ตอบ แลกเปลี่ยนความเห็นกับภาครัฐ ผลการรับฟังความคิดเห็น แม้จะไม่มีผลผูกพันให้หน่วยงานทางปกครอง ต้องปฏิบัติตาม แต่หน่วยงานจำเป็นต้องนำข้อคิดเห็นทั้งด้านบวกและด้านลบ รวมทั้งประเด็นสำคัญไป ประกอบการพิจารณา

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัย “ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน; กรณีศึกษา อ.ปรางค์ชัย จ.นครราชสีมา มีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

#### 3.1 พื้นที่การศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาภายในพื้นที่อำเภอปรางค์ชัย จังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตผ้าไหมที่มีชื่อเสียงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะอำเภอปรางค์ชัยมีกลุ่มทอผ้าไหมหลายหมู่บ้าน และโรงงานทอผ้าไหม ตั้งอยู่ภายในพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตการศึกษาเป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน เนื่องจากเป็นกลุ่มที่ขาดการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกหลักการ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงคัดเลือกเฉพาะกลุ่มทอผ้าไหมหรือสถานประกอบการขนาดเล็กภายในอำเภอเมืองปรางค์ชัย โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก ได้แก่ เป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน เพื่อเป็นตัวแทนของสถานประกอบการสิ่งทอขนาดเล็ก โดยทำการคัดเลือกจากกระบวนการผลิตผ้าไหมที่ใช้สีย้อมเคมี และสีย้อมธรรมชาติแห่งละ 1 ที่ใช้เกณฑ์ความสมัครใจและความพร้อมในการให้ข้อมูล ในการศึกษาครั้งนี้คัดเลือกมา 2 แห่ง ดังนี้

##### 3.1.1 วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านดู่

ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 29 หมู่ 6 ตำบลเมืองปัก อำเภอปรางค์ชัย จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30150 มีสมาชิกทั้งหมด 24 คน ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตสินค้าผลิตภัณฑ์ผ้าทอและผ้าสิ่งทอจากไหม วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านดู่ เป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติในกระบวนการย้อม

##### 3.1.2 ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย

ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 118/1 หมู่ 7 ถนนสีปศิริ ตำบลนกออก อำเภอปรางค์ชัย จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประกอบกิจการผลิตและจำหน่ายผ้าไหม ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับไหมทุกประเภท ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย เป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีในกระบวนการย้อม

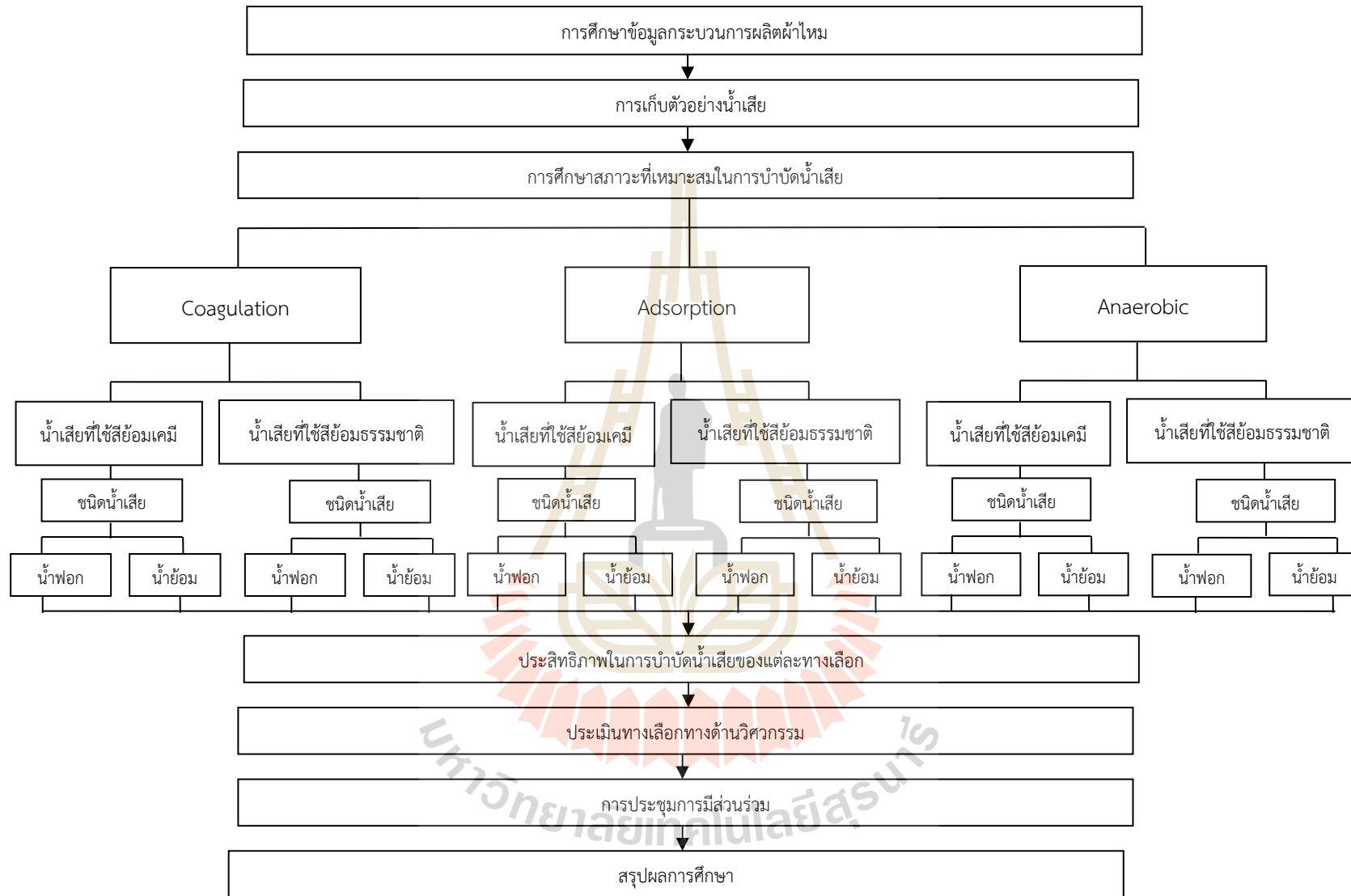
#### 3.2 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลภาคสนาม

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลภาคสนามดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้

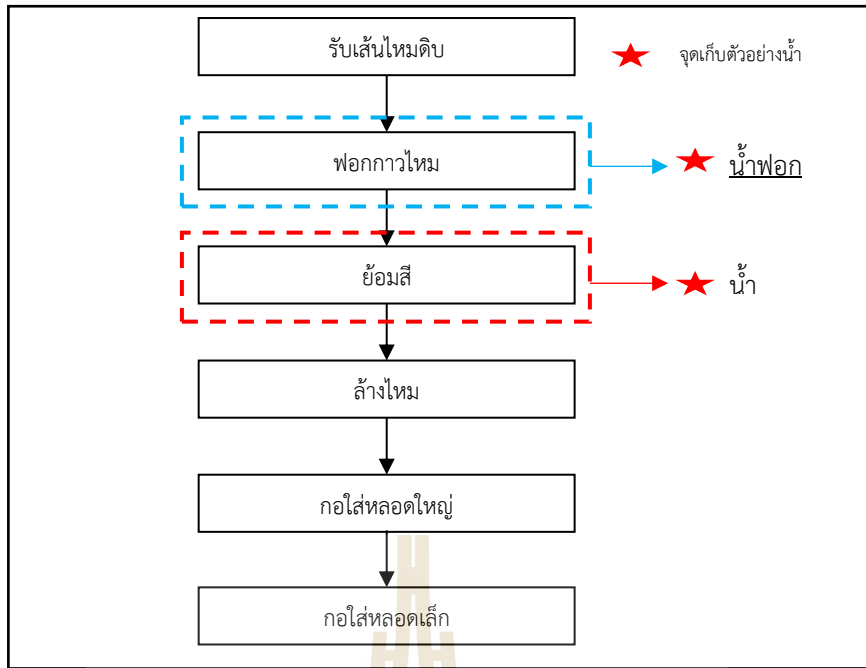
1) การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

1.1) การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม

ลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลสถานประกอบการผลิตผ้าไหมที่อยู่ในพื้นที่ อำเภอปรางค์ชัย จังหวัดนครราชสีมา เพื่อทำการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต รายละเอียดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำ ปริมาณสารเคมี ชนิดสีที่ใช้ ข้อมูลลักษณะน้ำเสียเบื้องต้น และนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยให้สมคุณมวลของกระบวนการผลิต และการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ประกอบการ พร้อมทั้งทบทวนจากงานวิจัยที่ผ่านมา



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา



รูปที่ 3.2 จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1.2) การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บน้ำตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต มีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียสำหรับสถานประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติแสดงในรูปที่ 3.2 โดยแบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีธรรมชาติ สถานประกอบการสีย้อมเคมีมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียแสดงในรูปที่ 3.3 แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีเคมี

1.3) ความถี่ในการเก็บตัวอย่างและรายละเอียดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

ความถี่ในการการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่าง

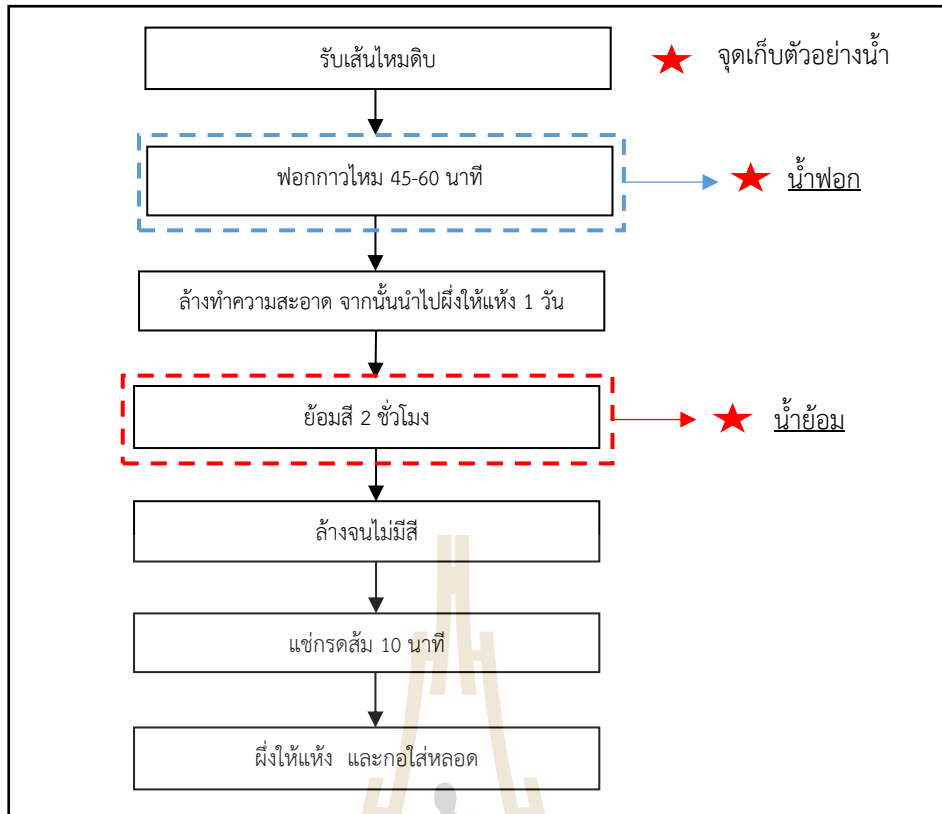
รายละเอียด	สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ		สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี	
	น้ำฟอก	น้ำย้อม*	น้ำฟอก	น้ำย้อม
จำนวนครั้ง	11	13	9	10

หมายเหตุ \* ในการเก็บน้ำย้อมสีธรรมชาติทั้งหมด 13 ครั้ง ประกอบไปด้วยน้ำย้อมที่สกัดจากครั้ง 5 ครั้ง จากเข 3 ครั้ง จากฝักคูณ 2 ครั้ง และมีน้ำตัวอย่างที่ไม่ทราบวัตถุดิบ 3 ครั้ง

1.4) การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน รายละเอียดพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2





รูปที่ 3.3 จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะน้ำ (APHA, AWWA, and WEF, 2012)

Parameter	Unit	Analytical methods
pH	-	pH Meter
Color	ADMI	เครื่องวัดสี HunterLab/USVIS แบบตั้งโต๊ะ
COD	mg/L	5220 C. Closed Reflux ,Titrimetric Method
TS	mg/L	2540 B. Total Solid Dried at 103-105° C
TDS	mg/L	2540 C. Total Dissolved Solid Dried at 180° C
TSS	mg/L	2540 D. Total Suspended Solid Dried at 180° C
TVS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550° C
VSS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550° C
VDS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550° C

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนของสามทางเลือก

2.1) ทางเลือกที่ 1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดของกระบวนการโคแอกกูเลชันจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ในน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และจากการพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD พบว่า PACl และ FeCl<sub>3</sub> มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD สูงเมื่อเทียบกับสารโคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น ๆ และหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้สารทั้ง 2 ชนิด เป็นสารโคแอกกูแลนต์สำหรับกระบวนการ

โคแอกกูเลชัน ในการศึกษาคั้งนี้ใช้ PACl และ FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 50 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้ Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอนในการศึกษาวิจัย ซึ่งมีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร และใช้ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ความเข้มข้น 0.1 N และ NaOH ความเข้มข้น 0.1 N ในการปรับ pH โดยทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการก่อตะกอนและรวมตะกอนได้แก่ ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ ,ปริมาณสารช่วยตกตะกอน และ pH เป็นต้น ในการศึกษาหาค่าสภาวะที่เหมาะสมจะใช้เครื่อง Jar Test เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ และมีการกำหนดสภาวะในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่กำหนดสำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

สภาวะ	หน่วย	กวนเร็ว	กวนช้า	การตกตะกอน
ความเร็วรอบ	รอบ/นาที	200	40	-
ระยะเวลา	นาที	1	15	30
ปริมาตรน้ำ	mL	500	500	500

## 2.2) ทางเลือกที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับ

### 2.2.1) การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่สั่งซื้อจากบริษัท ซี.ไอ.แกนด์ คาร์บอน จำกัด ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดขนาด 8 x30 และ Iodine number 1,200 mg/g (รายละเอียดของถ่านกัมมันต์แสดงในภาคผนวก ค.) มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับ

### 2.2.2) การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับเพื่อหาอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิด และนำไปเทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย คือ สมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อันดับหนึ่ง และอันดับสอง ตามลำดับ ซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ทั่วไปที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression correlation, R<sup>2</sup>) ในการศึกษาจะนำน้ำเสีย 1,000 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่ถ่านกัมมันต์ 5 กรัม และนำไปกวนด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยค่าสี และ pH จะมีค่าเท่ากับน้ำเสียจริงในแต่ละครั้ง เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาทำการทดลองเป็นน้ำเสียจริงค่าสี และ pH เริ่มต้นจึงไม่เท่ากัน จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสียทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลของการเกิดปฏิกิริยา รายละเอียดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.4

### 2.2.3) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำเสีย ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง โดยวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังการทดลอง รายละเอียดขั้นตอนการศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.5

#### 2.2.3.1) ศึกษาระยะเวลาสัมผัสสำหรับการดูดซับน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาระยะเวลาสัมผัสสำหรับการดูดซับน้ำเสีย โดยใช้ น้ำเสียปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่ถ่านกัมมันต์ 5 กรัม และนำไปกวนด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องส่วนค่าสี และ pH จะมีค่าเท่ากับน้ำเสีย

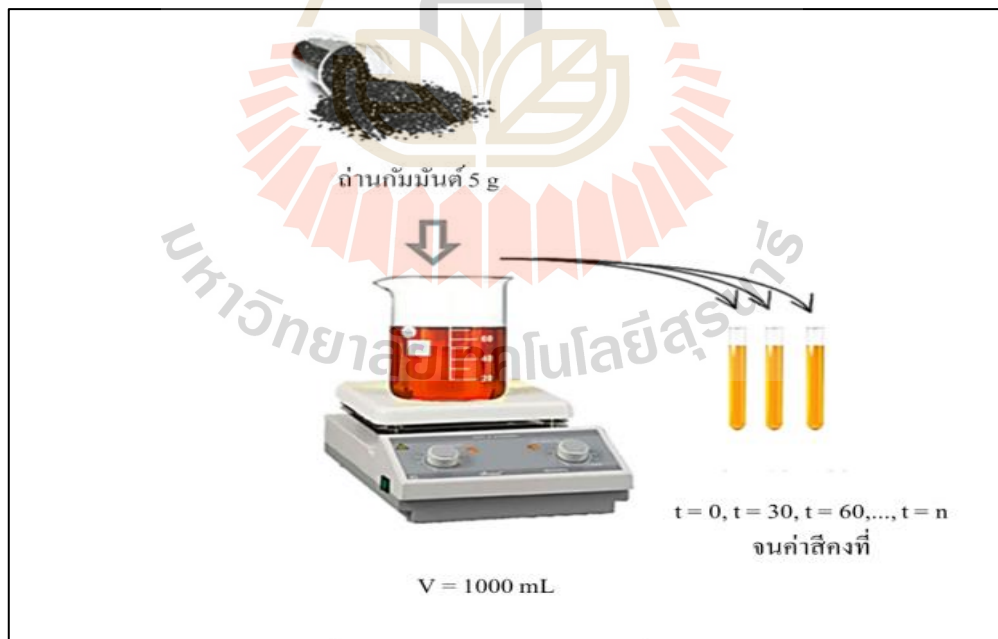
จริงในแต่ละครั้ง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที จนครบ 240 นาที จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย รายละเอียดของสภาวะในการศึกษาสรุปในตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

2.2.3.2) ศึกษาผลของความเป็น pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

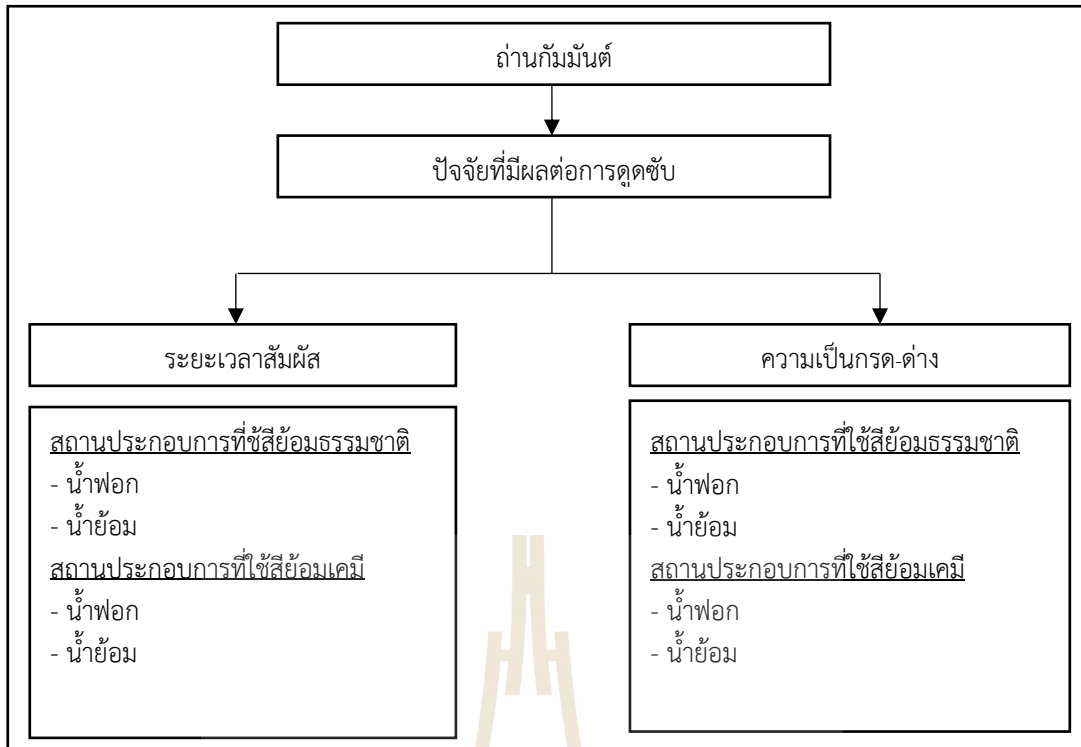
นำน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นปรับค่า pH ของน้ำเสียให้มีค่าแตกต่างกัน 6 ค่า ได้แก่ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ 12.0 ด้วย  $H_2SO_4$  1 N และ NaOH 1 N ใช้ถ่านกัมมันต์ 8 g จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากผลการศึกษา ณ ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย รายละเอียดของสภาวะในการศึกษาสรุปในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 สภาวะในการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	น้ำเสียสีส้มเคมี		สีส้มธรรมชาติ	
	น้ำย้อม	น้ำฟอก	น้ำย้อม	น้ำฟอก
ค่าสี (Pt-Co)	ตามค่าน้ำเสียจริง			
ปริมาณน้ำเสีย (mL)	1,000	1,000	1,000	1,000
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	5	5	5	5
ความเร็วรอบ(rpm)	150	150	150	150
pH	ตามค่าน้ำเสียจริง			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง



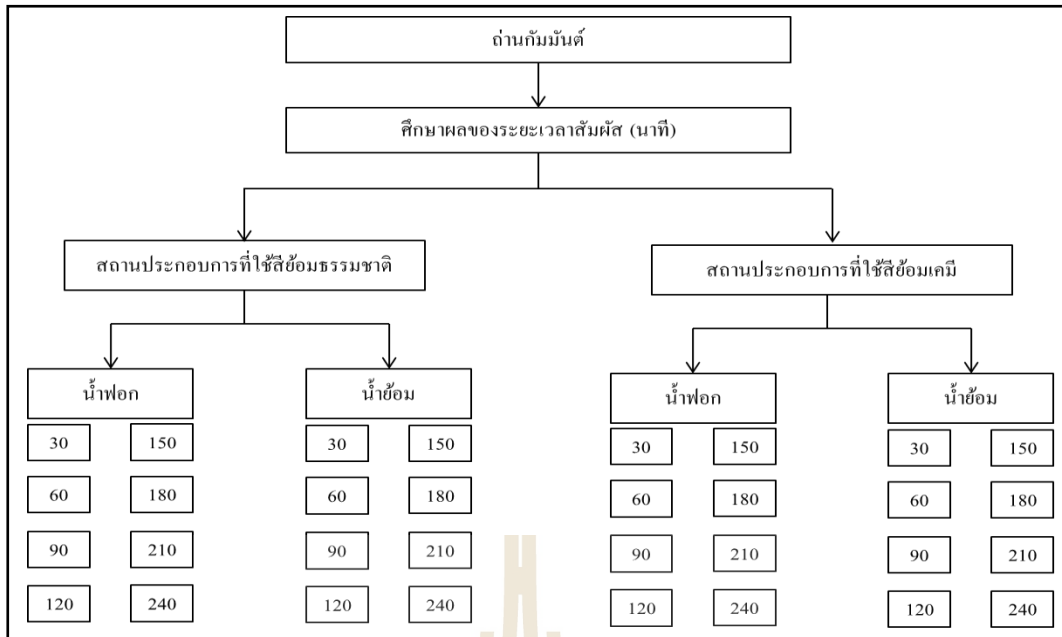
รูปที่ 3.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสีย



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย

ตารางที่ 3.5 สภาวะในการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

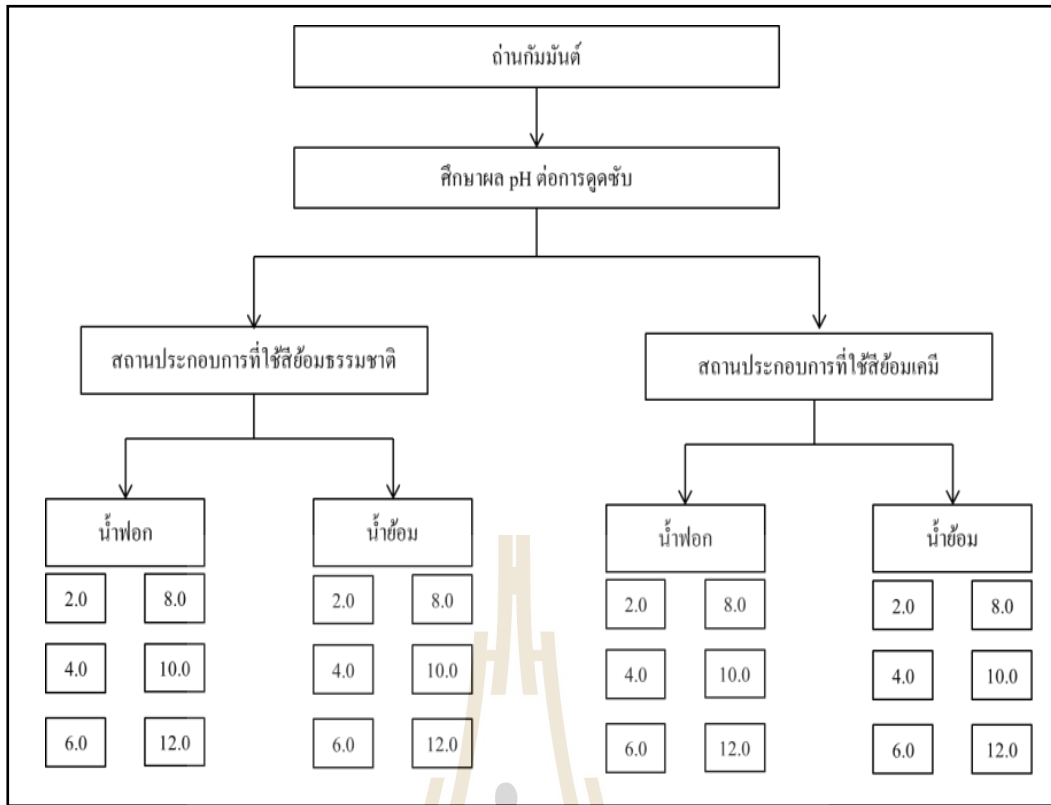
ปัจจัย	น้ำเสียสีย้อมเคมี		สีย้อมธรรมชาติ	
	น้ำย้อม	น้ำฟอก	น้ำย้อม	น้ำฟอก
ค่าสี (Pt-Co)	ตามค่าน้ำเสียจริง			
ปริมาณน้ำเสีย (mL)	1,000	1,000	1,000	1,000
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	5	5	5	5
ความเร็วรอบ (rpm)	150	150	150	150
ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	30,60,90,120,150,180,210,240			
pH	ตามค่าน้ำเสียจริง			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.6 แผนผังการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.6 สภาวะในการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	น้ำเสียสี้อมเคมี		สี้อมธรรมชาติ	
	น้ำย้อม	น้ำฟอก	น้ำย้อม	น้ำฟอก
ค่าสี (Pt-Co)	ตามค่าน้ำเสียจริง			
ปริมาณน้ำเสีย (mL)	200	200	200	200
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	8	8	8	8
ความเร็วรอบ(rpm)	150	150	150	150
ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2.2.3.1			
pH	2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง



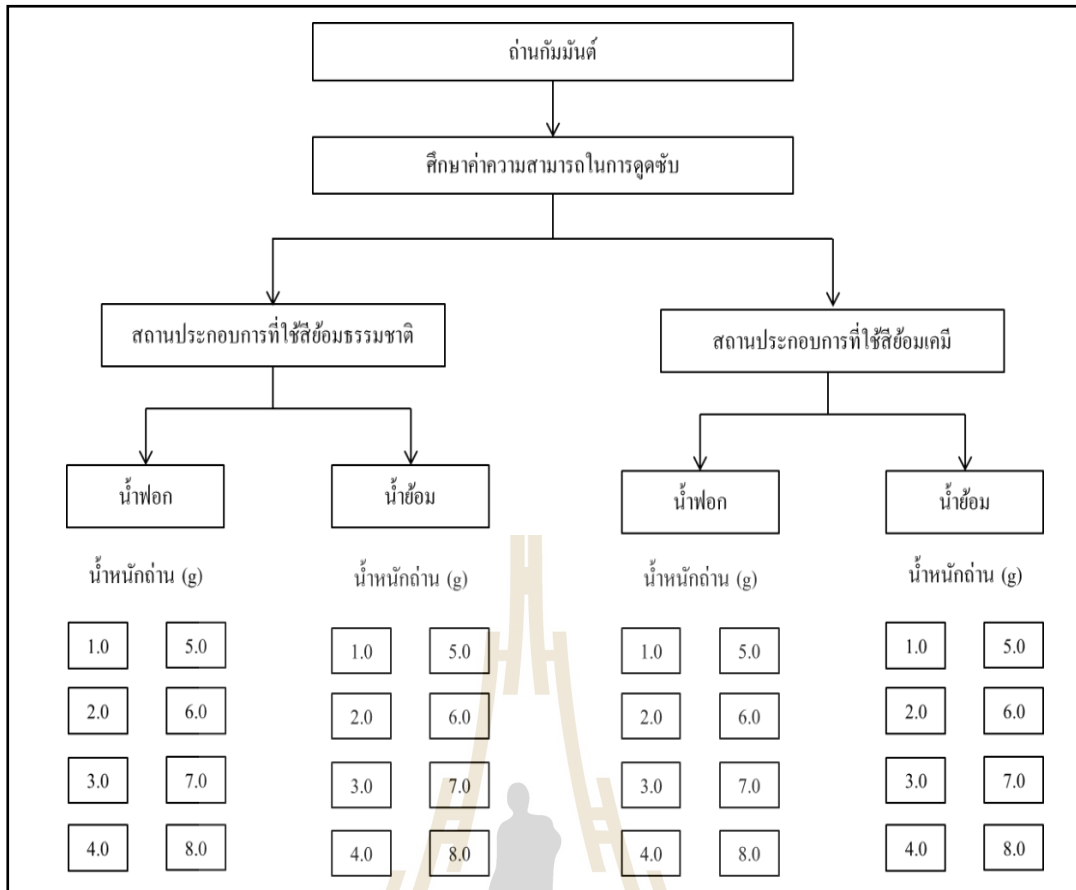
รูปที่ 3.7 แผนผังการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

#### 2.2.4) การศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

นำน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ โดยทำการศึกษาปริมาณถ่านที่แตกต่างกัน 8 ค่า ได้แก่ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 g นำไปเขย่าความเร็วรอบ 150 รอบ ต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และสถานะที่เหมาะสมดังสรุปในตารางที่ 3.7 จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้น และที่เหลืออยู่ในน้ำเสียรายละเอียดการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.8 ผลการศึกษาที่ได้ นำไอโซเทอร์มของ Langmuir และ Freundlich มาทดสอบเพื่อประเมินค่าคงที่ในการดูดซับและค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.7 สถานะในการศึกษาผลของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	น้ำเสียสีย้อมเคมี		สีย้อมธรรมชาติ	
	น้ำย้อม	น้ำฟอก	น้ำย้อม	น้ำฟอก
ค่าสี (Pt-Co)	น้ำเสียจริง	น้ำเสียจริง	น้ำเสียจริง	น้ำเสียจริง
ปริมาณน้ำเสีย (mL)	200	200	200	200
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0			
ความเร็วรอบ (rpm)	150	150	150	150
ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2.2.3.1			
pH	ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2.2.3.2			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.8 แผนผังการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของด่านกัมมันต์

### 2.3) ทางเลือกที่ 3 การศึกษาระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

#### 2.3.1) การสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต และลักษณะน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนเบื้องต้น พบว่า น้ำเสียจากสถานประกอบการมีปริมาณไม่สม่ำเสมอ ทำให้ประสบปัญหาการนำน้ำเสียมาใช้ในการศึกษา โดยในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากน้ำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศต้องการน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นอาหารให้สำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้น้ำเสียจากสถานประกอบการไม่เพียงพอต่อการเดินระบบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการทบทวนเอกสารงานวิจัยและข้อมูลการสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง โดยจะทำการสังเคราะห์น้ำเสีย 2 ชนิด ได้แก่ น้ำฟอกสังเคราะห์ และน้ำย้อมสังเคราะห์ ซึ่งมีรายละเอียดการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนี้

1) การสังเคราะห์น้ำฟอกอ้างอิงงานวิจัยของ ศิริพร คำแน่น (2554) โดยรายละเอียดการสังเคราะห์น้ำเสียแสดงดังตารางที่ 3.8 นำสารดังกล่าวไปละลายและต้มภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำฟอกที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวอย่างน้ำเสียจากสถานประกอบการ โดยนำมาวิเคราะห์หาสัดส่วนของปริมาณของแข็ง และค่า COD สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ใช้สีย้อมเคมี และสีย้อมธรรมชาติ

ตารางที่ 3.8 รายละเอียดการสังเคราะห์น้ำฟอกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ (ศิริพร คำแน่น, 2554)

สารเคมี	น้ำหนักของสาร (mg) ต่อน้ำปริมาตร 1 L
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COONa	53.55
CH <sub>3</sub> COONa	204.90
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	176.10
NaCl	7.00
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	3.40
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	4.00
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	36.70
สีย้อมธรรมชาติสังเคราะห์	สารสกัดจากใบสัก*
สีย้อมเคมีสังเคราะห์	สีย้อมเอซิด*

สีย้อมธรรมชาติสังเคราะห์ สารสกัดจากใบสัก\*

สีย้อมเคมีสังเคราะห์ สีย้อมเอซิด\*

2) การสังเคราะห์น้ำย้อม แบ่งเป็น 2 ชนิด มีรายละเอียดการเตรียมน้ำย้อม ดังนี้

2.1) การสังเคราะห์น้ำย้อมสีธรรมชาติ จะใช้ใบสักเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และเป็นสีที่นิยมใช้ในการย้อมสีผ้าไหม เพราะเป็นวัตถุดิบที่ให้สีโทนสีอ่อน เช่น สีเขียวอมน้ำตาล สีนํ้าตาลอ่อน ซึ่งเป็นสีสุภาพไม่ฉูดฉาดทำให้สามารถขายได้ตลอด การสกัดสีย้อมจากใบสักสามารถทำได้ ดังนี้ นำใบสักที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป 15 กิโลกรัม มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และต้มในโดยใช้อัตราส่วน 1 : 2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองจะได้น้ำย้อมที่มีสีนํ้าตาล (ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2550) และจากเก็บข้อมูลวัตถุดิบในการผลิตของกลุ่มทอผ้าไหม พบว่าเป็นสีที่นิยมใช้ในพื้นที่อำเภอปักธงชัย

2.2) การสังเคราะห์น้ำย้อมสีสังเคราะห์ สังเคราะห์โดยนำสีย้อมเอซิดมาละลายในน้ำโดยใช้อัตราส่วน 8.88 กรัม ต่อน้ำ 10 ลิตรเช่นเดียวกับที่สถานประกอบการใช้ในกระบวนการผลิต เมื่อสังเคราะห์น้ำเสียได้แล้ว จึงนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 และนำผลการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์มาเทียบกับน้ำเสียตัวอย่างจากสถานประกอบการ เพื่อให้รู้สาเหตุการสังเคราะห์เป็นตัวแทนของน้ำเสียตัวอย่างจากสถานประกอบการ และสามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยได้

2.3) การเตรียมชุดการทดลองสำหรับการวิจัย

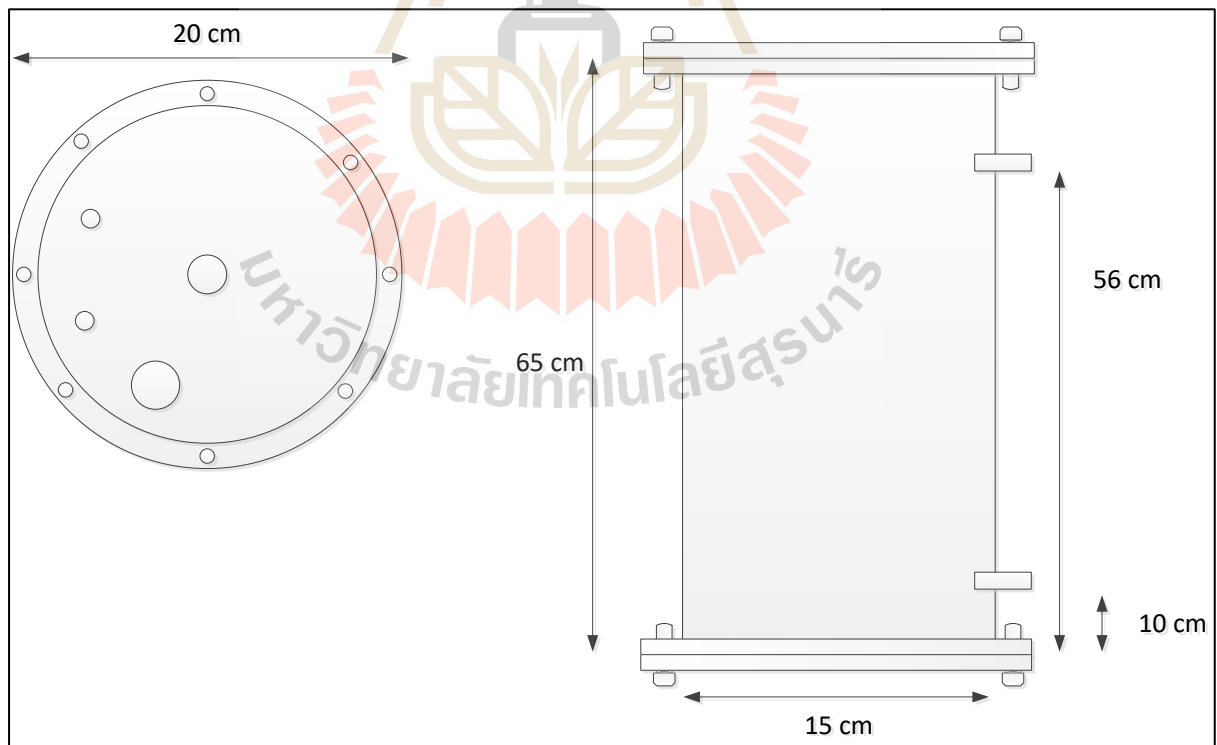
จากการทดสอบในเบื้องต้นทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบที่ใช้ในการศึกษาระบบบำบัดแบบชีวภาพ ซึ่งทางผู้วิจัยได้สนใจระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย ทั้งนี้ได้ทำการออกแบบระบบให้มีขนาดในการทดลองเท่ากับ 10 ลิตร โดยสัดส่วนของสัดส่วนของค่าความสูง : เส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 3.78 : 1 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ (Metcalf & Eddy 1999) รายละเอียดการเลือกสัดส่วนในการออกแบบแสดงดังตารางที่ 3.9 ซึ่งในการศึกษาคั้งนี้ได้เลือกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm (6 นิ้ว) ความสูงถึง (H) 56 ซม. มีขนาดถึงเท่ากับ 10 ลิตร รูปถังปฏิกิริยาที่ออกแบบเพื่อใช้ในการศึกษาคั้งนี้ ดังแสดงแบบแปลนในรูปที่ 3.9 และถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้แสดงในรูปที่ 3.10



ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลาง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D)	ปริมาตรของถัง (ลิตร)	ความสูงถัง (H) (ซม.)	H : D
10 cm (4 นิ้ว)	5	63.67	6.37 : 1
15 cm (6 นิ้ว)	5	28.29	1.89 : 1
20 cm (8 นิ้ว)	5	15.92	0.79 : 1
25 cm (10 นิ้ว)	5	10.19	0.41 : 1
10 cm (4 นิ้ว)	10	127.32	12.73 : 1
15 cm (6 นิ้ว)	10	56.59	3.78 : 1
20 cm (8 นิ้ว)	10	31.83	1.59 : 1
25 cm (10 นิ้ว)	10	20.37	0.82 : 1
10 cm (4 นิ้ว)	15	190.99	19.10 : 1
15 cm (6 นิ้ว)	15	84.89	5.66 : 1
20 cm (8 นิ้ว)	15	47.75	2.39 : 1
25 cm (10 นิ้ว)	15	30.56	1.23 : 1
10 cm (4 นิ้ว)	20	254.78	25.48 : 1
15 cm (6 นิ้ว)	20	113.23	7.55 : 1
20 cm (8 นิ้ว)	20	63.69	3.18 : 1
25 cm (10 นิ้ว)	20	40.76	1.63 : 1

\*\*\*เลือก 15 cm (6 นิ้ว) ความสูงถัง (H) 56 ซม. ขนาดถัง 10 ลิตร



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างถังปฏิบัติการแบบไม่ใช้ออกซิเจน



รูปที่ 3.10 ชุดถังปฏิบัติการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้ในโครงการวิจัย

### 2.3.2) สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศโดยน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็กที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจะสังเคราะห์ตามสัดส่วนของการใช้วัสดุสำหรับการย้อมและการฟอกจากสถานประกอบการ จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ มัชชาดาไหมไทย จะเป็นตัวแทนของสีย้อมเคมีและกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านดู่ จะเป็นตัวแทนของสีย้อมธรรมชาติ สำหรับน้ำฟอกขาวไหมจะทำการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นและทำการสังเคราะห์ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจริงที่ได้จากการสำรวจ โดยสภาวะที่ใช้ในการเดินระบบแสดงดังตารางที่ 3.10 มีการควบคุมระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 2.5

วัน ดำเนินการศึกษาน้ำเสียแต่ละประเภทโดยพิจารณาจากสปีชีส์ที่ใช้ในการย่อยและการฟอกขาวใหม่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี และสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะการเดินระบบแบบไม่ใช้อากาศ โดยวิเคราะห์ค่า COD และสี สำหรับวิธีวิเคราะห์อ้างอิงจาก Standard Methods (APHA, et al., 2005)

ตารางที่ 3.10 สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

สภาวะการเดินระบบ	น้ำเสียน้ำเสียเคมี	น้ำเสียน้ำเสียธรรมชาติ	น้ำฟอก
อัตราการไหล (ลิตรต่อวินาที)	4	4	4
ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (ลิตร)	10	10	10
ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	2.5	2.5	2.5
COD เฉลี่ยน้ำเสีย (mg/l)	2,618	6,248	8,503
อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ (kg COD/m <sup>3</sup> -d)	1.047	2.499	3.401

3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 3 ทางเลือก

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ทางเลือก ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ นำผลการศึกษาที่ได้ไปประเมินทางเลือกที่เหมาะสมทางด้านวิศวกรรม

### 3.3 การประเมินทางเลือกทางด้านวิศวกรรม

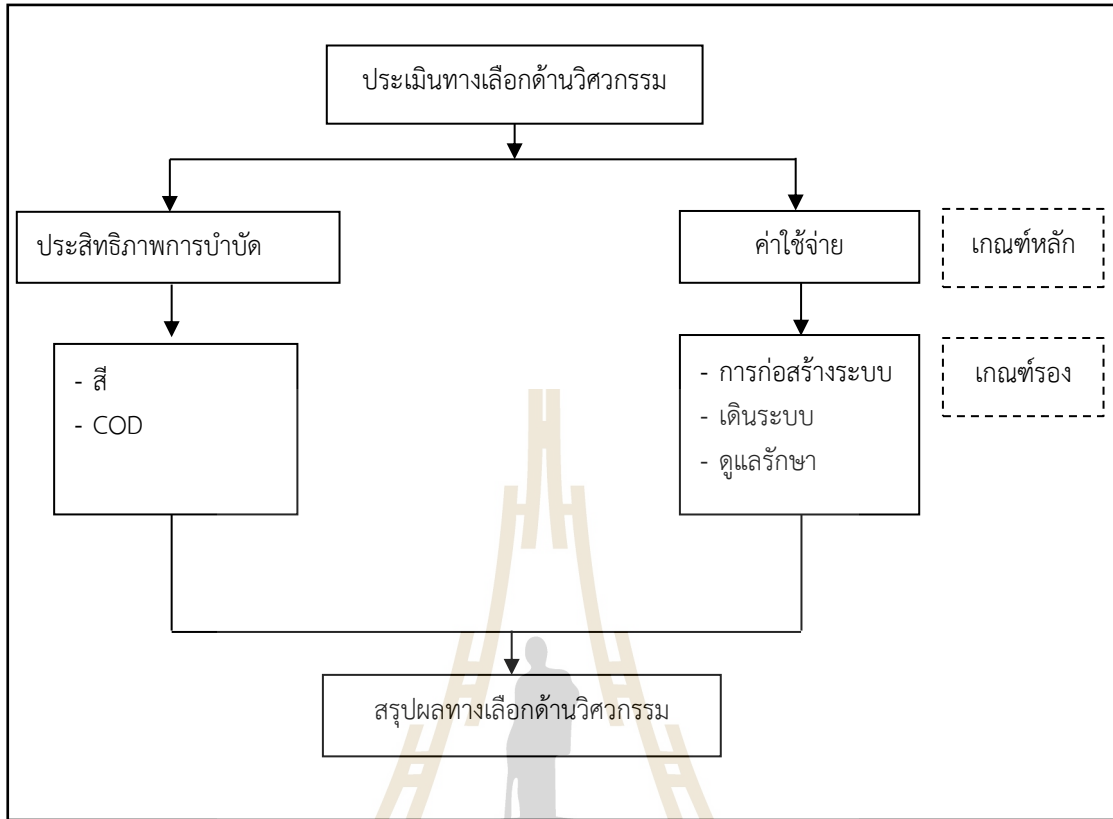
ในการประเมินทางเลือกทางด้านวิศวกรรมจะใช้ข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของ แต่ละทางเลือก และค่าใช้จ่าย (ค่าก่อสร้าง, ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และค่าดูแลรักษาระบบ) แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยการประเมินทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียจะใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ช่วยในการตัดสินใจ เนื่องจากเป็นกระบวนการตัดสินใจจากเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินอย่างเป็นระบบ และให้ผลที่น่าเชื่อถือกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากมีการเปรียบเทียบเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ละคู่ก่อนการตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินเป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ (สุธรรม อรุณ, 2554) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงนำกระบวนการ AHP มาช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกในการหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeng et al. (2007) และ Girish et al. (2011) ศึกษาการประเมินทางเลือกของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ และค่าใช้จ่ายของระบบ ได้แก่ ค่าก่อสร้าง, ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และค่าดูแลรักษาระบบ ขั้นตอนในการประเมินมีรายละเอียดดังนี้

1) คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลักที่ใช้ในการประเมินทางเลือกด้านวิศวกรรม คือ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และค่าใช้จ่ายของระบบ โดยการสร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นคู่

2) ขั้นตอนการหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

การคำนวณความสอดคล้องกันของเหตุผล (Concurrency Reasonable; C.R.) เป็นการตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้องและสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ ในการคำนวณหาค่า C.R. ต้องคำนวณหาค่า  $\lambda_{max}$  ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำค่าเปรียบเทียบในแต่ละเกณฑ์คูณกับค่าความสำคัญ ผลลัพธ์ที่ได้นำมาหารด้วยค่าความสำคัญ จากนั้นนำผลหารมารวมกันและหารด้วยจำนวนเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาให้มีความสำคัญ (n) ดังสมการที่ 3-1 จากนั้นคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) ดังสมการที่ 3-2 และคำนวณหาค่า C.R. ดังสมการที่ 3-3 โดยอาศัย

ค่าดัชนีชี้วัดความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.) ดังแสดงในตารางที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินทางเลือกด้านวิศวกรรม

การแปลผล ถ้า  $C.R. \leq 0.1$  แสดงว่าค่าของแต่ละเกณฑ์มีความสอดคล้องกันสามารถนำค่านำหนักสำคัญไปใช้ได้ ถ้า  $C.R. > 0.1$  แสดงว่าค่าของแต่ละเกณฑ์ไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องปรับค่าหรือให้ค่าแต่ละเกณฑ์ใหม่

$$\lambda_{\max} = \text{ผลรวมของผลหาร/จำนวนเกณฑ์} \quad (3-1)$$

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (3-2)$$

$$C.R. = C.I./R.I. \quad (3-3)$$

3) คำนวณค่านำหนักความสำคัญของเกณฑ์รอง รายละเอียดดังต่อไปนี้

เกณฑ์หลักเรื่องประสิทธิภาพ มีเกณฑ์รองที่นำมาพิจารณา คือ ประสิทธิภาพการกำจัด COD และ สี จากการศึกษาประสิทธิภาพทั้ง 3 ทางเลือก ในการเปรียบเทียบความสำคัญของประสิทธิภาพต้องมีการจัดลำดับของประสิทธิภาพให้อยู่ใน 5 เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.12

เกณฑ์หลักเรื่องค่าใช้จ่าย มีเกณฑ์รองที่นำมาพิจารณา คือ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและการเดินระบบ เป็นต้น โดยคำนวณจากค่าอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ตามที่ได้จากการศึกษา

4) นำทางเลือกที่กำหนดไว้ในตอนแรก คือ ระบบโคแอกกูเลชัน, ระบบดูดซับ และ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ มาเปรียบเทียบผ่านเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจทีละเกณฑ์ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก

ตารางที่ 3.11 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

ตารางที่ 3.12 เกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด

เกณฑ์	1	2	3	4	5
ช่วงประสิทธิภาพ	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100

### 3.4 กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการจัดทำกระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยหลังจากทำการประเมินทางเลือกที่เหมาะสมทางด้านวิศวกรรม คณะผู้วิจัยได้มีการใช้กระบวนการการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกพร้อมด้วย โดยมีการสำรวจความคิดเห็นของชุมชนซึ่งเป็นกลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสียประโยชน์ เพื่อประเมินทางเลือกในการจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ให้เป็นที่ยอมรับของชุมชน ลดความขัดแย้งและความเข้าใจข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง นำไปสู่กระบวนการในการดูแลรักษาระบบ และสามารถขยายประโยชน์การใช้น้ำให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากชุมชนมีความเข้าใจที่ถูกต้องและตระหนักถึงความสำคัญของการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าไหม โดยมีขั้นตอนในการศึกษาการมีส่วนร่วมดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 การรวบรวมข้อมูลผู้ประกอบการอุตสาหกรรมทอผ้าไหมภายในพื้นที่

คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมทอผ้าไหม ที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่ อ.เมืองปัก จ.นครราชสีมา โดยเน้นเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนที่มีการผลิตและจำหน่ายภายในพื้นที่ของอำเภอ โดยในเบื้องต้นได้รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 11 จังหวัดนครราชสีมา และ อบต.อำเภอเมืองปัก เป็นต้น เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลผู้ประกอบการทั้งหมด และเข้าทำการสัมภาษณ์ความคิดเห็นเชิงลึก เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัย และการคัดเลือกตัวแทนสถานประกอบการทอผ้าที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี มีรายละเอียดวิธีการศึกษา ดังนี้

1) เทคนิคในการสำรวจความคิดเห็น ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีการสำรวจแบบการสัมภาษณ์เชิงลึกรายบุคคล ( Community interview) เป็นการประชาสัมพันธ์โครงการวิจัย และทำการสำรวจข้อมูลของกลุ่มผู้ประกอบการ และความคิดเห็นเบื้องต้นต่อโครงการ รายละเอียดแบบสอบถามและผลการศึกษาโดยละเอียด ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

2) ข้อมูลที่ทำการรวบรวม ได้แก่ จำนวนสมาชิกของกลุ่ม กระบวนการผลิต วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ สารเคมี สีย้อม ปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และความคิดเห็นเบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์กลางในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมสำหรับอำเภอเมืองปักธงชัย

#### 3.4.2 การรับฟังความคิดเห็นของการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

คณะผู้วิจัยได้จัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อรับฟังความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตัวแทนผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก ภายในพื้นที่อำเภอเมืองปักธงชัย เพื่อนำเสนอผลการศึกษาวิจัย และสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม และการ

จัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมภายในพื้นที่ เพื่อสรุปความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ มีรายละเอียดวิธีการศึกษา ดังต่อไปนี้

- 1) เทคนิคในการสำรวจความคิดเห็น ใช้วิธีการ การจัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group) จัดประชุมกลุ่มย่อย เป็นการจัดสนทนากลุ่มเพื่อทำการศึกษาความคิดเห็นและทัศนคติของผู้เข้าร่วมประชุม ในประเด็นเรื่องการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม และทำการรวบรวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 2) เอกสารในการประชุมกลุ่มย่อย ได้ชี้แจงที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย นำเสนอผลการศึกษาวิจัยให้ผู้เข้าร่วมประชุมรับฟัง และสอบถามความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมประชุม รายละเอียดเอกสารนำเสนอ ดังแสดงในภาคผนวก ข



## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการอภิปรายผลการศึกษา

โครงการวิจัย “ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน; กรณีศึกษา อ.ปรางค์ชัย จ.นครราชสีมา มีรายละเอียดผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลสถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในพื้นที่

##### 4.1.1 สถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานราชการต่างๆที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีรายชื่อสถานประกอบการที่ขึ้นทะเบียนทั้งหมดจำนวน 30 ราย แต่เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่จริงพบว่ากลุ่มผู้ประกอบการที่อยู่ในรายชื่อของสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 11 จำนวนมากได้เลิกประกอบกิจการทอผ้าไหมแล้ว ดังนั้น จำนวนสถานประกอบการภายในพื้นที่ตำบลเมืองปัก อำเภอปรางค์ชัย ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมว่ายังประกอบกิจการอยู่มีจำนวนทั้งหมด 8 รายในช่วงที่ทำการสำรวจระหว่างปีพ.ศ.2558-2561 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1 คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานกระบวนการผลิต วัตถุดิบ ปริมาณน้ำใช้ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น และระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 4.1 การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมเคมี และรูปที่ 4.2 การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ รายชื่อของสถานประกอบการที่ทำการตรวจสอบในตารางที่ 4.1 และผลสรุปแบบสอบถามอยู่ในหัวข้อ 4.5 และรายละเอียดในภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดสถานประกอบการย้อมไหมในเขตอำเภอปรางค์ชัย

ลำดับ	เจ้าของสถานประกอบการ	กำลังการผลิต	สัดส่วนในการย้อมผ้า
1	คุณวีรวัฒน์ พงษ์บุญ	ผ้าไหม 23,040 เมตร (200 เมตรต่อวัน)	วัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 365 ลิตร
2	คุณอาทิตย์ยา	5,000-6,000 หลาต่อเดือน	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร / สัดส่วน ไหม 30 กก.ต่อหม้อ
3	คุณประภาพรรณ พากักดี	300 กก.ต่อปี	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร / สัดส่วน ไหม 2 กก.ต่อหม้อ
4	คุณสมมาตร ทองภู	1,500 หลาต่อเดือน	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร / สัดส่วน ไหม 10-12 กก.ต่อหม้อ
5	คุณจรีพร ฝ่ายฉิมพลี	30 กก.ต่อวัน	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร / สัดส่วน น้ำสาว 200 ลิตรต่อไหม 15 กก.
6	คุณชนัญญา ดรเชื่อนสม	300-400 ชิ้นต่อเดือน, 2 หลาต่อชิ้น	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร (ย้อมครั้งละ 20-30 ชิ้นต่อครั้ง)
7	คุณสมยงค์ มงคล	1,500 หลาต่อเดือน (50 ชีตต่อหลา)	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 24 ลิตร / สัดส่วน สีย้อม 3 ชีตต่อ 10 กก.ไหม
8	คุณสมศักดิ์ ปรีดาวิจิตรกุล	มัดหมี่ 2 หลาต่อคนต่อวัน, ผ้าพื้น 5-8 หลาต่อคนต่อวัน	สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 5 ลิตร / สัดส่วน ไหม 10 กก.ต่อหม้อ



รูปที่ 4.1 การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมเคมี



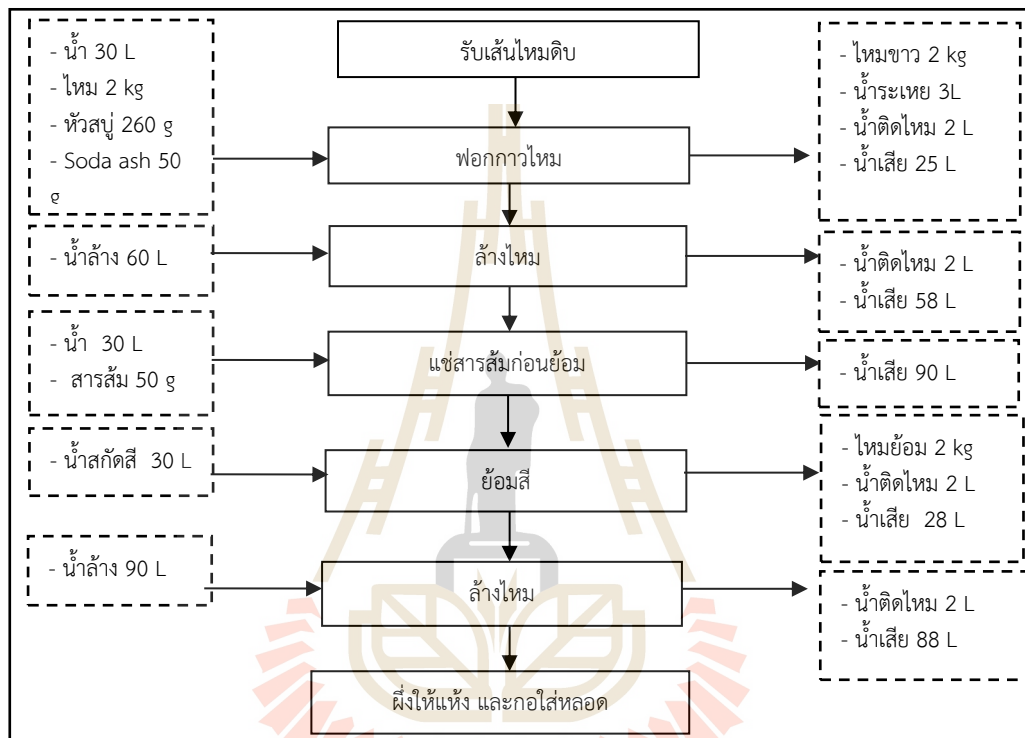
รูปที่ 4.2 การลงพื้นที่สัมภาษณ์สถานประกอบการฟอกย้อมที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ



#### 4.1.2 ผลการศึกษากระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

##### 1) กระบวนการผลิตของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

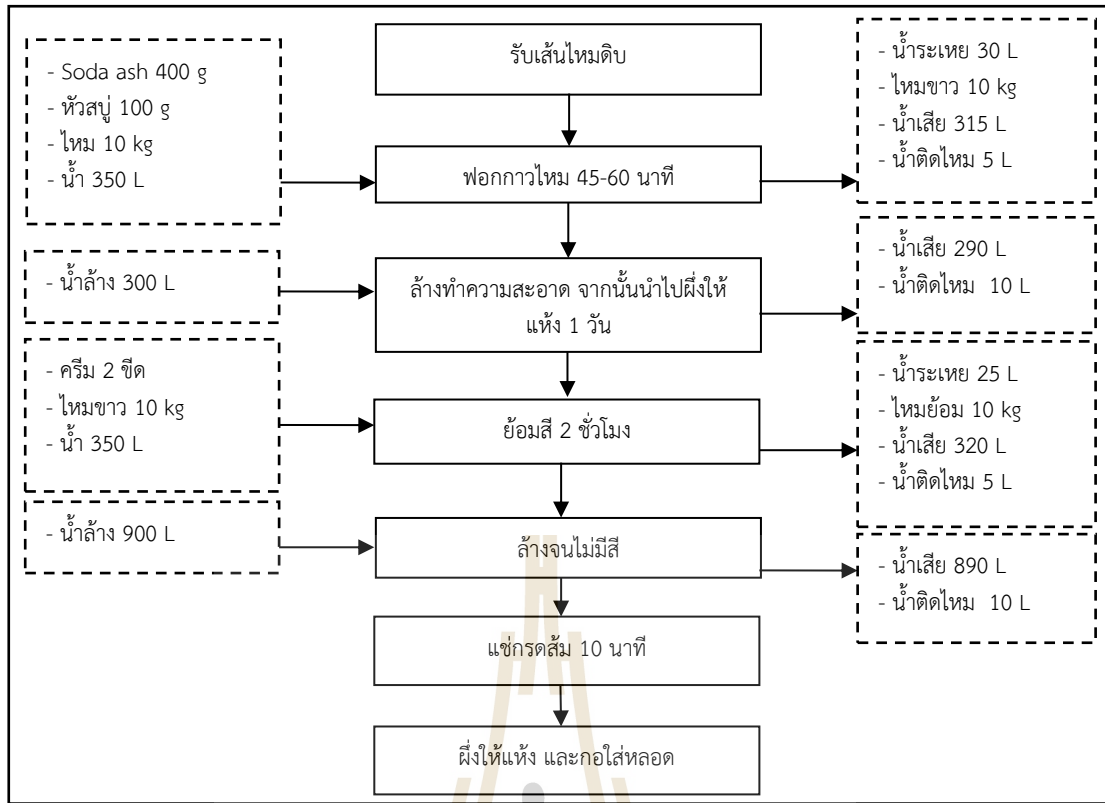
ผลการศึกษากระบวนการผลิตนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลและสมดุลน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าในการผลิตแต่ละครั้งจะใช้ไหมเหลือง 2 กิโลกรัม ซึ่งในกระบวนการฟอกมีการใช้น้ำ 30 ลิตร ร่วมกับหัวสบู่และโซดาแอช ทำให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกไหม 25 ลิตร จากนั้นนำไหมที่ผ่านการฟอกไปล้างโดยใช้น้ำ 90 ลิตร ผึ่งให้แห้ง และนำมาย้อมโดยใช้น้ำสีย้อม 30 ลิตร เกิดน้ำเสียจากกระบวนการย้อม 28 ลิตร และมีการใช้น้ำล้าง 90 ลิตร และเกิดน้ำเสีย 88 ลิตรจะได้ไหมที่สามารถนำไปใช้ในการทอ 2 กิโลกรัม



รูปที่ 4.3 สมดุลมวลและสมดุลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ

##### 2) กระบวนการผลิตของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ผลการศึกษากระบวนการผลิตนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลและสมดุลน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าในการผลิตแต่ละครั้งจะใช้ไหมขาว 10 กิโลกรัม ในกระบวนการฟอกมีการใช้น้ำ 350 ลิตร ร่วมกับหัวสบู่และโซดาแอชเช่นเดียวกับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ทำให้เกิดน้ำเสียจากการฟอกไหม 315 ลิตร จากนั้นล้างไหมโดยใช้น้ำ 300 ลิตร เกิดน้ำเสีย 290 ลิตร นำไหมไปผึ่งให้แห้งและนำเข้าสู่กระบวนการย้อมโดยใช้น้ำ 350 ลิตร เกิดน้ำเสียจากการย้อมไหม 320 ลิตร และใช้น้ำล้างทำความสะอาดไหม 900 ลิตร เกิดน้ำเสีย 890 ลิตร จะได้ไหม 10 กิโลกรัม



รูปที่ 4.4 สมดุลมวลและสมดุลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี

3) ผลการศึกษาการเปรียบเทียบน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี

จากการศึกษากระบวนการผลิตของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง พบว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีการใช้น้ำมากกว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติถึง 1.8 เท่า และส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียมากกว่าเช่นกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมเคมีมีการใช้น้ำมากกว่ากระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติทุกขั้นตอนดังข้อมูลสรุปการปริมาณการใช้น้ำที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตไหม 1 กิโลกรัม

ข้อมูล	ปริมาณน้ำเสียจากสถานประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติ (ลิตร)/ไหม 1 kg				ปริมาณน้ำเสียจากสถานประกอบการใช้สีย้อมเคมี (ลิตร) /ไหม 1 kg			
	ฟอก	ย้อม	ล้าง	รวม	ฟอก	ย้อม	ล้าง	รวม
น้ำใช้	15	15	75	105	35	35	120	190
น้ำเสีย	12.5	14	73	99.5	31.5	32	118	181.5

#### 4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

1) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 รวบรวมจากการเก็บตัวอย่างจำนวน 11 ครั้ง พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 42,066.51 mg/l ซึ่งมีค่าสูงมากเนื่องจากในขั้นตอนการฟอกขาวไหมจะทำให้มีกาว

ไหมปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากในเส้นไหมที่นำมาฟอกจะมีองค์ประกอบของโปรตีนธรรมชาติอยู่ 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (fibroin) ร้อยละ 70-80 เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำคือเส้นไหม และมีส่วนที่เป็นกาวไหม เรียกว่า เซรีซิน (sericin) อยู่ร้อยละ 20-30 ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ดี (พรอนงค์ และคณะ, 2559; Sonjui et.al.,2009) ทำให้น้ำฟอกมีค่า COD สูง และพบว่ามีความเค็มสูงเฉลี่ย 24,548.00 ADMI ซึ่งค่าสีในน้ำฟอกเกิดจากการใช้ไหมเหลือ ซึ่งเมื่อเส้นไหมผ่านขั้นตอนการฟอกกาวไหม กาวไหมที่เหลือจะหลุดออกจากเส้นไหมส่งผลให้น้ำฟอกมีสีเหลืองขุ่นค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าสูงจะเห็นได้จากข้อมูลการผลิตจะเห็นว่าในกระบวนการฟอกกาวไหมมีการใช้หัวสบู่และโซดาแอช (NaOH) ร่วมด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทำให้ค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่าง คือมีค่าอยู่ในช่วง 8.14-9.40 (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก)

## 1.2) ลักษณะสมบัติน้ำย้อม

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 13 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 13,420.84 mg/l มีค่าค่อนข้างสูงแต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำฟอกจะมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากค่า COD ของน้ำย้อมมีค่าสูงเกิดจากสีย้อมธรรมชาติมีสกัดมาจากส่วนประกอบของพืชหรือสัตว์ ทำให้น้ำเสียมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าสารอนินทรีย์ (Jothi, 2008) ส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น COD สูงตามไปด้วย และมีค่าสีสูงถึง 5,317.08 ADMI ส่วนค่า pH ของน้ำย้อมจากการเก็บตัวอย่าง 13 ครั้ง (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) พบว่ามี pH อยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง เนื่องจากพีเอชมีผลต่อเจดสีของสีย้อมธรรมชาติ จากการศึกษาผลของพีเอชของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อคุณภาพและเจดสีของไหมที่ย้อมสีจากครั้ง พบว่าการใช้สารช่วยติดสีที่แตกต่างกันและพีเอชต่างกันจะทำให้เกิดเจดสีที่ต่างกัน เช่น การใช้โบมะขามเป็นสารช่วยติดสีโทนสีที่ได้จะเป็นสีแดงเข้ม โดยที่พีเอช 3 และ 4 จะมีเจดสีที่เข้มกว่าที่พีเอชอื่น ๆ (จุฑามาศ และอังคณา, 2559)

## 1.3) การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำฟอกและน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ผลการศึกษาลักษณะน้ำฟอกและน้ำย้อม พบว่าเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงค่อนข้างกว้างโดยจะมีค่า Min-Max และค่า S.D. ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าสูงมาก เช่น น้ำย้อมมีค่า COD อยู่ในช่วง 3,712.00 – 24,576.00 mg/l และมีค่า S.D. เท่ากับ  $\pm 7,163.02$  mg/l เนื่องจากน้ำย้อมจากสีธรรมชาติแต่ละครั้งมีการใช้วัตถุดิบต่างชนิดกันเพื่อให้ได้สีตามความต้องการของลูกค้า และปริมาณสินค้าที่ผลิตต่อการผลิต ซึ่งจากการเก็บตัวอย่างได้มีการใช้สีย้อมจากครั้ง เข และฝักคูณส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำย้อมที่วิเคราะห์ได้แต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันด้วย

## 2) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

### 2.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.4 รวบรวมจากการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 9 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 40,222.90 mg/l เนื่องจากขั้นตอนการฟอกกาวไหมทำให้มีกาวไหมปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เช่นเดียวกับน้ำฟอกที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และมีค่าสีสูงถึง 680.06 ADMI ซึ่งค่าสีในน้ำฟอกเกิดจากการใช้ไหมขาว ซึ่งเมื่อเส้นไหมผ่านขั้นตอนการฟอกกาวไหม กาวไหมสีขาวจะหลุดออกจากเส้นไหมส่งผลให้น้ำฟอกมีสีขาวขุ่นค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าสูง ส่วนค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่างเท่ากับ 8.97 – 9.76 (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) ซึ่งเกิดจากการใช้โซดาแอช และหัวสบู่ในกระบวนการฟอกกาวไหม ดังแสดงในรายละเอียดข้อมูลการผลิตในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำฟอก*		น้ำย้อม*	
		Min-Max	Mean $\pm$ S.D.	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
COD	mg/l	17,272.73 - 62,811.43	40,222.90 $\pm$ 15,814.70	1,442.62 - 3,805.71	2,681.99 $\pm$ 632.66
pH	-	8.97 - 9.76	9.43 $\pm$ 0.31	6.10 - 7.69	6.87 $\pm$ 0.52
Color	ADMI	123.00 - 1,041.00	680.06 $\pm$ 292.24	288.80 - 10,429.50	5,055.10 $\pm$ 4,509.29
TS	mg/l	11,272.50 - 71,440.00	42,915.55 $\pm$ 18,507.52	4,615.00 - 19,234.00	12,578.85 $\pm$ 5,039.73
TSS	mg/l	358.30 - 29,792.50	7,009.50 $\pm$ 9,344.26	130.67 - 6,941.20	1,240.35 $\pm$ 2,054.82
TDS	mg/l	10,037.50 - 59,442.50	36,930.15 $\pm$ 15,237.91	3,960.00 - 16,704.00	11,338.50 $\pm$ 4,259.83
TVS	mg/l	6,640.00 - 42,317.50	24,478.96 $\pm$ 10,622.81	640.00 - 10,238.00	2,253.01 $\pm$ 2,893.67
VSS	mg/l	276.66 - 8,074.17	2,632.39 $\pm$ 2,571.03	0.00 - 1,742.00	384.60 $\pm$ 599.74
VDS	mg/l	5,801.67 - 34,243.33	21,846.57 $\pm$ 8,758.58	388.00 - 8,496.00	1,868.41 $\pm$ 2,385.46

\*หมายเหตุ จำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่างน้ำฟอกจำนวน 11 ครั้ง น้ำย้อมจำนวน 13 ครั้ง



## 2.2) ลักษณะสมบัติน้ำย้อม

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 2,681.99 mg/l น้ำย้อมเคมีเกิดจากการใช้สีย้อมสังเคราะห์ประเภทสีเอซิดละลายน้ำ ดังนั้นหลังจากการย้อมไหมแล้วในน้ำก็ยังคงมีอนุภาคสีเหลืออยู่ ส่งผลให้ในน้ำเสียยังคงมีค่า COD สูง ส่วนค่าสีในน้ำมีค่าสูงถึง 5,055.10 ADMI (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) เนื่องจากเจดสีของสีย้อมเคมีโดยไม่ขึ้นอยู่กับ pH แต่ความเข้มของสีย้อมหรือเจดสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณผงสีย้อมที่ใช้ในการย้อมแต่ละครั้ง ส่งผลให้ค่า pH อยู่ในช่วง pH ที่เป็นกลางไม่แตกต่างกัน

## 2.3) การเปรียบเทียบลักษณะน้ำฟอกและน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวนทั้งหมด เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำจะเห็นว่าค่า Min-Max และค่า S.D. ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าสูงมากเช่นเดียวกับน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ เช่น น้ำย้อมมีค่า COD อยู่ในช่วง 1,442.62 – 3,805.71 mg/l และมีค่า S.D. เท่ากับ  $\pm 632.66$  mg/l เนื่องจากน้ำย้อมจากสีเคมีแต่ละครั้งมีการใช้สีย้อมในปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับเจดสีที่ต้องการผลิตและปริมาณการผลิต ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำย้อมที่วิเคราะห์ได้แต่ละครั้งก็ต่างกัน ซึ่งในการศึกษาวิจัยของ จักรกฤษณ์ อัมพสุข (2548) ได้มีการศึกษาลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมไหมไทยที่มีการใช้สีย้อมเคมี 5 ครั้ง พบว่า COD อยู่ในช่วง 303 – 1,577.5 mg/l แสดงว่าในน้ำสีย้อมเคมีมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่ค่อนข้างน้อย และค่า COD มีช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างของสีย้อมเคมี

## 3) การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี

### 3.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

จากการพิจารณาค่าลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี จะเห็นว่าลักษณะสมบัติน้ำฟอกของทั้งสองสถานประกอบการมีลักษณะคล้ายกันคือ มีค่าเฉลี่ย COD และค่าสีสูง ส่วนค่า pH จะอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง แต่น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีช่วงค่า COD และสี สูงกว่าน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยมีค่าเฉลี่ย COD สูงกว่าประมาณ 1 เท่า และมีค่าเฉลี่ยสีสูงกว่า 6.5 เนื่องจากการใช้เส้นไหมคนละลายพันธุ์ โดยสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติใช้ไหมเหลือทิ้งส่งผลให้น้ำฟอกมีสีเหลืองขุ่น แต่สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีใช้ไหมขาวส่งผลให้น้ำฟอกมีสีขาวขุ่น ค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าแตกต่างกัน และจากลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำฟอกทั้งสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5 (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) พบว่าลักษณะของแข็งในน้ำฟอกของทั้ง 2 แห่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยของแข็งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำร้อยละ 86 และ 88 สำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี ตามลำดับ และประกอบไปด้วยสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 45 สังเกตได้จากสัดส่วนของ VDS/TS (สีขาว)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

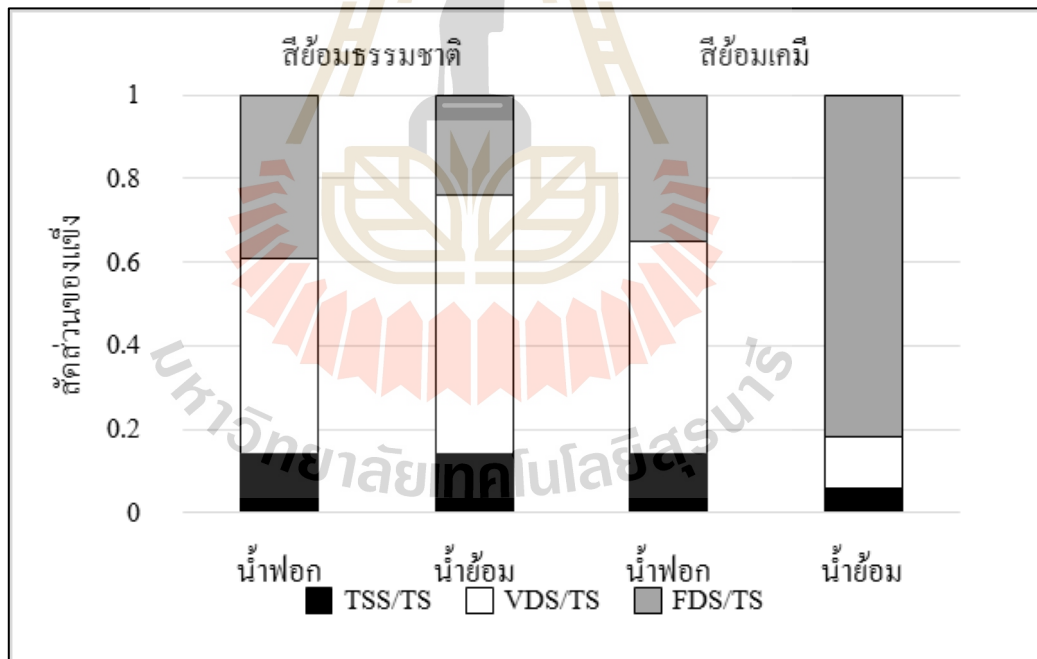
พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำฟอก		น้ำย้อม	
		Min-Max	Mean $\pm$ S.D.	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
COD	mg/l	17,272.73 - 62,811.43	40,222.90 $\pm$ 15,814.70	1,442.62 - 3,805.71	2,681.99 $\pm$ 632.66
pH	-	8.97 - 9.76	9.43 $\pm$ 0.31	6.10 - 7.69	6.87 $\pm$ 0.52
Color	ADMI	123.00 - 1,041.00	680.06 $\pm$ 292.24	288.80 - 10,429.50	5,055.10 $\pm$ 4,509.29
TS	mg/l	11,272.50 - 71,440.00	42,915.55 $\pm$ 18,507.52	4,615.00 - 19,234.00	12,578.85 $\pm$ 5,039.73
TSS	mg/l	358.30 - 29,792.50	7,009.50 $\pm$ 9,344.26	130.67 - 6,941.20	1,240.35 $\pm$ 2,054.82
TDS	mg/l	10,037.50 - 59,442.50	36,930.15 $\pm$ 15,237.91	3,960.00 - 16,704.00	11,338.50 $\pm$ 4,259.83
TVS	mg/l	6,640.00 - 42,317.50	24,478.96 $\pm$ 10,622.81	640.00 - 10,238.00	2,253.01 $\pm$ 2,893.67
VSS	mg/l	276.66 - 8,074.17	2,632.39 $\pm$ 2,571.03	0.00 - 1,742.00	384.60 $\pm$ 599.74
VDS	mg/l	5,801.67 - 34,243.33	21,846.57 $\pm$ 8,758.58	388.00 - 8,496.00	1,868.41 $\pm$ 2,385.46

\*หมายเหตุ จำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่างน้ำฟอกจำนวน 9 ครั้ง น้ำย้อมจำนวน 10 ครั้ง



### 3.2) ลักษณะสมบัติน้ำย้อม

จากการพิจารณาค่าลักษณะสมบัติน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี จะเห็นว่าลักษณะสมบัติของน้ำสีย้อมธรรมชาติมีค่าเฉลี่ย COD สูงกว่าน้ำสีย้อมเคมีประมาณ 4.5 เท่า และค่าสีของน้ำสีย้อมธรรมชาติมีค่าสูงน้ำสีย้อมธรรมชาติเล็กน้อย pH ของน้ำสีย้อมจากธรรมชาติจะมีช่วงค่า pH กว้างกว่าสีย้อมเคมี เนื่องจาก pH มีผลต่อเจดสีของสีย้อมธรรมชาติซึ่งได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และจากลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำย้อมทั้งสองชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5 (รายละเอียดผลการศึกษาดังกล่าวปรากฏในภาคผนวก ก.) พบว่าลักษณะของแข็งของน้ำสีย้อมธรรมชาติและเคมีส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำร้อยละ 86 และ 95 สำหรับน้ำสีย้อมธรรมชาติและเคมี ตามลำดับ โดยน้ำสีย้อมธรรมชาติประกอบไปด้วยของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 62 สังเกตได้จากสัดส่วนของ VDS/TS ที่มากกว่าสัดส่วนของ FDS/TS แต่น้ำสีย้อมเคมีประกอบไปด้วยของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์เพียงร้อยละ 13 โดยจากลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ทำการเก็บตัวอย่างจากสถานประกอบการทั้งสองแห่งเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสมบัติน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไปจากการรวบรวมลักษณะน้ำเสียโดย ศิริพรรณ คำแน่น (2554) พบว่าลักษณะน้ำเสียในของกระบวนการฟอกขาวมีความเข้มข้น COD อยู่ในช่วง 6,700-13,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-9.6 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจากสถานประกอบการทั้งสองแห่ง และในการศึกษาคั้งนี้ น้ำเสียยังคงมีความเข้มข้น COD และค่า pH สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเช่นเดียวกับน้ำสีย้อม



รูปที่ 4.5 สัดส่วนของแข็งของน้ำเสียตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่าง		TSS/TS		VDS/TS		FDS/TS	
		Min-Max	Mean $\pm$ S.D.	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
สีย้อมธรรมชาติ	น้ำฟอก	0.02 – 0.43	0.14 $\pm$ 0.11	0.07 – 0.62	0.47 $\pm$ 0.15	0.15 – 0.86	0.39 $\pm$ 0.18
	น้ำย้อม	0.10 – 0.30	0.14 $\pm$ 0.11	0.27 – 0.88	0.62 $\pm$ 0.20	0.07 – 0.56	0.24 $\pm$ 0.16
สีย้อมเคมี	น้ำฟอก	0.01 – 0.55	0.14 $\pm$ 0.16	0.44 – 0.60	0.52 $\pm$ 0.05	0.08 – 0.44	0.36 $\pm$ 0.11
	น้ำย้อม	0.01 – 0.14	0.06 $\pm$ 0.06	0.08 – 0.18	0.13 $\pm$ 0.04	0.75 -0.90	0.82 $\pm$ 0.06





โดยจากลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ทำการเก็บตัวอย่างจากสถานประกอบการทั้งสองแห่งเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสมบัติน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไป จากการรวบรวมลักษณะน้ำเสีย โดย ศิริพรรณ คำแน่น (2554) พบว่าลักษณะน้ำเสียในของกระบวนการฟอกขาวมีความเข้มข้น COD อยู่ในช่วง 6,700-13,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-9.6 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจากสถานประกอบการทั้งสองแห่ง และในการศึกษาครั้งนี้ น้ำเสียยังคงมีค่าความเข้มข้น COD และค่า pH สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่นเดียวกับน้ำเสียย้อม

## 4.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

### 4.2.1 ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

**ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่งทอในครัวเรือนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน**

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ Polyaluminum choride (PACl) และ Ferric chloride ( $FeCl_3$ ) เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และ Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aids) โดยกำหนดสภาวะในการทดสอบ Jar Test แสดงดังตารางที่ 3.3 (บทที่ 3) มีรายละเอียดผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

1) สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

#### 1.1) น้ำฟอก

##### 1.1.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำฟอก ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกคือ ใช้ PACl ความเข้มข้น 350 – 450 mg/L ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.5-0.7 mg/L โดย pH ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 4 ซึ่ง pH เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำฟอก เนื่องจากในน้ำฟอกจะประกอบไปด้วยโปรตีนไหมที่ละลายน้ำที่เรียกว่า Sericin ซึ่งจากการศึกษาของ Lin et.al. (2012) พบว่าที่ pH 3-4 โปรตีน Sericin มีประสิทธิภาพในการรวมตะกอนสูง (flocculation) และสภาวะที่เป็นกรดมีผลต่อการตกตะกอนโปรตีนโดยธรรมชาติ ซึ่งโปรตีน sericin มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันที่ pH เป็นกรดเนื่องจาก isoelectric point ของโปรตีน sericin อยู่ที่ประมาณ pH 4.24 Teramoto et.al. (2008) ดังนั้น ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเมื่อปรับ pH เท่ากับ 4 น้ำฟอกจะเกิดตะกอนขึ้นและเมื่อเติม PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์จะทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเติม Polymer ลงไปซึ่งจะไปเป็นสะพานเชื่อมระหว่างตะกอนให้มีน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น ดังนั้น ตะกอนที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะประกอบไปด้วยโปรตีน Sericin และอนุภาคของสีบางส่วนด้วย ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 13.70 – 51.50 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 54.98–92.88 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	ใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนท์			ใช้ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์		
	PACl (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH	FeCl <sub>3</sub> (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอก						
1	450	0.6	4	120	2.2	4
2	350	0.7	4	80	2.4	4
3	350	0.5	4	160	2.6	4
เฉลี่ย	383.33	0.60	4.00	120.00	2.40	4.00
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อม						
1	250	0.7	6	560	0.6	5
2	200	0.6	8	400	1.0	8
3	300	0.7	2	480	0.8	8
เฉลี่ย	250	0.67	5.33	480	0.80	6.90

ตารางที่ 4.7 สรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ชนิดสารโคแอกกูแลนท์	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean ± S.D.	Min-Max	Mean ± S.D.
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอก				
PACl	13.79 - 51.50	28.56±20.13	54.98 - 92.88	71.31 ± 19.49
FeCl <sub>3</sub>	11.55 - 61.26	37.55 ±24.93	61.20 - 80.18	69.37 ± 9.67
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อม				
PACl	22.47 - 60.02	38.61 ± 19.33	29.96 - 73.58	55.62 ± 22.81
FeCl <sub>3</sub>	0.00 - 64.40	29.34± 32.58	3.20 - 70.04	40.70 ± 34.59

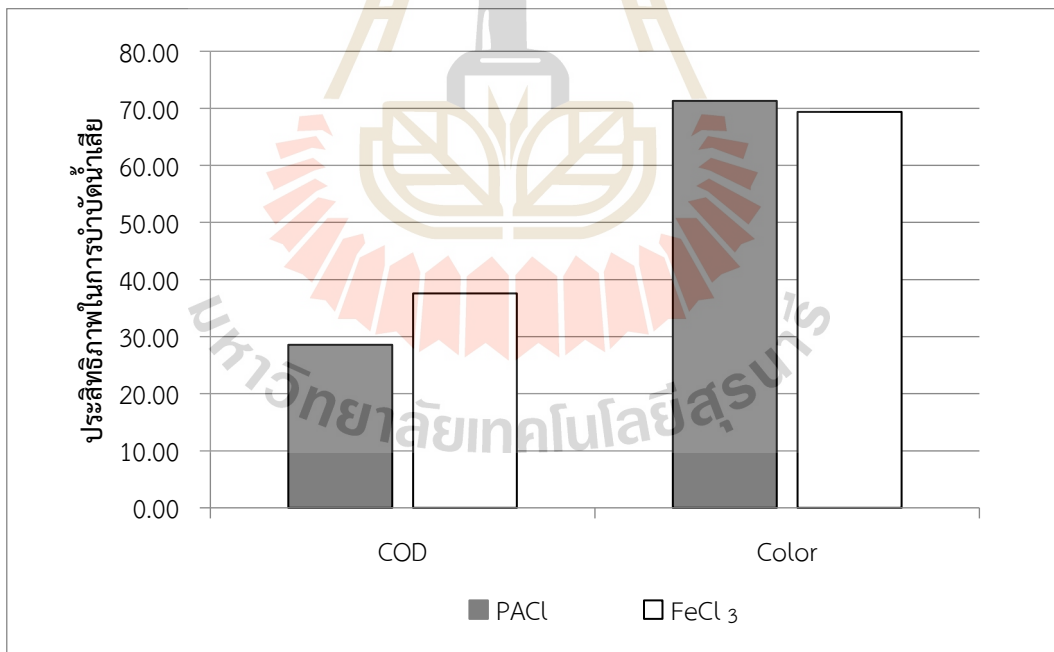
1.1.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกใช้ FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 80 - 160 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 2.2 - 2.6 mg/l โดย pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 4 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่ง pH เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกันในการบำบัดน้ำฟอก เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดโปรตีน Sericin จะเกิดเป็นตะกอนดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และเมื่อเติม FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์จะทำหน้าที่สะเทินประจุลบที่อยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุทำให้อนุภาคที่แขวนลอยในน้ำเข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น มีการเติม Polymer เพื่อไปทำหน้าที่เช่นเดียวกับการใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนท์ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้น โดยที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 11.55 - 61.26 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 61.20-80.18 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากการศึกษา Lin et.al. (2012) โดยใช้ 2-hydroxypropyltrimethyl ammonium chloride chitosan (HACC) เป็นสารโคแอกกูแลนท์ซึ่งเป็นสารที่มีประจุบวก เช่นเดียวกับกับการใช้ FeCl<sub>3</sub> และ PAC ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับโปรตีน Sericin ได้ เนื่องจากโปรตีนดังกล่าวมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม -OH .-NH- และ -N+(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> อยู่สูง ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีประจุลบ ดังนั้น กลไกการกำจัดโปรตีน Sericin จึงเป็นกลไก charge neutralization mechanism ซึ่ง PACl และ FeCl<sub>3</sub> แตก

ตัวแล้วเกิดสารที่มีประจุบวก ดังนั้น การกำจัดโปรตีน sericin โดยใช้ PAC และ  $\text{FeCl}_3$  จึงเกิดจากกลไก charge neutralization mechanism เช่นเดียวกัน

1.1.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PAC และ  $\text{FeCl}_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ตารางที่ 4.8 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง เมื่อใช้ PAC เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น PAC และ Polymer เท่ากับ 383.33 และ 0.60 mg/l ตามลำดับ และที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 28.56 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 71.31 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้  $\text{FeCl}_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น  $\text{FeCl}_3$  และ Polymer เท่ากับ 120 และ 2.40 ตามลำดับ และที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 37.55 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 69.37 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้  $\text{FeCl}_3$  มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงกว่าการใช้ PAC แต่การใช้ PAC มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าการใช้  $\text{FeCl}_3$  ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของ PAC และ  $\text{FeCl}_3$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} > 0.05$ ) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ที่แสดงในภาคผนวก ข.) ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PAC เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PAC ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผลการศึกษารูปในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PAC และ  $\text{FeCl}_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 4.8 สรุปสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำเสียแต่ละชนิด

สถานประกอบการ	น้ำตัวอย่าง	สภาวะที่เหมาะสม			
		ชนิดสารโคแอกกูแลนต์	ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ (mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH
ใช้สีย้อมธรรมชาติ	น้ำฟอก	PACl	383.33	0.60	4.00
	น้ำย้อม	PACl	250.00	0.67	5.33
ใช้สีย้อมเคมี	น้ำฟอก	PACl	450.00	0.37	4.00
	น้ำย้อม	PACl	633.33	0.36	8.67

### 1.2) น้ำย้อม

#### 1.2.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำย้อม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมใช้ PACl ความเข้มข้น 200-300 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.6 และ 0.7 mg/l และมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 2-8 เนื่องจาก pH มีผลต่อเจดสีของน้ำสีย้อมธรรมชาติดังที่ได้กล่าวไปแล้วในลักษณะของน้ำสีย้อมธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น ในการเก็บครั้งที่ 1 คือ น้ำย้อมสีแดงสกัดมาจากครั้ง ซึ่งจากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับครั้ง พบว่ากลุ่มสารที่ให้สีแดง คือ Lacciac acid A และ Lacciac acid B ซึ่งเป็นสารในกลุ่มของ แอนทราควิโนนเป็นโครงสร้างหลักในโมเลกุลของสีย้อม และมี Amino group เป็นหมู่ออกโซโซม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (บทที่ 2) ซึ่งจากผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าค่า pH เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการกำจัดสี เนื่องจาก pH ของสารละลายมีผลต่อรูปของสีย้อมโดย pH ที่เป็นกรด คือ ช่วง 1.5-6.4 สีจะอยู่ในรูปตะกอนละเอียด ที่ pH 1.5-2.5 จะเกิดตะกอนสีส้ม ส่วนที่ pH 3.4-6.4 จะเกิดตะกอนละเอียดสีแดง แต่ในสภาวะที่เป็นกลางและเบสอ่อน ๆ คือ ช่วง pH 7.2-8.5 สีย้อมจะอยู่ในรูปของสารละลายสีแดง และเมื่อ pH เท่ากับ 11 ขึ้นไปน้ำสีย้อมจะยังมีสีแดงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนละเอียดสีแดง (สุรีย์ พุตระกูล , 2543) ดังนั้น จะเห็นว่าในสภาวะที่เหมาะสมที่ pH ในช่วงเท่ากับ 5.33 สีย้อมจะอยู่ในรูปของตะกอนสีแดง โดยจากในการศึกษาของ Wei et al. (2015) พบว่าที่ pH 6 เกิดกลไกในการกำจัดสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นสำหรับสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 7 คือ กลไก Charge Neutralization ดังนั้น เมื่อมีการเติม PACl และ Polymer ลงไปจะทำให้เกิดกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) ซึ่งเกิดจากการที่อะลูมิเนียมจาก PACl ที่มีประจุบวกไปทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำหรือตะกอนสีในน้ำสีย้อมซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง เป็นการลดประจุที่ผิวของสารแขวนลอยทำให้อนุภาคสามารถรวมตัวกันจนเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอนได้ เป็นผลให้ความเข้มข้นซีโอดีบางส่วนในน้ำลดลงได้ เพราะอนุภาคของสีย้อมเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง รวมถึงมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนได้ แต่ในน้ำยังมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ไม่ตกตะกอนละลายอยู่ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วยังมีความเข้มข้น COD สูงอยู่ ซึ่งจากผลการศึกษาที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 22.47 – 60.02 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 29.96– 73.58 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

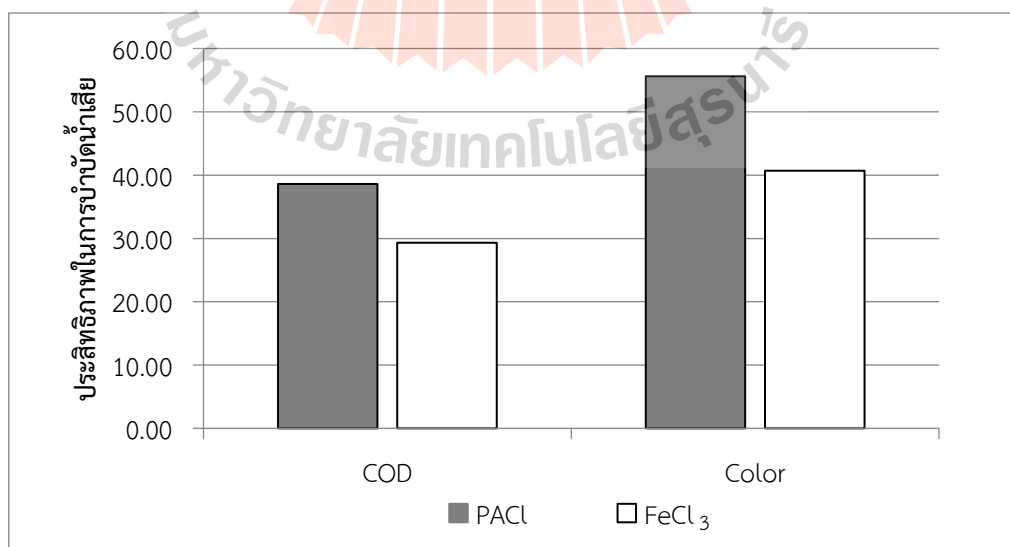
#### 1.2.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำย้อมโดยใช้ FeCl<sub>3</sub> พบว่า เมื่อใช้ FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 400 – 560 mg/l และ Polymer ความเข้มข้น 0.6-1.0 mg/l โดย pH ที่เหมาะสม

อยู่ในช่วง pH 5 และ 8 โดยพบว่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกันในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองครั้งที่ 1 น้ำเสียสีแดงสกัดมาจากครั้ง ซึ่ง pH มีผลต่อรูปของสีย้อมดั่งที่กล่าวไปข้างต้น โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ pH 5 สีย้อมจะอยู่ในรูปของตะกอนสีแดง โดยจากการทบทวนเอกสารพบว่า  $FeCl_3$  จะมีประสิทธิภาพสูงในช่วง pH 3.5-6.5 ดังแสดงในตารางที่ 2.5 (บทที่ 2) เนื่องจากเกิดกลไก Adsorption Destabilization โดย  $FeCl_3$  จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของตะกอนสีย้อมและอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุเป็นผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนได้ ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00-64.40 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 3.20 – 70.04 ดังแสดงในตารางที่ 4.7

### 1.2.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACl และ  $FeCl_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม เมื่อใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่มีสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ความเข้มข้น PACl และ Polymer เฉลี่ยเท่ากับ 250.00 และ 0.67mg/l ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 5.33 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 38.61 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 55.62 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้  $FeCl_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น  $FeCl_3$  และ Polymer เท่ากับ 480 และ 0.80 mg/l ตามลำดับ ควบคุมที่ pH เท่ากับ 6.90 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 29.34 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 40.70 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้ PACl มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีสูงกว่าการใช้  $FeCl_3$  ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของ PACl และ  $FeCl_3$  มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} > 0.05$ ) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข.) ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACl ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปผลในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูแลชั่นโดยใช้ PACl และ  $FeCl_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์

2) สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

2.1) น้ำฟอก

2.1.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำฟอก ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้ PACl ความเข้มข้น 350 – 600 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.3 และ 0.4 mg/l โดย pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 4 ซึ่ง pH เป็นปัจจัยที่สำคัญในการบำบัดน้ำฟอก เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดโปรตีน Sericin จะเกิดเป็นตะกอนเช่นเดียวกับการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังนั้น ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเมื่อปรับ pH เท่ากับ 4 น้ำฟอกจะเกิดตะกอนขึ้นและเมื่อเติม PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์จะทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเติม Polymer ลงไปซึ่งจะไปเป็นสะพานเชื่อมระหว่างตะกอนให้มีน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น ดังนั้น ตะกอนที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะประกอบไปด้วยโปรตีน Sericin และอนุภาคสีบางส่วนด้วย ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 20.00 – 46.43 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 66.23 – 69.97 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 เนื่องจากลักษณะน้ำฟอกที่ใช้ใหม่ขาวขุ่น หลังจากการตกตะกอนแล้วตะกอนของขาวไหมสีขาวจะแยกออกจากน้ำทำให้น้ำใสและไม่ขุ่น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง แต่จากลักษณะของแข็งของน้ำฟอกจะเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจะมีประสิทธิภาพสูงสำหรับน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยมากกว่า ดังนั้น จึงยังคงมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในรูปละลายน้ำหลงเหลืออยู่

ตารางที่ 4.9 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	ใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์			ใช้ FeCl <sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์		
	PACl (mg/l)	Polymer(mg/l)	pH	FeCl <sub>3</sub> (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอก						
1	350	0.4	4	240	1.0	4
2	600	0.4	4	240	0.4	2
3	400	0.3	4	160	1.0	4
เฉลี่ย	450.00	0.37	4.00	213.33	0.80	3.33
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อม						
1	600	0.4	9	100	1.6	4
2	600	0.3	7	40	1.6	6
3	700	0.4	10	200	1.8	8
เฉลี่ย	633.33	0.36	8.67	113.33	1.67	6

2.1.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกใช้ FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 160 – 240 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.3 และ 0.4 mg/l โดยช่วง pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 2 และ 4 ตามลำดับ ซึ่ง pH เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกันในการบำบัดน้ำฟอกดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และเมื่อเติม FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์จะทำให้หน้าสีที่สะเทินประจุลบที่อยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุทำให้อนุภาคที่แขวนลอยในน้ำเข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และมีการเติม Polymer

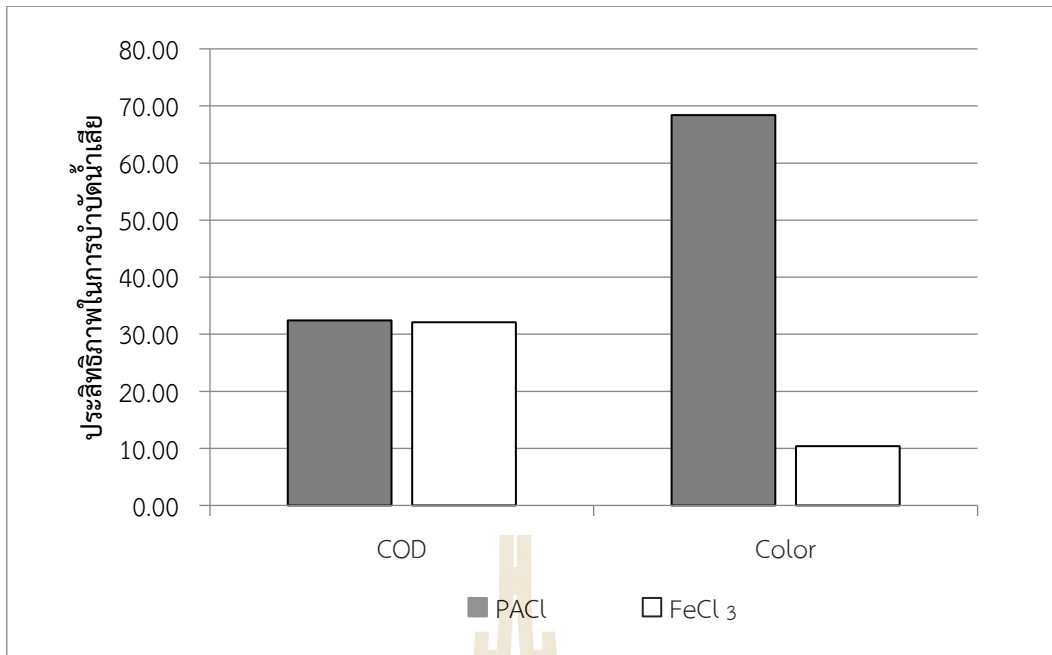
เพื่อไปทำหน้าที่เช่นเดียวกับการใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้น เช่นเดียวกับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 16.88 - 44.84 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 5.09 - 14.36 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยกลไกการกำจัดโปรตีน Sericin ในน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีเป็นกลไก Charge neutralization mechanism เช่นเดียวกับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ตารางที่ 4.10 ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ชนิดสารโคแอกกูแลนต์	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอก				
PACl	20.00-46.43	32.29 $\pm$ 13.31	66.23 - 69.97	68.39 $\pm$ 1.93
FeCl <sub>3</sub>	16.88-44.84	32.11 $\pm$ 14.15	5.09 - 14.36	10.40 $\pm$ 4.78
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อม				
PACl	67.78 - 90.44	76.92 $\pm$ 11.95	62.25 - 98.94	81.69 $\pm$ 18.44
FeCl <sub>3</sub>	16.67-63.96	35.04 $\pm$ 25.35	12.16 - 94.54	52.76 $\pm$ 41.20

### 2.1.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACl และ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าที่สภาวะที่เหมาะสม เมื่อใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น PACl และ Polymer เท่ากับ 450 และ 0.37 mg/l ตามลำดับ และที่ช่วง pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 32.29 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 68.39 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น FeCl<sub>3</sub> และ Polymer เท่ากับ 213.33 และ 0.80 mg/l ตามลำดับ และที่ช่วง pH เท่ากับ 3.33 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 32.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 10.40 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้ FeCl<sub>3</sub> มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงกว่าการใช้ PACl แต่การใช้ PACl มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า FeCl<sub>3</sub> ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของ PACl และ FeCl<sub>3</sub> ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของ PACl มีประสิทธิภาพสูงกว่า FeCl<sub>3</sub> อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p-value>0.05) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข.) และหากใช้ FeCl<sub>3</sub> จะมีสภาวะที่เหมาะสมที่ pH 3.33 ซึ่งต่ำกว่า PACl แต่น้ำฟอกจะมี pH ในช่วงที่เป็นต่างดังแสดงในตารางที่ 4.3 ดังนั้น จะต้องมีการจ่ายในการเติมสารเคมีเพื่อปรับ pH มากกว่า ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACl ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PAC และ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์

## 2.2) น้ำย้อม

### 2.2.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนท์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำย้อม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมใช้ PACl ความเข้มข้น 600 และ 700 mg/L ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.3 และ 0.4 mg/L โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 7-10 เนื่องจาก pH มีผลต่อการแตกตัวของ PACl โดยที่ pH มีค่าต่ำ PACl จะแตกตัวได้ไม่ดี แต่ที่ pH มีค่าสูงขึ้น PACl จะแตกตัวเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนได้มากขึ้น โดยอลูมิเนียมมีประจุบวกในขณะที่อนุภาคของสีย้อมที่มักใช้ในกระบวนการย้อมไหมเป็นสีแอนไอออนิก ดังนั้น เมื่อใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนท์ ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมจึงมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง และ Polymer จะมีส่วนช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นรวมกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อตะกอนของสีที่แยกออกจากน้ำจะทำให้ค่า COD ลดลงด้วย เนื่องจากอนุภาคสีที่ตกตะกอนออกจากรู้น้ำมีส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ด้วยเช่นกัน โดยจากการศึกษาของ Sanghi et.al. (2006) พบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจนถึง pH 9.5 ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการ pH มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PACl โดยที่ pH มากกว่า 7 จะเกิดอลูมิเนียมเชิงซ้อนได้มาก และจะเปลี่ยนไปเป็นตะกอนของเกลืออลูมิเนียม เมื่อ pH มากกว่า 10 เมื่อ pH 8.5-9.5 ในน้ำมีประจุบวก (H<sup>+</sup>) ต่ำ เมื่อเติม PACl ลงไปจะเกิดอลูมิเนียมเชิงซ้อนได้มาก ทำให้สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลไก Charge neutralization และการดูดติดผิว โดยที่ pH 8.5 – 9.5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแอนไอออนิก 42-61 ซึ่งที่สภาวะเหมาะสม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 67.78 – 90.44 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 62.25 – 98.94 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

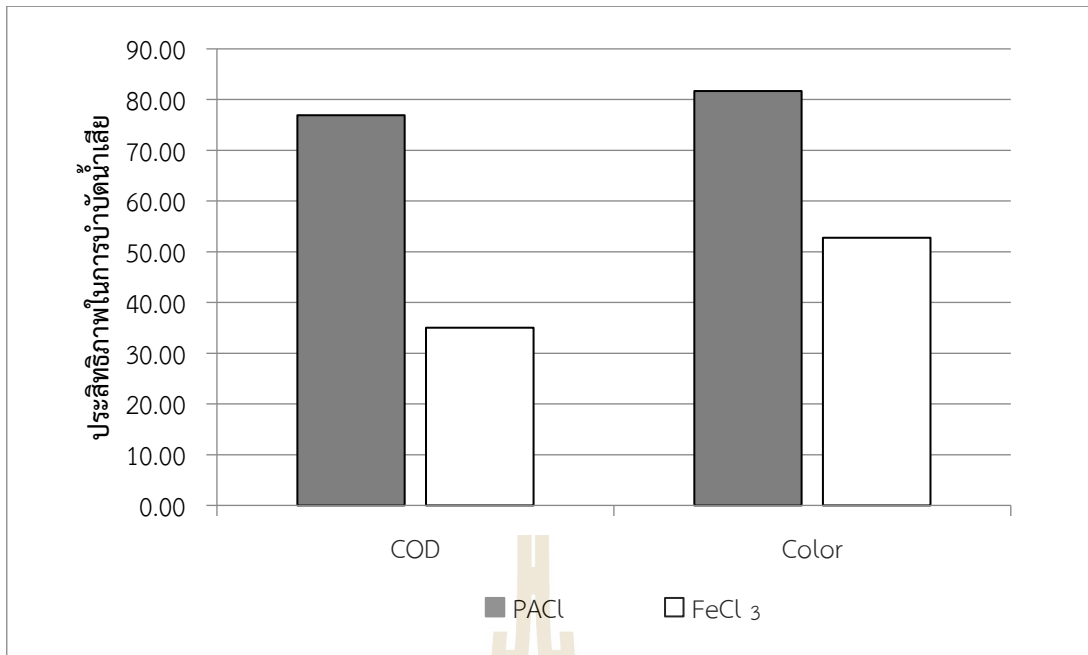


## 2.2.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ $\text{FeCl}_3$ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำย้อมโดยใช้  $\text{FeCl}_3$  พบว่า เมื่อใช้  $\text{FeCl}_3$  ความเข้มข้น 40 – 200 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 1.6 และ 1.8 mg/l โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4 - 8 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่  $\text{FeCl}_3$  มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน เนื่องจากเกิดกลไก Adsorption Destabilization โดย  $\text{FeCl}_3$  จะแตกตัวเป็นประจุบวกในน้ำ และจะทำหน้าที่เช่นเดียวกับในน้ำย้อมสีธรรมชาติดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น คือ สะเทินประจุบนผิวของตะกอนสีย้อมซึ่งเป็นประจุลบ และอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุเป็นผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถตกตะกอนได้ ส่วน Polymer จะช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นรวมกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษา พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 16.67 – 63.96 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 12.16 – 94.54 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยจากการทดลองของ Kim et.al. (2004) ได้มีการศึกษาการกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อมแอซิด โดยใช้  $\text{FeCl}_3$  พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสี reactive 84 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 71.3 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD สูงสุด เท่ากับร้อยละ 66.5 ที่ความเข้มข้น  $\text{FeCl}_3$  เท่ากับ 2.78 mM และ pH 6 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมเป็นจุดที่มีค่า Zeta potential ต่ำจนเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่ง pH ของน้ำมีผลต่อค่า Zeta potential ดังนั้น pH จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดสี และ COD ในน้ำสีย้อม

## 2.2.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACl และ  $\text{FeCl}_3$  เมื่อใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าที่สภาวะเหมาะสมที่ความเข้มข้น PACl และ Polymer เฉลี่ยเท่ากับ 633.33 และ 0.36 mg/l ตามลำดับ โดยที่ pH เท่ากับ 8.67 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 76.92 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 81.69 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้  $\text{FeCl}_3$  เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น  $\text{FeCl}_3$  และ Polymer เท่ากับ 113.33 และ 1.67 mg/l ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 35.04 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 52.76 จากการเปรียบเทียบผลการศึกษา ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นได้ว่าการใช้ PACl มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สีสูงกว่าการใช้  $\text{FeCl}_3$  ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของ PACl และ  $\text{FeCl}_3$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของ PACl มีประสิทธิภาพสูงกว่า  $\text{FeCl}_3$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} > 0.05$  ในก) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข.) การศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACl ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PAC และ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

#### 4.2.2 ทางเลือกที่ 2 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยกระบวนการดูดซับ

1) สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

##### 1.1) น้ำฟอก

##### 1.1.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอก

ในการศึกษาการศึกษากจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์ใช้น้ำฟอกปริมาตร 1,000 ml นำไปกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 5 g และวัดค่าสีที่เหลืออยู่ทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุล มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับ คือ สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ (zero order) จลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่ง (first order) และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสอง (second order) เป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression correlation : R<sup>2</sup>) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.10(ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดดัดแปลงแสดงในภาคผนวก ค.) โดยค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่งและสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษาสรุปดังตารางที่ 4.11 พบว่า R<sup>2</sup> ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์โดยมีค่า R<sup>2</sup> อยู่ในช่วง 0.6799 – 0.9089 ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งมีค่า R<sup>2</sup> อยู่ในช่วง 0.6829 – 0.9105 และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.6858-0.9121 ซึ่งจากผลการนำค่า R<sup>2</sup> ทั้ง 3 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ยแล้วพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด คือเท่ากับ 0.8081 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ และอันดับหนึ่ง แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา

การดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คือ มีค่าเท่ากับ  $5 \times 10^{-9}$ - $2 \times 10^{-8}$  และเมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า



รูปที่ 4.10 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
Min-Max	4.167-11.536	0.6799-0.9089	$6 \times 10^{-5}$ - $2 \times 10^{-4}$	0.6829-0.9105	$5 \times 10^{-9}$ - $2 \times 10^{-8}$	0.6858-0.9121
Mean±S.D.	8.148 ±3.720	0.7978 ±0.1147	$1.2 \times 10^{-4}$ ± $7.21 \times 10^{-5}$	0.8031 ±0.1143	$1.1 \times 10^{-8}$ ± $7.9 \times 10^{-9}$	0.8081 ±0.1143

### 1.1.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

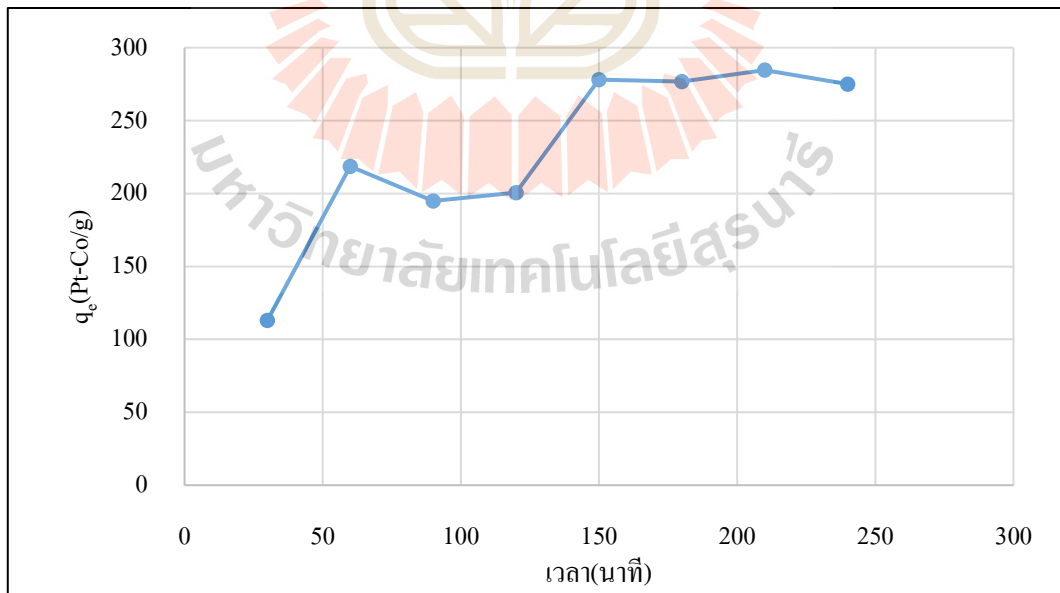
#### - ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอก ใช้ น้ำฟอก 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอก ( $q_e$ , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.11 พบว่าผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก จะเห็นได้ว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในน้ำฟอกมีอนุภาค

ที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำอยู่สูงดังจะเห็นได้จากลักษณะสมบัติของน้ำฟอกย้อมมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ประมาณร้อยละ 10 ของของแข็งทั้งหมด ซึ่งอนุภาคเหล่านี้อาจทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของถ่านทำให้อนุภาคของสีในน้ำไม่สามารถเกิดการดูดซับในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ลดลงได้ (วนิดา ชูอักษร, 2555) โดยจากการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 14.02 – 24.61 และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 8.04-25.43 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 240 นาที

ตารางที่ 4.12 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
30	19.199-205.697	113.044 $\pm$ 93.254
60	139.206-357.640	218.531 $\pm$ 120.868
90	88.974-281.643	194.98 $\pm$ 97.782
120	3.912-338.519	200.673 $\pm$ 174.911
150	209.654-364.445	277.999 $\pm$ 78.967
180	198.610-364.453	276.751 $\pm$ 83.334
210	191.344-354.698	284.610 $\pm$ 84.107
240	184.078-342.629	274.998 $\pm$ 81.801



รูปที่ 4.11 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

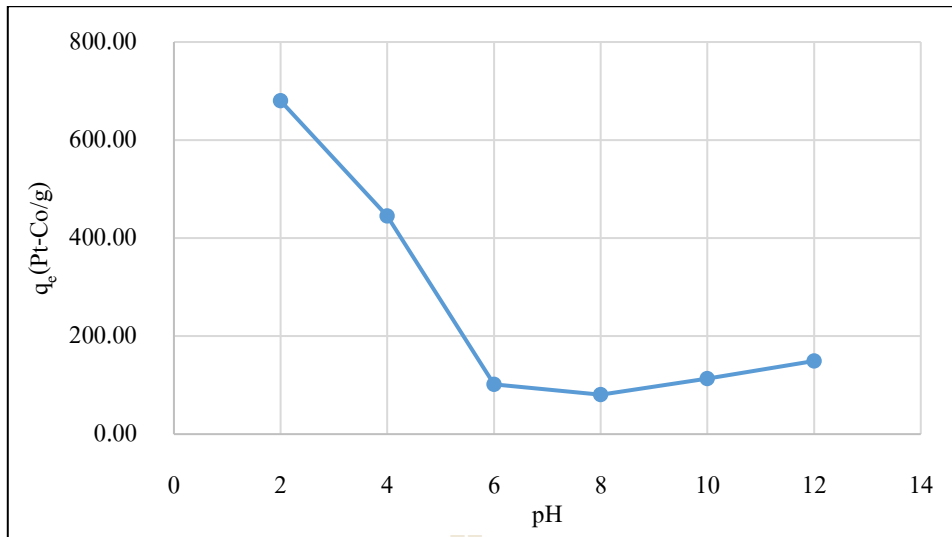
ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำฟอกปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับ( $q_e$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อน้ำเสียมีสภาพเป็นกรดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดโดยพบว่าที่สภาวะ pH เท่ากับ 2 และ 4 เนื่องจากค่า pH จะมีผลต่อโปรตีน sericin ที่อยู่ในน้ำฟอก คือ ในสภาวะที่เป็นกรดจะเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ ทำให้อนุภาคสีในน้ำถูกดูดซับได้ง่ายขึ้น และเนื่องจากโปรตีนดังกล่าวมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม  $-OH$   $-NH-$  และ  $-N^+(CH_3)_3$  อยู่สูง ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีประจุลบ เมื่อ pH ของสารละลายเป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าที่ pH เป็นด่าง (Gecgel et al, 2013) การตกตะกอนและการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ค่าสี และ COD ของน้ำฟอกลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 15.56-28.80 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 4.84 – 48.95 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

1.1.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอก มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 184.078-342.629 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 2 และ 4 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 386.10-965.81 และ 161.11-735.20 Pt-Co/g ตามลำดับ ดังนั้น การทดลองหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์จึงต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 2 และ 4

ตารางที่ 4.13 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
2	386.10-965.81	679.88 $\pm$ 289.93
4	161.11-735.20	445.33 $\pm$ 287.09
6	48.89-188.32	101.38 $\pm$ 75.83
8	12.50-134.43	80.46 $\pm$ 62.16
10	34.44 – 178.89	113.51 $\pm$ 73.19-
12	80.55 – 222.77	149.25 $\pm$ 71.23



รูปที่ 4.12 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.14 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

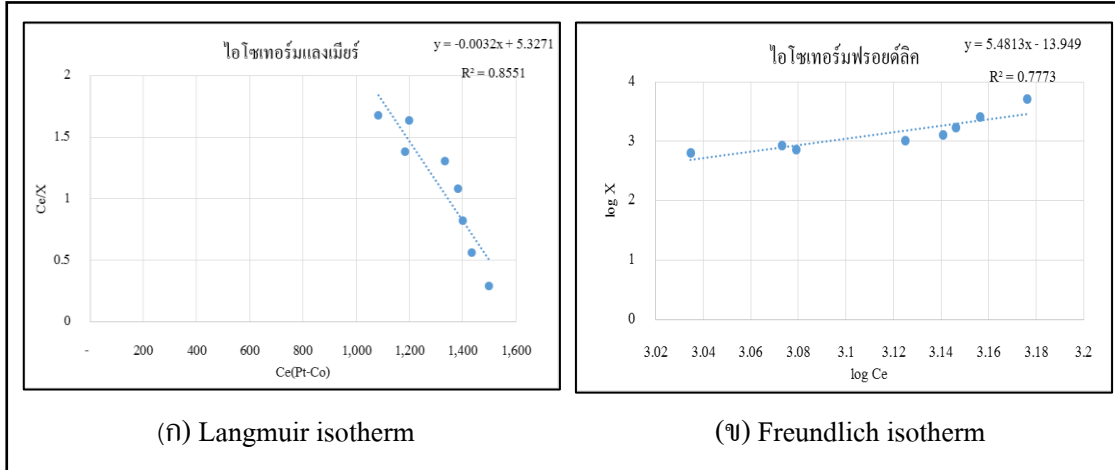
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	2 และ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

#### 1.1.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 4.14 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1-8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir สามารถนำไปหาค่าคงที่  $q_e$  และ  $K_L$  ได้ และสมการของ Freundlich สามารถนำไปหาค่า  $n$  และ  $K_f$  ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Langmuir เนื่องจากมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.5014-0.8551 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอร์ม Freundlich แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (Li et al.,2017) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.15 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

ข้อมูล	Langmuir constant			Freundlich constant		
	q <sub>max</sub> (Pt-Co/g)	K <sub>L</sub> (L/mg)	R <sup>2</sup>	K <sub>f</sub> (Pt-Co/g)	n	R <sup>2</sup>
Min-Max	-313 - 2.51	-6.04 × 10 <sup>-4</sup> - -1.38 × 10 <sup>-4</sup>	0.644-0.855	1.12 × 10 <sup>-14</sup> -3,460	-14.43 -12.35	0.4568-0.8179
Mean ± S.D.	-170 ± 159.63.	-4.43 × 10 <sup>-4</sup> ± 2.64 × 10 <sup>-4</sup>	0.735 ± 0.108	1.96 × 10 <sup>3</sup> ±1,774.2	-0.632 ± 13.41	0.684 ± 0.198



รูปที่ 4.13 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

1.1.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 2.67 โดยใช้ถ่าน 5.67 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 4.11-25.23 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 13.00 – 41.28 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยจากการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สอง โดยมี  $R^2$  เท่ากับ  $0.8081 \pm 0.1143$  และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Langmuir เนื่องจากมีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.735 \pm 0.108$

ตารางที่ 4.16 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

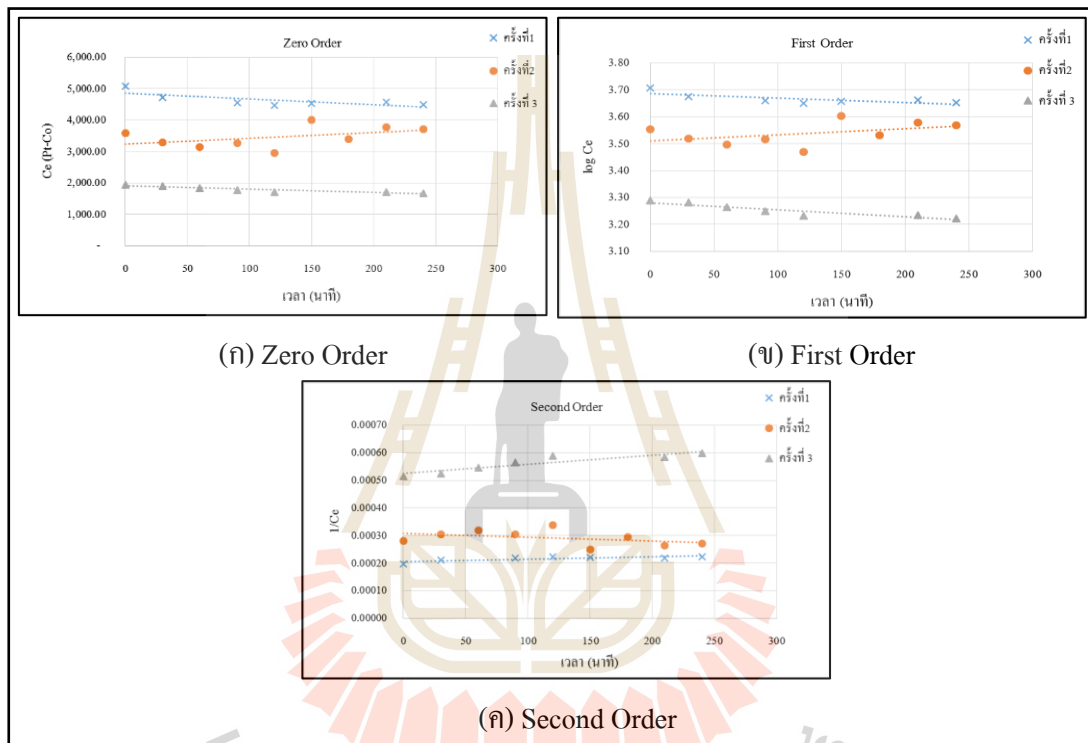
ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้น(Pt-Co)	ความเร็วรอบ(rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	3
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	6
3	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	8
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2.67	อุณหภูมิห้อง	5.67

1.2) น้ำย้อม

1.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาการศึกษากจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์ใช้น้ำย้อมปริมาตร 1,000 ml นำไปกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 5 g และวัดค่าสีที่เหลืออยู่ทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุล มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.14 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.17 พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นปฏิกิริยาอันดับสองโดยมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.5685-0.8431 โดยจากค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ในช่วง  $8 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-7}$  เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า โดยจากการศึกษาการดูดซับสีย้อมจากแก่นฝางซึ่งเป็นสีย้อมธรรมชาติโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองเช่นเดียวกัน (เสาวณีย์ ชูยิ่งสกุลทิพย์ , 2556)



รูปที่ 4.14 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.17 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
Min-Max	1.0682-1.8241	0.5606-0.8313	0.0002-0.0003	0.5647-0.8374	$8 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-7}$	0.5685-0.8431
Mean±S.D.	1.4462 ± 0.534	0.6960 ± 0.191	0.00025 ± 7.07×10 <sup>-5</sup>	0.7011 ± 0.193	$1.9 \times 10^{-7} \pm 1.56 \times 10^{-7}$	0.7058 ± 0.194

1.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

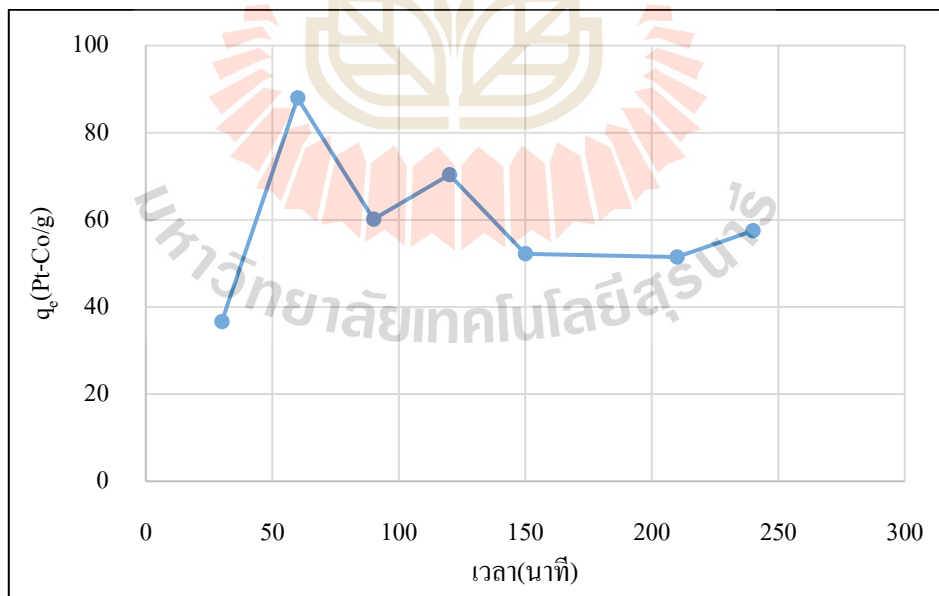
- ผลของระยะเวลาสัมผัส



การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อม ใช้น้ำย้อม 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และCOD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม ( $q_e$ , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.15 พบว่าผลของเวลาต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมจะเห็นว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จากการศึกษานี้เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 0-26.42 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงร้อยละ 18.26 - 27.09 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.18 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
30	6.611-66.586	36.5985 $\pm$ 42.409
60	19.621-156.285	87.953 $\pm$ 96.636
90	30.107 – 90.138	60.123 $\pm$ 42.448
120	40.121 – 100.513	70.317 $\pm$ 42.704
150	18.130 – 86.256	52.193 $\pm$ 48.172
180	16.040 – 202.939	109.490 $\pm$ 132.158
210	32.63 – 70.259	51.445 $\pm$ 26.608
240	36.708 – 78.262	57.485 $\pm$ 29.383



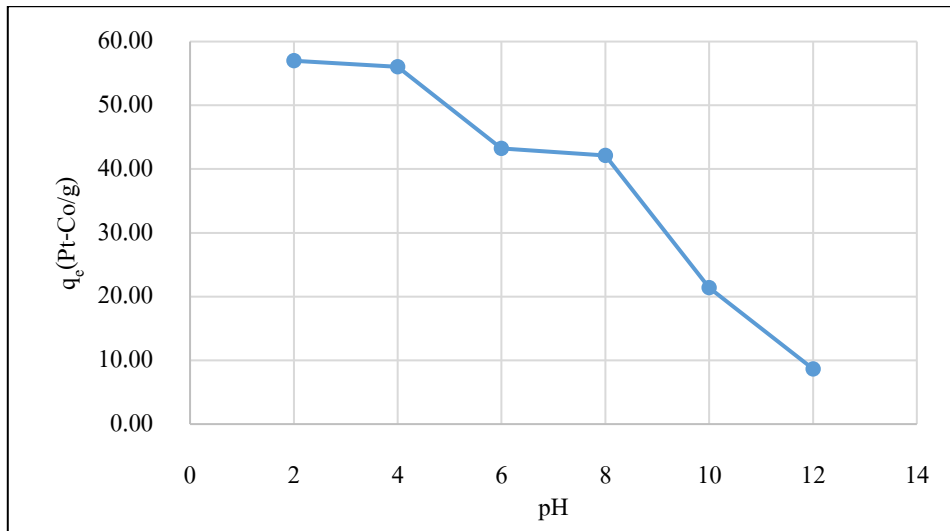
รูปที่ 4.15 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยใช้ น้ำย้อมปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.16 พบว่า ที่ pH ที่เป็นกรดจะมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงกว่าที่ pH สูง โดย pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 2 และ 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 2.21 และ 0.66 Pt-Co/g ตามลำดับ เนื่องจากผลของ pH ต่อสีย้อมธรรมชาติที่กล่าวไปข้างต้น และ pH เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับโดย pH ของสารละลายมีผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ คือที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะมีค่า  $pH_{zpc}$  (pH of zero net proton charge) เป็นค่าความเป็นกรด - ด่างสุทธิที่ผิวเท่ากับศูนย์ เมื่อค่า pH สูง ( $pH > pH_{zpc}$ ) พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุลบและการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่เป็นประจุบวกจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างผิวกับโมเลกุลของสีย้อม และ เมื่อ pH ต่ำ พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ( $pH < pH_{zpc}$ ) การดูดซับสีย้อมที่เป็นประจุบวกจะลดลง เนื่องจากการจะเกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับพื้นผิวของตัวดูดซับ(Gecgel et al, 2013) ดังนั้น ที่สภาวะเป็นกรดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมธรรมชาติได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นด่างเนื่องจาก ในสภาวะที่เป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ( $pH < pH_{zpc}$ ) และสีย้อมมีประจุลบทำให้สามารถดูดซับอนุภาคสีได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 28.38-65.40และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 46.47 – 75.57 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.19 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
2	26.25 – 87.73	56.99 $\pm$ 43.472
4	23.77 – 88.28	56.03 $\pm$ 45.616
6	-0.39 – 86.87	43.24 $\pm$ 61.703
8	-5.83 – 90.07	42.12 $\pm$ 67.814
10	-16.44 – 59.27	21.42 $\pm$ 53.540
12	-19.14 – 36.47	8.67 $\pm$ 39.318



รูปที่ 4.16 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

1.2.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำย้อม มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 36.07-78.26 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 2 และ 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 26.25 และ 88.28 Pt-Co/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วง pH ที่ใกล้เคียงกับน้ำย้อมสีธรรมชาติเริ่มต้น ดังนั้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงใช้ pH เริ่มต้นในการศึกษาซึ่งมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 6.10 – 7.69 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.20 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	ตามน้ำเสียจริง
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

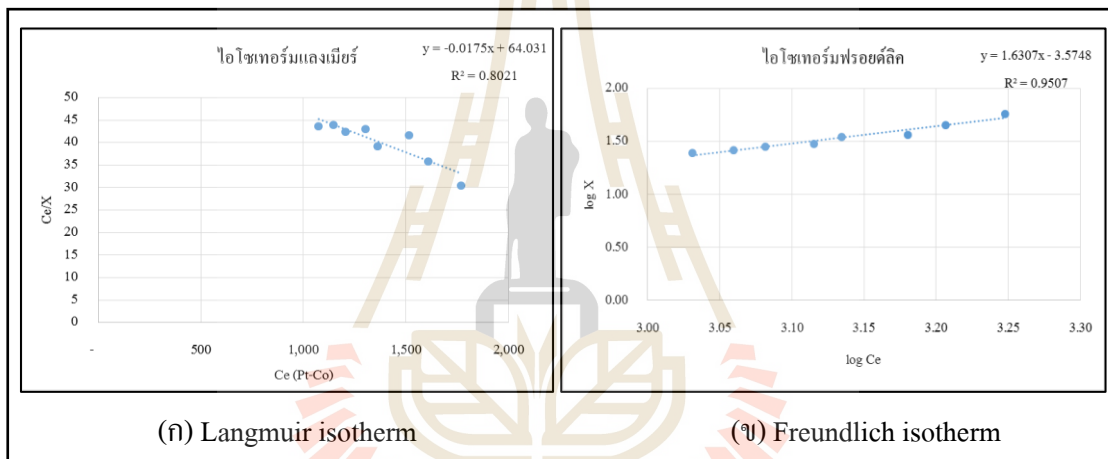
1.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสภาวะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.20 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอรั่มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.17 จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอรั่มของ Langmuir มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.535 ± 0.588 ส่วนไอโซเทอรั่มของ Freundlich มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.867 ± 0.092 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R<sup>2</sup> แล้วจะเห็นว่า

การดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich ซึ่งมีสมมติฐานของไอโซเทอร์ม Freundlich คือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพไอโซเทอร์ม Freundlich เป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนามาจากไอโซเทอร์ม Langmuir ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยการดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) (Ho and Chiang,2001; วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2558)

ตารางที่ 4.21 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

ข้อมูล	Langmuir constant			Freundlich constant		
	$q_{max}(PtCo/g)$	$K_L(L/mg)$	$R^2$	$K_f (Pt-Co/g)$	$n$	$R^2$
Min-Max	-9.83-59.88	$-1.84 \times 10^{-3}$ - $(-1.58 \times 10^{-3})$	0.8021-0.9324	$2.67 \times 10^{-4}$ -174.18	-9.132-0.612	0.1197-0.9507
Mean $\pm$ S.D.	25.025 $\pm$ 49.29	$-1.71 \times 10^{-3} \pm 1.84 \times 10^{-4}$	0.8672 $\pm$ 0.092	87.09 $\pm$ 123.164	-4.26 $\pm$ 6.890	0.535 $\pm$ 0.588



รูปที่ 4.17 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

### 1.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 2.67 โดยใช้ถ่าน 8 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.22 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 23.21-30.77 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 41.60 – 47.79 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยจากผลการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สองโดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.7058 \pm 0.194$  และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Freundlich เนื่องจากมีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.867 \pm 0.092$  จัดเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 4.22 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	สถานะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาท)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็วรอบ (rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	8
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	8
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	3	อุณหภูมิห้อง	8

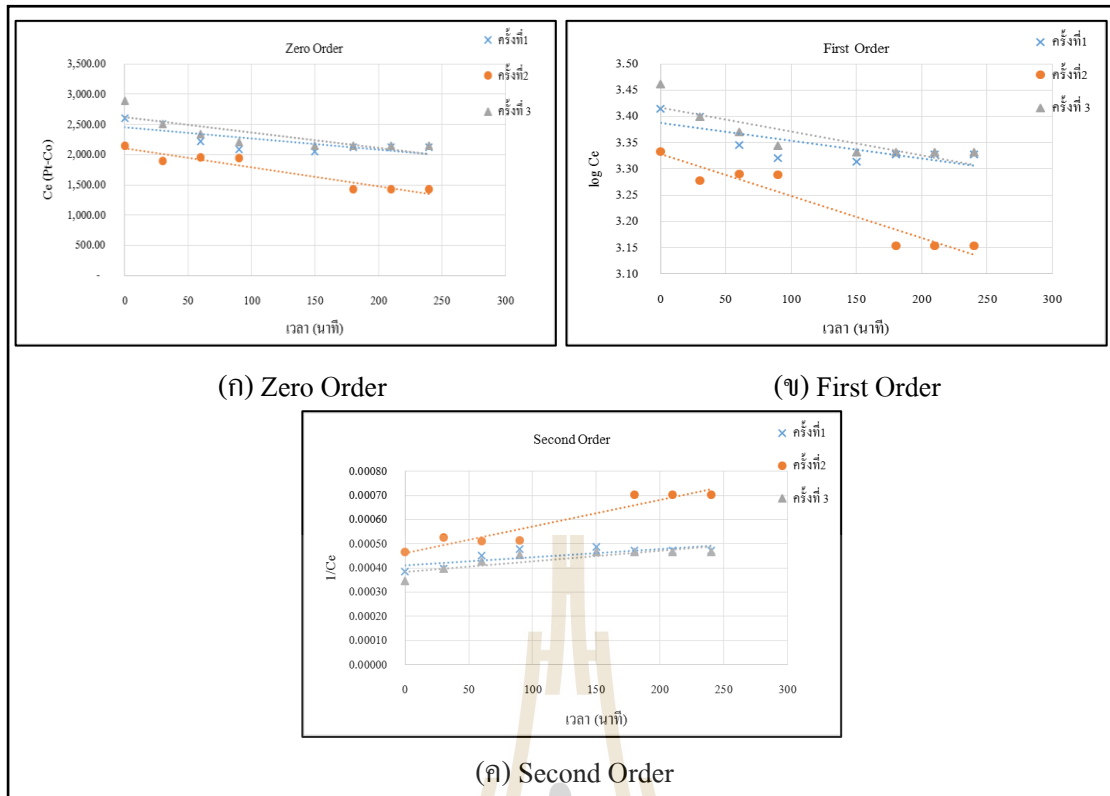
2) สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

### 2.1) น้ำฟอก

#### 2.1.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาการศึกษาดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์ใช้น้ำฟอกปริมาตร 1,000 ml นำไปกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 5 g และวัดค่าสีที่เหลืออยู่ทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุล มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาดูดซับด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับ คือ สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ (zero order) อันดับหนึ่ง (first order) และอันดับสอง (second order) เป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับโดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression correlation :  $R^2$ ) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.18(ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่งและสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษาสรุปดังตารางที่ 4.23 พบว่า  $R^2$  ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์โดยมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.6092-0.7314 ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.6026 – 0.9148 และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.6150-0.9142 ซึ่งจากผลการนำค่า  $R^2$  ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันแล้วพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด คือเท่ากับ 0.7520 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ และอันดับหนึ่ง แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วง  $3 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-6}$  เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า



รูปที่ 4.18 กราฟพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.23 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
Min-Max	1.8253-2.9946	0.6092-0.7314	0.0003-0.0008	0.6026-0.9148	$3 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-6}$	0.615 -0.9142
Mean±S.D.	2.453 ± 0.589	0.676 ± 0.062	$5.33 \times 10^{-4} \pm 2.52 \times 10^{-4}$	0.744 ± 0.158	$5.66 \times 10^{-7} \pm 3.79 \times 10^{-7}$	0.752 ± 0.157

2.1.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

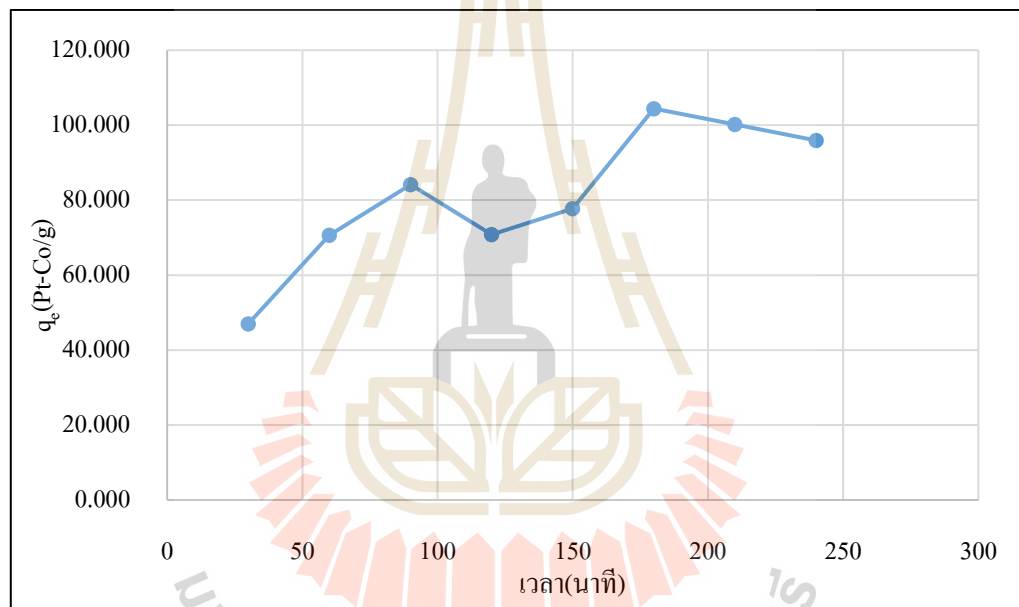
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอก ใช้น้ำฟอก 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และCOD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอก ( $q_e$ , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.24 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
30	17.278 -74.837	47.002 $\pm$ 28.286
60	36.991-102.914	70.665 $\pm$ 32.984
90	36.593-123.701	84.166 $\pm$ 44.107
120	18.154-148.293	70.821 $\pm$ 68.524
150	15.582-124.293	77.772 $\pm$ 56.023
180	79.594-119.020	104.415 $\pm$ 21.607
210	77.211-113.747	100.170 $\pm$ 19.993
240	74.828-108.473	95.925 $\pm$ 18.380



รูปที่ 4.19 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

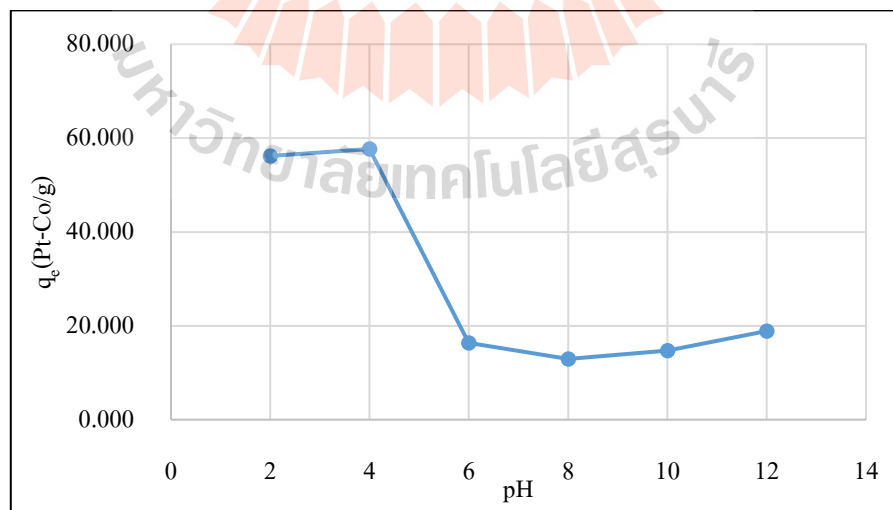
จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.19 พบว่าผลของเวลาต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก จะเห็นได้ว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในน้ำฟอกมีอนุภาคที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำอยู่สูงดังจะเห็นได้จากลักษณะสมบัติของน้ำฟอกย้อมมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ (ตารางที่ 4.4) ทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของถ่านทำให้อนุภาคของสีในน้ำไม่สามารถเกิดการดูดซับในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ลดลง โดยจากการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 180-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียงร้อยละ 14.84 – 40.25 ในหน่วย ADMI และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 19.80-27.66 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ดังนั้น ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 240 นาที

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำฟอกปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับ( $q_e$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.20 พบว่าเมื่อน้ำฟอกมีสถานะเป็นกรดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดโดยพบว่าที่สถานะ pH เท่ากับ 2 และ 4 เนื่องจากค่า pH จะมีผลต่อโปรตีน sericin ที่อยู่ในน้ำฟอกเช่นเดียวกับน้ำฟอกที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ในสถานะที่เป็นกรดจะเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ ทำให้อนุภาคสีในน้ำถูกดูดซับได้ง่ายขึ้น และโปรตีนดังกล่าวมีประจุลบ เมื่อ pH ของสารละลายเป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าที่ pH เป็นด่าง การตกตะกอนและการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ค่าสี และ COD ของน้ำฟอกลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ค่อนข้างน้อย คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.17-12.59 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 17.50 – 62.17 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.25 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
2	47.914-62.167	56.228 $\pm$ 7.417
4	52.331-60.688	57.672 $\pm$ 4.638
6	3.500-25.026	16.400 $\pm$ 11.382
8	5.556-18.859	12.953 $\pm$ 6.776
10	10.305-23.360	14.721 $\pm$ 7.482
12	3.333-27.106	18.914 $\pm$ 13.499



รูปที่ 4.20 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์



2.1.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอกสรุปผลปัจจัยที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 4.26 พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 74.828-108.473 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 2 และ 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 62.17 -60.69 Pt-Co/g ตามลำดับ ดังนั้นการทดลองหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์จึงต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 2 และ 4

ตารางที่ 4.26 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

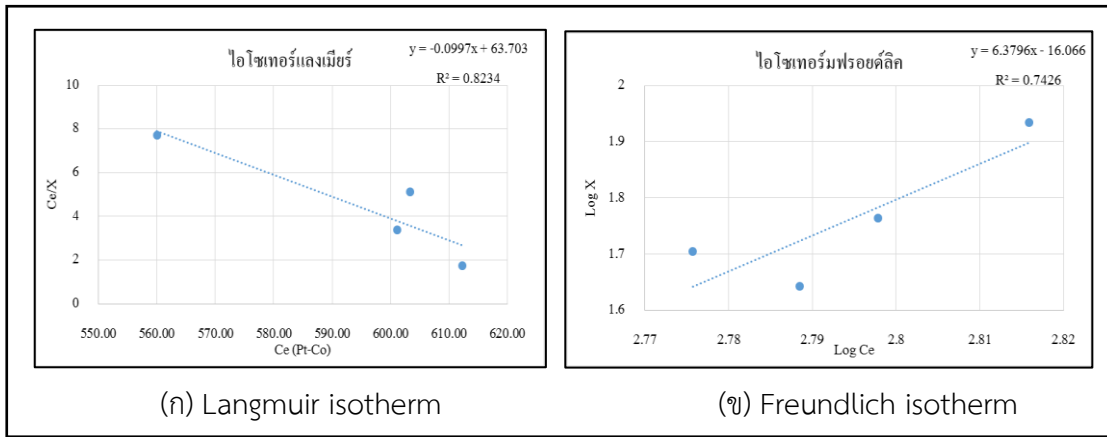
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	2 และ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

2.1.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.26 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 - 8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.21 จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.7433 ส่วนไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.5889 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า  $R^2$  แล้วจะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Langmuir มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Langmuir แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (Li et al.,2017)

ตารางที่ 4.27 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

ข้อมูล	Langmuir constant			Freundlich constant		
	$q_{max}(PtCo/g)$	$K_L(L/mg)$	$R^2$	$K_f (Pt-Co/g)$	$n$	$R^2$
Min-Max	-103.09 - 193.42	-1.618 - -0.0006	0.6017-0.8234	$8.56 \times 10^{-17}$ - 259.59	-22.08 - 11.14	0.3279 - 0.7426
Mean $\pm$ S.D.	21.98 $\pm$ 153.60	-0.54 $\pm$ 0.93	0.7433 $\pm$ 0.122	138.39 $\pm$ 130.65	-3.595 $\pm$ 16.92	0.5889 $\pm$ 0.227



รูปที่ 4.21 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

2.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 3.33 โดยใช้ถ่าน 4.33 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.28 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 9.23-13.86 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 19.53 – 36.04 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยจากการศึกษาพบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สองโดยมี  $R^2$  เท่ากับ  $0.752 \pm 0.157$  และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Langmuir มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.7433 \pm 0.122$

ตารางที่ 4.28 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

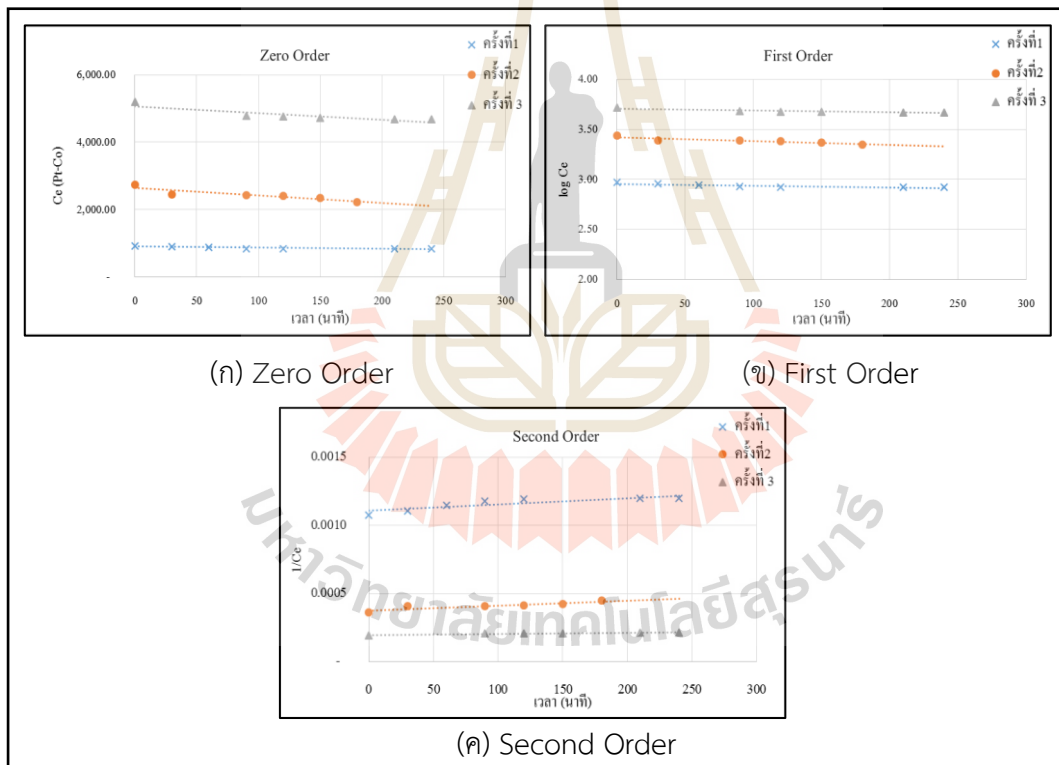
ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็วรอบ (rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	2
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	6
3	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	5
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	3.33	อุณหภูมิห้อง	4.33

2.2) น้ำย้อม

2.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาการศึกษากจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์ใช้น้ำย้อมปริมาตร 1,000 ml นำไปกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 5 g และวัดค่าสีที่เหลืออยู่ทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุล มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.22 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดติดตั้งแสดงในภาคผนวก ค.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.29 พบว่า  $R^2$  ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์โดยมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.7253-0.8016 ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งมีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.7143 – 0.7921 และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.7387-0.8243 ซึ่งจากผลการนำค่า  $R^2$  ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันแล้วพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด คือเท่ากับ 0.7880 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ และอันดับหนึ่ง แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วง  $8 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-7}$  เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้าโดยจากผลการศึกษากการดูดซับสีย้อมเอซิดส่วนใหญ่การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสอง (Ho and Chang, 2001 ; จักรกฤษณ์ อัมพฤษ, 2548; Cretescu et al.,2017)



รูปที่ 4.22 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.29 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	$R^2$	K	$R^2$	K	$R^2$
Min-Max	0.3496-2.193	0.7253-0.8016	0.0002-0.0004	0.7143-0.7921	$8 \times 10^{-8} - 5 \times 10^{-7}$	0.7387 – 0.8243
Mean±S.D.	$1.515 \pm 1.0136$	$0.7703 \pm 0.0399$	$2. \times 10^{-4} \pm 1.2 \times 10^{-4}$	$0.746 \pm 0.0408$	$3.3 \times 10^{-7} \pm 2.2 \times 10^{-7}$	$0.788 \pm 0.044$

2.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

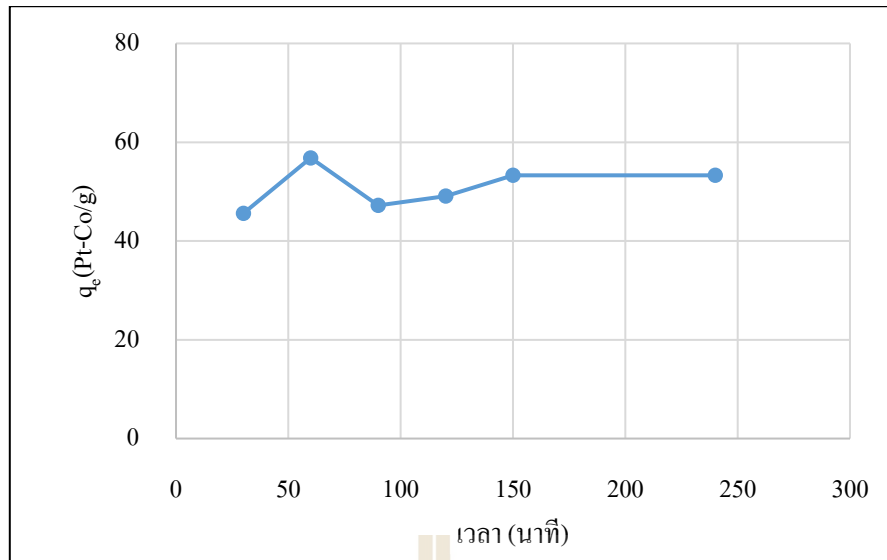
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่ผลต่อการดูดซับน้ำย้อม ใช้น้ำย้อม 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม ( $q_e$ , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.23 พบว่าผลของระยะเวลาที่สัมผัสต่อการดูดซับสีในน้ำสีย้อมจะเห็นว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วลดลงอย่างช้า ๆ จากการศึกษานี้เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 18.45-22.72 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงร้อยละ 3.84 – 8.69 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.30 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; $q_e$ (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean $\pm$ S.D.
30	4.717-75.472	45.599 $\pm$ 36.640
60	10.746-84.725	56.826 $\pm$ 40.201
90	14.319-72.185	47.197 $\pm$ 29.729
120	15.288-74.712	49.109 $\pm$ 30.553
150	17.415-77.354	53.282 $\pm$ 31.662
180	11.586-88.817	60.442 $\pm$ 42.494
210	13.924-77.501	49.320 $\pm$ 32.397
240	13.279-73.908	53.273 $\pm$ 34.642



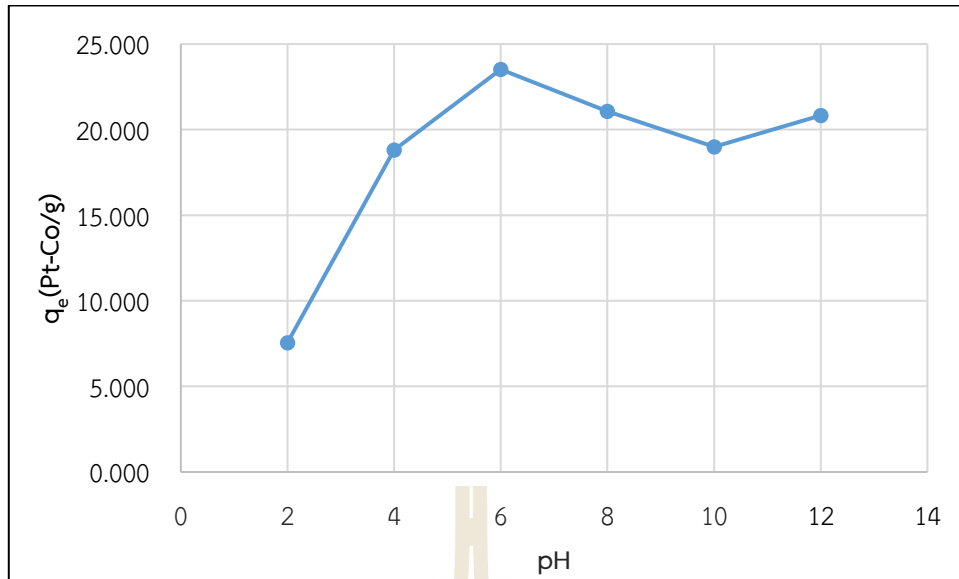
รูปที่ 4.23 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยถ่านกัมมันต์

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำย้อมปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ ตารางที่ 4.31 พบว่าช่วง pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดอยู่ในช่วง pH 6 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 7.582-35.136 Pt-Co/g เนื่องจากผลของ pH ในสารละลายส่งผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสีย้อมประจุลบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีเมื่อพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ( $pH < pH_{zpc}$ ) หรือในสภาวะที่เป็นกรด (Liu et al., 2012) และจากผลการศึกษาของ Katheresan et al.(2018) พบว่าค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ คือ อัตราการดูดซับต่ำเมื่อ pH ต่ำและในทางกลับกันอัตราการดูดซับสูงสุดถ้า pH อยู่ที่ประมาณ 6 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 40.34-66.67 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 4.40 – 74.52 ในหน่วย (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.31 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ;qe (Pt-Co/g)	
	Min-Max	Mean ± S.D.
2	4.056-13.110	7.555±4.865
4	7.035-31.998	18.816±12.541
6	7.582-35.136	23.517±14.275
8	6.832-35.333	21.073±14.250
10	6.332-26.414	18.988±11.015
12	6.110-31.051	20.831±13.065



รูปที่ 4.24 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

2.2.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำย้อม มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.32 พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 13.279-73.908 Pt-Co/g และจากการศึกษา ค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 6 และ 8 มีค่าความสามารถในการดูดซับ เท่ากับ 35.13 และ 35.55 Pt-Co/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วง pH ที่ใกล้เคียงกับน้ำย้อมสีเคมีเริ่มต้น ดังนั้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงใช้ pH เริ่มต้นในการศึกษาซึ่งมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 6.10-7.19 ตามลักษณะสมบัติของน้ำเสียในตารางที่ 4.4

2.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.32 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir นำมาคำนวณค่าคงที่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.33 และรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.8864 \pm 0.0339$  ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.663 \pm 0.432$  (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า  $R^2$  แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซ เทอร์ม Freundlich ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al.,1998) จากการศึกษาของ Ho and Chiang (2001) พบว่าผลการดูดซับสีย้อม acid red และ acid blue ที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich

ตารางที่ 4.32 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดย ถ่านกัมมันต์

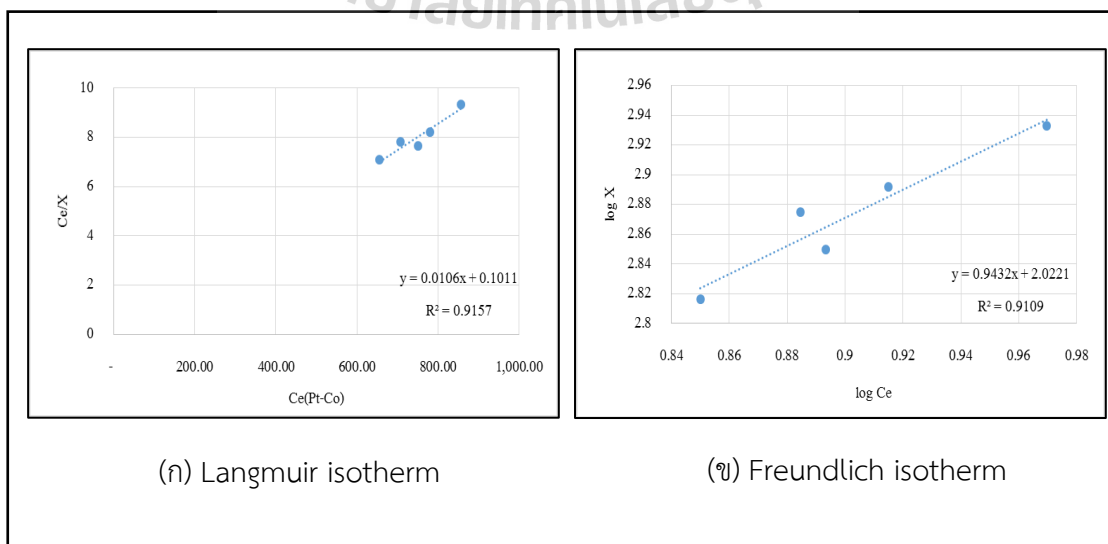
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	ตามน้ำเสียจริง
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.33 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

ข้อมูล	Langmuir constant			Freundlich constant		
	$q_{max}$ (PtCo/g)	$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$K_f$ (Pt-Co/g)	$n$	$R^2$
Min-Max	-33.56-108.69	$-1.36 \times 10^{-4}$ -0.104	0.1652-0.9157	0.066-132.22	-0.002-1.06	0.8477-0.9109
Mean $\pm$ S.D.	56.49 $\pm$ 78.31	0.0349 $\pm$ 0.0597	0.663 $\pm$ 0.432	79.169 $\pm$ 69.822	0.4907 $\pm$ 0.535	0.8864 $\pm$ 0.0339

### 2.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 6.67 โดยใช้ถ่าน 7.67 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.34 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพในการกำจัด กำจัด COD ของน้ำย้อมอยู่ในช่วงร้อยละ 31.82-53.13 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 4.85 – 80.93 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยจากการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สอง โดยมี  $R^2$  เท่ากับ  $0.788 \pm 0.044$  และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Freundlich เนื่องจากมีค่า  $R^2$  เท่ากับ  $0.8864 \pm 0.0339$



รูปที่ 4.25 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.34 สรุปลักษณะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาท)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็วรอบ(rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	6	อุณหภูมิห้อง	7
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	8	อุณหภูมิห้อง	8
3	240	ตามน้ำเสียจริง	150	6	อุณหภูมิห้อง	8
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	6.67	อุณหภูมิห้อง	7.67

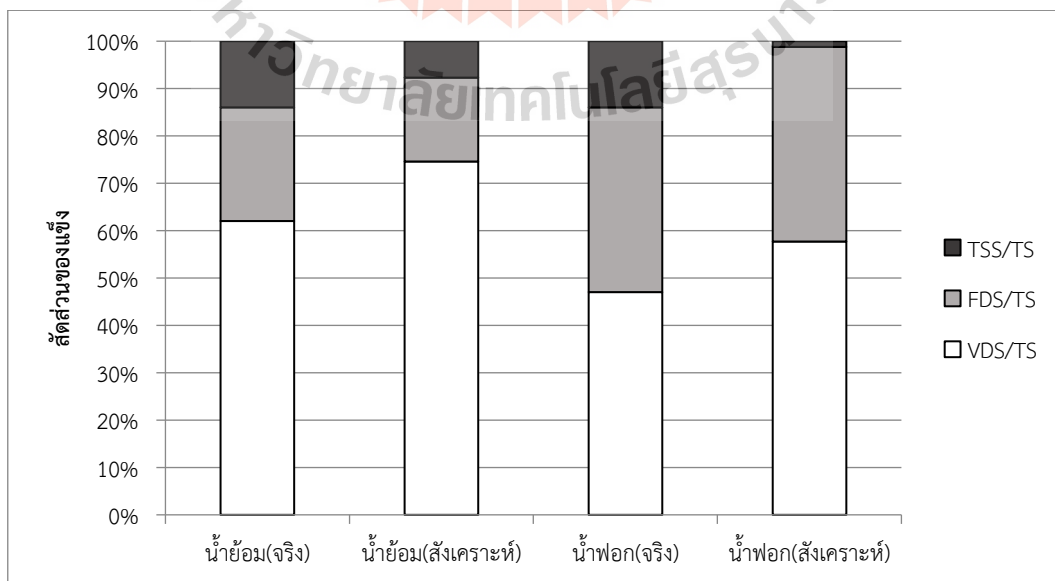
#### 4.2.3 ทางเลือกที่ 3 กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

##### 1) ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์

##### 1.1) น้ำฟอกสังเคราะห์

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้มีการสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาทดลอง โดยจากการสังเคราะห์น้ำฟอกและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า มีค่าCOD เฉลี่ยเท่ากับ 8,503 mg/l ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.11 และมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 80.91 ซึ่งจากการเตรียมน้ำน้ำเสียสังเคราะห์มีการใช้สารอินทรีย์จำพวก  $C_6H_5COONa$   $CH_3COONa$  และสารอาหารอื่น ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับสารอินทรีย์ที่หลุดออกมาจากไหมในขั้นตอนการลอกขาวไหมจากการวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งพบว่าของแข็งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งที่ละลายมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งใกล้เคียงกับลักษณะน้ำฟอกจริงของสถานประกอบการทั้งสองแห่งดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงสำหรับน้ำเสียจากสถาน



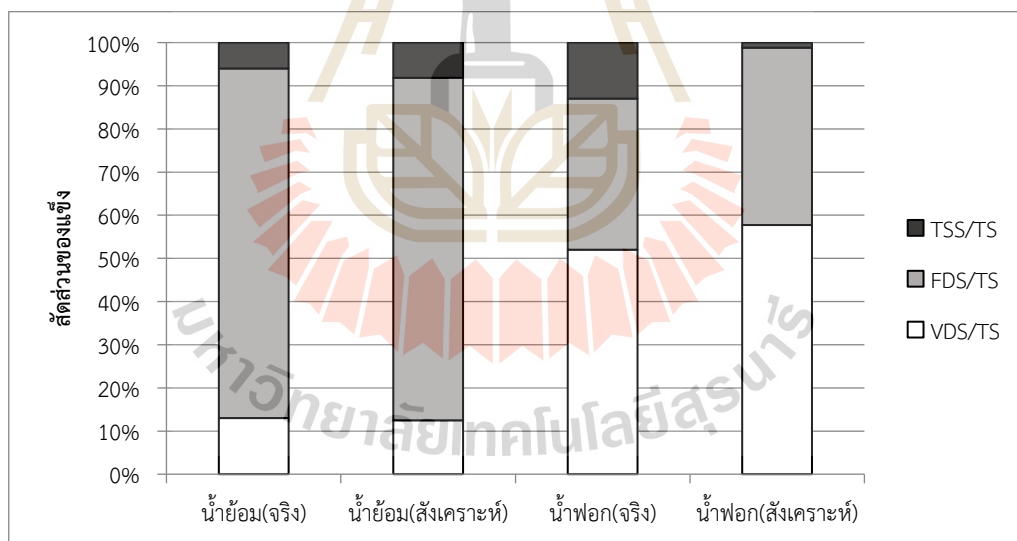
### ประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

#### 1.2) น้ำสีย้อมธรรมชาติสังเคราะห์

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้มีการสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาทดลอง โดยในการสังเคราะห์น้ำสีย้อมธรรมชาติที่สกัดจากใบสัก และจากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า มีค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 6,248 mg/l ค่า pH อยู่ในช่วง 6.46 และมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 9,538 ADMI และจากการวิเคราะห์ค่าของแข็งในน้ำเสียพบว่าลักษณะของแข็งของน้ำสีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำร้อยละ มากกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำสีย้อมธรรมชาติประกอบไปด้วยของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 74 สกัดได้จากสัดส่วนของ VDS/TS ที่มากกว่าสัดส่วนของ FDS/TS ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจริงดังแสดงในรูปที่ 4.26

#### 1.3) น้ำสีย้อมเคมีสังเคราะห์

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้มีการสังเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาทดลอง โดยในการสังเคราะห์น้ำสีย้อมเคมีโดยใช้สีย้อมชนิดเอซิด และจากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า มีค่าCOD เฉลี่ยเท่ากับ 2,618 mg/l ค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.31 และมีค่าสีเฉลี่ยเท่ากับ 9,799 ADMI และจากการวิเคราะห์ค่าของแข็งในน้ำเสียพบว่าลักษณะของแข็งของน้ำสีย้อมธรรมชาติส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งไม่ละลายน้ำมากกว่าร้อยละ 50 และน้ำสีย้อมเคมีประกอบไปด้วยของแข็งละลายน้ำที่เป็นสารอินทรีย์เพียงร้อยละ 13 ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงสำหรับน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

โดยน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็กที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจะสังเคราะห์ตามสัดส่วนของการใช้วัสดุสำหรับการย้อม และการฟอก โดยสถานะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแสดงดังตารางที่ 4.35 ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ วิมลมาศ บุญยั้งยืน (2555) ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักต่อการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมด้วยระบบแบบไร้อากาศ พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 48-72 ชม. มีการรองรับภาระสารอินทรีย์ในช่วง 0.34-0.5 kg COD/m<sup>3</sup>.d มีประสิทธิภาพการกำจัด COD และสี 84.74-86.23% และ 76.21-86.80% ตามลำดับ มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีการควบคุมระยะเวลา

เก็บกักเท่ากับ 2.5 วัน ส่วนปริมาตรถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 ลิตร แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ตามประเภทน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ ดำเนินการศึกษาน้ำเสียแต่ละประเภทโดยพิจารณาจากสีที่ใช้ในการย้อมและการฟอกขาวใหม่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี และสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการเดินระบบแบบไม่ใช้อากาศ โดยวิเคราะห์ค่า COD และสี สำหรับวิธีวิเคราะห์อ้างอิงจาก Standard Methods (APHA, et al., 2005)

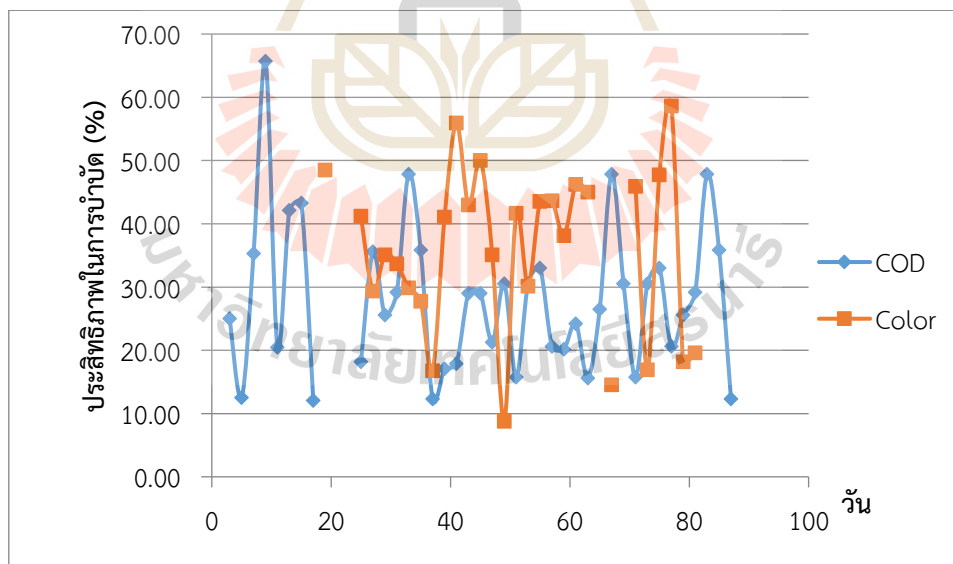
ตารางที่ 4.35 สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (วิมลมาศ บุญยั้งยืน, 2555)

สภาวะการเดินระบบ	น้ำสีย้อมเคมี	น้ำสีย้อมธรรมชาติ	น้ำฟอก
อัตราการไหล (ลิตรต่อวัน)	4	4	4
ปริมาตรถังปฏิกรณ์ (ลิตร)	10	10	10
ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	2.5	2.5	2.5
COD เฉลี่ยน้ำเสีย (mg/l)	2,618	6,248	8,503
อัตราการขบรทุกสารอินทรีย์ (kg COD/m <sup>3</sup> -d)	1.047	2.499	3.401

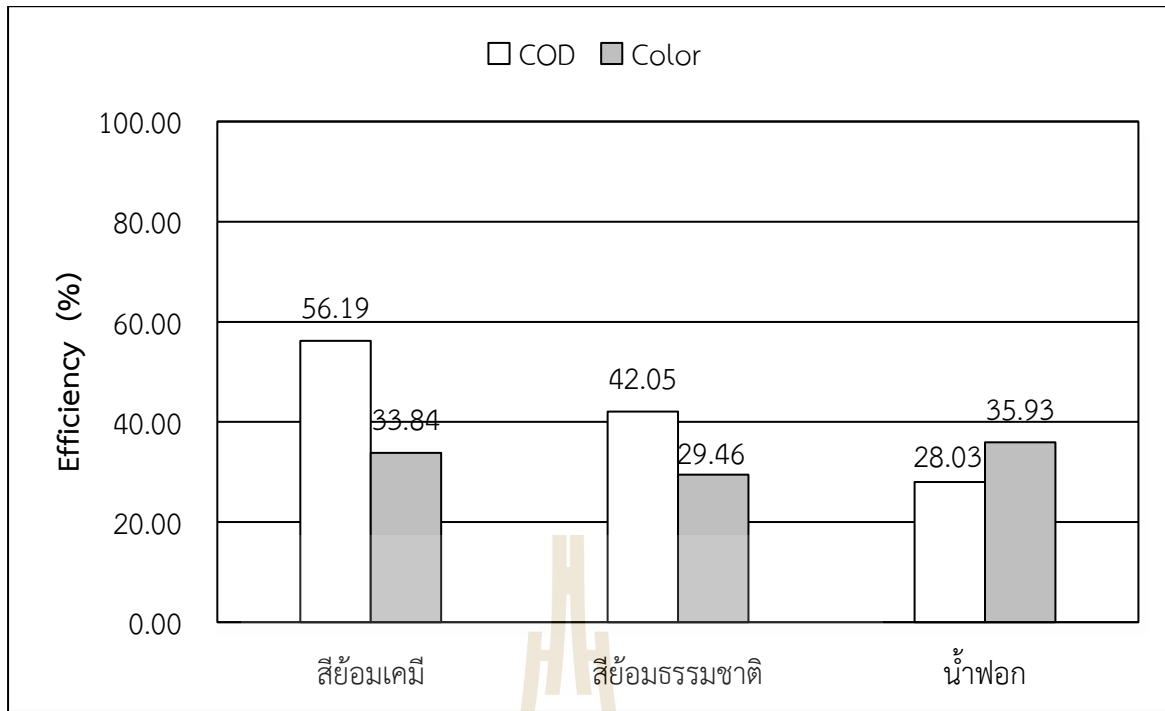
2) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

2.1) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอก

จากการบำบัดน้ำเสียโดยการกำหนดสภาวะดังแสดงในตารางที่ 4.35 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 12.04 – 65.70 และ 8.77 – 58.60 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.28 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 28.03 และ 35.93 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.36



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศตลอดการศึกษาของน้ำฟอก



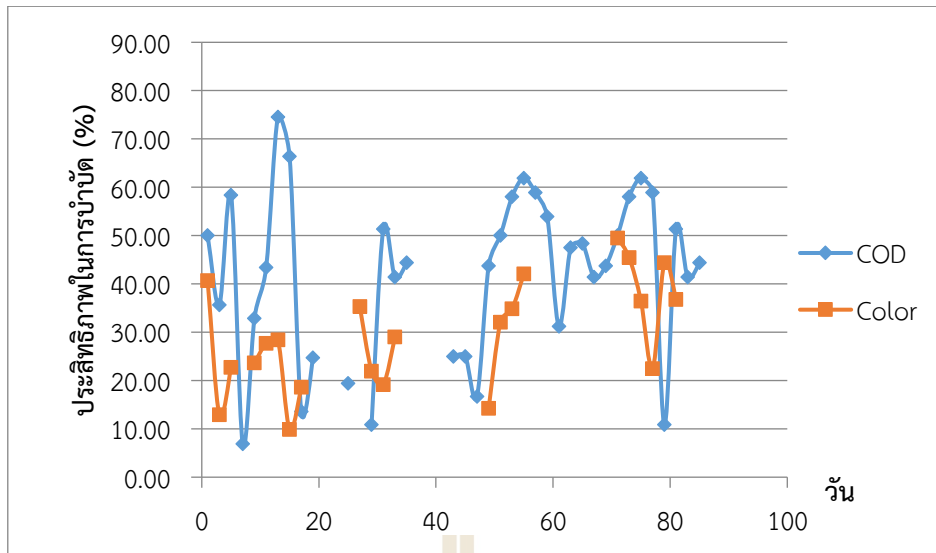
รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมโดยระบบการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ตารางที่ 4.36 ลักษณะน้ำเสียฟอกย้อมที่ใช้ในการศึกษาของ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

พารามิเตอร์		pH		COD (mg/l)		Color (ADMI)	
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำเสียสีย้อมเคมี	น้ำเข้าระบบ	7.31	0.24	2618.18	1506.19	9799.58	1605.58
	น้ำออกจากระบบ	6.95	0.35	1165.06	916.15	8897.95	2500.19
	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	-	-	56.19	23.86	33.84	17.71
น้ำเสียสีย้อมธรรมชาติ	น้ำเข้าระบบ	6.46	0.32	6246.97	2372.22	9538.70	713.53
	น้ำออกจากระบบ	5.47	0.73	3875.89	1577.06	7871.53	1728.46
	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	-	-	42.05	17.20	29.46	11.21
น้ำเสียฟอก	น้ำเข้าระบบ	7.11	0.19	8503.03	2605.80	80.91	24.04
	น้ำออกจากระบบ	6.92	0.31	6316.11	2268.17	72.81	34.89
	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	-	-	28.03	11.79	35.93	13.12

## 2.2) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำสีย้อมธรรมชาติ

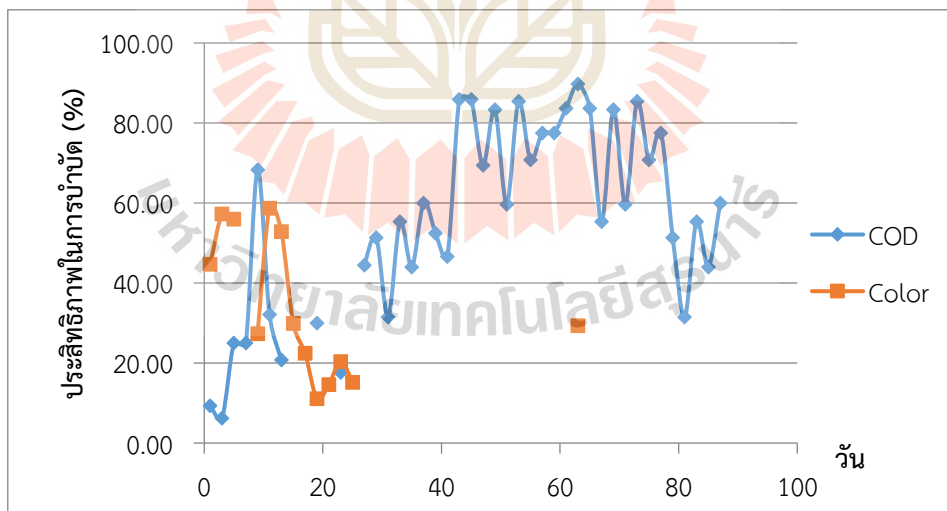
จากการบำบัดน้ำเสียโดยการกำหนดสภาวะดังแสดงในตารางที่ 4.35 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ในน้ำย้อมสีธรรมชาติอยู่ในช่วงร้อยละ 6.87 – 74.55 และ 9.87 – 49.50 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 42.05 และ 29.46 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.36



รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศตลอดการศึกษาของน้ำเสียชุมชน

3) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเคมี

จากการบำบัดน้ำเสียโดยการกำหนดสภาวะดังแสดงในตารางที่ 4.35 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ในน้ำเสียเคมีอยู่ในช่วงร้อยละ 6.25 – 89.79 และ 11.08 – 58.72 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 56.19 และ 33.84 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.36



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศตลอดการศึกษาของน้ำเสียเคมี

4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียทั้ง 3 ชนิด

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมทั้ง 3 ประเภท พบว่ามีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันตามลักษณะของประเภทสีย้อม โดยสีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด COD และสี

เท่ากับ 56.19 และ 33.84 ตามลำดับ น้ำเสียสีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด COD และสี เท่ากับ 42.05 และ 29.46 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำย้อมทั้งสองชนิด จะเห็นว่าน้ำเสียสีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD สูงกว่าน้ำเสียจากสีย้อมธรรมชาติ เนื่องจากลักษณะน้ำสีย้อมเคมีมีค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์น้อยกว่าสีย้อมธรรมชาติทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าเนื่องจากในการศึกษากำหนดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียเท่ากัน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมธรรมชาติอาจทำได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียเพื่อให้จุลินทรีย์มีเวลาในการบำบัดน้ำเสียได้นานขึ้นช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงขึ้นได้ สำหรับน้ำเสียฟอกไหมมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัด COD และสี เท่ากับ 28.03 และ 35.93 ตามลำดับ จากน้ำเสียทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันในเชิงประสิทธิภาพในการกำจัดเนื่องจากลักษณะน้ำเสียที่มีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาในเชิงอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่มีความแตกต่างกัน โดยที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียฟอกไหมมีค่าสูงกว่าน้ำเสียอีก 2 ชนิด ดังแสดงตารางที่ 4.36 และลักษณะน้ำเสียฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็กที่เข้า-ออก ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ แสดงดังตารางที่ 4.36 จากการนำข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สีของน้ำเสียทั้ง 3 ชนิด ไปทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Paired t-test พบว่าระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถกำจัด COD ได้มากกว่าสีในน้ำย้อมสีย้อมธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) แต่ในน้ำฟอกระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศสามารถกำจัด สี ได้มากกว่า COD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ )

### 4.3 ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

#### 4.3.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 3 ทางเลือก

##### 1) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

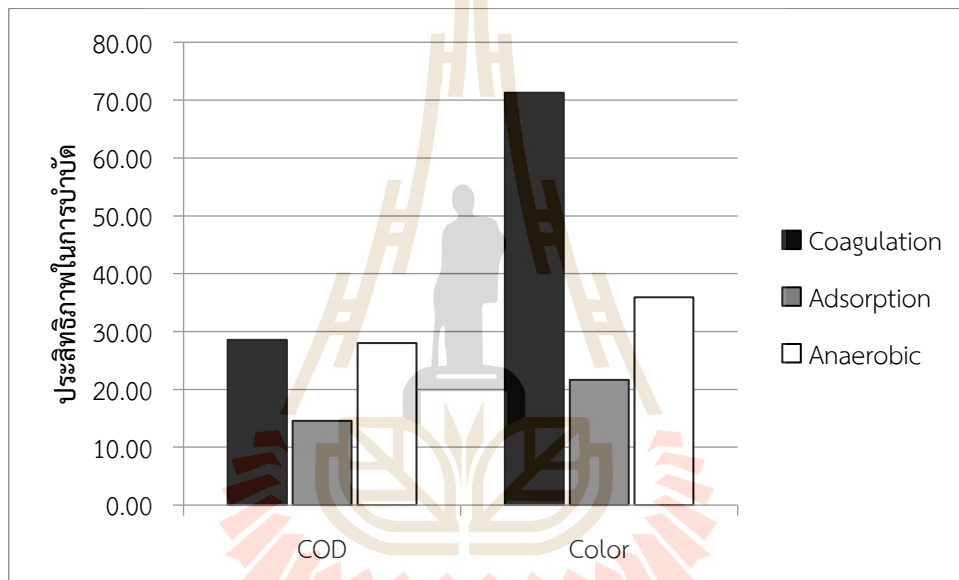
##### 1.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศดังแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่าน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เท่ากับร้อยละ 28.56, 14.55 และ 28.03 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 71.31, 21.62 และ 35.93 ตามลำดับ โดยจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ จะเห็นว่าระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศและกระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดสีพบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าทั้งกระบวนการดูดซับและระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 ดังนั้น จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตารางที่ 4.37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ชนิดน้ำเสีย	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)			ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)		
	CF	Ad	An	CF	Ad	An
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ						
น้ำฟอก	28.56	14.55	28.03	71.31	21.62	35.93
น้ำย้อม	38.61	26.99	42.05	55.62	44.70	29.46
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี						
น้ำฟอก	32.42	11.35	28.03	68.39	25.08	35.93
น้ำย้อม	76.92	34.47	56.19	81.69	33.49	33.84

หมายเหตุ CF หมายถึง กระบวนการโคแอกกูเลชัน, Ad หมายถึงกระบวนการดูดซับ An คือ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

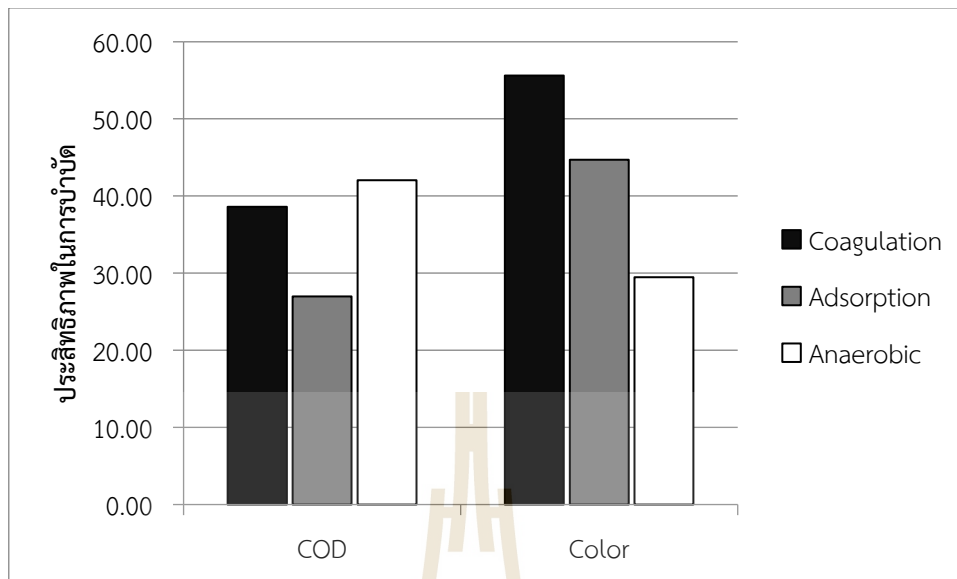


รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ทางเลือก

### 1.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศดังแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เท่ากับร้อยละ 38.61, 26.99 และ 42.05 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 55.62, 44.70 และ 29.46 ตามลำดับ โดยจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ จะเห็นว่าระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดสีพบว่าระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยที่สุด และกระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่

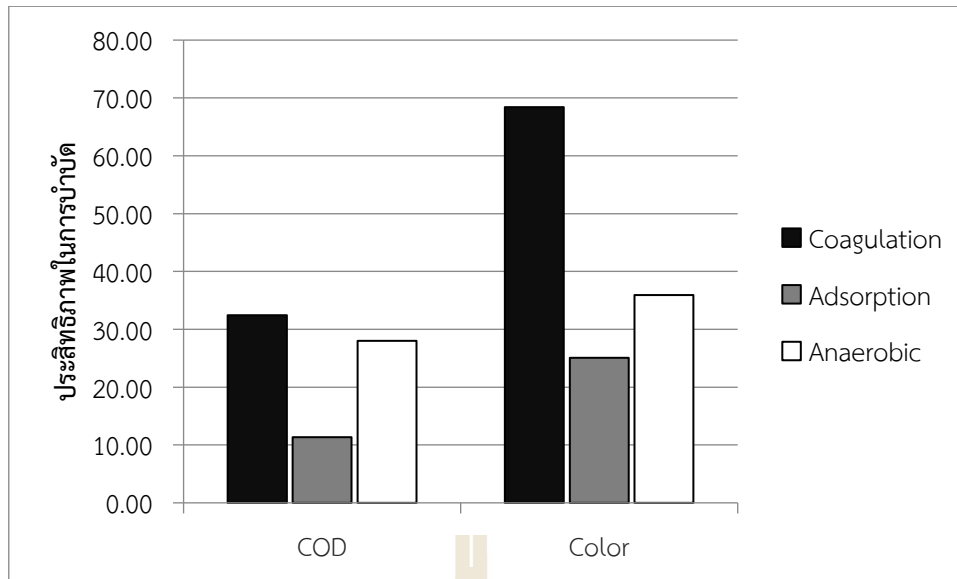
4.33 ดังนั้นจากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ทางเลือก

- 2) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
- 2.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศดังแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่าน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ เท่ากับร้อยละ 32.42, 11.35 และ 28.03 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 68.39, 25.08 และ 35.93 ตามลำดับ โดยจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี จะเห็นว่าการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสี สูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศและกระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ดังนั้นจากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

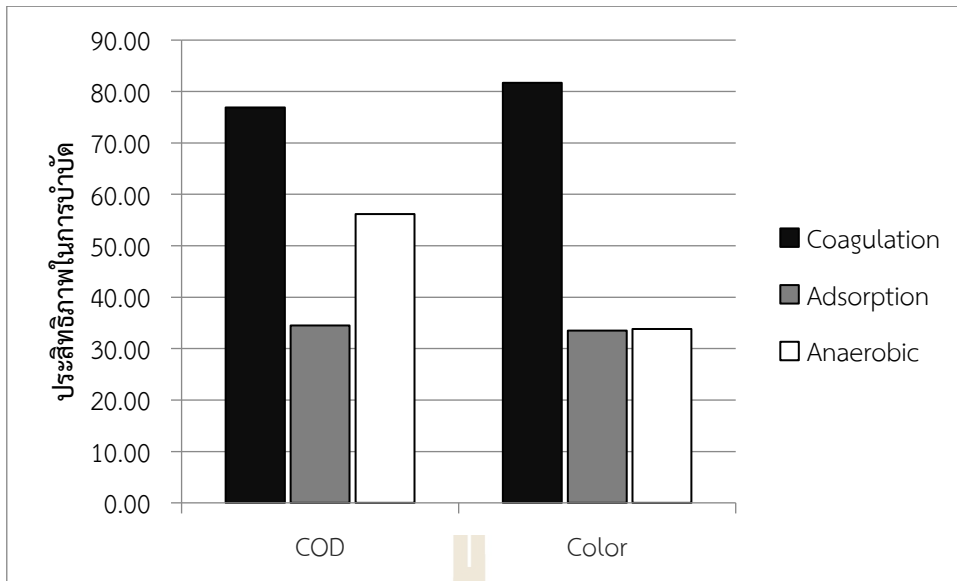


รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ทางเลือก

## 2.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.37 พบว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบเท่ากับร้อยละ 76.92, 34.47 และ 56.19 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 81.69, 33.49 และ 33.84 ตามลำดับ โดยจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี จะเห็นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.35 ดังนั้นจากการพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน





รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ทางเลือก

#### 4.4 การประเมินทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมทางด้านวิศวกรรม

การประเมินทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมจะใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เข้ามาช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสม โดยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมต้องมีการกำหนดค่าความสำคัญในแต่ละเกณฑ์ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม ซึ่งมี 3 ทางเลือก คือ ทางเลือกที่ 1 ระบบ Coagulation, ทางเลือกที่ 2 ระบบ Adsorption และทางเลือกที่ 3 ระบบ Anaerobic โดยกำหนดเกณฑ์หลักที่ใช้ในการพิจารณา คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด และค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือก

##### 4.4.1 ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการศึกษาประสิทธิภาพทั้ง 3 ทางเลือก เกณฑ์ที่นำมาพิจารณา คือ ประสิทธิภาพการกำจัด COD และสี ในการเปรียบเทียบความสำคัญของประสิทธิภาพต้องมีการจัดลำดับของประสิทธิภาพให้อยู่ใน 5 เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.38 เช่น ประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 81-100 ให้เกณฑ์ลำดับความสำคัญเท่ากับ 5 และประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 61-80, 41-60, 21-40 และ 0-20 มีเกณฑ์ลำดับความสำคัญ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญต้องมีการเปรียบเทียบเป็นคู่โดยประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน

1. สร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นคู่ จากผลการเปรียบเทียบเป็นคู่ดังแสดงในตารางที่ 4.39 จะเห็นว่าในแนวเส้นทแยงมุมประกอบไปด้วยเลข 1 เท่านั้น เนื่องจากเป็นจุดที่เกณฑ์แต่ละเกณฑ์เปรียบเทียบกันเองจึงมีความสำคัญเท่ากัน ส่วนพื้นที่สีเทาเป็นการเปรียบเทียบ 2 เกณฑ์ที่แตกต่างกัน

-แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญของระบบ Coagulation และระบบ Adsorption จะเห็นได้ว่ามีค่าเท่ากับ 3 เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ Coagulation อยู่ในช่วงร้อยละ 61-80 ระบบ Adsorption อยู่ในช่วงร้อยละ 21-40 ระบบ Coagulation มีค่าห่างจากระบบ Anaerobic 3 ช่วง ดังนั้นระบบ Coagulation จึงมีความสำคัญมากกว่า

-แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญของระบบ Coagulation และระบบ Anaerobic จะเห็นได้ว่ามีค่าเท่ากับ 2 เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ

Coagulation อยู่ในช่วงร้อยละ 61-80 ระบบ Anaerobic อยู่ในช่วงร้อยละ 41-60 ระบบ Coagulation มีค่าห่างจากระบบ Anaerobic 2 ช่วง ดังนั้นระบบ Coagulation จึงมีความสำคัญมากกว่า

ตารางที่ 4.38 เกณฑ์การจัดลำดับความสำคัญของประสิทธิภาพในการบำบัด

เกณฑ์	1	2	3	4	5
ช่วงประสิทธิภาพ	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100

-แถวที่ 3 คอลัมน์ที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญของระบบ Adsorption และระบบ Anaerobic จะเห็นได้ว่ามีค่าเท่ากับ 1/2 เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ Adsorption อยู่ในช่วงร้อยละ 21-40 ระบบ Anaerobic อยู่ในช่วงร้อยละ 41-60 ระบบ Adsorption มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบ Anaerobic 2 ช่วง ดังนั้นระบบ Adsorption จึงมีความสำคัญน้อยกว่า (พื้นที่ที่อยู่ใต้เส้นทแยงมุมค่าจะเป็นส่วนกลับของเกณฑ์ที่จับคู่เหมือนกัน)

2. คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมิน โดยทำการปรับผลรวมของแต่ละคอลัมน์ในตารางที่ 4.39 ให้เท่ากับ 1

-โดยนำค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.39 หารด้วยผลรวมของการเปรียบเทียบ เช่น การเปรียบเทียบระบบ Coagulation และระบบ Anaerobic มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อนำไปหารด้วยผลรวมที่มีค่าเท่ากับ 1.83 ได้เท่ากับ 0.55 ดังแสดงตารางที่ 4.40

-จากนั้นรวมผลลัพธ์ในแนวดิ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด

-แถบสีเทาเป็นหาค่าเฉลี่ยในแนวนอนจะได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์

ตารางที่ 4.39 เปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญในการกำจัด COD (น้ำย้อมมีซาดา)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic
Coagulation	1	3	2
Adsorption	1/3	1	1/2
Anaerobic	1/2	2	1
รวม	1.83	6.00	3.50

ตารางที่ 4.40 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำย้อมมีซาดา)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	0.55	0.50	0.57	0.54
Adsorption	0.18	0.17	0.14	0.16
Anaerobic	0.27	0.33	0.29	0.30
รวม	1	1	1	1

#### 4.4.2 ขั้นตอนการหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

การคำนวณความสอดคล้องกันของเหตุผล (Concurrency Reasonable; C.R.) เป็นการตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้ในตารางที่ 4.40 นั้นมีความถูกต้องและสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ขั้นตอนในการคำนวณค่า C.R. มีดังนี้

-นำค่าที่เปรียบเทียบในแต่ละเกณฑ์ (ตารางที่ 4.39) มารวมกับผลลัพธ์ของตารางที่ 4.40 จะได้ตารางที่ 4.41

-ทำการคูณเมตริกซ์ดังแสดงในตารางที่ 4.42 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.43

-จากนั้นนำผลรวมในแนวนอนหารด้วยค่าน้ำหนักสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.41 การคำนวณหาค่า C.R.

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	3	2	0.54
Adsorption	1/3	1	1/2	0.16
Anaerobic	1/2	2	1	0.30

ตารางที่ 4.42 การคูณเมตริกซ์ของค่าที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักสำคัญ

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1 x 0.54	3 x 0.16	2 x 0.30	0.54
Adsorption	1/3 x 0.54	1 x 0.16	1/2 x 0.30	0.16
Anaerobic	1/2 x 0.54	2 x 0.16	1 x 0.30	0.30

ตารางที่ 4.43 ผลลัพธ์จากการคูณเมตริกซ์

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	0.54	0.49	0.59	0.54
Adsorption	0.18	0.16	0.15	0.16
Anaerobic	0.27	0.33	0.30	0.30

ตารางที่ 4.44 ผลหารในแนวนอนกับน้ำหนักสำคัญ

ระบบ	ผลรวมในแนวนอน	น้ำหนักความสำคัญ	ผลหาร
Coagulation	1.62	0.54	3.01
Adsorption	0.49	0.16	3.00
Anaerobic	0.89	0.30	3.01

-การคำนวณหาค่า  $\lambda_{max}$  ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการนำผลรวมของผลหารในตารางที่ 4.44 หารด้วยจำนวนเกณฑ์ทั้งหมด (n = 3)

$$\lambda_{max} = \text{ผลรวมของผลหาร} / \text{จำนวนเกณฑ์}$$

$$\lambda_{max} = (3.01 + 3.00 + 3.01) / 3$$

$$= 3.01$$

-คำนวณหาค่า C.I. เมื่อ n = 3 จากสมการ

$$C.I. = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$= (3.01 - 3) / (3 - 1)$$

$$= 0.005$$

-คำนวณหาค่า C.R. จาก C.R. = C.I./R.I. (ค่า R.I. ดังแสดงในตารางที่ 4.45)

$$\begin{aligned} \text{C.R.} &= 0.005/0.58 \\ &= 0.008 \end{aligned}$$

-การแปลผล ถ้า C.R.  $\leq$  0.1 แสดงว่าค่าของแต่ละเกณฑ์มีความสอดคล้องกันสามารถนำค่าน้ำหนักสำคัญไปใช้ได้ ถ้า C.R.  $>$  0.1 แสดงว่าค่าของแต่ละเกณฑ์ไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องปรับค่าหรือให้ค่าแต่ละเกณฑ์ใหม่ เมื่อคำนวณค่า C.R.  $\leq$  0.1 จึงสามารถนำค่าน้ำหนักสำคัญไปใช้งานได้

จากการกำหนดค่าน้ำหนักสำคัญได้ค่า C.R. เท่ากับ 0.008 ซึ่งค่าน้ำหนักสำคัญมีความสอดคล้องกัน (C.R.  $\leq$  0.1) สามารถนำไปใช้ในการประเมินหาทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมที่เหมาะสมได้ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสำคัญของทั้ง 3 ทางเลือก พบว่าระบบ Coagulation มีน้ำหนักสำคัญมากที่สุด (0.54) รองลงได้แก่ ระบบ Anaerobic (0.30) และ Adsorption (0.16) ตามลำดับ จากนั้นทำการประเมินหาค่าน้ำหนักความสำคัญของประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีของน้ำเสียฟอกย้อมจากมันชาดาและบ้านดู่ เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.4.1 และ 4.4.2 ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 4.46-4.52

ตารางที่ 4.45 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index; R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

ตารางที่ 4.46 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำย้อมมันชาดา)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	4	4	0.67
Adsorption	1/4	1	1	0.17
Anaerobic	1/4	1	1	0.17

ตารางที่ 4.47 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำฟอกมันชาดา)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	2	1	0.40
Adsorption	1/2	1	1/2	0.20
Anaerobic	1	2	1	0.40

ตารางที่ 4.48 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำฟอกมันชาดา)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	3	3	0.60
Adsorption	1/3	1	1	0.20
Anaerobic	1/3	1	1	0.20

ตารางที่ 4.49 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำย้อมบ้านดู่)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	1	1/2	0.25
Adsorption	1	1	1/2	0.25
Anaerobic	2	2	1	0.50

ตารางที่ 4.50 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำย้อมบ้านคู่)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	1	2	0.40
Adsorption	1	1	2	0.40
Anaerobic	1/2	1/2	1	0.20

ตารางที่ 4.51 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัด COD (น้ำฟอกบ้านคู่)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	2	1	0.40
Adsorption	1/2	1	1/2	0.20
Anaerobic	1	2	1	0.40

ตารางที่ 4.52 ค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกในการกำจัดสี (น้ำฟอกบ้านคู่)

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	3	3	0.60
Adsorption	1/3	1	1	0.20
Anaerobic	1/3	1	1	0.20

จากผลการหาค่าความสำคัญของของประสิทธิภาพทั้ง 2 ด้าน เมื่อนำมาเฉลี่ยเป็นค่าความสำคัญของประสิทธิภาพ พบว่าน้ำเสียฟอกย้อมผ้าระบบ Coagulation มีน้ำหนักสำคัญมากที่สุด (0.55) รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic (0.27) และ Adsorption (0.18) ตามลำดับ และน้ำเสียฟอกย้อมบ้านคู่ระบบ Coagulation มีน้ำหนักสำคัญมากที่สุด (0.41) รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic (0.33) และ Adsorption (0.26) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.53 ค่าความสำคัญเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการบำบัดแต่ละทางเลือก

ทางเลือก	น้ำหนักความสำคัญ									
	ย้อมผ้าขาว		ฟอกผ้าขาว		Avg.	ย้อมบ้านคู่		ฟอกบ้านคู่		Avg.
	COD	Color	COD	Color		COD	Color	COD	Color	
CF	0.54	0.67	0.40	0.60	0.55	0.25	0.40	0.40	0.60	0.41
Ads	0.16	0.17	0.20	0.20	0.18	0.25	0.40	0.20	0.20	0.26
Anae	0.30	0.17	0.40	0.20	0.27	0.50	0.20	0.40	0.20	0.33

#### 4.4.3 ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญของค่าใช้จ่ายแต่ละทางเลือก

ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการเดินระบบของระบบ Coagulation มีค่าเท่ากับ 8,700 บาท ระบบ Adsorption มีค่าเท่ากับ 7,000 บาท และระบบ Anaerobic มีค่าเท่ากับ 9,600 บาท เนื่องจากค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือกมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 5,000 บาท ดังนั้นในการเปรียบเทียบความสำคัญจึงกำหนดให้แต่ละทางเลือกมีค่าใช้จ่ายไม่แตกต่างกัน โดยค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือกมีค่าเท่ากับ 0.33 ดังแสดงในตารางที่ 4.54

ตารางที่ 4.54 ค่าความสำคัญของค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือก

ระบบ	Coagulation	Adsorption	Anaerobic	ค่าความสำคัญ
Coagulation	1	1	1	0.33
Adsorption	1	1	1	0.33
Anaerobic	1	1	1	0.33

#### 4.4.4 สรุปผลทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

การเปรียบเทียบทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม จากการใช้ AHP ช่วยในการจัดลำดับความสำคัญ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายของระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบของน้ำเสียฟอกย้อมจาก 2 แหล่ง คือ น้ำเสียฟอกย้อมจากบ้านคู่และมีซาดา เมื่อนำผลการประเมินของทั้ง 3 ทางเลือก มาหาค่าความสำคัญโดยให้น้ำหนักความสำคัญค่าใช้จ่ายของระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเท่ากัน คือ 0.5 พบว่าน้ำเสียฟอกย้อมจากมีซาดานำมาบำบัดผ่านระบบ Coagulation มีความเหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic และ Adsorption ตามลำดับ มีค่าความสำคัญเท่ากับ 0.44 0.30 และ 0.26 ตามลำดับ และน้ำเสียฟอกย้อมจากบ้านคู่ นำมาบำบัดผ่านระบบ Coagulation มีความเหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic และ Adsorption ตามลำดับ มีค่าความสำคัญเท่ากับ 0.37 0.33 และ 0.30 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.55

ตารางที่ 4.55 สรุปผลการเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละทางเลือก

ระบบ	สีย้อมมีซาดา		ลำดับความสำคัญ	สีย้อมบ้านคู่		ลำดับความสำคัญ
	ค่าความสำคัญ			ค่าความสำคัญ		
	ค่าใช้จ่าย (0.5)	ประสิทธิภาพ (0.5)	ค่าใช้จ่าย (0.5)	ประสิทธิภาพ (0.5)		
Coagulation	0.17	0.28	0.44	0.17	0.21	0.37
Adsorption	0.17	0.09	0.26	0.17	0.13	0.30
Anaerobic	0.17	0.13	0.30	0.17	0.16	0.33

#### 4.5 กระบวนการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

ในการศึกษากระบวนการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม คณะผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ศึกษาภายในพื้นที่อำเภอปรางค์กู่ มีขั้นตอนในการศึกษาการมีส่วนร่วม ดังนี้

##### 4.5.1 การสำรวจข้อมูลพื้นฐานและความคิดเห็นในเบื้องต้น

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานราชการต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 11 พบว่ามีรายชื่อสถานประกอบที่ขึ้นทะเบียนทั้งหมดจำนวน 30 ราย แต่เมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่จริงพบว่ากลุ่มผู้ประกอบการที่อยู่ในรายชื่อของหน่วยราชการจำนวนมากได้เลิกประกอบกิจการทอผ้าไหมแล้ว จำนวนสถานประกอบการสิ่งทอภายในพื้นที่ตำบลเมืองปัก อำเภอปรางค์กู่ ที่ยังคงประกอบกิจการอยู่มีจำนวนทั้งหมด 8 รายในช่วงระยะเวลาที่ทำการสำรวจระหว่างปีพ.ศ.2558-2561 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ฉ

และได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อสอบถามข้อมูลพื้นฐานและรับฟังความคิดเห็นของผู้ประกอบการทั้ง 8 ราย ในเบื้องต้น มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.56 ดังนี้ ดังนี้

- 1) **ชนิดสีย้อม** พบว่า ผู้ประกอบการร้อยละ 75 ใช้สีย้อมเคมี และร้อยละ 25 ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยสัดส่วนการผสมสีย้อมขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ของลูกค้า
- 2) **ระบบบำบัดน้ำเสีย** พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นระบบบำบัดการตกตะกอนด้วยเคมี ร้อยละ 87.5 โดยมีสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ สารส้ม และ  $H_2O_2$  ระบบบำบัดทางชีวภาพ ร้อยละ 12.5 โดยระบบที่ใช้ คือ ระบบบ่อเกรอะ
- 3) **ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสีย** พบว่า ในเบื้องต้นผู้ประกอบการร้อยละ 100 เห็นด้วยในการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียฟอกย้อมในพื้นที่ และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้
  - ปัญหาในการหาที่ตั้งให้มีบริเวณใกล้เคียงสถานประกอบการแต่ละแห่ง เนื่องจากพื้นที่ที่ใกล้เคียงสถานประกอบการจะมีราคาที่ดินค่อนข้างสูง และถ้าหากอยู่ไกล ผู้ประกอบการก็จะเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำเสียไปบำบัด
  - เสนอให้มีรถรับ-ส่งน้ำเสียไปยังศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสีย
  - ใครจะเป็นผู้รับผิดชอบและดูแลระบบ
  - ค่าใช้จ่าย หากแพงมากเกินไปจะมีผลต่อการเลือกใช้บริการ

ตารางที่ 4.56 ข้อมูลพื้นฐานและสรุปความคิดเห็นของผู้ประกอบการทั้ง 8 ราย

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
<b>ประเภทสีย้อม</b>		
สีย้อมเคมี	6	75.0
สีย้อมธรรมชาติ	2	25.0
<b>ระบบบำบัดน้ำเสีย</b>		
การตกตะกอนด้วยสารเคมี	7	87.5
ระบบบำบัดทางชีวภาพ	1	12.5
<b>ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสีย</b>		
เห็นด้วย	8	100.0
ไม่เห็นด้วย	0	0.0

#### 4.5.2 การคัดเลือกสถานประกอบการเข้าร่วมโครงการ

จากข้อมูลการลงพื้นที่และแบบสัมภาษณ์เชิงลึก คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกสถานประกอบการเพื่อเป็นตัวแทนของสถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยทำการคัดเลือกกระบวนการผลิตผ้าไหมที่ใช้สีย้อมเคมี และสีย้อมธรรมชาติแห่งละ 1 ที่ โดยใช้เกณฑ์ความสมัครใจและความพร้อมในการให้ข้อมูล เพื่อทำการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต รายละเอียดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำ ปริมาณสารเคมี ชนิดสีที่ใช้ เป็นต้น เพื่อให้ทราบข้อมูลลักษณะน้ำเสียเบื้องต้น และนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยให้สมดุลมวลของกระบวนการผลิต และการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ประกอบการ พร้อมทั้งทบทวนจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้เลือกกลุ่มสถานประกอบการ 2 แห่ง เพื่อเป็นตัวแทน (รายละเอียดของสถานประกอบการแสดงในบทที่ 3) ได้แก่

1) วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านคู เป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติในกระบวนการย้อม ในการเก็บน้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีธรรมชาติ

2) ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย เป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีในกระบวนการย้อม ในการเก็บน้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีเคมี

#### 4.5.3 การจัดประชุมการมีส่วนร่วมหลังจากการศึกษาวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตามขั้นตอนที่ได้วางแผนการวิจัย นำข้อมูลที่ได้ไปประเมินทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมทางด้านวิศวกรรม โดยใช้เกณฑ์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่ายและค่าดูแลการบำบัด นำมาประเมินทางเลือกโดยใช้ระบบ AHP เมื่อได้ผลการศึกษาจึงได้ทำการเชิญผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในพื้นที่อำเภอปรางค์กู่ เข้าร่วมประชุมเพื่อชี้แจงรายละเอียดผลการศึกษาวิจัย และสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม ภายในพื้นที่ รายละเอียดเอกสารประกอบการประชุมการมีส่วนร่วม ผลการตอบแบบสัมภาษณ์เชิงลึกและรายละเอียดการบันทึกการประชุมแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข และรูปที่ 4-36

##### 4.5.3.1 ผลสรุปแบบสัมภาษณ์เชิงลึก

###### 1) ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.57 พบว่า ผู้ถูกสัมภาษณ์ส่วนใหญ่เป็นเจ้าของกิจการหรือประธานกลุ่ม ร้อยละ 33.3 และเป็นสมาชิกกลุ่มร้อยละ 46.67 ของผู้ถูกสัมภาษณ์ทั้งหมด มีช่วงอายุส่วนใหญ่อายุ 51-60 ปี ร้อยละ 46.67 และมีอายุมากกว่า 60 ปี ร้อยละ 33.33 มีระดับการศึกษาส่วนใหญ่ในระดับปริญญาตรี มัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลาย ร้อยละ 26.67, 26.67 และ 20.0 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า จากข้อมูลแบบสัมภาษณ์เชิงลึกจำนวน 15 คน มาจากกลุ่มผู้ประกอบการสิ่งทอจำนวน 8 กลุ่ม โดยมีผู้เป็นเจ้าของกิจการ ประธาน และรองประธานจำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 75 ดังนั้น ข้อสรุปความคิดเห็นในการประชุมครั้งนี้สามารถถือได้ว่าเป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มประกอบการได้

###### 2) ข้อมูลสถานประกอบการ

ในภาพรวมสถานประกอบการมีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่แล้ว ร้อยละ 100 และระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นระบบการตกตะกอนด้วยเคมี ร้อยละ 87.5 และระบบถังไร้อากาศ ร้อยละ 12.5 โดยสถานะของระบบมีการใช้งานอยู่ ร้อยละ 50.0

###### 3) สรุปความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสีย

ผู้ถูกสัมภาษณ์ส่วนใหญ่มีความตระหนักถึงปัญหาของน้ำเสียในระดับมาก และมากอย่างยิ่ง ร้อยละ 66.67 และ 26.67 ตามลำดับ และมีความรู้เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียในระดับปานกลาง และมาก ร้อยละ 53.33 และ 26.67 ตามลำดับ ในส่วนความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสีย ผู้ถูกสัมภาษณ์ส่วนใหญ่ไม่เห็นด้วยในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสีย ร้อยละ 33.33 และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ร้อยละ 20.0 มีผู้เห็นด้วยและเห็นด้วยอย่างยิ่ง รวมกันร้อยละ 13.34 เท่านั้น โดยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่า เพราะมีความยุ่งยากในการขนย้ายน้ำเสียไปบำบัดในส่วนกลาง ปริมาณน้ำเสียไม่คงที่ และอยากให้มีการอบรมสถานประกอบการที่มีการใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้น





รูปที่ 4.36 การประชุมการมีส่วนร่วมในการประเมินทางเลือกในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสีย  
พอกย้อม

ตารางที่ 4.57 สรุปผลสัมภาษณ์เชิงลึก

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
<b>เพศ</b>		
ชาย	4	26.7
หญิง	11	73.3
<b>อายุ</b>		
< 20 ปี	0	0.0
21-31 ปี	1	6.7
31-40 ปี	0	0.0
41-50 ปี	2	13.3
51-60 ปี	7	46.7
> 60 ปี	5	33.3
<b>การศึกษา</b>		
ประถมศึกษา/ต่ำกว่า	3	20.0
มัธยมศึกษาตอนต้น	4	26.7
มัธยมศึกษาตอนปลาย	3	20.0
ระดับปริญญาตรี	4	26.7
ระดับปริญญาโท	0	0.0
ระดับปริญญาเอก/สูงกว่า	0	0.0
<b>ตำแหน่งในสถานประกอบการ</b>		
ประธานกลุ่ม	5	33.3
รองประธาน	1	6.7
สมาชิก	7	46.7
อื่น ๆ	2	13.3
ส่วนที่ 2 ข้อมูลสถานประกอบการ	จำนวน	ร้อยละ
<b>กลุ่มมีระบบบำบัดหรือไม่</b>		
มี	5	62.5
ไม่มี	3	37.5
<b>ระบบบำบัดเป็นแบบใด</b>		
ตกตะกอนเคมี	2	40.0
การกรอง	0	0.0
ถังไร้อากาศ	2	40.0
ดูดซับด้วยถ่าน	1	20.0
<b>สถานะระบบ</b>		
ใช้งานอยู่	4	50.0
ไม่ได้ใช้งาน	4	50.0
ระบบมีปัญหา	0	0.0

#### 4.5.3.2 ผลสรุปการประชุมการมีส่วนร่วม

ในการจัดประชุมการมีส่วนร่วมโครงการวิจัย “ทางเลือกและโอกาส: การจัดการน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน: กรณีศึกษา อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา” มีผู้เข้าร่วมประชุมจำนวนทั้งหมด 15 คน จากสถานประกอบการ และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสิ่งทอขนาดเล็ก จำนวน 8 แห่ง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข ผลสรุปการประชุม มีดังนี้

ผู้เข้าร่วมประชุมเห็นด้วยกับผลการศึกษาของคณะผู้วิจัยว่า กระบวนการตกตะกอนด้วยเคมีเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก เนื่องจากมีปริมาณน้ำเสียน้อยและไม่คงที่ อีกทั้งสถานประกอบการส่วนใหญ่ใช้สีย้อมเคมีมีเพียงส่วนน้อยใช้สีย้อมธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการอบรมเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย ผู้เข้าร่วมประชุมได้สอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินงานของระบบ และได้ปรึกษาในรายละเอียดปัญหาของระบบและการดำเนินงาน ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อสรุปว่า สถานประกอบการยังมีความเข้าใจไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการทำงานของระบบ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่ดีและมีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นมาก ขณะที่ผลการศึกษาของคณะผู้วิจัยมีประสิทธิภาพสูงกว่าและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยกว่า เนื่องมาจากการเตรียมสารเคมี สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย จึงได้มีการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นให้กับผู้เข้าร่วมประชุม มีข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมประชุม พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในปัจจุบันได้รับจากหน่วยงานราชการต่างๆ แต่บางครั้งขนาดของระบบที่ได้มีปริมาตรถึงสูงกว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริง ทำให้มีความยุ่งยากในการบำบัด และมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัด และหน่วยงานไม่มีการติดตามตรวจสอบให้คำแนะนำหลังจากที่มอบถังบำบัดน้ำเสียให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอแล้ว ดังนั้น ทำให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการและขั้นตอนในการบำบัดไม่ถูกต้อง

ในส่วนความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม ผู้เข้าร่วมประชุมส่วนใหญ่ไม่เห็นด้วย เนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับสถานที่ในการจัดตั้งศูนย์กลางฯ การขนส่งน้ำเสีย ผู้ทำหน้าที่ดูแลระบบและรับผิดชอบระบบ ผู้เข้าร่วมประชุมได้นำเสนอว่า เคยมีการนำเสนอให้มีการจัดตั้งศูนย์กลางการย้อมและฟอก เพื่อง่ายต่อการจัดการ ผลปรากฏว่าไม่สำเร็จเนื่องจาก ไม่มีผู้รับชอบในเรื่องค่าใช้จ่ายส่วนกลาง ได้แก่ ค่าน้ำ ค่าไฟ และค่าผู้ดูแล อีกทั้งผู้ประกอบการไม่สะดวกในการนำอุปกรณ์ต่างๆมาใช้ในศูนย์กลาง หลังจากผ่านการถ่ายทอดองค์ความรู้ของโครงการวิจัยทำให้ผู้วิจัยมีความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาเพิ่มมากขึ้น และได้เสนอแนะในเบื้องต้นว่า ให้นำไปบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน แต่อย่างไรก็ตามทางคณะผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่า เนื่องจากลักษณะน้ำเสียที่มีความแตกต่างกันระหว่างน้ำเสียชุมชนกับน้ำเสียสิ่งทอ อาจส่งผลให้จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีประสิทธิภาพลดลง จึงเสนอแนะให้แต่ละสถานประกอบการทำการบำบัดเบื้องต้น และนำส่งไปบำบัดกับน้ำเสียชุมชนต่อไป แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับการรวบรวมและขนส่งน้ำเสียไปบำบัดในส่วนกลาง

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการประชุมการมีส่วนร่วม การจัดตั้งศูนย์กลางในการจัดการน้ำเสียสิ่งทอ มีความเป็นไปได้น้อย ถึงแม้ผู้เข้าร่วมประชุมจะทราบถึงประโยชน์ในการจัดการของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันด้วยปัจจัยจำกัดต่างๆ เช่น ในด้านสถานที่ ค่าใช้จ่าย และผู้รับผิดชอบ ทำให้ความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสียเป็นไปได้ยาก ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ทางกลุ่มผู้ประกอบการเห็นด้วยกับคณะผู้วิจัยว่าระบบการตกตะกอนด้วยเคมี เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นระบบที่ง่าย สะดวกในการดำเนินการ มีค่าใช้จ่ายน้อย และมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัย

#### 5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

##### 5.1.1 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ร้อยละ 28.56-38.61 และ ร้อยละ 55.62-71.31 สูงกว่าทั้งกระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศ ดังนั้น ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

##### 5.1.2 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สี ร้อยละ 32.42-76.92 และ ร้อยละ 68.39-81.69 สูงกว่าทั้งกระบวนการดูดซับ และระบบบำบัดโดยไม่ใช้อากาศ ดังนั้น ทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี คือ ทางเลือกที่ 1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

#### 5.2 การเปรียบเทียบทางเลือกทางด้านวิศวกรรมในการบำบัดน้ำเสีย

ผลการศึกษาค่าเปรียบเทียบทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม โดยการใช้ AHP ช่วยในการจัดลำดับความสำคัญ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายของระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบของน้ำเสียฟอกย้อมจาก 2 แหล่ง คือ น้ำเสียฟอกย้อมจากบ้านดูและมัชชาดา เมื่อนำผลการประเมินของทั้ง 3 ทางเลือก มาหาค่าความสำคัญโดยให้น้ำหนักความสำคัญค่าใช้จ่ายของระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเท่ากัน คือ 0.5 พบว่าน้ำเสียฟอกย้อมจากมัชชาดานำมาบำบัดผ่านระบบ Coagulation มีความเหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic และ Adsorption ตามลำดับ มีค่าความสำคัญเท่ากับ 0.44 0.30 และ 0.26 ตามลำดับ และน้ำเสียฟอกย้อมจากบ้านดูนำมาบำบัดผ่านระบบ Coagulation มีความเหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบ Anaerobic และ Adsorption ตามลำดับ มีค่าความสำคัญเท่ากับ 0.37 0.33 และ 0.30 ตามลำดับ

#### 5.3 กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

ผลจากการประชุมการมีส่วนร่วม การจัดตั้งศูนย์กลางในการจัดการน้ำเสียสิ่งทอ มีความเป็นไปได้ น้อย ถึงแม้ผู้เข้าร่วมประชุมจะทราบถึงประโยชน์ในการจัดการของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในสถานการณ์ปัจจุบันด้วยปัจจัยจำกัดต่างๆ เช่น ในด้านสถานที่ ค่าใช้จ่าย และผู้รับผิดชอบ ทำให้ความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสียเป็นไปได้ยาก ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่ทางกลุ่มผู้ประกอบการเห็นด้วยกับคณะผู้วิจัยว่าระบบการตกตะกอนด้วยเคมี เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นระบบที่ง่าย สะดวกในการดำเนินการ มีค่าใช้จ่ายน้อย และมีประสิทธิภาพ

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาโครงการวิจัยนี้ พบว่า ระบบการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก หรืออุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการประเมินทางด้านวิศวกรรมและความคิดเห็นของผู้ใช้งาน คือ การตกตะกอนด้วยเคมี เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ ง่ายต่อการดำเนินงานและการดูแลรักษา ระบบ ส่วนประเด็นในการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสียฟอกย้อม ควรดำเนินการโดยหน่วยงานราชการ และรัฐบาลควรให้การสนับสนุนและส่งเสริม เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากปัญหาน้ำเสียฟอกย้อมต่อไปในอนาคต



## รายการอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2556). **คู่มือแนวทางการจัดการน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ**. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมหม่อนไหม. (2553). **รายละเอียดข้อมูลผู้ผลิตผ้าไหม และผลิตภัณฑ์ไหมไทย ปี 2553**. [ออนไลน์].  
ได้จาก : [http://qsds.go.th/newqsds/file\\_upload/2014-03-14-SilkShopList53\\_2.pdf](http://qsds.go.th/newqsds/file_upload/2014-03-14-SilkShopList53_2.pdf)
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). **ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม**. [ออนไลน์]. ได้จาก : [www.diw.go.th/hawk/news/ประกาศ%20อก.น้ำทิ้ง.PDF](http://www.diw.go.th/hawk/news/ประกาศ%20อก.น้ำทิ้ง.PDF)
- กลุ่มสารสนเทศเฉพาะทาง สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศและเทคโนโลยี. (2560). **การย้อมสิ่งทอด้วยสีธรรมชาติ**. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- กาญจนา ครองธรรมชาติ. (2535). **การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กุลธิดา สะอาด. (2557). **ประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- จักรกฤษณ์ อัมพูช (2548). **การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จักรกฤษณ์ อัมพูช และ บุญส่ง จุฑารัตน์. (2555). **พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย**. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 5(2): 10-21
- จารุทัศน์ มิลินทะเลข. (2537). **การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จุฑามาศ ชูสกุล และ อังคณา ชาติก้อน (2559). **การศึกษาผลของพีเอชของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อคุณภาพและเฉดสีของไหมที่ย้อมสีจากครั้ง**. *The national and international Graduate Research Conference 2016* : 227-282
- ชนกฤต พรหมทอง. (2552). **การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำหมักชีวภาพและเฟินต้นรีเอเจนต์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประเสริฐ ตปนียางกุล. (2536). **แนวทางการป้องกันและลดปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกย้อม**. วารสาร TTIS Textile Digest. 12(3): 12-17
- พรอนงค์ อร่ามวิทย์, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, ประกิต สุขไย, กล้าณรงค์ ศรีรอด, ชัยกานต์ เลี้ยวหิรัญ, พิลาณี ไวกอนอมสัจย์, เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล และคณะ. (2559). **ความมัทศรรย์ของวัสดุ**. นนทบุรี.

- พลกฤษณ์ จิตรโฑ, ธัญญาดา ชัยกระทาง และวรนันต์ นาคบรรพต. (2559). การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหม โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 7(2): 288-239
- พิเชษฐ หนูหมื่น. (2557). การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญบด. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี และการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มันสิน ตันจุลเวศม์. (2542). วิศวกรรมประปา. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- มัลลิกา ปัญญาคะโป. (2556). การบำบัดน้ำและน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพและเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- รวินิภา ศรีมูล. (2559). การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 44(3): 419-434
- วนิดา ชูอักษร. (2555). เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(1): 181-191
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2558). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่ว จากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- วัชรพันธ์ ศิริพันธ์, ทองดี เล็กโสภี, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, ณัฐกานต์ นิตยพันธ์ และอมรรัตน์ พรหมบุญ. (2550). การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีธรรมชาติของผ้าไหมและการกำจัดสีจากน้ำเสียโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิมลมาศ บุญยั้งยืน. (2555) การประยุกต์ใช้ระบบไร้อากาศร่วมกับระบบปฏิกรณ์ชีวภาพเยื่อกรองแบบ มีตัวกลาง สำหรับบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมแบบสารอินทรีย์ย่อยสลายยาก. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือก หอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราช ภัฏนครสวรรค์. 7(7): 98-110
- ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม, อัจฉรา บุญมาหล้า และ อรวรรณ ชัยสิทธิ์. (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์จาก ของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนต สำหรับการดูดซับสีย้อม. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 3(1): 8-18
- ศิริพรรณ คำแน่น. (2554). การใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดสีย้อมเอโซจากน้ำเสียฟอก ย้อม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศิริมา ปัญญาเมธีกุล (2552). วิศวกรรมการประปาทั่วไป ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศูนย์ส่งเสริมศิลปะชีพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และกลุ่มทอผ้าอยุธยา. (2550). คู่มือการทอผ้าไหมทอมือ(ผ้ายก).มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.

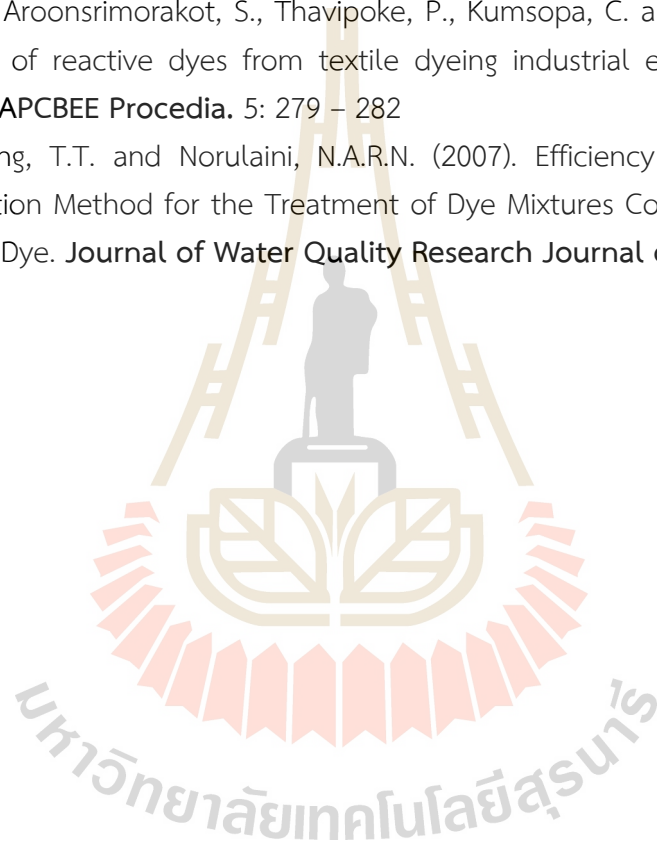
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, อัญญาจ ชวชน และนพรัตน์ ชัยเรือง. (2559). **ประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม**. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 34(1): 1-25
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และ วีระนุช บุญรุ่ง. (2553). **การกำจัดสารอินทรีย์และสี ด้วยกระบวนการเฟนตัน และกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม**. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 72: 10-16
- สุรีย์ พุทธะกุล. (2543). **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- เสาวณีย์ ชูยิ่งสกุลทิพย์. (2556). **การกำจัดสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝางในน้ำทิ้งของกระบวนการย้อมผ้าไหมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส**;วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ. (2557). **การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(1): 131-140
- Aboulhassan, M.A., Souabi, S., Ouarghi, H.E. and Bahlaoui, M.A. (2014). Treatment of textile wastewater using a continuous flow activated sludge system at pilot-scale. **Scientific Study & Research Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry**. 15(3): 221-230
- Al-Degs, Y.S., El-Barghouthi, M.I., El-Sheikh, A H. and Walker, G. M. (2008). Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. **Dyes and Pigments**. 77: 16-23
- Aljeboree, A.M., Alshirifi, A.N. and Alkaim, A.F. (2017). Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. **Arabian Journal of Chemistry**. 10: S3381-S3393
- APHA, AWWA, WEF. (2012). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22st ed. American Public Health Association.
- APHA, AWWA. And WPCF. (2005). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>th</sup> Edition, Washington DC, USA.
- Bahorun, T., Neergheen, V.S. and Aruoma, O. I. (2005). Phytochemical constituents of Cassia fistula. **African Journal of Biotechnology**. 4 (13), 1530-1540
- Cretescu, I., Lupascu, T., Buciscanu, I., Mindru, T. B. and Soreanu, G. (2017). Low-cost sorbents for the removal of acid dyes from aqueous solutions. **Process Safety and Environmental Protection**. 108: 57-66
- El-Gohary, F. and Tawfik, A. (2009). Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process. **Desalination**. 249: 1159-1164
- Erwin E. (2008). Characterization of historical organic dyestuffs by liquid chromatography-mass spectrometry. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. 391(1), 33-57



- Franco, M.S. and Azevedo, E.B. (2013). Colour removal of Remazol dye baths wastewater by  $UV=H_2O_2$  does not decrease TOC, BOD/COD and toxicity of the effluent. **Desalin. Water Treat.** 52: 1–8
- Gecgel, U., Özcan, G. and Gurpinar, G.C. (2013). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Pea Shells (*Pisum sativum*). **Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry.** 1-9
- Guimaraes, J.R., Maniero, M.G., and Araujo, R.N. (2012). A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes. **Journal Environmental Management.** 110: 33–39
- Ho, Y.S., McKay, G. (1998) Sorption of dye from aqueous solution by peat. **Chemical Engineering Journal.** 70 : 115-124
- Ho, Y.S. and Chiang, C.C. (2001). Sorption studies of acid dye by mixed sorbents. **Adsorption** 7(2):139-147
- Jain, R. and Sikarwar, S. (2008). Removal of hazardous dye congo red from waste material. **Journal of Hazardous Materials.** 152: 942–948
- Jothi, D. (2008). Extraction of natural dyes from African marigold flower (*TAGETES ERECTA* L) for textile coloration. **AUTEX Research Journal.** 8(12): 49-53.
- Katheresan, V., Kansedo, J. and Lau, S.Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering.** 6 : 4676-4697
- Kim, T.H., Park, C., Yang, J. and Kim, S. (2004). Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation. **Journal of Hazardous Materials.** 112(1-2): 95-103
- Li, Z., Jia, Z., Ni, T. and Li, S. (2017). Adsorption of methylene blue on natural cotton based flexible carbon fiber aerogels activated by novel air – limited carbonization method. **J. Molecular Liquids.** 242; 747-756.
- Lin, J., Wang, L. and Wang, Lei. (2012). Coagulation of Sericin Protein in Silk Degumming Wastewater Using Quaternized Chitosan. **Journal Polymer Environmental.** 20:858–864.
- Liu, W. Yao, C., Wang, M., Ji, J., Ying, L. and Fu, C. (2012). Kinetics and thermodynamics characteristics of cationic yellow X-GL adsorption on attapulgit/rice hull-based activated carbon nanocomposites. **Environmental Progress & Sustainable Energy.** 32(3):655–62.
- Liu, W. Yao, C., Wang, M., Ji, J., Ying, L. and Fu, C. (2012). Kinetics and thermodynamics characteristics of cationic yellow X-GL adsorption on attapulgit/rice hull-based activated carbon nanocomposites. **Environmental Progress & Sustainable Energy .** 32(3):655–62.

- Mahmoud, M.S., Farah, J.Y. and Farrag, T.E. (2013). Enhanced removal of methylene blue by electrocoagulation using iron electrodes. **Egyptian Journal of Petroleum**. 22: 211-216
- Matsushita, T., Matsui, Y., and Inoue T. (2004). Irreversible and reversible adhesion between virus particles and hydrolyzing-precipitating aluminum: a function of coagulation. **Water Science Technology**. 39 (1): 147-163
- Mazumder D. (2011). Process evaluation and treatability study of wastewater in a textile dyeing industry. **International Journal of Energy and Environment (IJEE)**. 2(6): 1053-1066
- Misra TN., Singh RS., Pandey HS. and Singh BK.. (1997). A new diterpene from *Cassia fistula* pods. **Fitoterapia LXVIII**. 375-376.
- Papic, S., Koprivanac, N., Božić, A.L. and Meteš, A., (2004). Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process. **Dyes and Pigments**. 62(3): 291-298
- Poots, V.J.P., McKay, G. and J.J. (1978). Removal of Basic Dye from Effluent Using Wood as an Adsorbent. **Healy Journal (Water Pollution Control Federation)**. 50(5): 926-935
- Rana, S. and Suresh, S. (2017). Comparison of different coagulants for reduction of COD from textile industry wastewater. **Materials Today: Proceedings**. 4: 567-574
- Rebhun, M. and M. Lurie. (1993). Control of organic matter by coagulation and floc separation. **Journal Water Science and Technology**. 27(11): 1-20
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A. and Singh, V. (2006) *Ipomoea dasysperma* seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. **Journal of Environmental Management**. 81: 36-41
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A. and Singh, V. (2006) *Ipomoea dasysperma* seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. **Journal of Environmental Management**. 81 : 36-41
- Sharma, S., Buddhdev, J., Patel, M. and Ruparelia, P.R. (2013). Studies on degradation of reactive red 135 dye in wastewater using ozone. **Procedia Engineering**. 51: 451 – 455
- Sonjui, T., Noomhorm, C. and Promboon, A. (2009). Sericin Recovery from Silk Cocoon Degumming Wastewater by a Membrane Process. **Kasetsart Journal**. 43: 538-549
- Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C., Kaul, S. N., Daniele, S., and De Faveri, M. (2000). Electrochemical oxidation of dyeing baths bearing disperse dyes. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. 39: 3241-3248
- Tan, I.A.W., Ahmad, A.L. and Hameed, B.H. (2008). Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Journal of Hazardous Materials**. 154: 337-346

- Teramoto, H., Kameda T. and Tamada, Y. (2008). Preparation of gel film from bomyx mori silk sericin and its characterization as a wound dressing. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 72(12) : 3189-3196.
- Venkataraman K., Poona, (2012). **Flavones and Isoflavones**, India, 2.
- Wei, N., Zhang, Z., Liu, D., Wu, Y., Wang, J. and Wang, Q. (2015). Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. **Chinese Journal of Chemical Engineering.** 23: 1041-1046
- Wei, N., Zhang, Z., Liu, D., Wu, Y., Wang, J. and Wang, Q. (2015). Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. **Chinese Journal of Chemical Engineering.** 23 : 1041-1046
- Wijannarong, S., Aroonsrimorakot, S., Thavipoke, P., Kumsopa, C. and Sangjan, S. (2013). Removal of reactive dyes from textile dyeing industrial effluent by ozonation process. **APCBEE Procedia.** 5: 279 – 282
- Wong, P.W., Teng, T.T. and Norulaini, N.A.R.N. (2007). Efficiency of the Coagulation-Flocculation Method for the Treatment of Dye Mixtures Containing Disperse and Reactive Dye. **Journal of Water Quality Research Journal of Canada.** 42: 54-62



ภาคผนวก ก

ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ



ตารางที่ ก.1 ลักษณะสมบัติของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(ADMI)	หมายเหตุ
1	8.91	84,614.40	72,043.33	47,256.67	61,463.33	37,520.00	10,580.00	9,736.67		-
2	9.15	38,712.00	41,018.67	28,213.33	37,664.00	25,356.00	3,354.67	2,857.33	22,685.00	-
3	9.64	38,585.23	39,831.11	23,858.89	38,914.44	22,753.33	916.67	1,105.56	-	-
4	9.32	43,462.67	22,082.50	13,095.00	19,677.50	12,850.00	2,405.00	245.00	27,585.00	-
5	9.10	48,000.00	27,205.00	18,195.00	24,555.00	16,601.67	2,650.00	1,593.33	11,405.00	-
6	9.82	42,461.54	46,125.00	25,220.00	40,450.00	22,180.00	5,675.00	3,040.00	27,555.00	-
7	9.92	48,712.87	53,655.00	27,060.00	30,695.00	22,856.67	22,960.00	4,203.33	24,322.50	-
8	9.56	50,914.29	32,860.00	2,725.00	30,600.00	2,445.00	2,260.00	280.00	38,100.00	-
9	9.97	35,382.86	37,466.67	19,260.00	28,370.00	14,063.33	9,096.67	5,196.67	24,953.33	-
10	8.14	15,942.86	18,694.67	9,535.33	17,634.67	8,542.00	1,060.00	993.33	8,338.67	-
11	9.83	15,942.86	48,072.50	25,590.00	38,410.00	19,780.00	9,662.50	5,810.00	35,987.50	-
Max	9.97	84,614.40	72,043.33	47,256.67	61,463.33	37,520.00	22,960.00	9,736.67	38,100.00	
Min	8.14	15,942.86	18,694.67	2,725.00	17,634.67	2,445.00	916.67	245.00	8,338.67	
Average	9.40	42,066.51	39,914.04	21,819.02	33,493.99	18,631.64	6,420.05	3,187.38	24,548.00	
S.D.	0.55	18,447.29	15,208.43	11,647.48	12,109.47	9,343.24	6,520.44	2,894.32	9,823.13	



ตารางที่ ก.2 ลักษณะสมบัติของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(ADMI)	หมายเหตุ
1*	4.1	10,707.84	6,733.33	6,671.11	6,382.22	5,895.56	351.11	775.56	-	ครึ่ง
2	4.7	4,664.00	2,413.33	1,922.67	1,741.33	1,244	672.00	678.67	500.75	ครึ่ง
3*	6.2	16,547.56	11746.67	6313.33	10336.67	5236.67	1410.00	1076.66	-	ฝักคุณ
4	5.4	11,832.00	11491.33	9166.67	10679.33	8406.00	812.00	760.67	-	-
5	7.3	3,712.00	1,560.00	1,212.00	1513.33	1,133.33	46.67	78.67	9,903.67	เข
6	5.4	24,576.00	24,710.00	19,710.00	19,080.00	14,780.00	5,630.00	4,930.00	10,417.00	ฝักคุณ
7	3.8	14,168.00	9,442.67	8,440.00	9,304.00	8,222.67	138.67	217.33	2,293	ครึ่ง
8	6.9	4,500.00	3,350.00	2,140.00	3,140.00	1,950.00	210.00	190.00	5,855.00	เข
9	3.4	7,836.73	6,002.67	5,508.00	5,749.33	5,221.33	253.33	286.67	905.5	ครึ่ง
10	3.8	14,278.40	6,180.00	5,620.00	4,354.67	3,874.67	1,825.33	1,745.33	8,370	ครึ่ง
11	5.06	24,065.93	8,390.00	3,120.00	6,960.83	2,255.83	1,429.17	864.17	1,706	-
12	5.21	15,824.18	5,287.33	3,042.00	3,884.00	1,954.00	1,403.33	1,088.00	5,313	-
13	5.01	21,758.24	5,416.00	3,493.33	4,784.00	2,956.00	632.00	537.33	7,907	เข
Max	7.30	24,576.00	24,710.00	19,710.00	19,080.00	14,780.00	5,630.00	4,930.00	10,417.00	
Min	3.40	3,712.00	1,560.00	1,212.00	1,513.33	1,133.33	46.67	78.67	500.75	
Average	5.10	13,420.84	7,901.80	5,873.78	6,762.29	4,856.16	1,139.51	1,017.62	5,317.08	
S.D.	1.19	7,163.02	6,165.25	5,061.09	4,965.67	4,019.46	1,514.73	1,314.82	3,774.33	

หมายเหตุ \* อ้างอิงจากข้อมูลโครงการทางเลือกและโอกาส การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560)

ตารางที่ ก.3 ลักษณะสมบัติของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(ADMI)	หมายเหตุ
1	9.04	46,067.28	45,860	27,336	44,568	25,678.67	1,808	1,657.33	1,041.00	
2	8.97	28,282.35	33,688.30	19,603.33	33,330.00	19,326.67	358.30	276.66	-	
3	9.32	33,120.00	39,050.00	19,705.00	34,385.00	17,153.33	5,120.00	2,551.67	1,010.00	
4	9.15	44,680.85	53,982.50	28,210.00	50,337.50	27,242.50	3,645.00	967.50	739.84	
5	9.70	22,217.14	22,166.67	14,111.33	21,000.00	13,198.00	1,166.67	913.33	484.00	
6	9.60	50,228.57	54,055.00	31,170.00	32,508.33	28,160.00	29,792.50	3,010.00	654.50	
7	9.71	17,272.73	11,272.50	6,640.00	10,037.50	5,801.67	1,235.00	838.33	123.00	
8	9.63	62,811.43	71,440.00	42,317.50	59,442.50	34,243.33	11,997.50	8,074.17	642.50	
9	9.76	57,325.71	54,725.00	31,217.50	46,762.50	25,815.00	7,962.50	5,402.50	745.67	
Max	9.76	62,811.43	71,440.00	42,317.50	59,442.50	34,243.33	29,792.50	8,074.17	1,041.00	
Min	8.97	17,272.73	11,272.50	6,640.00	10,037.50	5,801.67	358.30	276.66	123.00	
Average	9.43	40,222.90	42,915.55	24,478.96	36,930.15	21,846.57	7,009.50	2,632.39	680.06	
S.D.	0.31	15,814.70	18,507.52	10,622.81	15,237.91	8,758.58	9,344.26	2,571.03	292.24	



ตารางที่ ก.4 ลักษณะสมบัติของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(ADMI)	หมายเหตุ
1*	6.10	2,871.65	11,826.67	2,301.11	11,640.00	2,184.44	186.67	116.67	-	สีฟ้า
2	6.78	2,790.00	7,700.00	1,261.33	7,569.33	1,142.67	130.67	118.67	10,429.50	สีแดง
3*	7.19	2,502.19	15,729.33	2,874.00	14,332.67	1,630.00	1,396.66	1,244.00	-	
4	6.83	3,340.80	13,956.00	1,246.67	13,790.67	1,181.33	165.33	65.33	10112	สีแดง
5	6.72	2,666.67	4,615.00	640.00	3,960.00	490.00	655.00	150.00	964.5	สีแดง
6	7.48	1,442.62	6,477.50	851.67	6,227.50	851.67	250.00	-	288.8	สีฟ้า
7	7.69	2,257.43	17,282.00	1,264.00	16,704.00	1,206.00	578.00	58.00	442.7667	สีเขียวไพร์
8	6.27	2,365.71	11,477.33	1,204.00	10,696.00	1,114.00	781.33	90.00	9765	สีน้ำเงิน
9	6.40	2,777.14	19,234.00	10,238.00	12,292.80	8,496.00	6,941.20	1,742.00	2882.25	สีส้มฝาง+เขียวไพร์
10	7.19	3,805.71	17,490.67	649.33	16,172.00	388.00	1,318.67	261.33	5556	สีกรม
Max	7.69	3,805.71	19,234.00	10,238.00	16,704.00	8,496.00	6,941.20	1,742.00	10,429.50	
Min	6.10	1,442.62	4,615.00	640.00	3,960.00	388.00	130.67	0.00	288.80	
Average	6.87	2,681.99	12,578.85	2,253.01	11,338.50	1,868.41	1,240.35	384.60	5,055.10	
S.D.	0.52	632.66	5,039.73	2,893.67	4,259.83	2,385.46	2,054.82	599.74	4,509.29	

หมายเหตุ \* อ้างอิงจากข้อมูลโครงการทางเลือกและโอกาส การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560)





ตารางที่ ก.5 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	TSS/TS	VDS/TS	FDS/TS
1	0.15	0.52	0.33
2	0.08	0.62	0.30
3	0.02	0.57	0.41
4	0.11	0.58	0.31
5	0.10	0.61	0.29
6	0.12	0.48	0.40
7	0.43	0.43	0.15
8	0.07	0.07	0.86
9	0.24	0.38	0.38
10	0.06	0.46	0.49
11	0.20	0.41	0.39
Max	0.43	0.62	0.86
Min	0.02	0.07	0.15
Average	0.14	0.47	0.39
S.D.	0.11	0.15	0.18

ตารางที่ ก.6 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	TSS/TS	VDS/TS	FDS/TS
1	0.05	0.88	0.07
2	0.28	0.52	0.21
3	0.12	0.45	0.43
4	0.07	0.73	0.20
5	0.03	0.73	0.24
6	0.23	0.60	0.17
7	0.01	0.87	0.11
8	0.06	0.58	0.36
9	0.04	0.87	0.09

ตารางที่ ก.6 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ(ต่อ)

ครั้งที่	TSS/TS	VDS/TS	FDS/TS
10	0.30	0.63	0.08
11	0.17	0.27	0.56
12	0.27	0.37	0.37
13	0.12	0.55	0.34
Max	0.30	0.88	0.56
Min	0.01	0.27	0.07
Average	0.14	0.62	0.24
S.D.	0.11	0.20	0.16

ตารางที่ ก.7 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	TSS/TS	VDS/TS	FDS/TS
1	0.04	0.56	0.41
2	0.01	0.57	0.42
3	0.13	0.44	0.44
4	0.07	0.50	0.43
5	0.05	0.60	0.35
6	0.55	0.52	0.08
7	0.11	0.51	0.38
8	0.17	0.48	0.35
9	0.15	0.47	0.38
Max	0.55	0.60	0.44
Min	0.01	0.44	0.08
Average	0.14	0.52	0.36
S.D.	0.16	0.05	0.11

ตารางที่ ก.8 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	TSS/TS	VDS/TS	FDS/TS
1	0.02	0.18	0.80
2	0.02	0.15	0.83
3	0.09	0.10	0.81
4	0.01	0.08	0.90
5	0.14	0.11	0.75
6	0.04	0.13	0.83
7	0.03	0.07	0.90
8	0.07	0.10	0.83
9	0.36	0.44	0.20
10	0.08	0.02	0.90
Max	0.14	0.18	0.90
Min	0.01	0.08	0.75
Average	0.06	0.13	0.82
S.D.	0.06	0.04	0.06



ภาคผนวก ข  
กระบวนการโคแอกกูเลชัน



ตารางที่ ข.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
150	38,712.00	18,377.78	22,685.00	38,195.84	18,066.67	9,040.50	1.33	1.69	60.15
175				34,840.80	16,488.89	9,135.50	10.00	10.28	59.73
200				34,066.56	17,200.00	9,779.50	12.00	6.41	56.89
225				33,550.40	16,377.78	9,018.50	13.33	10.88	60.24
250				36,131.20	16,466.67	9,101.00	6.67	10.40	59.88
275				35,615.04	16,411.11	9,532.50	8.00	10.70	57.98

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.17

ตารางที่ ข.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

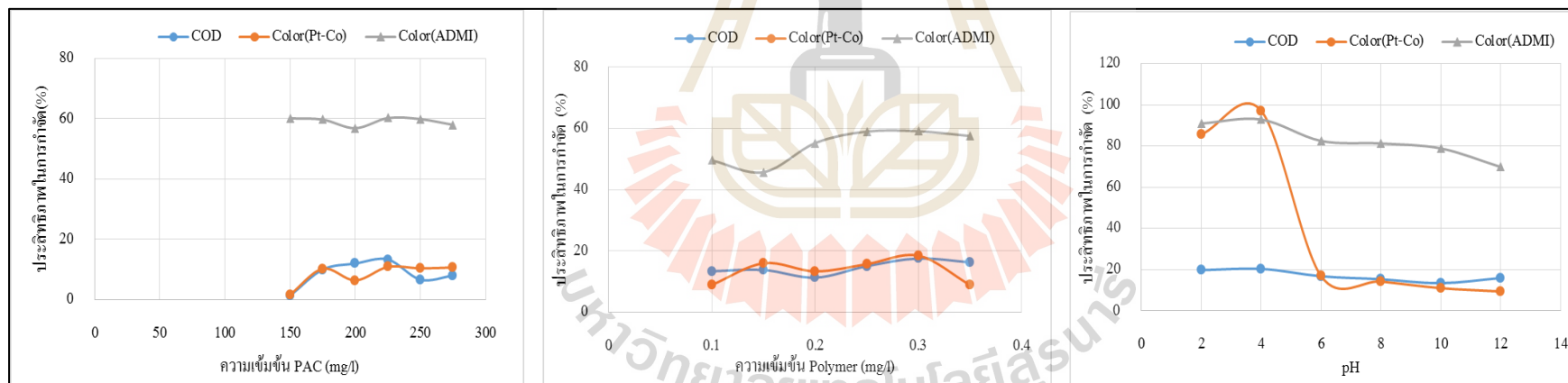
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	38,712.00	18,377.78	22,685.00	38,712.00	16,744.44	11,452.50	13.33	8.89	49.52
0.15				33,550.40	15,444.44	12,320.00	13.75	15.96	45.69
0.2				33,389.10	15,933.33	10,162.50	11.25	13.30	55.20
0.25				34,356.90	15,500.00	9,312.50	15.00	15.66	58.95
0.3				32,905.20	14,988.89	9,288.50	17.50	18.44	59.05
0.35				31,937.40	16,900.00	9,640.00	16.25	8.83	57.50

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACII ความเข้มข้น 225 mg/l pH เท่ากับ 9.17

ตารางที่ ข.3 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	38,712.00	18,377.78	22,685.00	31,056.60	2,644.44	2,055.00	19.78	85.61	90.94
4				30,812.70	522.22	1,615.00	20.41	97.16	92.88
6				32,194.80	15,255.56	3,970.00	16.84	16.99	82.50
8				32,763.90	15,755.56	4,257.00	15.37	14.27	81.23
10				33,495.60	16,344.44	4,797.50	13.47	11.06	78.85
12				32,520.00	16,644.44	6,840.00	16.00	9.43	69.85

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACil ความเข้มข้น 225 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.5 mg/l



รูปที่ ข.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1 โดยใช้ PACIL เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นFeCl<sub>3</sub>ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น FeCl <sub>3</sub> (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
20	38,712.00	1,8377.78	22,685.00	36,422.40	23,666.67	21,370.00	5.91	0.00	5.80
40				36,666.30	22,833.33	20,070.00	5.28	0.00	11.53
60				34,308.60	21,500.00	19,855.00	11.37	0.00	12.48
80				34,633.80	24,000.00	20,105.00	10.53	0.00	11.37
100				35,121.60	25,833.33	20,530.00	9.27	0.00	9.50
120				35,934.60	26,166.67	20,535.00	7.17	0.00	9.48

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.17

ตารางที่ ข.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

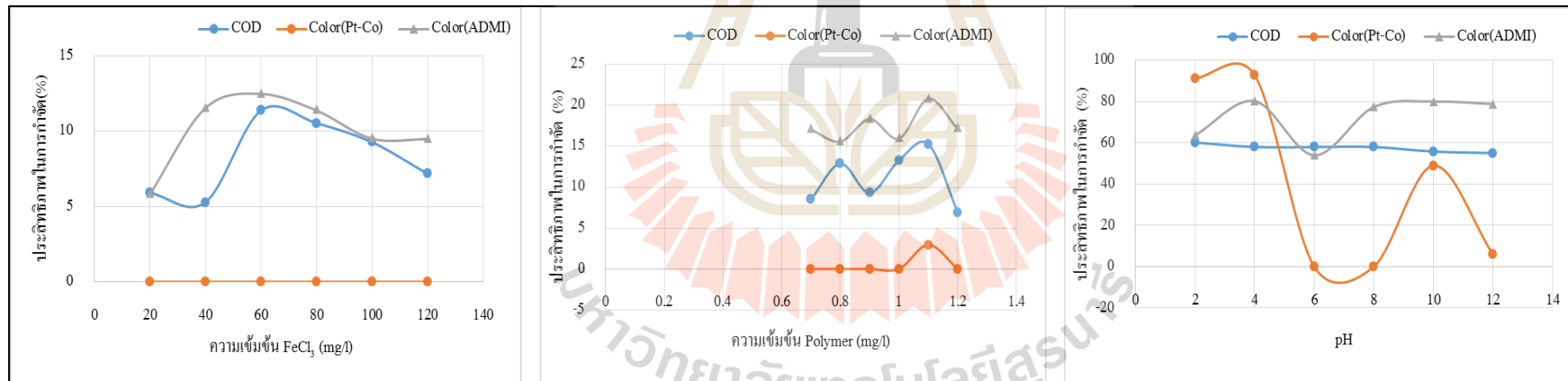
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.7	38,712.00	18,377.78	22,685.00	35,420.00	21722.22	18,820.00	8.50	0.00	17.04
0.8				33,726.00	20111.11	19,152.50	12.88	0.00	15.57
0.9				35,112.00	19555.56	18,525.00	9.30	0.00	18.34
1				33,572.00	20166.67	19,070.00	13.28	0.00	15.94
1.1				32,802.00	17833.33	17,967.50	15.27	2.96	20.80
1.2				36,036.00	20111.11	18,797.50	6.91	0.00	17.14

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub>ความเข้มข้น 60 mg/l pH เท่ากับ 9.17

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	38,712.00	18,377.78	22,685.00	15,426.00	1,611.11	8,263.00	60.15	91.23	63.58
4				16,283.00	1,333.33	4,496.00	57.94	92.74	80.18
6				16,283.00	32,555.56	10,453.33	57.94	0.00	53.92
8				16,283.00	29,111.11	5,143.50	57.94	0.00	77.33
10				17,140.00	9,388.89	4,548.50	55.72	48.91	79.95
12				17,425.67	17,277.78	4,817.50	54.99	5.99	78.76

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 60 mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.1mg/l



รูปที่ ข.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.7 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
150	43,462.67	8,653.33	21,322.50	40,832.00	8,622.22	9,040.50	6.05	0.36	57.60
175				38,048.00	8,582.22	8735.5	12.46	0.82	59.03
200				41,141.33	8,538.89	9,779.50	5.34	1.32	54.14
225				40,832.00	8,565.56	9,018.50	6.05	1.01	57.70
250				39,732.00	8,597.78	9,101.00	8.58	0.64	57.32
275				39,904.00	8,637.78	8,532.50	8.19	0.18	59.98

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.8 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

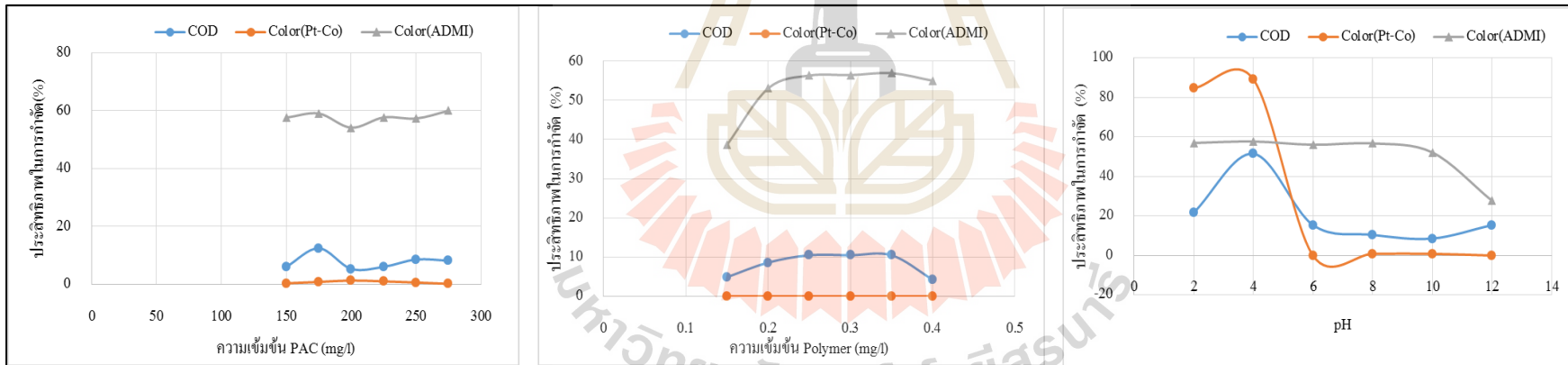
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.15	43,462.67	8,653.33	21,322.50	41,350.80	9,801.11	13,089.00	4.86	0.00	38.61
0.2				39,729.20	9,215.56	10,009.00	8.59	0.00	53.06
0.25				38,918.40	8,954.44	9,312.50	10.46	0.00	56.33
0.3				38,918.40	9,017.78	9,288.50	10.46	0.00	56.44
0.35				38,918.40	8,910.00	9,178.30	10.46	0.00	56.95
0.4				41,621.07	8,936.67	9,594.00	4.24	0.00	55.01

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175 mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	43,462.67	8,653.33	21,322.50	34,053.60	1,334.44	9,187.42	21.65	84.58	56.91
4				21,080.80	941.11	9,027.63	51.50	89.12	57.66
6				36,756.27	8,726.67	9,379.50	15.43	0.00	56.01
8				38,918.40	8,576.67	9,236.00	10.46	0.89	56.68
10				39,729.20	8,576.67	10,205.00	8.59	0.89	52.14
12				36,756.27	8,780.00	15,407.00	15.43	0.00	27.74

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.35 mg/l



รูปที่ ข.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.10 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
40	43,462.67	8,653.33	27,585.00	8,646.67	40,993.33	22,831.67	0.08	5.68	17.23
60				8,834.44	42,713.33	22,995.00	0.00	1.72	16.64
80				8,942.22	42,426.67	25,493.33	0.00	2.38	7.58
100				8,971.11	42,713.33	25,018.18	0.00	1.72	9.31
120				8,993.33	40,993.33	26,005.00	0.00	5.68	5.73
140				9,017.78	43,000.00	26,366.67	0.00	1.06	4.42

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 1mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.11 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

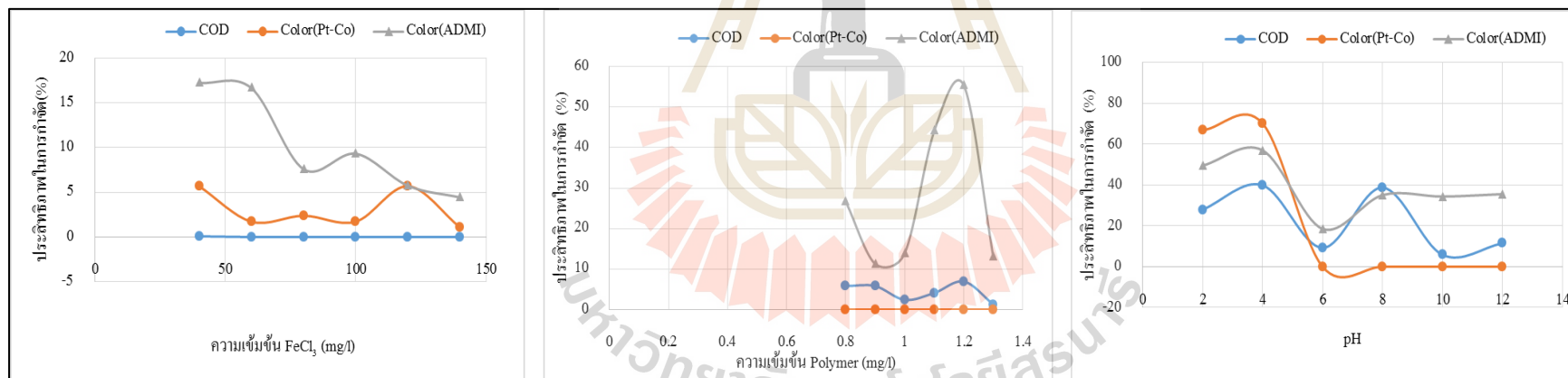
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.8	43,462.67	8,653.33	21,322.50	40,946.67	11,063.33	15,625.00	5.79	0.00	26.72
0.9				40,946.67	10,818.89	18,925.00	5.79	0.00	11.24
1				42,426.67	9,297.78	18,360.00	2.38	0.00	13.89
1.1				41,686.67	9,181.11	11,921.67	4.09	0.00	44.09
1.2				40,453.33	9,096.67	9,520.00	6.92	0.00	55.35
1.3				42,920.00	9,164.44	18,572.50	1.25	0.00	12.90

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 40mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.12 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	43,462.67	8,653.33	27,585.00	31,326.67	2,875.56	10,780.00	27.92	66.77	49.44
4				26,146.67	2,586.67	9,180.00	39.84	70.11	56.95
6				39,466.67	9,472.22	17,377.50	9.19	0.00	18.50
8				26,640.00	9,286.67	13,855.00	38.71	0.00	35.02
10				40,946.67	9,358.89	14,005.00	5.79	0.00	34.32
12				38,480.00	9,424.44	13,750.00	11.46	0.00	35.51

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 40mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.2mg/l



รูปที่ ข.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.13 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
150	43,956.00	15,593.33	11,405.00	46,778.67	10,162.22	12,688.00	0.00	34.83	0.00
175				42,336.00	10,097.78	6,700.00	3.69	35.24	41.25
200				43,904.00	10,917.78	8,349.00	0.12	29.98	26.80
225				43,512.00	12,156.67	8,926.00	1.01	22.04	21.74
250				43,904.00	11,110.00	9,447.00	0.12	28.75	17.17
275				43,120.00	10,791.11	9,057.00	1.90	30.80	20.59

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.10

ตารางที่ ข.14 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

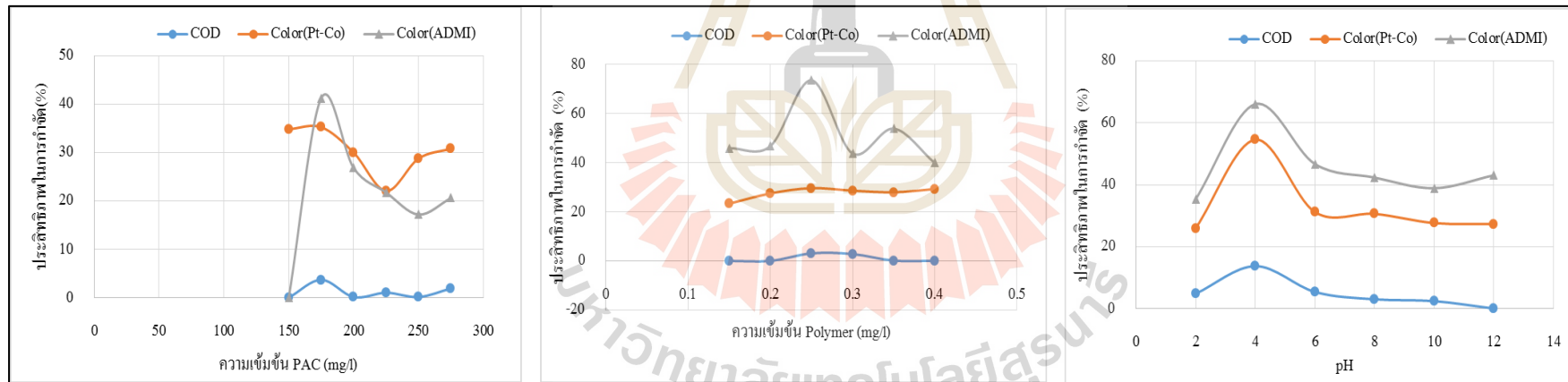
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.15	43,956.00	15,593.33	11,405.00	48,346.67	11,958.89	6,175.00	0.00	23.31	45.86
0.2				47,824.00	11,306.67	6,072.00	0.00	27.49	46.76
0.25				42,597.33	10,971.11	3,016.33	3.09	29.64	73.55
0.3				42,728.00	11,130.00	6,418.00	2.79	28.62	43.73
0.35				43,904.00	11,235.56	5,259.50	0.12	27.95	53.88
0.4				44,688.00	11,025.56	6,855.50	0.00	29.29	39.89

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175 mg/l pH เท่ากับ 9.10

ตารางที่ ข.15 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	43,956.00	15,593.33	11,405.00	41,813.33	11,541.11	7,372.50	4.87	25.99	35.36
4				37,893.33	7,077.78	3,870.00	13.79	54.61	66.07
6				41,552.00	10,721.11	6,071.50	5.47	31.25	46.76
8				42,597.33	10,811.11	6,570.00	3.09	30.67	42.39
10				42,858.67	11,275.56	6,965.00	2.50	27.69	38.93
12				43,904.00	11,323.33	6,490.00	0.12	27.38	43.10

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.25 mg/l



รูปที่ ข.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.16 ผลการศึกษาความเข้มข้นFeCl<sub>3</sub>ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น FeCl <sub>3</sub> (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
20	43,956.00	15,593.33	11,405.00	43,680.00	4,035.56	7,260.00	0.63	74.12	36.34
40				43,920.00	4,154.44	5,511.67	0.08	73.36	51.67
60				43,680.00	4,268.89	5,187.50	0.63	72.62	54.52
80				38,880.00	3,656.67	4,630.00	11.55	76.55	59.40
100				40,800.00	4,090.00	6,435.00	7.18	73.77	43.58
120				43,680.00	4,017.78	8,173.33	0.63	74.23	28.34

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 1 mg/l pH เท่ากับ 9.10

ตารางที่ ข.17 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

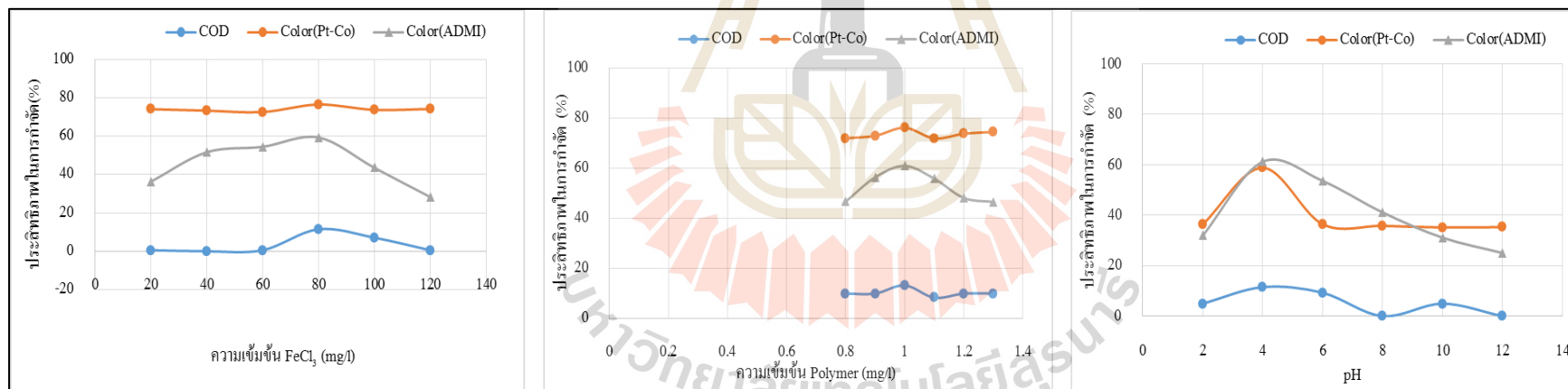
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.8	43,956.00	15,593.33	11,405.00	39,600.00	4,357.78	6,080.00	9.91	72.05	46.69
0.9				39,600.00	4,208.89	4,966.67	9.91	73.01	56.45
1				38,160.00	3,703.33	4,451.67	13.19	76.25	60.97
1.1				40,320.00	4,368.89	5,030.00	8.27	71.98	55.90
1.2				39,600.00	4,081.11	5,913.33	9.91	73.83	48.15
1.3				39,600.00	3,968.89	6,095.00	9.91	74.55	46.56

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub>ความเข้มข้น 80 mg/l pH เท่ากับ 9.10

ตารางที่ ข.18 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	43,956.00	15,593.33	11,405.00	41,760.00	9,923.33	7,763.33	5.00	36.36	31.93
4				38,880.00	6,415.56	4,425.00	11.55	58.86	61.20
6				39,840.00	9,902.22	5,286.67	9.36	36.50	53.65
8				43,920.00	10,002.22	6,707.50	0.08	35.86	41.19
10				41,760.00	10,105.56	7,850.00	5.00	35.19	31.17
12				43,920.00	10,083.33	8,542.50	0.08	35.34	25.10

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 80 mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.0mg/l



รูปที่ ข.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.19 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
75	4,664.00	3,487.78	500.75	3,109.33	880.00	439.20	33.33	74.77	12.29
100				3,392.00	436.67	266.65	27.27	87.48	46.75
125				2,862.00	336.67	240.30	38.64	90.35	52.01
150				3,109.33	332.22	230.25	33.33	90.47	54.02
175				3,286.00	371.11	208.10	29.55	89.36	58.44
200				2,968.00	436.67	311.35	36.36	87.48	37.82

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 4.70

ตารางที่ ข.20 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

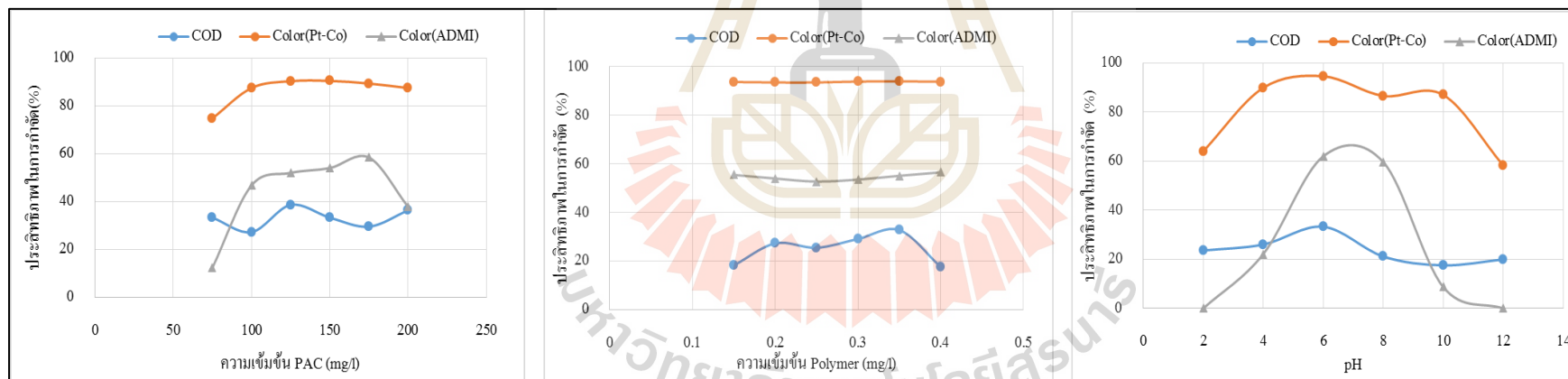
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.15	4,664.00	3,487.78	500.75	3,816.00	220.00	223.10	18.18	93.69	55.45
0.2				3,392.00	226.67	230.60	27.27	93.50	53.95
0.25				3,476.80	226.67	236.85	25.45	93.50	52.70
0.3				3,307.20	213.33	232.75	29.09	93.88	53.52
0.35				3,137.60	210.00	224.90	32.73	93.98	55.09
0.4				3,844.27	216.67	217.80	17.58	93.79	56.51

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 125mg/l pH เท่ากับ 4.70

ตารางที่ ข.21 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	4,664.00	3,487.78	500.75	3,561.60	1,253.33	1042.05	23.64	64.06	0.00
4				3,448.53	351.11	389.90	26.06	89.93	22.14
6				3,109.33	186.67	190.20	33.33	94.65	62.02
8				3,674.67	466.67	201.65	21.21	86.62	59.73
10				3,844.27	451.11	456.85	17.58	87.07	8.77
12				3,731.20	1,454.44	1036.10	20.00	58.30	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 125mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.35mg/l



รูปที่ ข.7 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.22 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
220	4,664.00	3,487.78	500.75	3,731.20	2,603.33	1,033.55	20.00	25.36	0.00
240				3,363.73	2,048.89	1,041.30	27.88	41.26	0.00
260				3,137.60	2,276.67	1,504.40	32.73	34.72	0.00
280				3,052.80	1,993.33	1,040.30	34.55	42.85	0.00
300				3,392.00	2,123.33	1,013.00	27.27	39.12	0.00
320				3,194.13	2,165.56	1,368.00	31.52	37.91	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2mg/l pH เท่ากับ 4.70

ตารางที่ ข.23 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

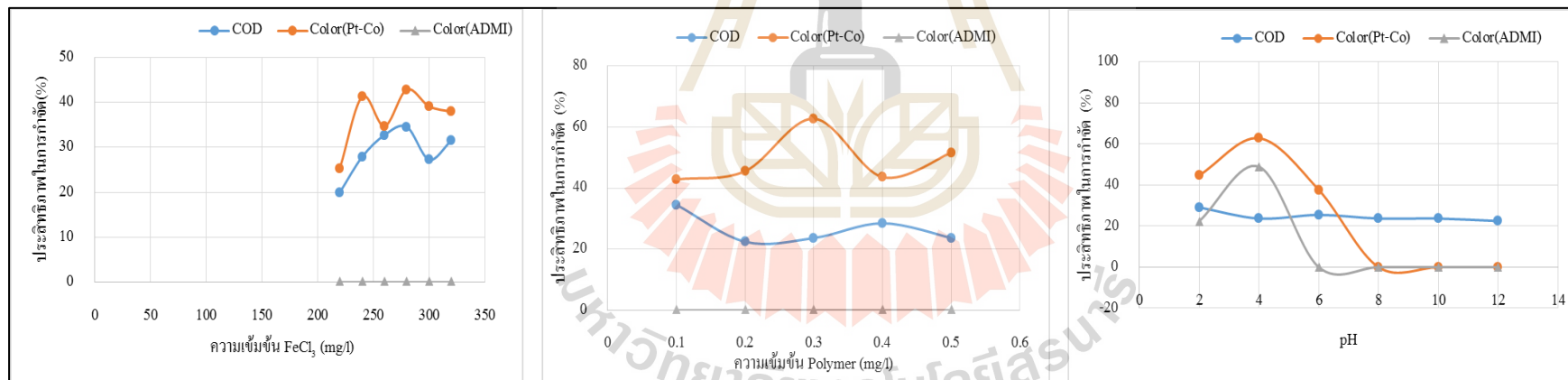
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.1	4,664.00	3,487.78	500.75	3,052.80	1,993.33	1,517.00	34.55	42.85	0.00
0.2				3,618.13	1,898.89	1,320.25	22.42	45.56	0.00
0.3				3,561.60	1,298.89	1,217.00	23.64	62.76	0.00
0.4				3,335.47	1,966.67	1,418.60	28.48	43.61	0.00
0.5				3,561.60	1,685.56	1,281.50	23.64	51.67	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 280mg/l pH เท่ากับ 4.70

ตารางที่ ข.24 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	4,664.00	3,487.78	500.75	3,307.20	1,931.11	389.00	29.09	44.63	22.32
4				3,561.60	1,298.89	256.00	23.64	62.76	48.88
6				3,476.80	2,175.56	1765.50	25.45	37.62	0.00
8				3,561.60	3,705.56	2645.00	23.64	0.00	0.00
10				3,561.60	3,612.22	3604.50	23.64	0.00	0.00
12				3,618.13	4,234.44	2996.00	22.42	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 280 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.3mg/l



รูปที่ ข.8 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.25 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
75	3,712.00	8,801.11	9,903.67	3,588.27	2,402.22	1,035.20	3.33	72.71	89.55
100				2,598.40	1,951.11	981.35	30.00	77.83	90.09
125				3,340.80	2,274.44	1,022.63	10.00	74.16	89.67
150				3,340.80	2,707.78	1,030.53	10.00	69.23	89.59
175				3,340.80	3,523.33	1,039.77	10.00	59.97	89.50
200				3,835.73	4,193.33	1,040.00	0.00	52.35	89.50

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 7.30

ตารางที่ ข.26 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

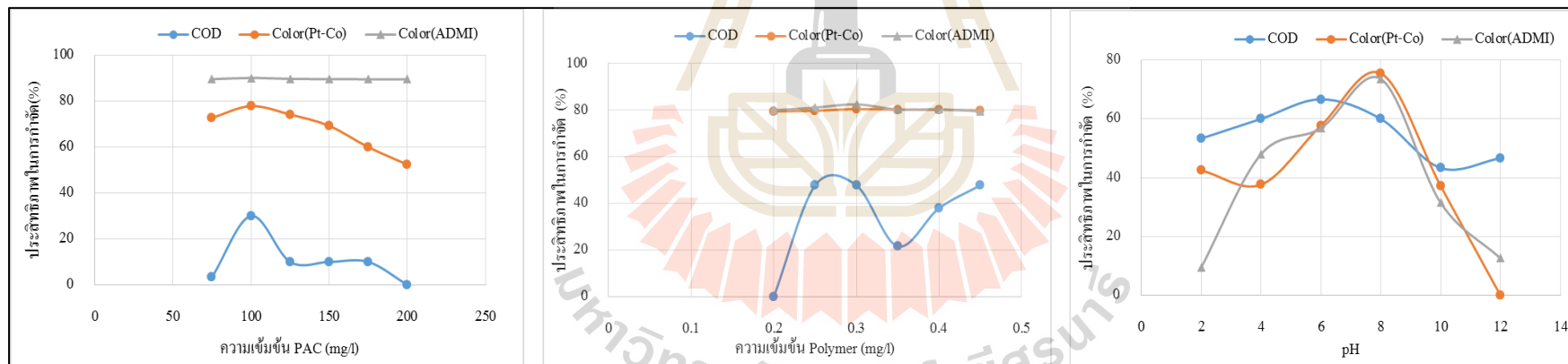
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.2	3,712.00	8,801.11	9,903.67	4,125.33	1,807.78	1,988.50	0.00	79.46	79.92
0.25				1,941.33	1,785.56	1,874.80	47.70	79.71	81.07
0.3				1,941.33	1,723.33	1,737.00	47.70	80.42	82.46
0.35				2,912.00	1,745.56	1,956.80	21.55	80.17	80.24
0.4				2,305.33	1,750.00	1,944.75	37.90	80.12	80.36
0.45				1,941.33	1,772.22	2,034.00	47.70	79.86	79.46

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 100mg/l pH เท่ากับ 7.30

ตารางที่ ข.27 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	3,712.00	8,801.11	9,903.67	1,732.27	5,056.67	8,968.50	53.33	42.55	9.44
4				1,484.80	5,486.67	5,152.00	60.00	37.66	47.98
6				1,237.33	3,723.33	4,274.00	66.67	57.69	56.84
8				1,484.80	2,156.67	2,617.00	60.00	75.50	73.58
10				2,103.47	5,523.33	6,782.00	43.33	37.24	31.52
12				1,979.73	9,022.22	8,654.00	46.67	0.00	12.62

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 100mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.30mg/l



รูปที่ ข.9 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนท

ตารางที่ ข.28 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
160	3,712.00	8,801.11	9,903.67	2,312.80	3,793.33	4,004.50	37.69	56.90	59.57
180				1,321.60	2,390.00	2,861.20	64.40	72.84	71.11
200				1,321.60	1,787.78	2,206.50	64.40	79.69	77.72
220				1,762.13	2,013.33	2,341.67	52.53	77.12	76.36
240				3,304.00	2,078.89	3,782.40	10.99	76.38	61.81
260				3,083.73	2,380.00	5,245.00	16.93	72.96	47.04

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 7.30

ตารางที่ ข.29 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

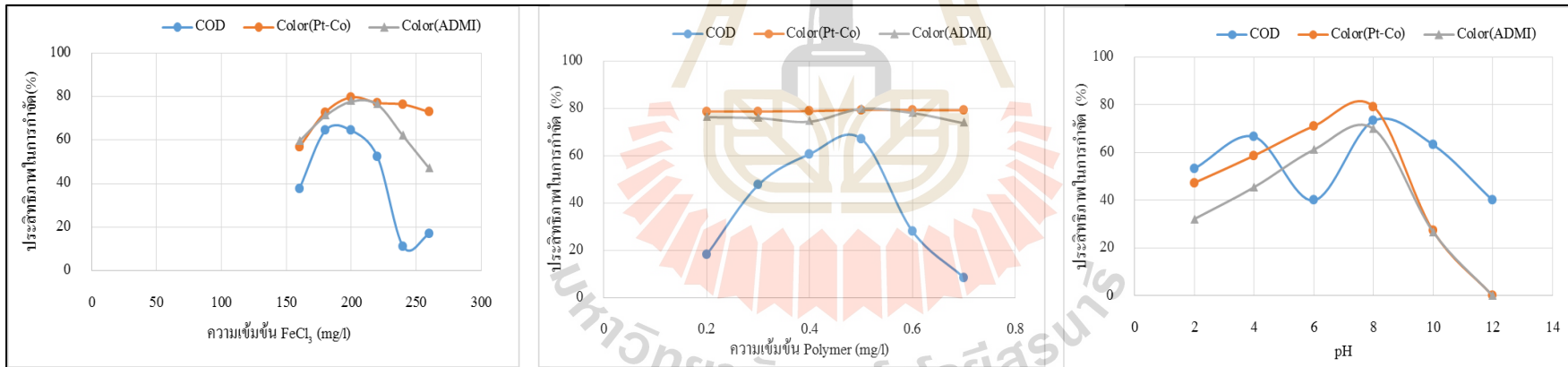
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.2	3,712.00	8,801.11	9,903.67	3,033.33	1,867.78	2,339.00	18.28	78.78	76.38
0.3				1,941.33	1,862.22	2,376.75	47.70	78.84	76.00
0.4				1,456.00	1,848.89	2,526.00	60.78	78.99	74.49
0.5				1,213.33	1,806.67	1,993.67	67.31	79.47	79.87
0.6				2,669.33	1,812.22	2,162.00	28.09	79.41	78.17
0.7				3,397.33	1,820.00	2,593.00	8.48	79.32	73.82

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 200 mg/l pH เท่ากับ 7.30

ตารางที่ ข.30 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	3,712.00	8,801.11	9,903.67	1,732.27	4,634.44	6,718.00	53.33	47.34	32.17
4				1,237.33	3,633.33	5,400.00	66.67	58.72	45.47
6				2,227.20	2,544.44	3,842.33	40.00	71.09	61.20
8				989.87	1,822.22	2,967.50	73.33	79.30	70.04
10				1,361.07	6,404.44	7,243.50	63.33	27.23	26.86
12				2,227.20	9,293.33	10,352.67	40.00	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50mg/l



รูปที่ ข.10 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.31 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
100	24,576.00	9,056.67	10,372.00	24,449.60	9,511.11	10,256.67	0.51	0.00	1.11
125				27,753.60	9,292.22	10,356.00	0.00	0.00	0.15
150				27,092.80	8,480.00	9,102.50	0.00	6.37	12.24
175				39,648.00	8,508.89	9,773.67	0.00	6.05	5.77
200				31,718.40	8,734.44	9,554.67	0.00	3.56	7.88
225				25,110.40	8,958.89	10,110.50	0.00	1.08	2.52

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 5.40

ตารางที่ ข.32 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

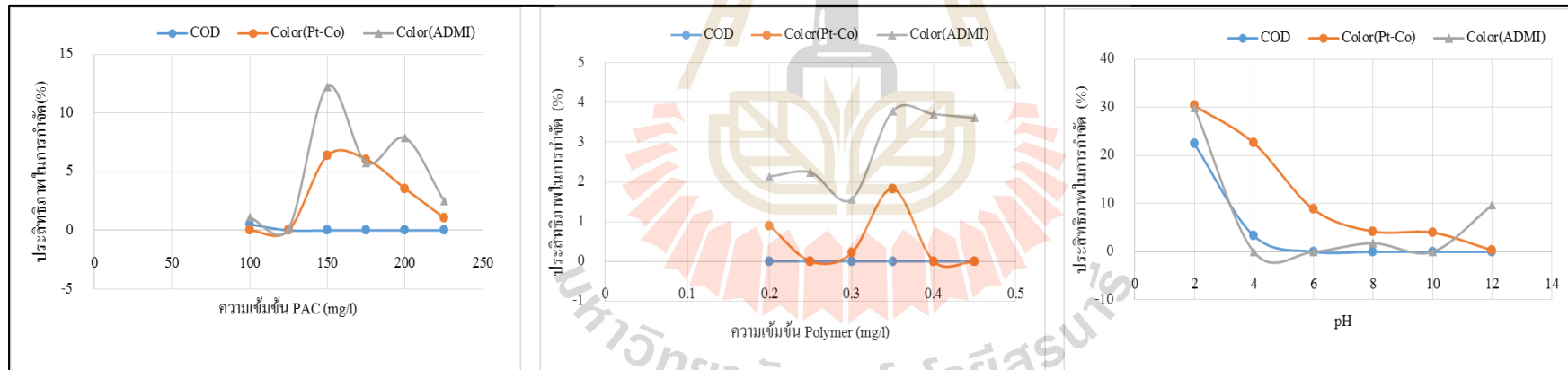
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.2	24,576.00	9,056.67	10,372.00	28,634.67	8,975.56	10,150.50	0.00	0.90	2.14
0.25				28,634.67	9,956.67	10,140.00	0.00	0.00	2.24
0.3				28,149.33	9,037.78	10,210.00	0.00	0.21	1.56
0.35				25,722.67	8,891.11	9,979.00	0.00	1.83	3.79
0.4				25,237.33	9,281.11	9,987.00	0.00	0.00	3.71
0.45				26,208.00	9,174.44	9,998.00	0.00	0.00	3.61

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 150 mg/l pH เท่ากับ 5.40

ตารางที่ ข.33 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	24,576.00	9,056.67	10,372.00	19,054.93	6,302.22	7,264.33	22.47	30.41	29.96
4				23,756.80	7,010.00	10,382.50	3.33	22.60	0.00
6				28,706.13	8,255.56	10,374.67	0.00	8.85	0.00
8				27,716.27	8,673.33	10,186.67	0.00	4.23	1.79
10				25,736.53	8,693.33	10,424.50	0.00	4.01	0.00
12				25,736.53	9,026.67	9,364.50	0.00	0.33	9.71

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 150 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.35mg/l



รูปที่ ข.11 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.34 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
200	24,576.00	9,056.67	10,372.00	29,515.73	11,323.33	10,445.00	0.00	0.00	0.00
220				31,718.40	9,533.33	10,451.00	0.00	0.00	0.00
240				27,533.33	9,188.89	10,357.67	4.91	0.00	0.14
260				30,837.33	9,224.44	10,457.00	0.00	0.00	0.00
280				32,158.93	9,360.00	10,386.33	0.00	0.00	0.00
300				33,480.53	9,172.22	10,427.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 5.40

ตารางที่ ข.35 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

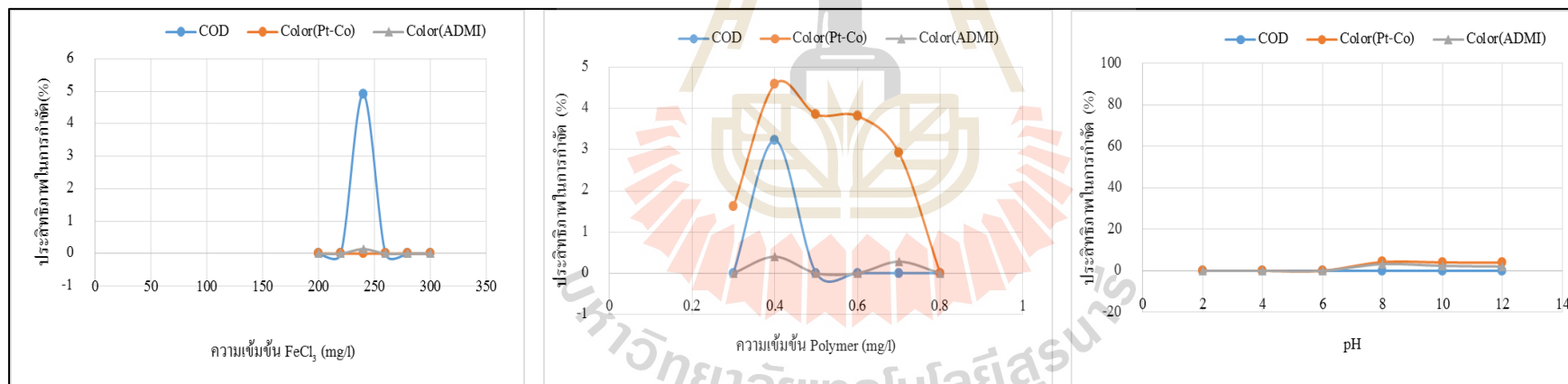
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.3	24,576.00	9,056.67	10,372.00	30,090.67	8,910.00	10,461.00	0.00	1.62	0.00
0.4				23,781.33	8,641.11	10,331.00	3.23	4.59	0.40
0.5				27,664.00	8,706.67	10,457.50	0.00	3.86	0.00
0.6				27,664.00	8,710.78	10,408.50	0.00	3.82	0.00
0.7				25,722.67	8,791.11	10,342.50	0.00	2.93	0.28
0.8				28,149.33	9,887.78	10,464.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 240 mg/l pH เท่ากับ 5.40

ตารางที่ ข.36 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	24,576.00	9,056.67	10,372.00	26,478.93	9,104.44	10,459.00	0.00	0.00	0.00
4				24,746.67	9,152.22	10,406.00	0.00	0.00	0.00
6				25,241.60	9,143.33	10,461.00	0.00	0.00	0.00
8				24,746.67	8,676.67	10,040.00	0.00	4.20	3.20
10				27,221.33	8,693.33	10,127.00	0.00	4.01	2.36
12				25,241.60	8,703.33	10,161.00	0.00	3.90	2.03

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.40 mg/l



รูปที่ ข.12 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.37 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
125	46,067.28	6,257.78	1,041.00	36,518.32	6,252.22	910.00	20.73	0.09	12.58
150				37,808.72	5,747.78	885.00	17.93	8.15	14.99
175				36,002.16	4,430.00	713.20	21.85	29.21	31.49
200				38,953.95	4,962.22	772.80	15.44	20.70	25.76
225				37,986.15	5,193.33	767.00	17.54	17.01	26.32
250				37,260.30	5,374.44	895.67	19.12	14.12	13.96

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.04

ตารางที่ ข.38 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

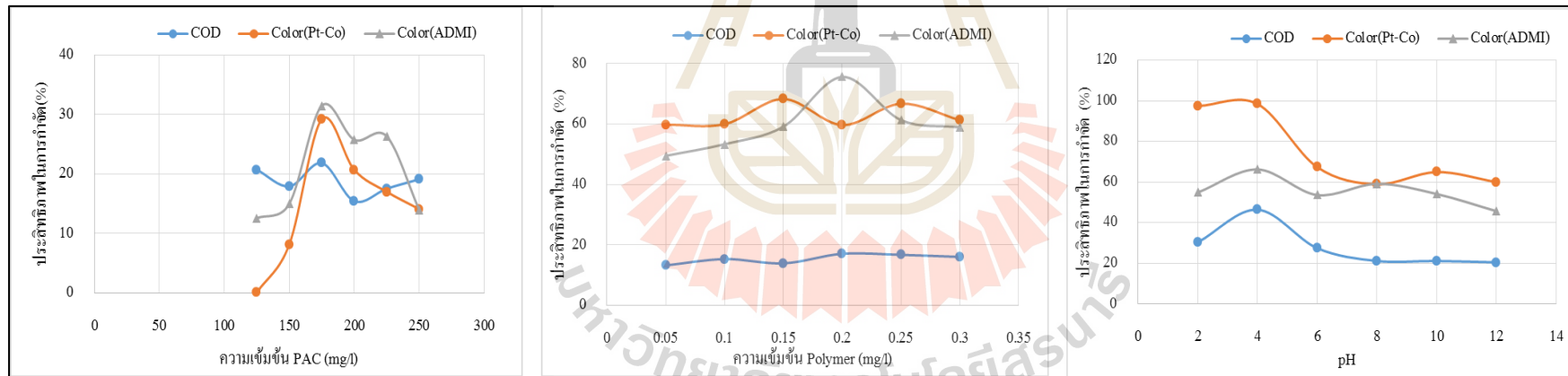
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.05	46,067.28	6,257.78	1,041.00	40,002.40	2,516.67	526.00	13.17	59.78	49.47
0.1				39,034.60	2,506.67	486.00	15.27	59.94	53.31
0.15				39,679.80	1,985.56	425.50	13.87	68.27	59.13
0.2				38,228.10	2,524.44	254.00	17.02	59.66	75.60
0.25				38,389.40	2,082.22	403.00	16.67	66.73	61.29
0.3				38,712.00	2,423.33	428.00	15.97	61.27	58.89

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175mg/l pH เท่ากับ 9.04

ตารางที่ ข.39 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	46,067.28	6,257.78	1,041.00	32,098.70	163.33	470.00	30.32	97.39	54.85
4				24,678.90	97.78	351.50	46.43	98.44	66.23
6				33,389.10	2,042.22	482.50	27.52	67.37	53.65
8				36,292.50	2,570.00	425.50	21.22	58.93	59.13
10				36,292.50	2,194.44	477.00	21.22	64.93	54.18
12				36,615.10	2,502.22	565.00	20.52	60.01	45.73

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 175mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.2mg/l



รูปที่ ข.13 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.40 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
40	46,067.28	6,257.78	1,041.00	38,861.40	8,734.00	1099.00	15.64	0.00	0.00
80				36,097.20	8,563.00	1367.00	21.64	0.00	0.00
120				34,715.10	7,251.00	1708.00	24.64	0.00	0.00
160				34,959.00	7,381.00	1672.00	24.11	0.00	0.00
200				37,398.00	8,379.00	1729.00	18.82	0.00	0.00
240				36,097.20	8,575.00	2669.00	21.64	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.40

ตารางที่ ข.41 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

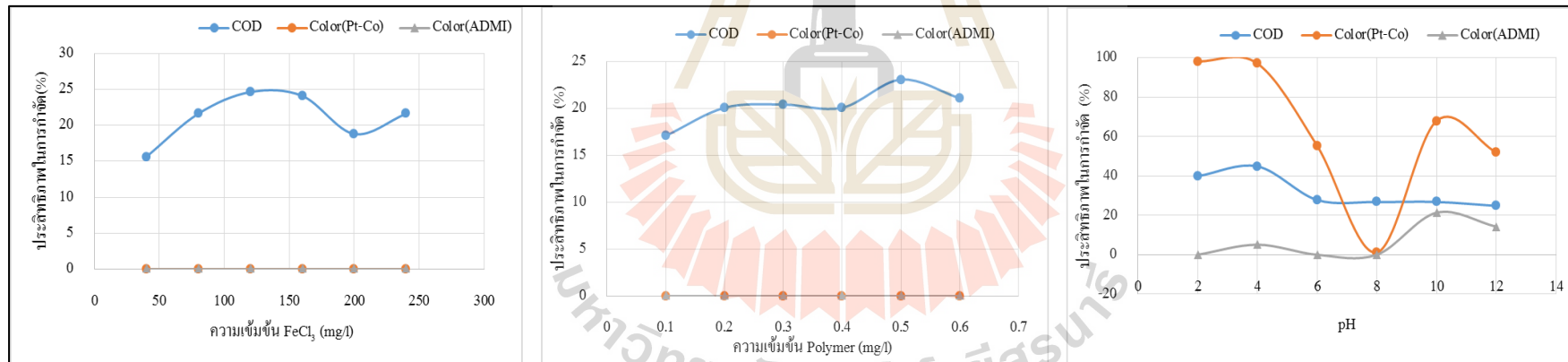
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.1	46,067.28	6,257.78	1,041.00	38,192.00	7,351.00	1239.00	17.10	0.00	0.00
0.2				36,806.00	7,281.30	1278.50	20.10	0.00	0.00
0.3				36,652.00	7,051.00	1355.00	20.44	0.00	0.00
0.4				36,806.00	6,994.64	1289.00	20.10	0.00	0.00
0.5				35,420.00	6,452.55	1239.50	23.11	0.00	0.00
0.6				36,344.00	6,847.54	1151.00	21.11	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 120 mg/l pH เท่ากับ 9.40

ตารางที่ ข.42 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	46,067.28	6,257.78	1,041.00	27,720.00	116.67	1,860.00	39.83	98.14	0.00
4				25,410.00	185.56	988.00	44.84	97.03	5.09
6				33,264.00	2,795.56	1,825.50	27.79	55.33	0.00
8				33,726.00	6,185.00	2,000.00	26.79	1.16	0.00
10				33,726.00	2,007.78	819.00	26.79	67.92	21.33
12				34,650.00	3,008.89	893.00	24.78	51.92	14.22

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 120mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50 mg/l



รูปที่ ข.14 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.43 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
200	33,120.00	1,992.22	1,010.00	30,483.87	1,347.78	1,260.00	7.96	32.35	0.00
225				29,032.26	1,393.33	905.00	12.34	30.06	10.40
250				27,096.77	938.89	1,010.00	18.19	52.87	0.00
275				26,129.03	1,367.78	925.00	21.11	31.34	8.42
300				28,064.52	916.67	610.00	15.26	53.99	39.60
325				28,064.52	1,205.56	1,047.50	15.26	15.37	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.44 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

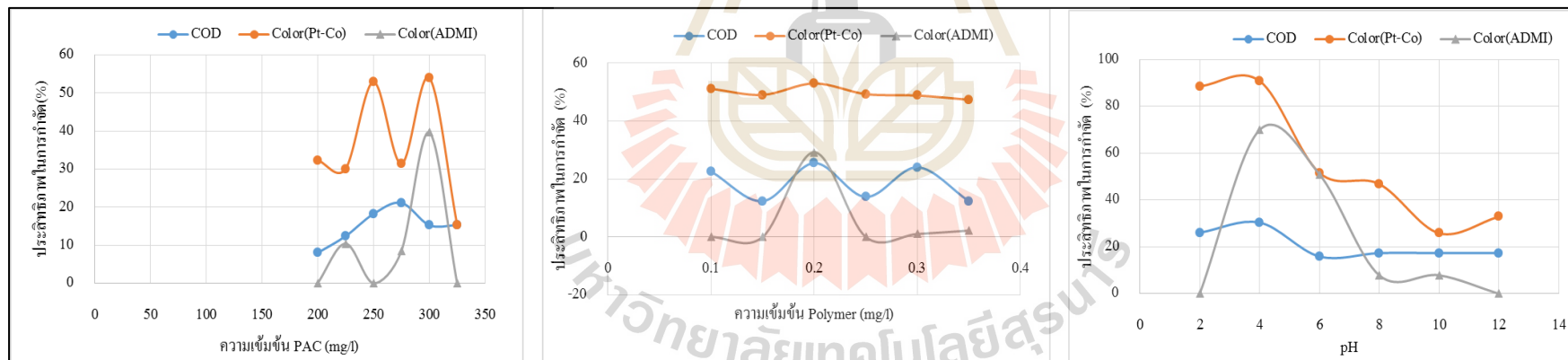
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	33,120.00	1,992.22	1,010.00	25,645.16	973.33	1,117.50	22.57	51.14	0.00
0.15				29,032.26	1,015.56	1,262.50	12.34	49.02	0.00
0.2				24,677.42	936.67	715.00	25.49	52.98	29.21
0.25				28,548.39	1,010.00	1,293.33	13.80	49.30	0.00
0.3				25,161.29	1,020.00	1,000.00	24.03	48.80	0.99
0.35				29,032.26	1,048.89	987.90	12.34	47.35	2.19

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.45 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	33,120.00	1,992.22	1,010.00	24,480.00	225.56	1,196.67	26.09	88.68	0.00
4				23,040.00	180.00	303.33	30.43	90.96	69.97
6				27,840.00	962.22	494.20	15.94	51.70	51.07
8				27,360.00	1,057.78	930.00	17.39	46.90	7.92
10				27,360.00	1,476.67	930.00	17.39	25.88	7.92
12				27,360.00	1,335.56	1,312.50	17.39	32.96	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l



รูปที่ ข.15 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.46 ผลการศึกษาความเข้มข้นFeCl<sub>3</sub>ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น FeCl <sub>3</sub> (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
40	33,120.00	1,992.22	1,010.00	28,407.64	2,113.33	1,561.67	14.23	0.00	0.00
80				30,700.64	2,256.67	2,240.00	7.30	0.00	0.00
120				29,681.53	2,103.33	2,522.50	10.38	0.00	0.00
160				26,878.98	3,050.00	2,730.00	18.84	0.00	0.00
200				30,191.08	3,184.44	3,360.00	8.84	0.00	0.00
240				49,299.36	3,422.22	4,515.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.47 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

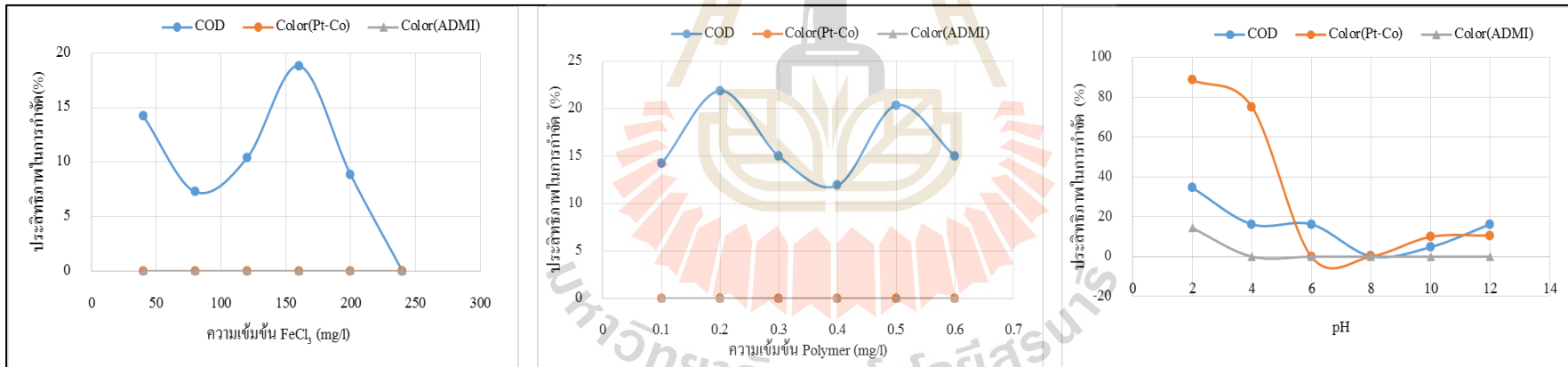
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.1	33,120.00	1,992.22	1,010.00	28,407.64	2,406.67	3,407.50	14.23	0.00	0.00
0.2				25,859.87	2,113.33	2,035.00	21.92	0.00	0.00
0.3				28,152.87	2,641.11	2,912.50	15.00	0.00	0.00
0.4				29,171.97	2,448.89	2,352.50	11.92	0.00	0.00
0.5				26,369.43	2,708.89	2,812.50	20.38	0.00	0.00
0.6				28,152.87	2,526.67	3,722.50	15.00	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub>ความเข้มข้น 120 mg/l pH เท่ากับ 9.32

ตารางที่ ข.48 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	33,120.00	1,992.22	1,010.00	21,660.00	226.67	865.00	34.60	88.62	14.36
4				27,740.00	494.44	1726.67	16.24	75.18	0.00
6				27,740.00	2,096.67	1,656.67	16.24	0.00	0.00
8				33,060.00	2,420.00	2718.33	0.18	0.00	0.00
10				31,540.00	1,794.44	1,550.00	4.77	9.93	0.00
12				27,740.00	1,781.11	1,252.50	16.24	10.60	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 120 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.20 mg/l



รูปที่ ข.16 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.49 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
150	44,800.00	2,758.89	739.84	43,520.00	2,565.56	546.00	2.86	7.01	26.20
175				41,600.00	2,353.33	525.50	7.14	14.70	28.97
200				43,520.00	2,222.22	536.33	2.86	19.45	27.51
225				44,800.00	2,733.33	507.00	0.00	0.93	31.47
250				44,160.00	2,560.00	469.33	1.43	7.21	36.56
275				44,160.00	2,653.33	524.67	1.43	3.83	29.08

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.15

ตารางที่ ข.50 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

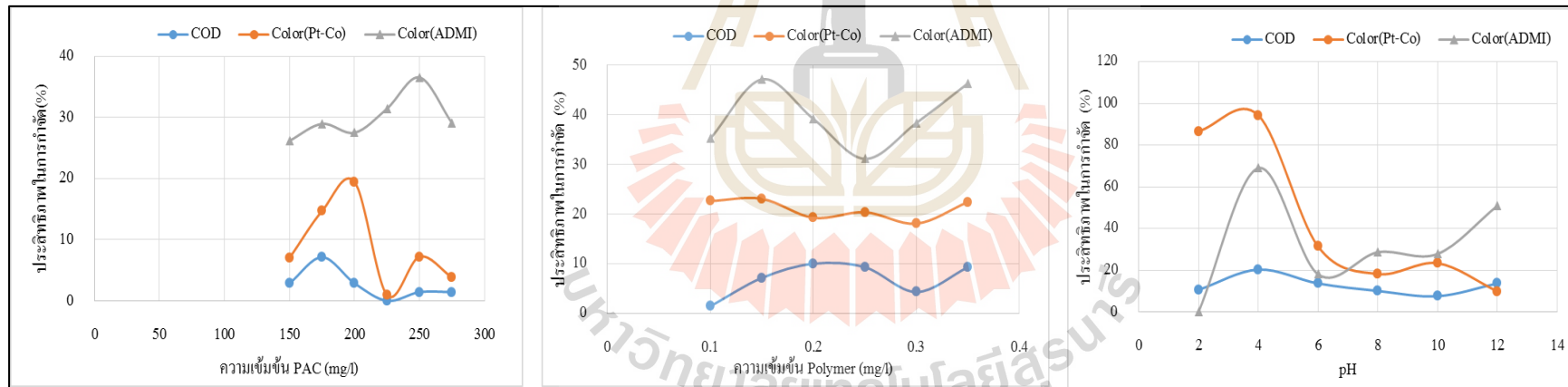
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	44,800.00	2,758.89	739.84	44,160.00	2,134.44	479.00	1.43	22.63	35.26
0.15				41,600.00	2,122.22	391.00	7.14	23.08	47.15
0.2				40,320.00	2,227.78	450.00	10.00	19.25	39.18
0.25				40,640.00	2,196.67	509.50	9.29	20.38	31.13
0.3				42,880.00	2,260.00	456.00	4.29	18.08	38.37
0.35				40,640.00	2,140.00	397.00	9.29	22.43	46.34

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 200 mg/l pH เท่ากับ 9.15

ตารางที่ ข.51 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	44,800.00	2,758.89	739.84	43,216.00	367.78	748.50	10.70	86.67	0.00
4				38,529.33	156.67	229.50	20.39	94.32	68.98
6				41,736.00	1,890.00	605.50	13.76	31.49	18.16
8				43,462.67	2,254.44	527.50	10.19	18.28	28.70
10				44,696.00	2,112.22	533.50	7.65	23.44	27.89
12				41,736.00	2,483.33	363.00	13.76	9.99	50.94

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.15 mg/l



รูปที่ ข.17 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.52 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
40	44,800.00	2,758.89	739.84	44,753.33	3,976.67	965.33	0.10	0.00	0.00
80				40,180.00	3,477.78	1,241.67	10.31	0.00	0.00
120				44,753.33	3,643.33	1,487.67	0.10	0.00	0.00
160				44,100.00	4,196.67	1,494.00	1.56	0.00	0.00
200				42,140.00	4,250.00	1,574.00	5.94	0.00	0.00
240				41,160.00	4,490.00	1,096.00	8.13	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 9.15

ตารางที่ ข.53 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

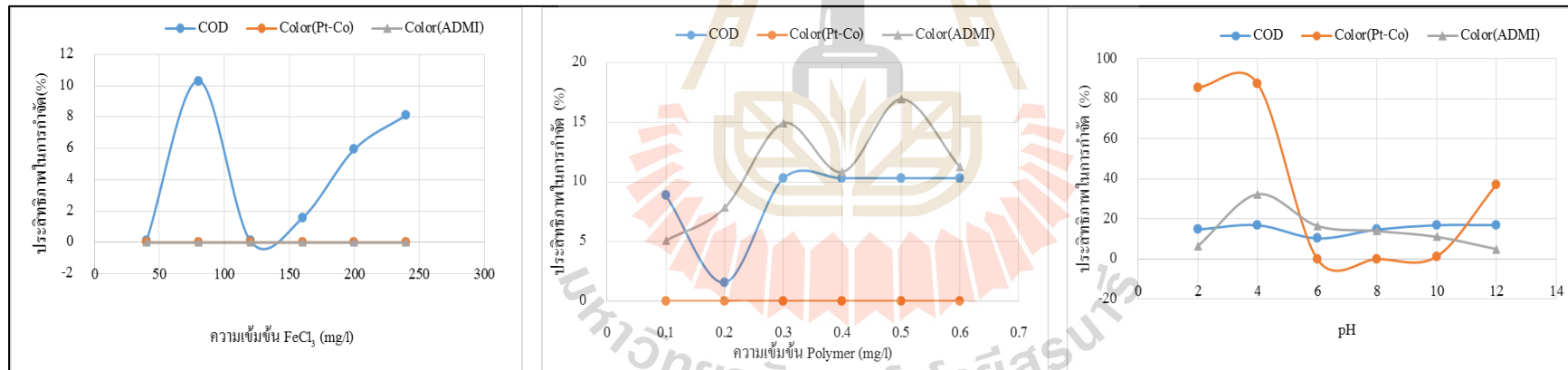
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.1	44,800.00	2,758.89	739.84	40,833.33	3,610.00	915.50	8.85	0.00	5.08
0.2				44,100.00	4,203.33	889.00	1.56	0.00	7.83
0.3				40,180.00	3,316.67	820.50	10.31	0.00	14.93
0.4				40,180.00	3,401.11	860.00	10.31	0.00	10.83
0.5				40,180.00	3,165.56	801.00	10.31	0.00	16.95
0.6				40,180.00	3,440.00	856.00	10.31	0.00	11.25

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 80 mg/l pH เท่ากับ 9.15

ตารางที่ ข.54 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	44,800.00	2,758.89	739.84	38,220.00	397.78	902.50	14.69	85.58	6.43
4				37,240.00	343.33	653.00	16.88	87.56	32.30
6				40,180.00	2,772.22	927.00	10.31	0.00	16.54
8				38,220.00	2,994.44	805.00	14.69	0.00	13.95
10				37,240.00	2,724.44	830.00	16.88	1.25	11.08
12				37,240.00	1,735.56	857.67	16.88	37.09	4.97

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 80 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50 mg/l



รูปที่ ข.18 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.55 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
225	2,790.00	10,315.56	10,429.50	930.00	1,481.11	2,758.00	66.67	85.64	73.56
250				744.00	1,434.44	1,851.00	73.33	86.09	82.25
275				837.00	1,380.00	1,432.50	70.00	86.62	86.26
300				160.00	1,330.00	1,405.50	94.27	87.11	86.52
325				187.49	1,356.67	2,119.00	93.28	86.85	79.68
350				166.66	1,363.33	3,635.50	94.03	86.78	65.14

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.78

ตารางที่ ข.56 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

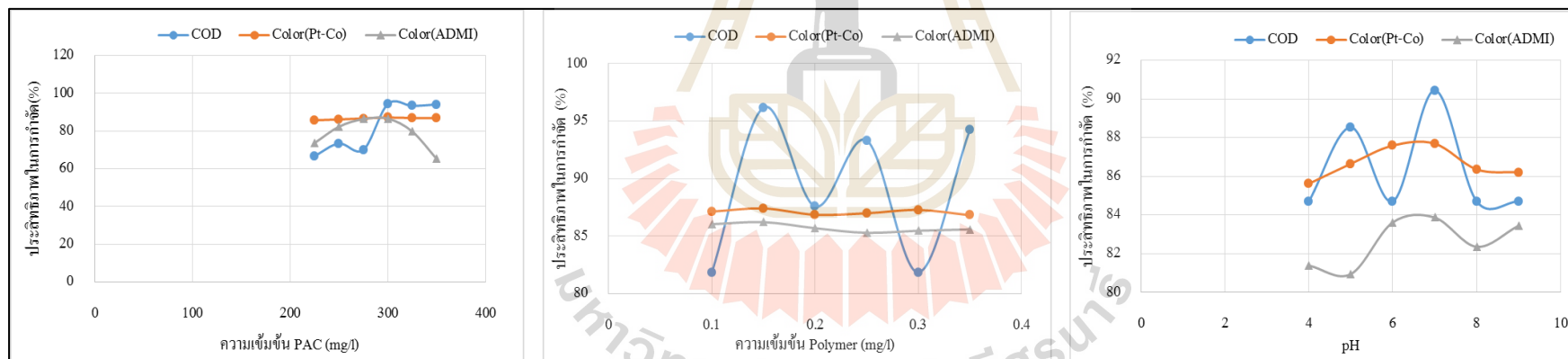
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	2,790.00	10,315.56	10,429.50	506.67	1,327.78	1,457.00	81.84	87.13	86.03
0.15				106.67	1,300.00	1,438.50	96.18	87.40	86.21
0.2				346.67	1,356.67	1,493.00	87.57	86.85	85.68
0.25				186.67	1,343.33	1,535.00	93.31	86.98	85.28
0.3				506.67	1,313.33	1,516.00	81.84	87.27	85.46
0.35				160.00	1,361.11	1,504.33	94.27	86.81	85.58

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300mg/l pH เท่ากับ 6.78

ตารางที่ ข.57 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
4	2,790.00	10,315.56	10,429.50	426.67	1,483.33	1,941.00	84.71	85.62	81.39
5				320.00	1,376.67	1,987.00	88.53	86.65	80.95
6				426.67	1,280.00	1,708.00	84.71	87.59	83.62
7				266.67	1,270.00	1,682.00	90.44	87.69	83.87
8				426.67	1,406.67	1,839.50	84.71	86.36	82.36
9				426.67	1,423.33	1,726.00	84.71	86.20	83.45

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.15mg/l



รูปที่ ข.19 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.58 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
10	2,790.00	10,315.56	10,429.50	2,159.33	10,375.00	10,383.00	22.60	0.00	0.45
20				2,081.28	13,001.00	10,353.00	25.40	0.00	0.73
30				2,081.28	12,960.00	10,395.50	25.40	0.00	0.33
40				1,977.22	10,268.00	10,322.00	29.13	0.46	1.03
50				1,769.09	10,014.00	10,279.50	36.59	2.92	1.44
60				2,341.44	12,736.67	10,310.50	16.08	0.00	1.14

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.78

ตารางที่ ข.59 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

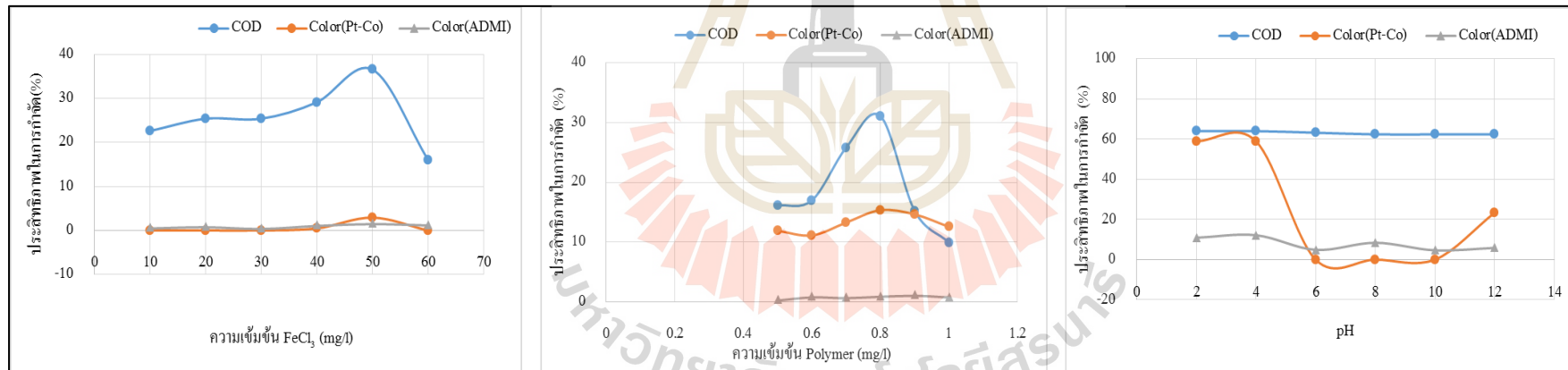
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.5	2,790.00	10,315.56	10,429.50	2,340.80	9,088.89	10,409.50	16.10	11.89	0.19
0.6				2,316.16	9,170.00	10,353.50	16.98	11.11	0.73
0.7				2,069.76	8,947.78	10,367.50	25.82	13.26	0.59
0.8				1,921.92	8,733.33	10,343.00	31.11	15.34	0.83
0.9				2,365.44	8,806.67	10,326.00	15.22	14.63	0.99
1				2,513.28	9,022.22	10,355.00	9.92	12.54	0.71

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 50 mg/l pH เท่ากับ 6.78

ตารางที่ ข.60 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	2,790.00	10,315.56	10,429.50	1,005.55	4,238.89	9,295.00	63.96	58.91	10.88
4				1,005.55	4,238.89	9,161.00	63.96	58.91	12.16
6				1,028.40	11,271.11	9,923.00	63.14	0.00	4.86
8				1,051.25	10,922.22	9,554.67	62.32	0.00	8.39
10				1,051.25	10,863.33	9,946.33	62.32	0.00	4.63
12				1,051.25	7,910.00	9,822.67	62.32	23.32	5.82

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 50 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.80 mg/l



รูปที่ ข.20 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.61 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
200	3,340.80	1,157.78	10,112.00	1,856.00	323.33	224.50	44.44	72.07	98.18
250				1,299.20	278.89	184.03	61.11	75.91	98.25
300				928.00	333.33	177.40	72.22	71.21	98.22
350				928.00	307.78	180.30	72.22	73.42	98.20
400				2,227.20	337.78	181.70	33.33	70.83	98.18
450				1,670.40	303.33	183.80	50.00	73.80	100.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.83

ตารางที่ ข.62 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

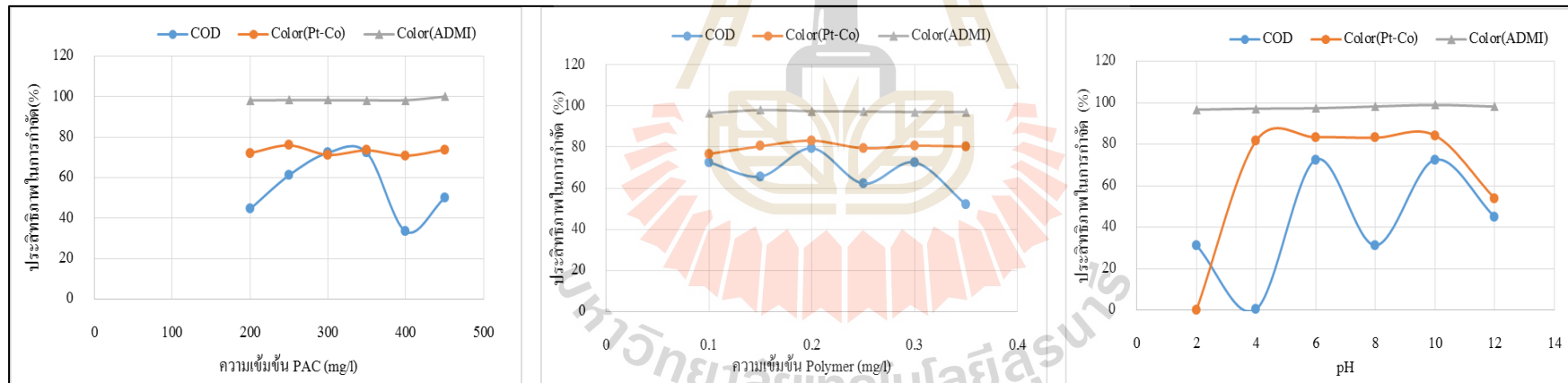
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	3,340.80	1,157.78	10,112.00	917.33	270.00	354.54	72.54	76.68	96.49
0.15				1,146.67	226.67	325.74	65.68	80.42	97.98
0.2				688.00	195.56	204.2	79.41	83.11	97.43
0.25				1,261.33	237.78	259.41	62.24	79.46	97.28
0.3				917.33	224.44	274.95	72.54	80.61	97.03
0.35				1,605.33	228.89	300.2	51.95	80.23	97.03

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300 mg/l pH เท่ากับ 6.83

ตารางที่ ข.63 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	3,340.80	1,157.78	10,112.00	2,293.33	1,530.00	334.50	31.35	0.00	96.69
4				3,325.33	213.33	284.03	0.46	81.57	97.19
6				917.33	192.22	267.40	72.54	83.40	97.36
8				2,293.33	195.56	180.30	31.35	83.11	98.22
10				917.33	182.22	107.00	72.54	84.26	98.94
12				1,834.67	533.33	183.80	45.08	53.93	98.18

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 300 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.2mg/l



รูปที่ ข.21 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมเคมีครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.64 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
10	3,340.80	1,157.78	10,112.00	1,945.92	910.00	777.20	41.75	21.40	92.31
20				1,297.28	886.67	563.30	61.17	23.42	94.43
30				2,162.13	923.33	816.00	35.28	20.25	91.93
40				2,594.56	1,063.33	911.75	22.34	8.16	90.98
50				2,594.56	1,136.67	925.30	22.34	1.82	90.85
60				1,945.92	973.33	995.70	41.75	15.93	90.15

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.83

ตารางที่ ข.65 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

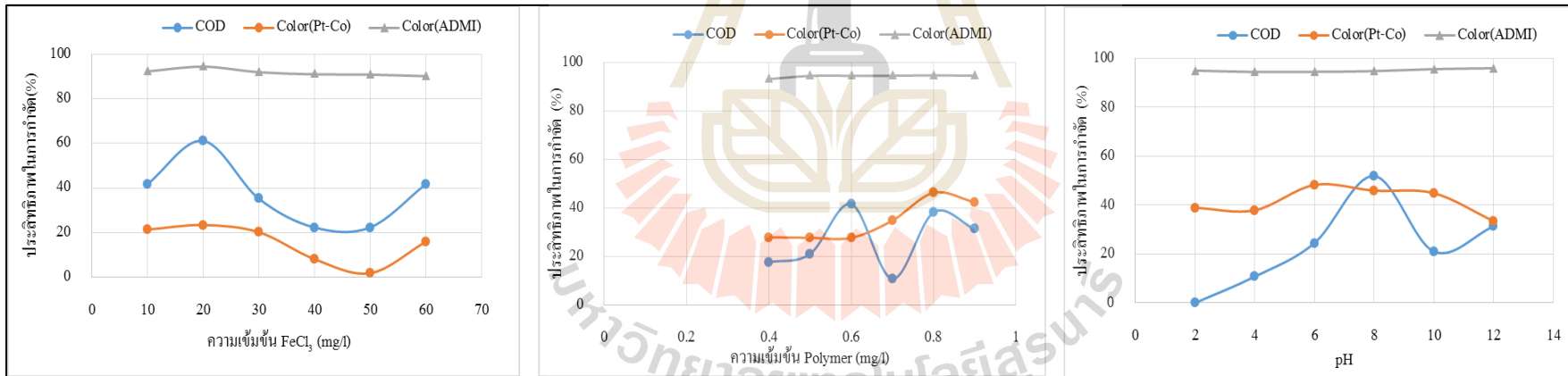
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.4	3,340.80	1,157.78	10,112.00	2,752.00	834.44	678.30	17.62	27.93	93.29
0.5				2,637.33	836.67	548.60	21.06	27.74	94.57
0.6				1,949.33	836.67	542.00	41.65	27.74	94.64
0.7				2,981.33	754.44	539.45	10.76	34.84	94.67
0.8				2,064.00	621.11	524.74	38.22	46.35	94.81
0.9				2,293.33	666.67	536.72	31.35	42.42	94.69

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 20 mg/l pH เท่ากับ 6.83

ตารางที่ ข.66 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	3,340.80	1,157.78	10,112.00	3,440.00	706.67	501.5667	0.00	38.96	95.04
4				2,981.33	718.89	558.5000	10.76	37.91	94.48
6				2,522.67	598.89	552.4000	24.49	48.27	94.54
8				1,605.33	625.56	522.4333	51.95	45.97	94.83
10				2,637.33	637.78	438.6667	21.06	44.91	95.66
12				2,293.33	770.00	402.9667	31.35	33.49	96.01

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 20 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.80 mg/l



รูปที่ ข.22 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนต์



ตารางที่ ข.67 ผลการศึกษาความเข้มข้นPACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
200	2,688.00	2,103.33	964.50	1,792.00	326.67	380.45	33.33	84.47	60.55
250				1,941.33	296.67	362.30	27.78	85.90	62.44
300				1,344.00	300.00	360.50	50.00	85.74	62.62
350				1,642.67	293.33	357.20	38.89	86.05	62.97
400				1,642.67	296.67	359.30	38.89	85.90	62.75
450				1,941.33	300.00	361.70	27.78	85.74	62.50

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.72

ตารางที่ ข.68 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

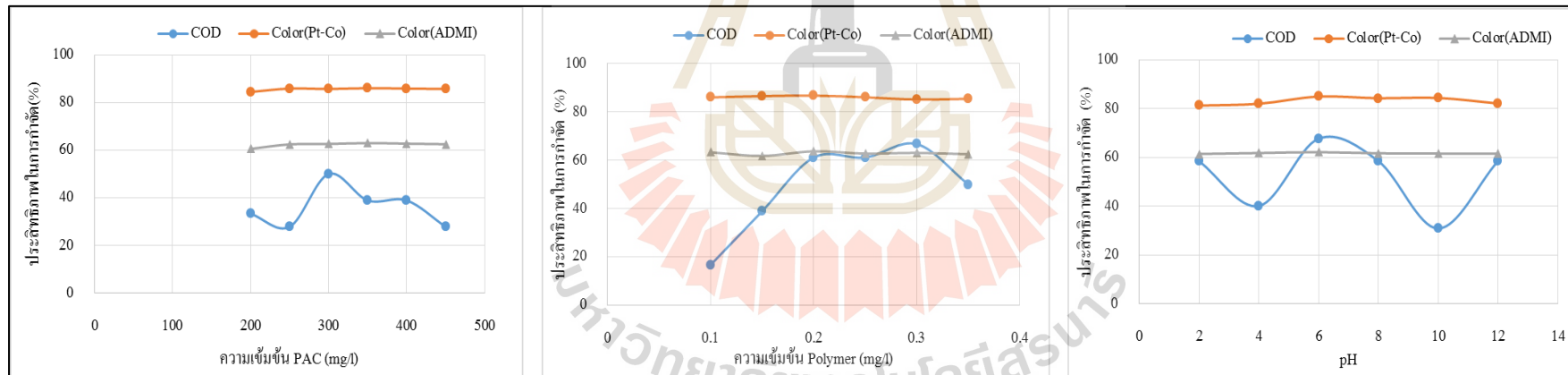
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD(mg/l)	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)	COD	Color(Pt-Co)	Color(ADMI)
0.1	2,688.00	2,103.33	964.50	2,240.00	294.44	354.40	16.67	86.00	63.26
0.15				1,642.67	283.33	368.50	38.89	86.53	61.79
0.2				1,045.33	278.89	350.37	61.11	86.74	63.67
0.25				1,045.33	293.33	359.45	61.11	86.05	62.73
0.3				896.00	313.33	356.63	66.67	85.10	63.02
0.35				1,344.00	306.67	362.07	50.00	85.42	62.46

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 350 mg/l pH เท่ากับ 6.72

ตารางที่ ข.69 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	2,688.00	2,103.33	964.50	1,113.60	392.22	371.35	58.57	81.35	61.50
4				1,608.53	376.67	367.70	40.16	82.09	61.88
6				866.13	314.44	364.07	67.78	85.05	62.25
8				1,113.60	328.89	368.65	58.57	84.36	61.78
10				1,856.00	326.67	369.62	30.95	84.47	61.68
12				1,113.60	374.44	370.25	58.57	82.20	61.61

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACI ความเข้มข้น 350 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l



รูปที่ ข.23 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.64 ผลการศึกษาความเข้มข้น $FeCl_3$ ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น $FeCl_3$ (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD(mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
100	2,688.00	2,103.33	964.50	2,240.00	2,070.00	882.90	16.67	1.58	8.46
120				2,240.00	1,056.67	1,045.23	16.67	49.76	0.00
140				2,240.00	1,871.11	670.25	16.67	11.04	30.51
160				1,792.00	1,057.78	568.50	33.33	49.71	41.06
180				2,538.67	1,494.44	538.75	5.56	28.95	44.14
200				1,642.67	527.78	473.45	38.89	74.91	50.91

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml Polymer ความเข้มข้น 0.2 mg/l pH เท่ากับ 6.72

ตารางที่ ข.65 ผลการศึกษาความเข้มข้นPolymerที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

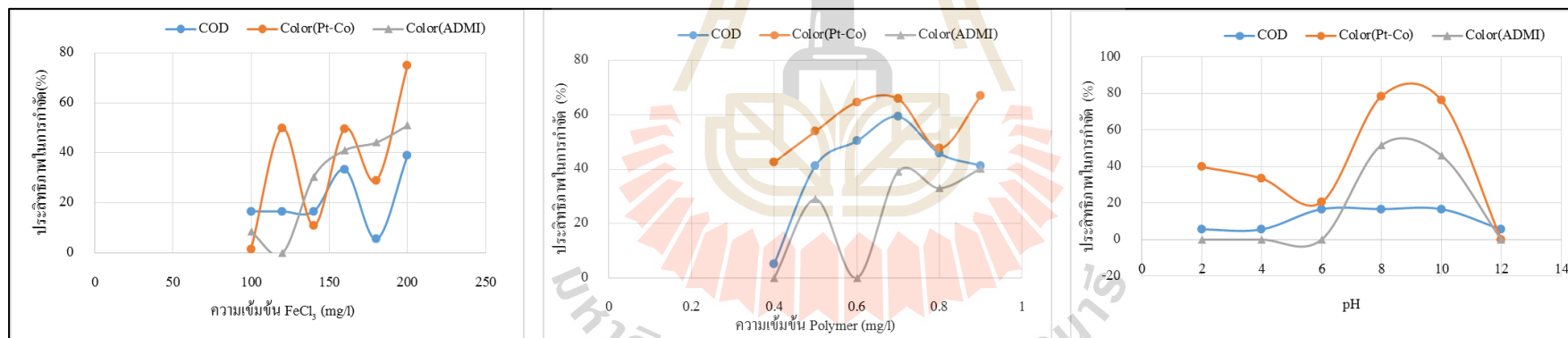
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
0.4	2,688.00	2,103.33	964.50	2,548.00	1,207.78	1,045.00	5.21	42.58	0.00
0.5				1,577.33	968.89	685.50	41.32	53.94	28.93
0.6				1,334.67	743.33	1,075.50	50.35	64.66	0.00
0.7				1,092.00	717.78	587.50	59.37	65.87	39.09
0.8				1,456.00	1,100.00	646.00	45.83	47.70	33.02
0.9				1,577.33	695.56	577.00	41.32	66.93	40.18

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml  $FeCl_3$ ความเข้มข้น 200mg/l pH เท่ากับ 6.72

ตารางที่ ข.66 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้ยาย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า			น้ำออก			ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)	COD	Color (Pt-Co)	Color (ADMI)
2	2,688.00	2,103.33	964.50	2,538.67	1,267.78	1,334.33	5.56	39.73	0.00
4				2,538.67	1,400.00	1,550.67	5.56	33.44	0.00
6				2,240.00	1,674.44	1,095.33	16.67	20.39	0.00
8				2,240.00	455.56	467.00	16.67	78.34	51.58
10				2,240.00	501.11	521.00	16.67	76.18	45.98
12				2,538.67	3,184.44	1,715.00	5.56	0.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl<sub>3</sub> ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.90 mg/l



รูปที่ ข.24 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl<sub>3</sub> เป็นสารโคแอกกูแลนท์

ตารางที่ ข.67 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl<sub>3</sub>

พารามิเตอร์	Set	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	ผลการทดสอบ
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
COD	PACI - FeCl <sub>3</sub>	-8.983	27.996	16.164	-78.530	60.564	-0.556	2	0.634	ไม่พบความแตกต่าง
Color (ADMI)	PACI - FeCl <sub>3</sub>	1.943	12.480	7.205	-29.059	32.946	0.270	2	0.813	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.68 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl<sub>3</sub>

พารามิเตอร์	Set	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	ผลการทดสอบ
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
COD	PACI - FeCl <sub>3</sub>	2.710	6.408	3.700	-13.209	18.629	0.732	2	0.540	ไม่พบความแตกต่าง
Color (ADMI)	PACI - FeCl <sub>3</sub>	14.917	11.617	6.707	-13.942	43.775	2.224	2	0.156	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.69 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้ PACI และ FeCl<sub>3</sub>

พารามิเตอร์	Set	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	ผลการทดสอบ
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
COD	PACI - FeCl <sub>3</sub>	0.310	3.997	2.308	-9.619	10.239	0.134	2	0.905	ไม่พบความแตกต่าง
Color (ADMI)	PACI - FeCl <sub>3</sub>	57.997	2.842	1.641	50.938	65.056	35.351	2	0.001	พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.70 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้ PACI และ FeCl<sub>3</sub>

พารามิเตอร์	Set	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	ผลการทดสอบ
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
COD	PACI - FeCl <sub>3</sub>	42.757	11.917	6.880	13.153	72.360	6.214	2	0.025	พบความแตกต่าง
Color (ADMI)	PACI - FeCl <sub>3</sub>	28.927	37.184	21.468	-63.443	121.296	1.347	2	0.310	ไม่พบความแตกต่าง

ภาคผนวก ค.  
กระบวนการดูดซับ



ตารางที่ ค.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา

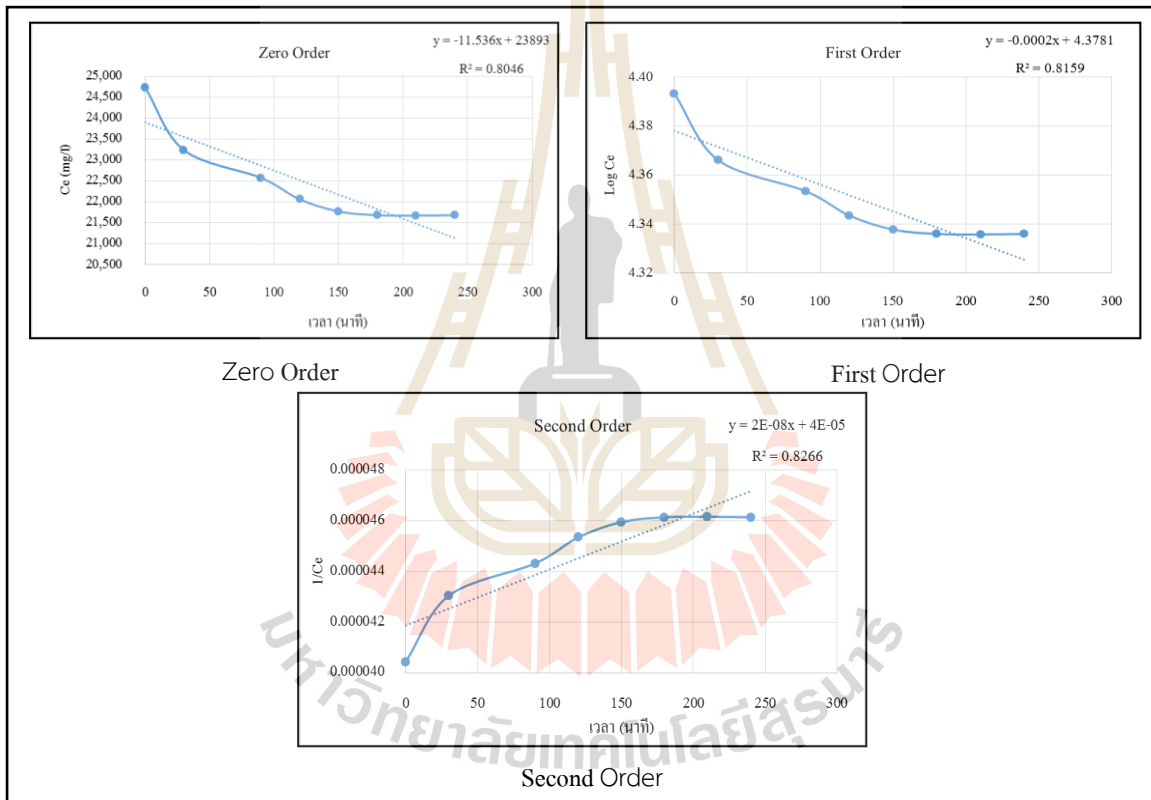
ชื่อผลิตภัณฑ์	พารามิเตอร์								
	Moisture (%)	Ash (%)	pH	A.D. (g/c.c.)	Iodine (mg/g)	Hardness (%)	+8 mesh (%)	3-30 mesh (%)	-30 mesh (%)
ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ขนาด 8 x 30 mesh	2.3	3.7	10.6	0.44	1222.2	98.0	1.0	96.7	2.3





ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	24,733.33	4.39	0.00004043
30	23,233.33	4.37	0.00004304
90	22,566.67	4.35	0.00004431
120	22,055.56	4.34	0.00004534
150	21,766.67	4.34	0.00004594
180	21,677.78	4.34	0.00004613
210	21,667.78	4.34	0.00004615
240	21,677.78	4.34	0.00004613



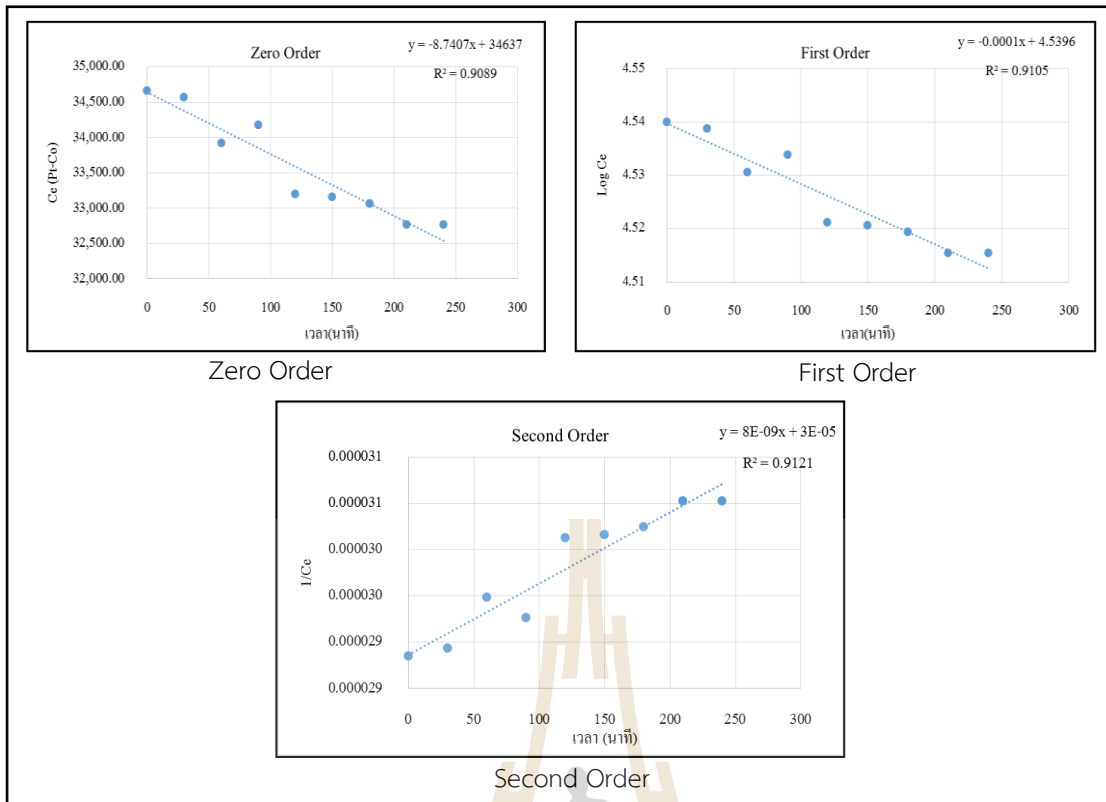
รูปที่ ค.1 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาท)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	38,709.68	24,733.33	27,555.00	-	-	-
30	36,129.03	23,233.33	22,582.50	6.67	6.06	18.05
90	29,032.26	22,566.67	21,167.50	25.00	8.76	28.44
120	35,483.87	22,055.56	20,735.00	40.00	10.83	24.75
150	23,225.81	21,766.67	21,685.00	37.50	11.99	21.30
180	24,193.55	21,677.78	22,462.50	43.33	12.35	18.48
210	21,935.48	21,667.78	21,350.00	41.67	12.39	22.52
240	22,580.65	21,677.78	20,773.33	45.00	12.35	24.61

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 2

เวลา (นาท)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	34,666.67	4.54	0.000029
30	34,566.67	4.54	0.000029
60	33,922.22	4.53	0.000029
90	34,177.78	4.53	0.000029
120	33,200.00	4.52	0.000030
150	33,155.56	4.52	0.000030
180	33,066.67	4.52	0.000030
210	32,766.67	4.52	0.000031
240	32,766.67	4.52	0.000031



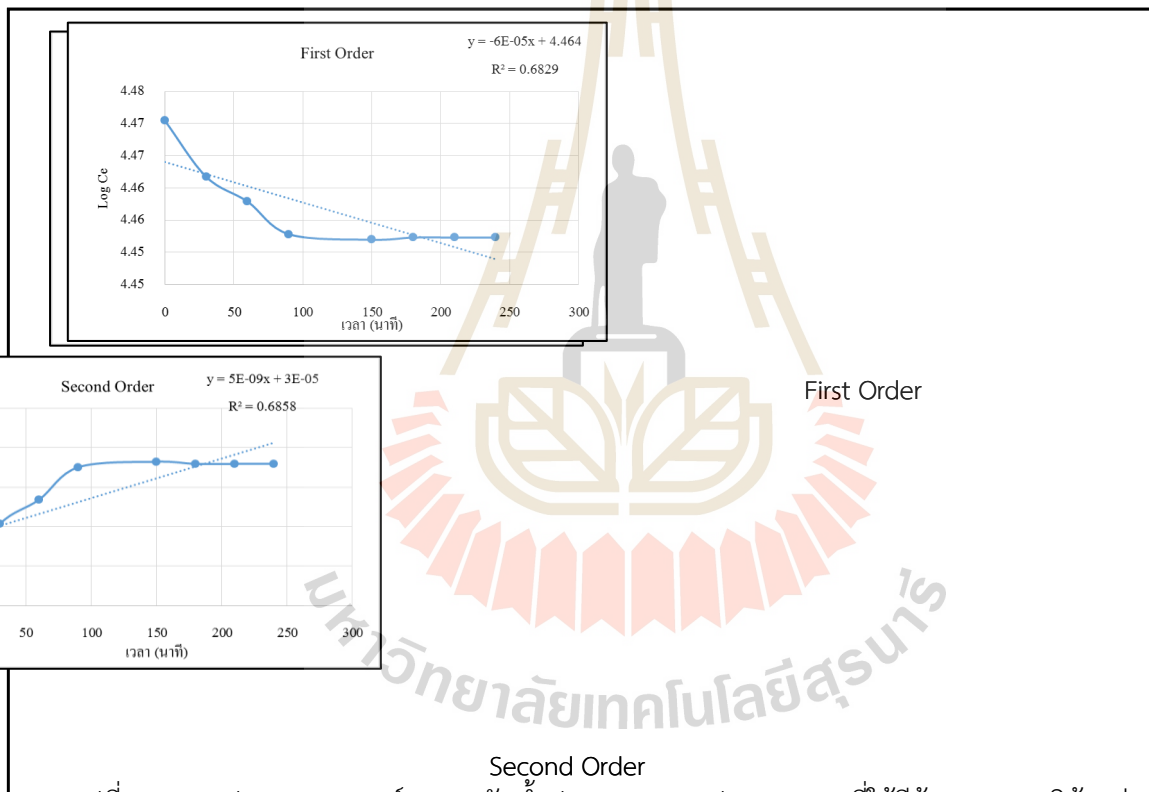
รูปที่ ค.2 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	57,130.43	34,666.67	38,100.00	-	-	-
30	57,702.40	34,566.67	36,522.50	0.00	0.29	4.14
60	46,368.00	33,922.22	37,762.50	18.84	2.15	
90	55,641.60	34,177.78	37,833.33	2.61	1.41	0.89
120	38,124.80	33,200.00	36,697.50	33.27	4.23	0.70
150	38,640.00	33,155.56	37,560.00	32.37	4.36	3.68
180	30,912.00	33,066.67	37,460.00	45.89	4.62	1.42
210	35,033.60	32,766.67	32,757.50	38.68	5.48	1.68
240	34,003.20	32,766.67	32,757.50	40.48	5.48	14.02

ตารางที่ ค.6 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	29,544.44	4.47	0.000034
30	28,955.56	4.46	0.000035
60	28,700.00	4.46	0.000035
90	28,366.67	4.45	0.000035
120	29,522.22	4.47	0.000034
150	28,311.11	4.45	0.000035
180	28,333.33	4.45	0.000035
210	28,333.33	4.45	0.000035
240	28,333.33	4.45	0.000035



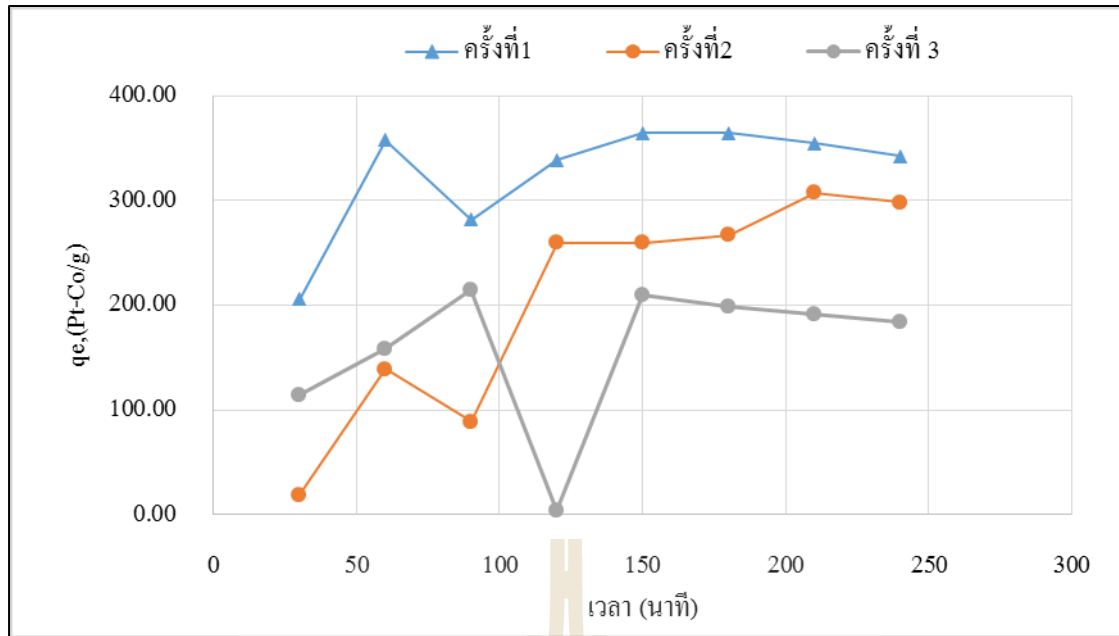
รูปที่ ค.3 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำพอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 3 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาทีก)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	50,272.19	29,544.44	24,953.33	-	-	-
30	46,011.83	28,955.56	19,371.67	8.47	1.99	22.37
60	39,195.27	28,700.00	16,957.50	22.03	2.86	22.37
90	39,195.27	28,366.67	20,255.00	22.03	3.99	32.04
120	37,491.12	29,522.22	13,422.50	25.42	0.08	18.83
150	41,751.48	28,311.11	17,777.50	16.95	4.17	46.21
180	37,491.12	28,333.33	18,302.50	25.42	4.10	28.76
210	37,491.12	28,333.33	18,302.50	25.42	4.10	26.65
240	37,491.12	28,333.33	18,302.50	25.42	4.10	26.65

ตารางที่ ค.8 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

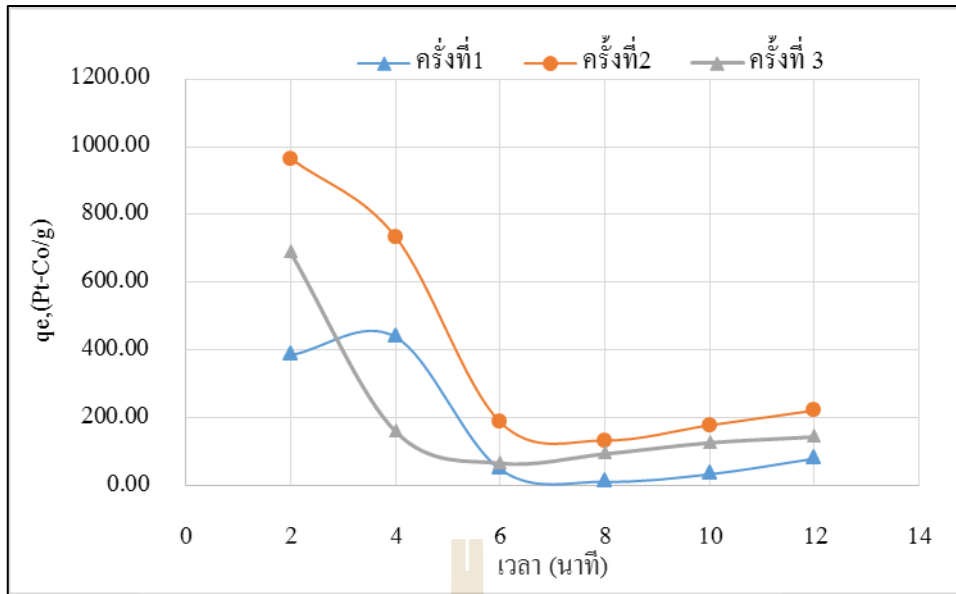
เวลา (นาทีก)	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	205.70	19.20	114.24	19.20	205.70	113.04	93.25
60	357.64	139.21	158.75	139.21	357.64	218.53	120.87
90	281.64	88.97	214.34	88.97	281.64	194.99	97.78
120	338.52	259.59	3.91	3.91	338.52	200.67	174.91
150	364.44	259.90	209.65	209.65	364.44	278.00	78.97
180	364.45	267.19	198.61	198.61	364.45	276.75	83.33
210	354.70	307.79	191.34	191.34	354.70	284.61	84.11
240	342.63	298.29	184.08	184.08	342.63	275.00	81.80



รูปที่ ค.4 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.9 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
2	386.10	965.81	687.74	386.10	965.81	679.88	289.93
4	439.68	735.20	161.11	161.11	735.20	445.33	287.09
6	48.89	188.32	66.94	48.89	188.32	101.38	75.83
8	12.50	134.43	94.44	12.50	134.43	80.46	62.16
10	34.44	178.89	127.21	34.44	178.89	113.51	73.19
12	80.55	222.77	144.43	80.55	222.77	149.25	71.23



รูปที่ ค.5 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.82	39,987.20	21,200.00	21,215.00	-	-	-
2	2.33	36,947.37	5,755.56	20,247.50	7.60	72.85	4.56
4	4.77	38,842.11	3,611.11	20,187.50	2.86	82.97	4.84
6	6.76	37,894.74	19,244.44	20,332.50	5.23	9.22	4.16
8	8.1	36,947.37	20,700.00	20,598.33	7.60	2.36	2.91
10	10.06	36,947.37	19,822.22	20,692.50	7.60	6.50	2.46
12	11.21	37,894.74	17,977.78	20,840.00	5.23	15.20	1.77

ตารางที่ ค.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม  
ธรรมชาติครั้งที่ 2 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	2.3	50,000.00	44,544.44	38,100.00			
2	4.29	40,000.00	5,911.11	34,630.00	20.00	86.73	9.11
4	6.35	37,719.30	15,133.33	35,410.00	24.56	66.03	7.06
6	8.29	40,175.44	37,011.11	38,390.00	19.65	16.91	0.00
8	9.99	39,473.68	39,166.67	38,995.00	21.05	12.07	0.00
10	11.59	41,929.82	37,388.89	37,342.50	16.14	16.06	1.99
12	2.3	43,684.21	35,633.33	36,472.50	12.63	20.00	4.27

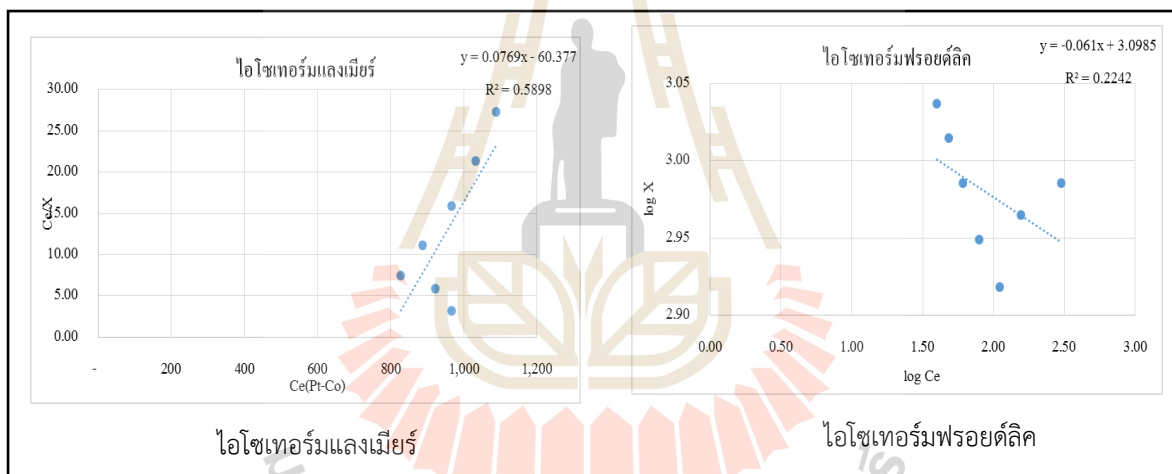
ตารางที่ ค.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม  
ธรรมชาติครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.97	43,707.32	26,894.44	24,953.33	-	-	-
2	2.79	30,681.82	622.22	12,738.33	29.80	97.69	48.95
4	5.35	34,431.82	23,100.00	17,950.00	21.22	14.11	28.07
6	7.43	35,795.45	25,933.33	22,435.00	18.10	3.57	10.09
8	8.82	31,704.55	25,766.67	23,035.00	27.46	4.19	7.69
10	10.54	33,068.18	24,455.56	22,533.33	24.34	9.07	9.70
12	12.39	33,750.00	23,766.67	18,593.33	22.78	11.63	25.49



ตารางที่ ค.13 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ  
ครั้งที่ 1

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	21,550.00			
0.0000	1,244.44			
1.0009	967	3.18	2.48	2.99
2.0006	922	5.89	2.19	2.96
3.0002	828	7.48	2.04	2.92
4.0016	889	11.12	1.90	2.95
5.0012	967	15.88	1.78	2.99
6.0001	1,033	21.30	1.69	3.01
7.0014	1,089	27.23	1.60	3.04
8.0006	983	26.13	1.58	2.99



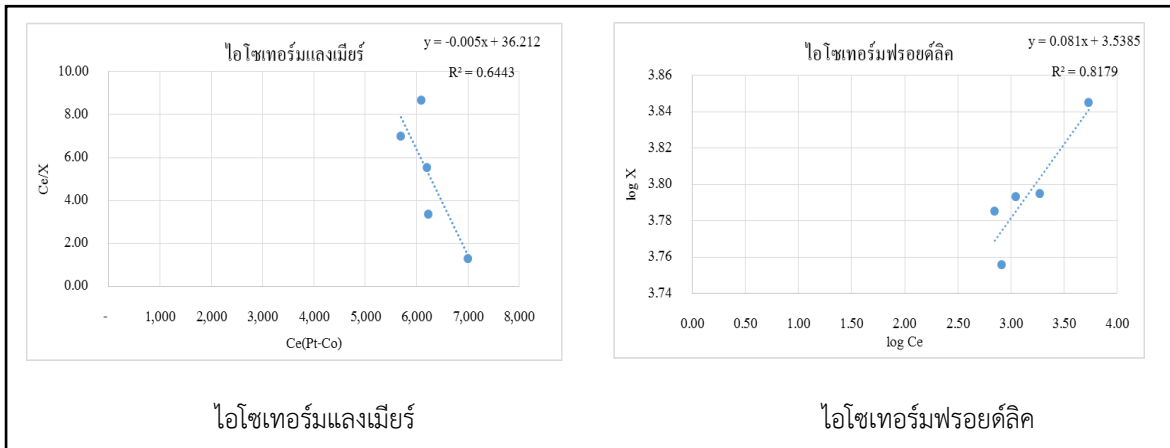
รูปที่ ค.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถาน  
ประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.97	34,239.13	21,550.00	21,215.00			
0.0000	4.17	27,880.43	1,244.44	19,760.00	18.57	94.23	6.86
1.0009	4.27	29,836.96	967	19,527.50	12.86	95.51	7.95
2.0006	4.3	27,880.43	922	19,356.50	18.57	95.72	8.76
3.0002	4.35	25,597.83	828	18,457.50	25.24	96.16	13.00
4.0016	4.43	26,413.04	889	20,581.67	22.86	95.88	2.99
5.0012	4.46	26,902.17	967	22,836.67	21.43	95.51	0.00
6.0001	4.53	27,880.43	1,033	19,861.67	18.57	95.20	6.38
7.0014	4.55	26,902.17	1,089	18,873.33	21.43	94.95	11.04
8.0006	4.6	27,880.43	983	20,325.00	18.57	95.44	4.20

ตารางที่ ค.15 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	44,122.22			
0.0000	8,567			
1.0015	7,000	1.29	3.74	3.85
2.0016	7,500	2.80	3.43	3.88
3.0016	6,233	3.34	3.27	3.79
4.0004	5,589	3.90	3.16	3.75
5.0006	6,211	5.54	3.05	3.79
6.0014	5,333	5.53	2.98	3.73
7.0002	5,700	6.98	2.91	3.76
8.0013	6,100	8.66	2.85	3.79



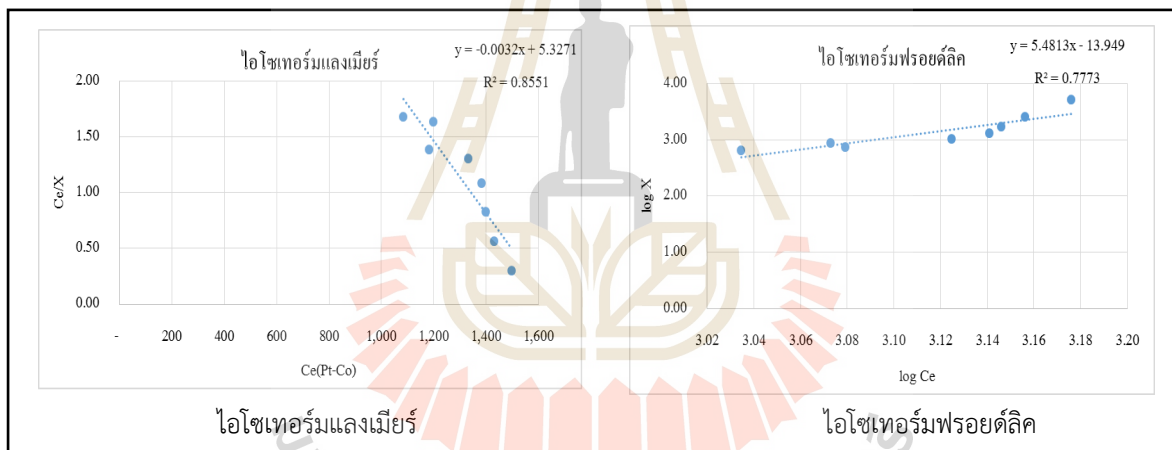
รูปที่ ค.7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.52	57,130.43	44,122.22	38,100.00			
0.0000	2.09	56,347.83	8,567	39,510.00	1.37	80.58	0.00
1.0015	2.11	52,695.65	7,000	37,730.00	7.76	84.13	4.51
2.0016	2.14	55,826.09	7,500	41,987.50	2.28	83.00	0.00
3.0016	2.17	61,565.22	6,233	38,945.00	0.00	85.87	1.43
4.0004	2.22	49,304.35	5,589	39,945.00	13.70	87.33	0.00
5.0006	2.23	49,304.35	6,211	41,121.67	13.70	85.92	0.00
6.0014	2.25	54,782.61	5,333	35,327.50	4.11	87.91	10.59
7.0002	2.28	54,782.61	5,700	38,612.50	4.11	87.08	2.27
8.0013	2.29	52,695.65	6,100	48,370.00	7.76	86.17	0.00

ตารางที่ ค.17 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ  
ครั้งที่ 3

AC (g)	Ce (Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	26,894.44			
0.0000	1,516.67			
1.0012	1,500.00	0.30	3.71	3.18
2.0012	1,433.33	0.56	3.41	3.16
3.0008	1,400.00	0.82	3.23	3.15
4.0004	1,383.33	1.08	3.11	3.14
5.0014	1,333.33	1.30	3.01	3.12
6.0015	1,183.33	1.38	2.93	3.07
7.0001	1,200.00	1.63	2.87	3.08
8.0006	1,083.33	1.68	2.81	3.03



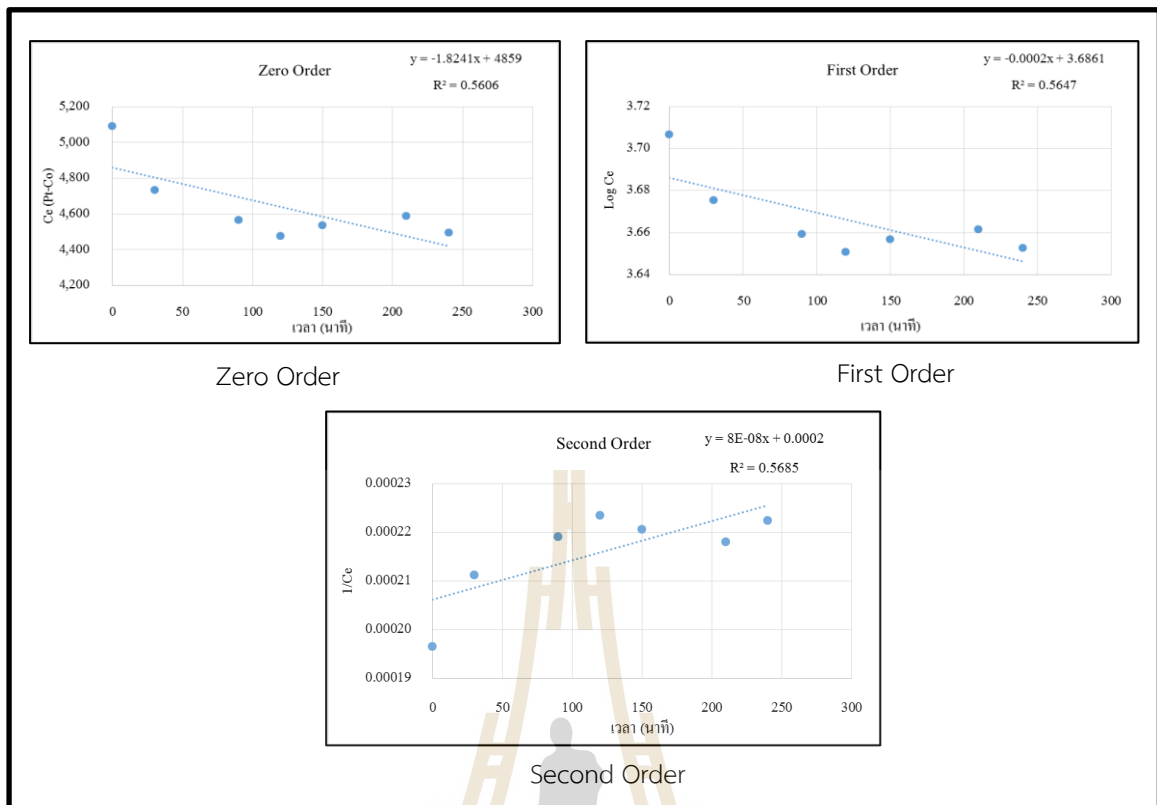
รูปที่ ค.8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถาน  
ประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.52	43,707.32	26,894.44	24,953.33			
0.0000	2.09	41,626.02	1,516.67	24,620.00	4.76	94.36	1.34
1.0012	2.11	41,105.69	1,500.00	17,745.00	5.95	94.42	28.89
2.0012	2.14	39,024.39	1,433.33	16,385.00	10.71	94.67	34.34
3.0008	2.17	37,983.74	1,400.00	18,767.50	13.10	94.79	24.79
4.0004	2.22	41,626.02	1,383.33	15,608.33	4.76	94.86	37.45
5.0014	2.23	42,146.34	1,333.33	15,365.00	3.57	95.04	38.43
6.0015	2.25	39,024.39	1,183.33	15,220.00	10.71	95.60	39.01
7.0001	2.28	42,146.34	1,200.00	15,207.50	3.57	95.54	39.06
8.0006	2.29	37,463.41	1,083.33	14,652.50	14.29	95.97	41.28

ตารางที่ ค.18 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	5,088.89	3.71	0.000197
30	4,734.44	3.68	0.000211
90	4,564.44	3.66	0.000219
120	4,475.56	3.65	0.000223
150	4,535.56	3.66	0.000220
210	4,586.67	3.66	0.000218
240	4,495.56	3.65	0.000222



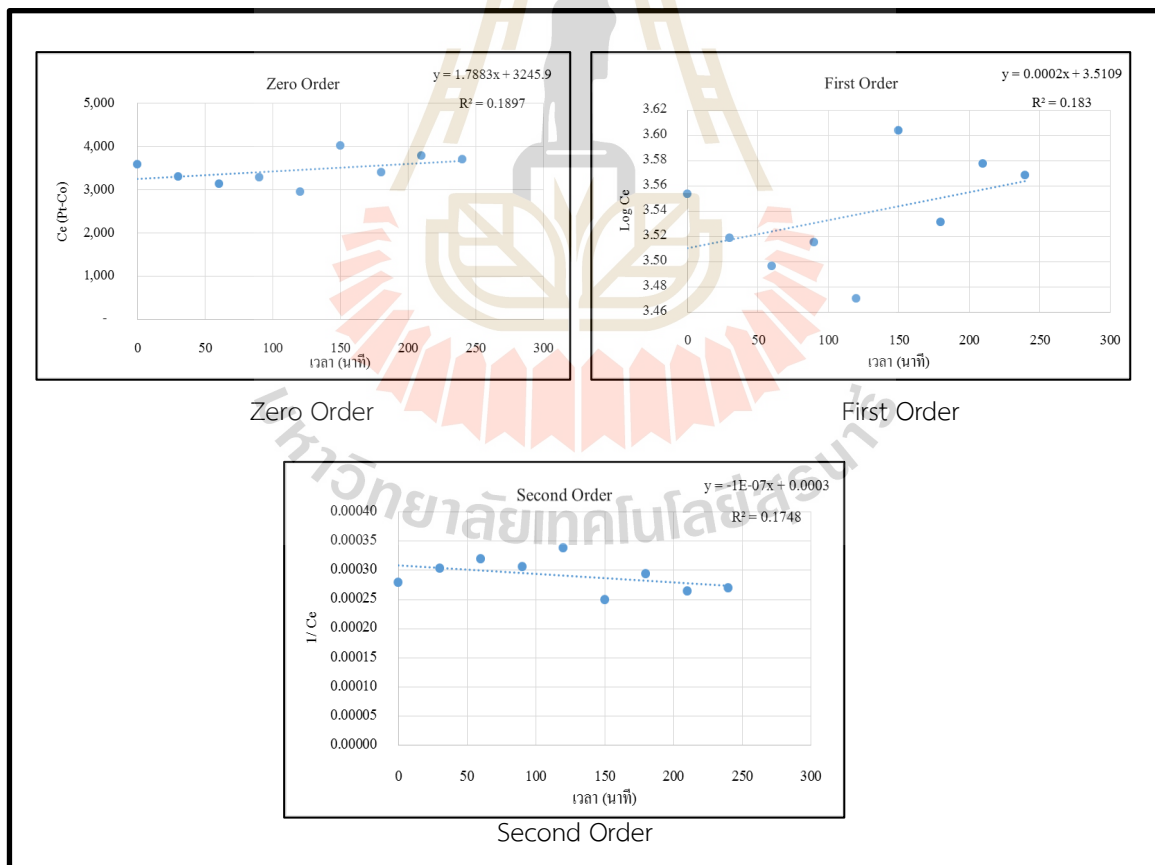
รูปที่ ค.9 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม ธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาฬิกา)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	14,278.40	5,089	8,370.00			
30	14,278.40	4,734	7,569.33	0.00	6.97	9.57
90	14,071.47	4,564	7,188.00	1.45	10.31	12.54
120	14,485.33	4,476	6,631.00	0.00	12.05	20.78
150	14,692.27	4,536	6,606.00	0.00	10.87	21.08
210	14,692.27	4,587	6,402.67	0.00	9.87	23.50
240	14,485.33	4,496	6,510.00	0.00	11.66	22.22

ตารางที่ ค.20 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย่อยจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	3,576.67	3.55	0.00028
30	3,298.89	3.52	0.00030
60	3,136.67	3.50	0.00032
90	3,276.67	3.52	0.00031
120	2,954.44	3.47	0.00034
150	4,017.78	3.60	0.00025
180	3,398.89	3.53	0.00029
210	3,781.11	3.58	0.00026
240	3,703.33	3.57	0.00027



รูปที่ ค.10 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย่อยของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

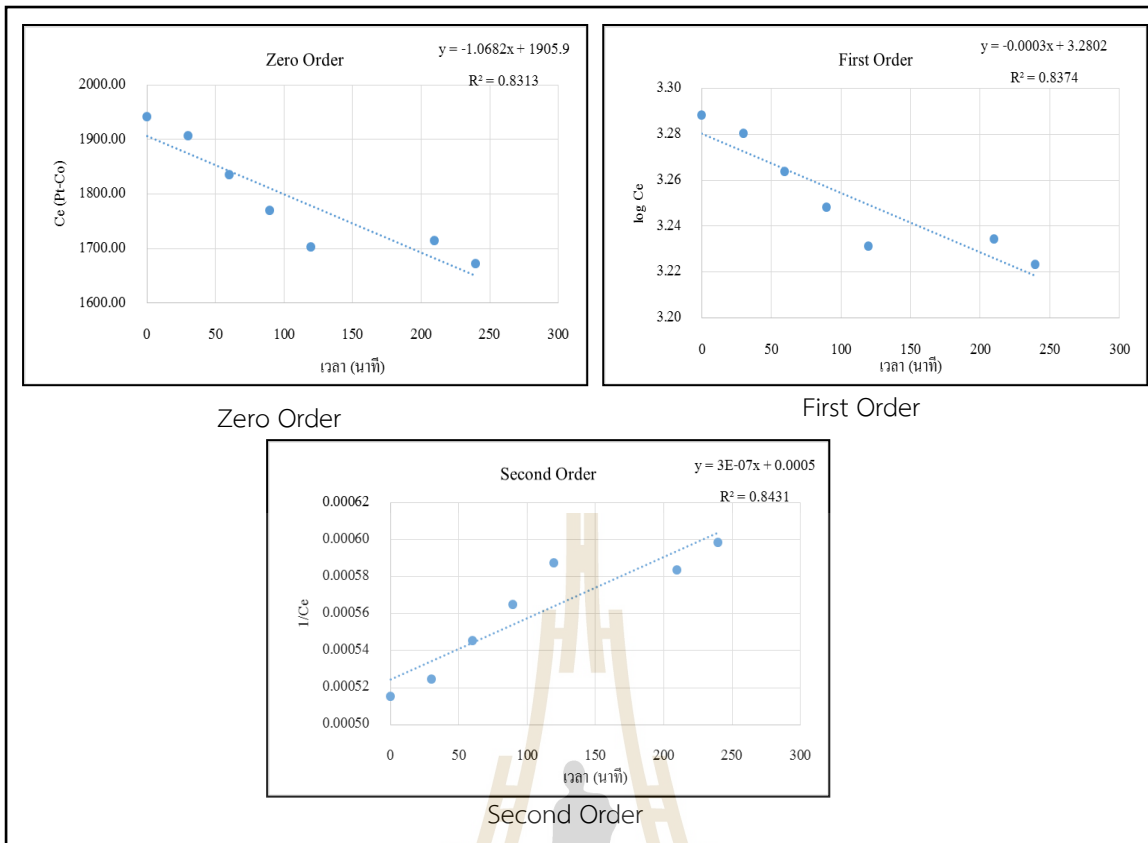
ตารางที่ ค.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำพอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	4,500.00	3,576.67	5,855.00			
30	3,900.00	3,298.89	4,682.00	0.00	7.77	44.06
60	3,300.00	3,136.67	4,797.33	13.33	12.30	42.68
90	4,500.00	3,276.67	4,892.33	26.67	8.39	41.55
120	4,200.00	2,954.44	4,808.67	0.00	17.40	42.55
150	3,600.00	4,017.78	4,715.00	6.67	0.00	43.67
180	3,300.00	3,398.89	4,988.00	20.00	4.97	40.41
210	3,300.00	3,781.11	4,738.33	26.67	0.00	43.39
240	3,300.00	3,703.33	4,786.00	26.67	0.00	42.82

ตารางที่ ค.20 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	1941.11	3.29	0.00052
30	1906.67	3.28	0.00052
60	1834.44	3.26	0.00055
90	1770.00	3.25	0.00056
120	1702.22	3.23	0.00059
210	1714.44	3.23	0.00058
240	1671.11	3.22	0.00060

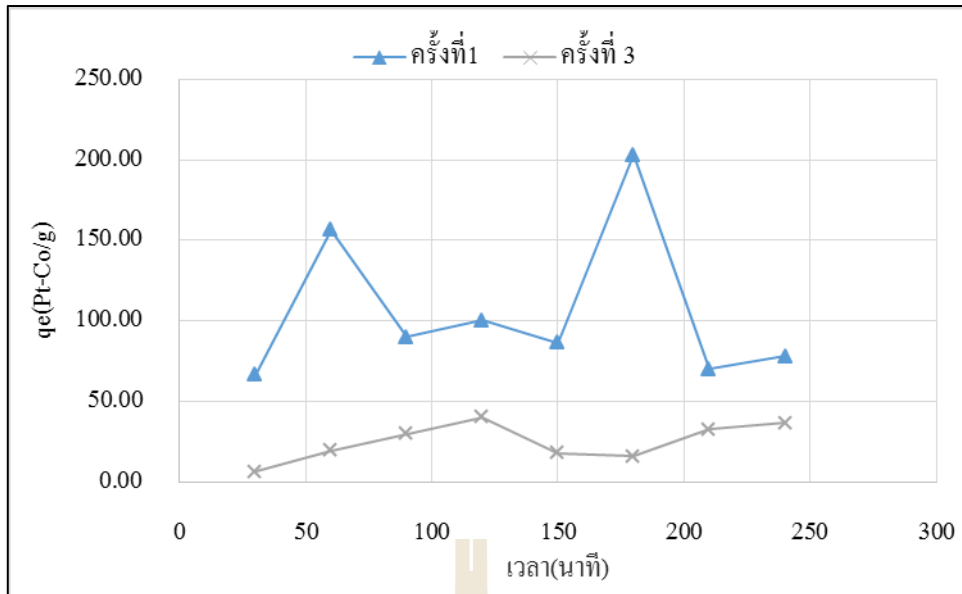




รูปที่ ค.11 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.21 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

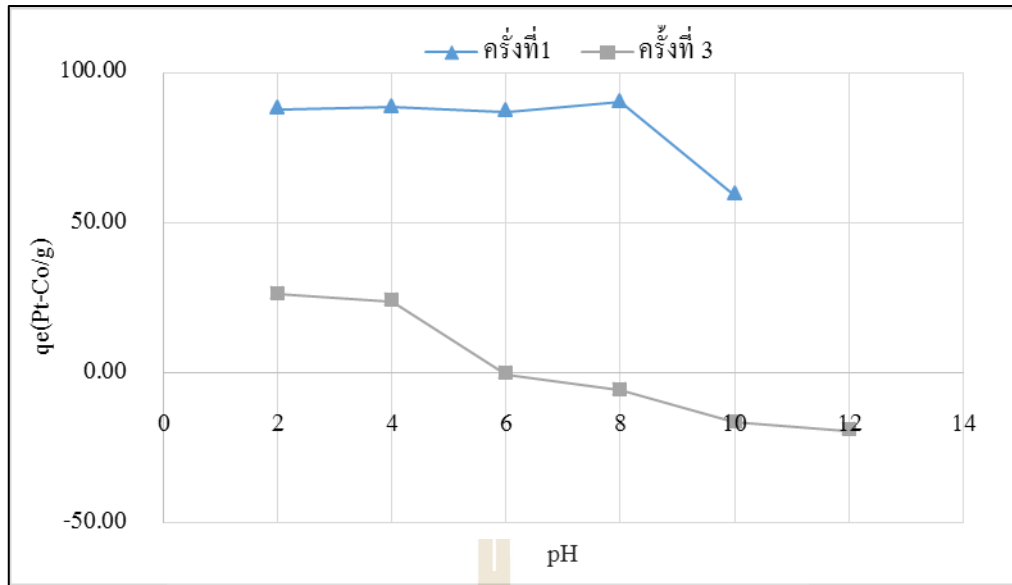
เวลา (นาทีก)	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	66.59	6.61	6.61	66.59	36.60	42.41
60	156.29	19.62	19.62	156.29	87.95	96.64
90	90.14	30.11	30.11	90.14	60.12	42.45
120	100.51	40.12	40.12	100.51	70.32	42.70
150	86.26	18.13	18.13	86.26	52.19	48.17
180	202.94	16.04	16.04	202.94	109.49	132.16
210	70.26	32.63	32.63	70.26	51.44	26.61
240	78.26	36.71	36.71	78.26	57.49	29.38



รูปที่ ค.12 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.22 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
2	87.73	26.25	26.25	87.73	56.99	43.47
4	88.28	23.77	23.77	88.28	56.03	45.62
6	86.87	-0.39	-0.39	86.87	43.24	61.70
8	90.07	-5.83	-5.83	90.07	42.12	67.81
10	59.27	-16.44	-16.44	59.27	21.42	53.54
12	36.47	-19.14	-19.14	36.47	8.67	39.32



รูปที่ ค.23 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.23 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ pH ต่าง ๆ

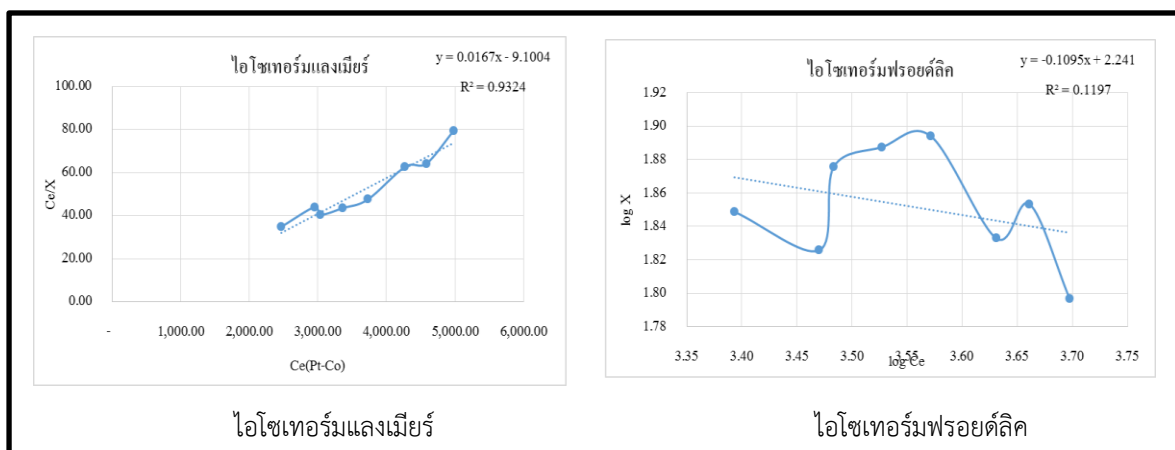
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	3.82	14,557.38	5,401.11	5,573.33			
2	2.36	10,426.23	1,891.11	3,096.67	28.38	64.99	44.44
4	5.12	10,426.23	2,213.33	2,983.33	28.38	59.02	46.47
6	7.25	11,016.39	1,868.89	3,583.33	24.32	65.40	35.71
8	8.45	10,426.23	1,925.56	3,275.56	28.38	64.35	41.23
10	9.27	11,901.64	1,797.78	4,730.00	18.24	66.71	15.13
12	11.02	11,016.39	3,030.00	3,366.67	24.32	43.90	39.59

ตารางที่ ค.24 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	3.80	11,803.28	1,743.33	2,292.50			
2	2.54	7,606.56	693.33	617.50	35.56	60.23	73.06
4	5.03	6,688.52	792.22	560.00	43.33	54.56	75.57
6	7.45	7,868.85	1,758.89	1,242.50	33.33	0.00	45.80
8	8.17	9,180.33	1,976.67	1,634.00	22.22	0.00	28.72
10	9.31	8,262.30	2,401.11	1,757.00	30.00	0.00	23.36
12	11.17	6,819.67	2,508.89	1,102.50	42.22	0.00	51.91

ตารางที่ ค.25 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	5,573.33			
0.0000	5,296.67			
1.0007	4,983.33	79.58	1.80	3.70
2.0000	4,583.33	64.25	1.85	3.66
3.0015	4,275.56	62.84	1.83	3.63
4.0010	3,730.00	47.63	1.89	3.57
5.0018	3,366.67	43.63	1.89	3.53
6.0007	3,043.33	40.52	1.88	3.48
7.0017	2,953.33	44.12	1.83	3.47
8.0003	2,473.33	35.04	1.85	3.39



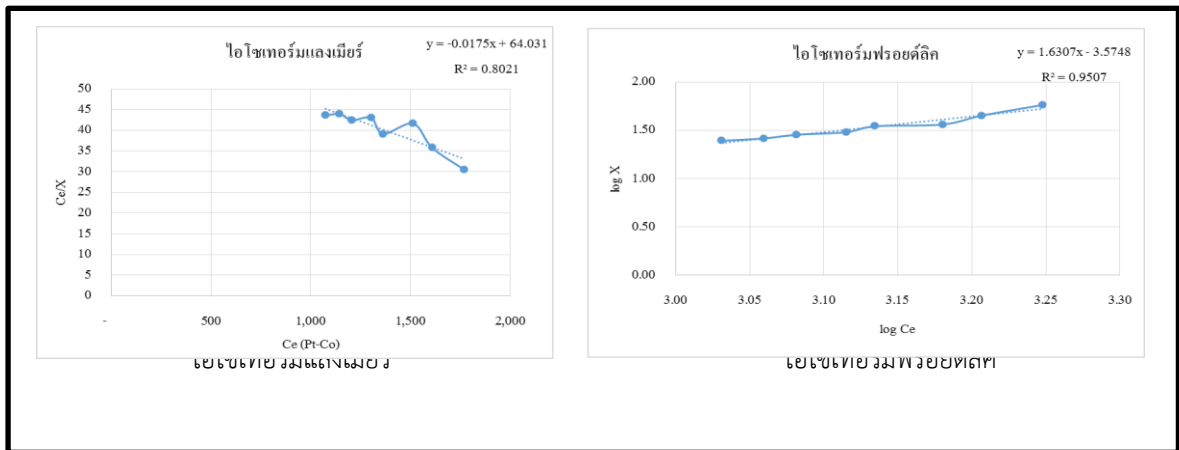
รูปที่ ค.24 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlichของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.26 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	17,400.00	5,573.33	6,665.00			
0.0000	16,800.00	5,296.67	6,942.67			
1.0007	16,200.00	4,983.33	6,507.67	3.57	5.92	6.27
2.0000	15,200.00	4,583.33	6,057.33	9.52	13.47	12.75
3.0015	14,600.00	4,275.56	5,635.33	13.10	19.28	18.83
4.0010	13,500.00	3,730.00	5,301.67	19.64	29.58	23.64
5.0018	14,400.00	3,366.67	4,916.00	14.29	36.44	29.19
6.0007	12,200.00	3,043.33	4,366.00	27.38	42.54	37.11
7.0017	12,000.00	2,953.33	4,171.33	28.57	44.24	39.92
8.0003	12,900.00	2,473.33	3,625.00	23.21	53.30	47.79

ตารางที่ ค.27 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	2,060.00			
0.0000	1,806.67			
1.0001	1,770.00	30.52	1.76	3.25
2.0007	1,610.00	35.79	1.65	3.21
3.0001	1,514.44	41.64	1.56	3.18
4.0006	1,363.33	39.14	1.54	3.13
5.0012	1,303.33	43.07	1.48	3.12
6.0015	1,206.67	42.43	1.45	3.08
7.0000	1,146.67	43.94	1.42	3.06
8.0011	1,074.44	43.61	1.39	3.03



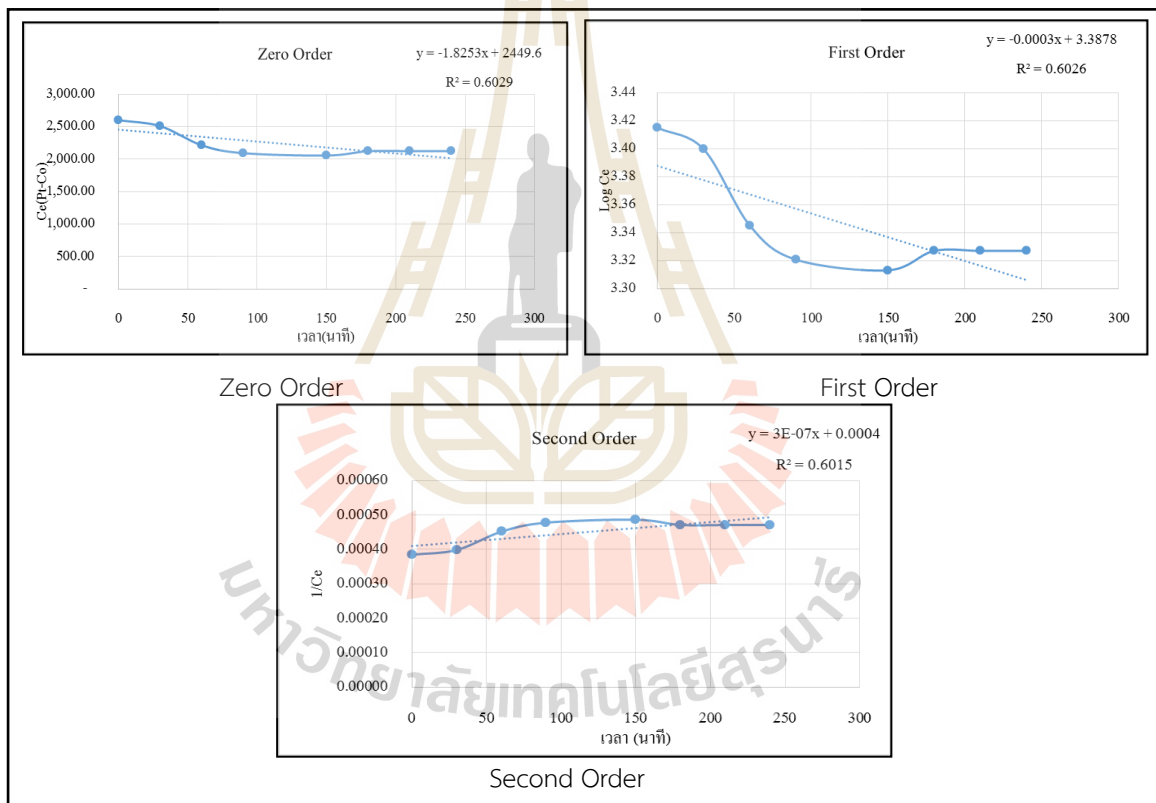
รูปที่ ค.25 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.28 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	11,934.43	2,060	2,292.50			
0.0000	11,147.54	1,807	1,405.00			
1.0001	9,836.07	1,770	1,083.50	17.58	14.08	22.88
2.0007	9,049.18	1,610	1,183.00	24.18	21.84	15.80
3.0001	8,524.59	1,514	1,323.00	28.57	26.48	5.84
4.0006	8,262.30	1,363	947.00	30.77	33.82	32.60
5.0012	8,655.74	1,303	1,033.33	27.47	36.73	26.45
6.0015	8,262.30	1,207	887.50	30.77	41.42	36.83
7.0000	8,262.30	1,147	842.50	30.77	44.34	40.04
8.0011	8,262.30	1,074	820.50	30.77	47.84	41.60

ตารางที่ ค.29 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	2,600.00	3.41	0.00038
30	2,510.00	3.40	0.00040
60	2,214.44	3.35	0.00045
90	2,093.33	3.32	0.00048
120	2,340.00	3.37	0.00043
150	2,056.67	3.31	0.00049
180	2,123.33	3.33	0.00047
210	2,123.33	3.33	0.00047
240	2,123.33	3.33	0.00047



รูปที่ ค.26 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

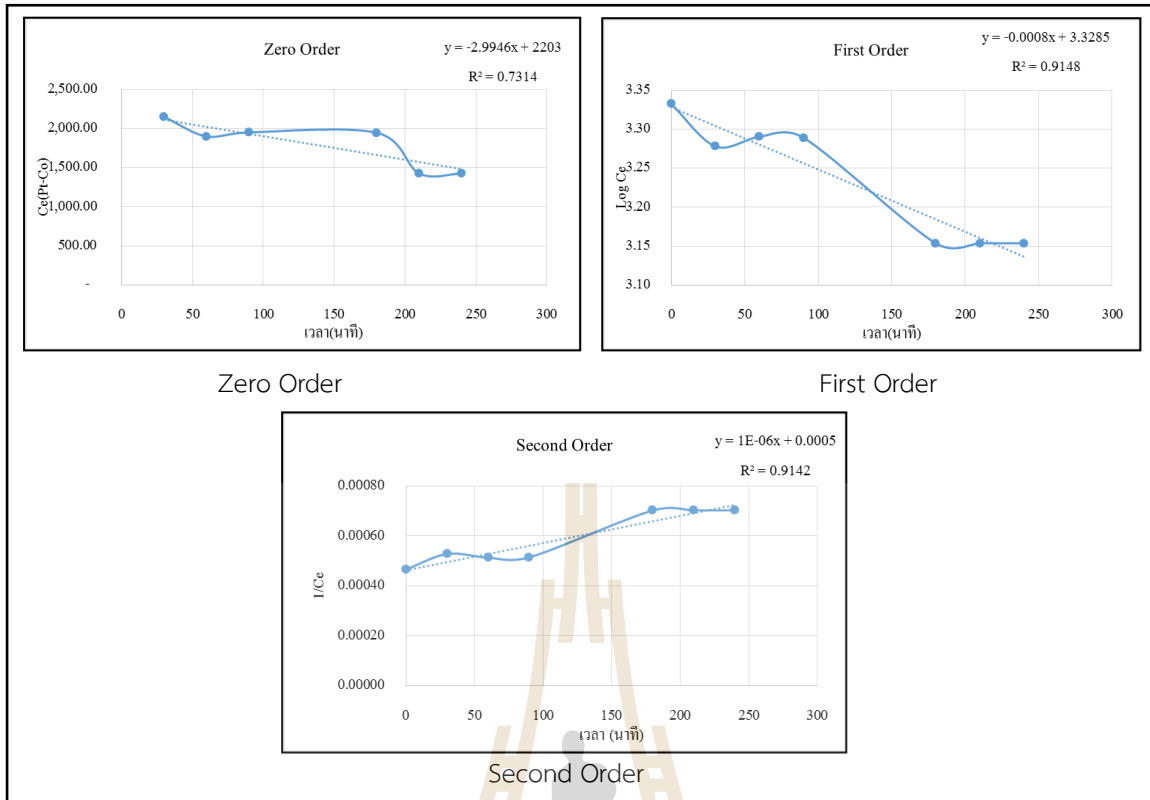
ตารางที่ ค.30 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาท)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	45,483.87	2,600.00	654.50			
30	32,903.23	2,510.00	632.00	27.66	3.46	3.44
60	36,774.19	2,214.44	598.00	19.15	14.83	8.63
90	33,548.39	2,093.33	550.00	26.24	19.49	15.97
120	30,967.74	2,340.00	504.00	31.91	10.00	22.99
150	33,870.97	2,056.67	473.00	25.53	20.90	27.73
180	33,548.39	2,123.33	410.00	26.24	18.33	37.36
210	34,838.71	2,123.33	409.00	23.40	18.33	37.51
240	32,903.23	2,123.33	409.00	27.66	18.33	37.51

ตารางที่ ค.31 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2

เวลา (นาท)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	2,150.00	3.33	0.00047
30	1,896.67	3.28	0.00053
60	1,951.11	3.29	0.00051
90	1,945.56	3.29	0.00051
120	2,044.44	3.31	0.00049
150	2,055.56	3.31	0.00049
180	1,424.44	3.15	0.00070
210	1,424.44	3.15	0.00070
240	1,424.44	3.15	0.00070





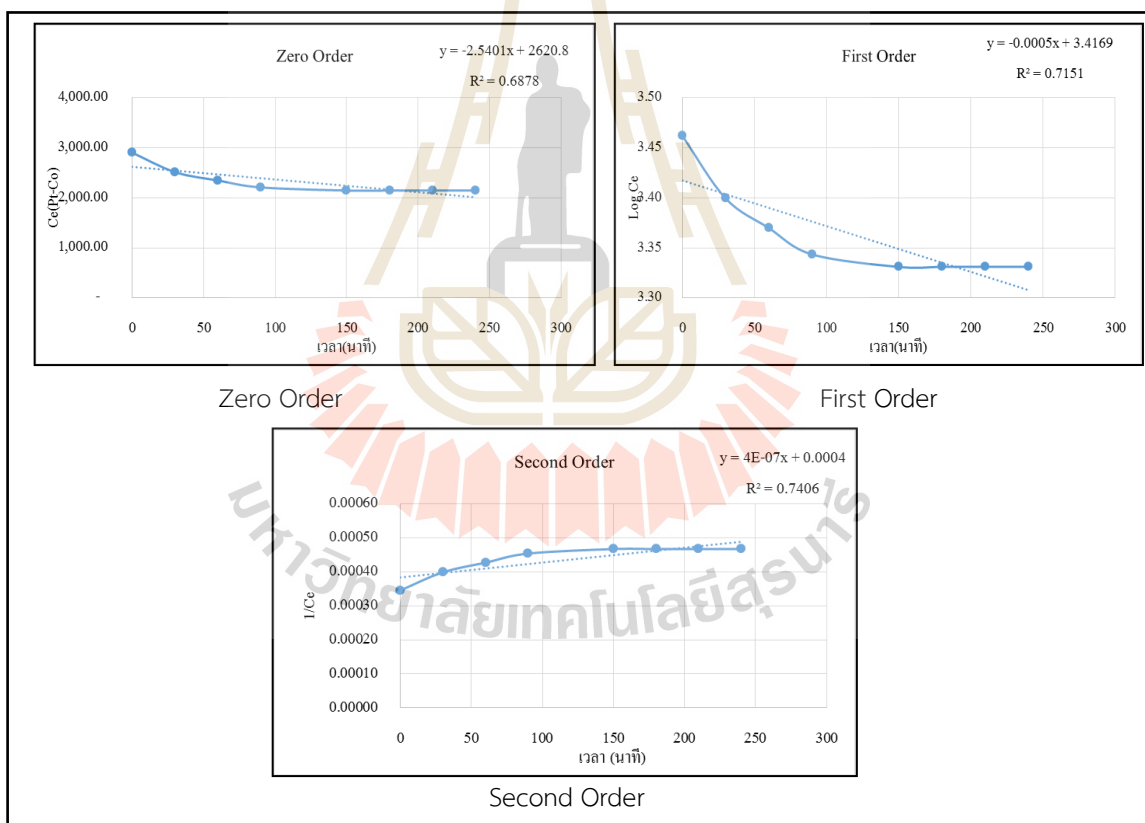
รูปที่ ค.27 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.32 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาฬิกา)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	64,396.80	2,150.00	1,789.00			
30	64,396.80	1,896.67	1,664.33	28.00	11.78	6.97
60	46,363.64	1,951.11	1,959.00	28.71	9.25	0.00
90	45,909.09	1,945.56	1,754.50	28.71	9.51	1.93
120	45,909.09	2,044.44	1,637.50	29.41	4.91	8.47
150	45,454.55	2,055.56	1,531.00	28.00	4.39	14.42
180	46,363.64	1,424.44	1,846.50	28.00	33.75	0.00
210	46,363.64	1,424.44	1,523.50	28.00	33.75	14.84
240	46,363.64	1,424.44	1,523.50	28.00	33.75	14.84

ตารางที่ ค.33 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	2,896.67	3.46	0.00035
30	2,508.89	3.40	0.00040
60	2,343.33	3.37	0.00043
90	2,205.56	3.34	0.00045
120	2,034.44	3.31	0.00049
150	2,143.33	3.33	0.00047
180	2,143.33	3.33	0.00047
210	2,143.33	3.33	0.00047
240	2,143.33	3.33	0.00047



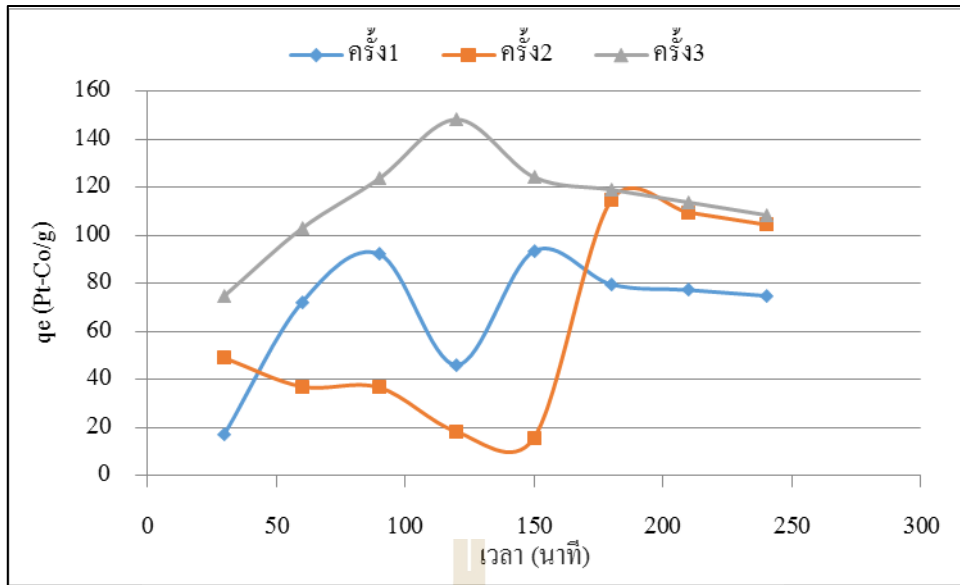
รูปที่ ค.28 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.34 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาท)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	63,648.00	2,896.67	1,581.50			
30	55,161.60	2,508.89	1,136.67	13.33	13.39	28.13
60	59,828.47	2,343.33	825.50	6.00	19.10	47.80
90	53,241.85	2,205.56	939.00	16.35	23.86	40.63
120	53,241.85	2,034.44	1,581.50	16.35	29.77	0.00
150	53,241.85	2,143.33	866.00	16.35	26.01	45.24
180	51,046.31	2,143.33	945.00	19.80	26.01	40.25
210	51,046.31	2,143.33	945.00	19.80	26.01	40.25
240	51,046.31	2,143.33	945.00	19.80	26.01	40.25

ตารางที่ ค. 35 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยถ่านกัมมันต์

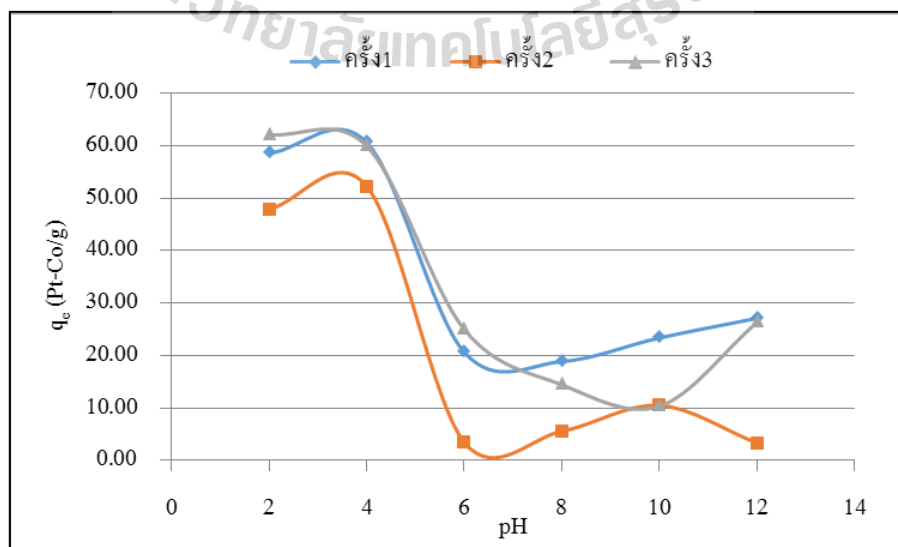
เวลา (นาท)	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	17.28	48.89	74.84	17.28	74.84	47.00	28.83
60	72.09	36.99	102.91	36.99	102.91	70.67	32.98
90	92.20	36.59	123.70	36.59	123.70	84.17	44.11
120	46.01	18.15	148.29	18.15	148.29	70.82	68.52
150	93.44	15.58	124.29	15.58	124.29	77.77	56.02
180	79.59	114.63	119.02	79.59	119.02	104.41	21.61
210	77.21	109.55	113.75	77.21	113.75	100.17	19.99
240	74.83	104.47	108.47	74.83	108.47	95.92	18.38



รูปที่ ค.29 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.36 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
2	58.60	47.91	62.17	47.91	62.17	56.23	7.42
4	60.69	52.33	60.00	52.33	60.69	57.67	4.64
6	20.68	3.50	25.03	3.50	25.03	16.40	11.38
8	18.86	5.56	14.44	5.56	18.86	12.95	6.78
10	23.36	10.50	10.30	10.30	23.36	14.72	7.48
12	27.11	3.33	26.30	3.33	27.11	18.91	13.50



รูปที่ ค.30 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.37 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.62	48,620.69	2,581.11	654.50			
2	2.21	45,517.24	236.67	546.40	6.38	90.83	16.52
4	4.34	44,137.93	153.33	539.95	9.22	94.06	17.50
6	6.58	42,758.62	1,754.00	555.55	12.06	32.04	15.12
8	8.09	45,517.24	1,826.67	754.70	6.38	29.23	0.00
10	9.93	41,379.31	1,646.67	655.93	14.89	36.20	0.00
12	11.39	41,379.31	1,496.67	592.75	14.89	42.01	9.43

ตารางที่ ค.38 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ pH ต่าง ๆ

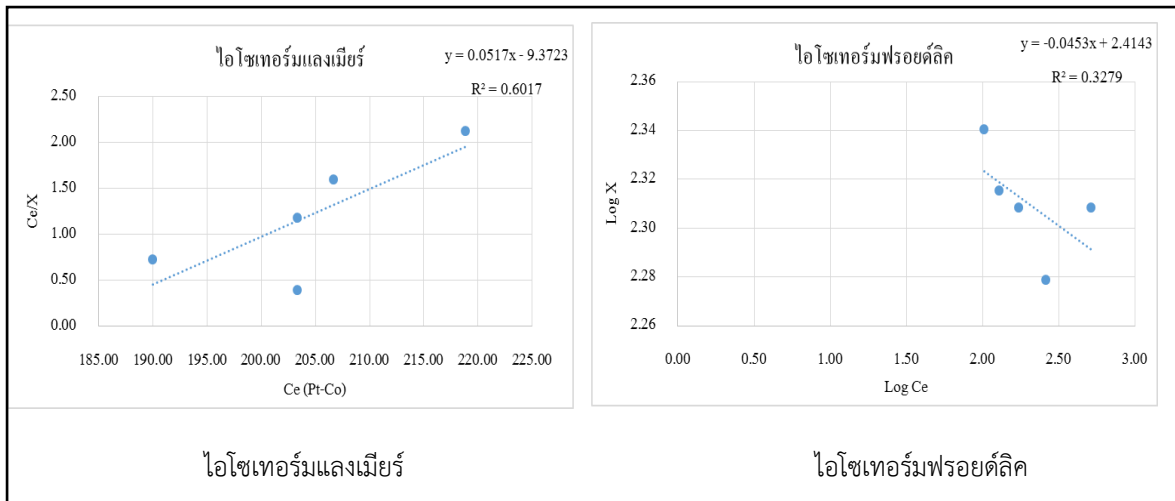
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.65	49,420.12	2,273.33	642.50			
2	2.12	46,011.83	356.67	487.95	6.90	84.31	24.05
4	4.13	46,863.91	180.00	425.97	5.17	92.08	33.70
6	6.4	46,011.83	2,133.33	630.10	6.90	6.16	1.93
8	7.98	48,852.07	2,051.11	726.75	1.15	9.78	0.00
10	11.25	46,863.91	1,853.33	684.93	5.17	18.48	0.00
12	9.96	46,011.83	2,140.00	756.85	6.90	5.87	0.00

ตารางที่ ค.39 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	9.76	63,648.00	2,896.67	1,581.50			
2	2.23	55,636.36	410.00	789.65	12.59	85.85	50.07
4	4.42	57,272.73	496.67	816.45	10.02	82.85	48.37
6	6.51	53,454.55	1,895.56	809.50	16.02	34.56	48.81
8	8.17	57,818.18	2,318.89	878.40	9.16	19.95	44.46
10	10.15	62,181.82	2,484.44	887.50	2.30	14.23	43.88
12	11.51	56,727.27	1,844.44	834.20	10.87	36.33	47.25

ตารางที่ ค.40 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	2,793.33			
0.0000	273.33			
1.0004	203.33	0.39	2.71	2.31
2.0005	190.00	0.73	2.42	2.28
3.0010	203.33	1.18	2.24	2.31
4.0001	206.67	1.60	2.11	2.32
5.0013	218.89	2.13	2.01	2.34
6.0001	213.33	2.48	1.93	2.33
7.0012	215.56	2.93	1.87	2.33
8.0000	233.33	3.65	1.81	2.37



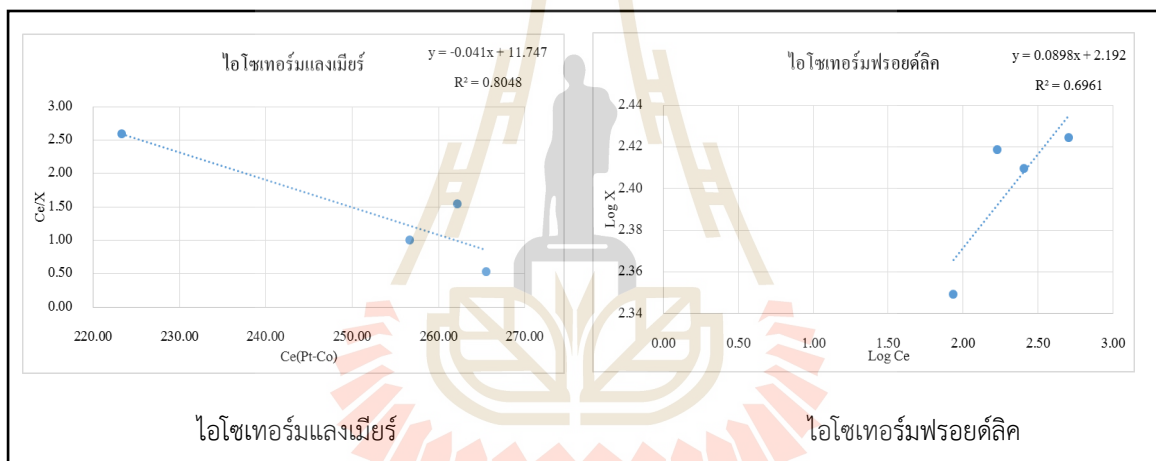
รูปที่ ค.31 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.41 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	34,239.13	2,793.33	654.50			
0.0000	31,141.30	273.33	685.35			
1.0004	31,304.35	203.33	738.45	8.57	92.72	0.00
2.0005	30,489.13	190.00	418.60	10.95	93.20	36.04
3.0010	32,282.61	203.33	454.05	5.71	92.72	30.63
4.0001	33,260.87	206.67	461.95	2.86	92.60	29.42
5.0013	32,282.61	218.89	633.45	5.71	92.16	3.22
6.0001	31,141.30	213.33	503.75	9.05	92.36	23.03
7.0012	31,141.30	215.56	820.15	9.05	92.28	0.00
8.0000	32,771.74	233.33	573.15	4.29	91.65	12.43

ตารางที่ ค.42 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	2,810.00			
0.0000	293.33			
1.0002	265.56	0.52	2.71	2.42
2.0006	256.67	1.01	2.41	2.41
3.0001	262.22	1.54	2.23	2.42
4.0006	286.67	2.27	2.10	2.46
5.0014	273.33	2.69	2.01	2.44
6.0017	223.33	2.59	1.94	2.35
7.0011	255.56	3.50	1.86	2.41
8.0006	253.33	3.96	1.81	2.40



รูปที่ ค.32 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlichของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

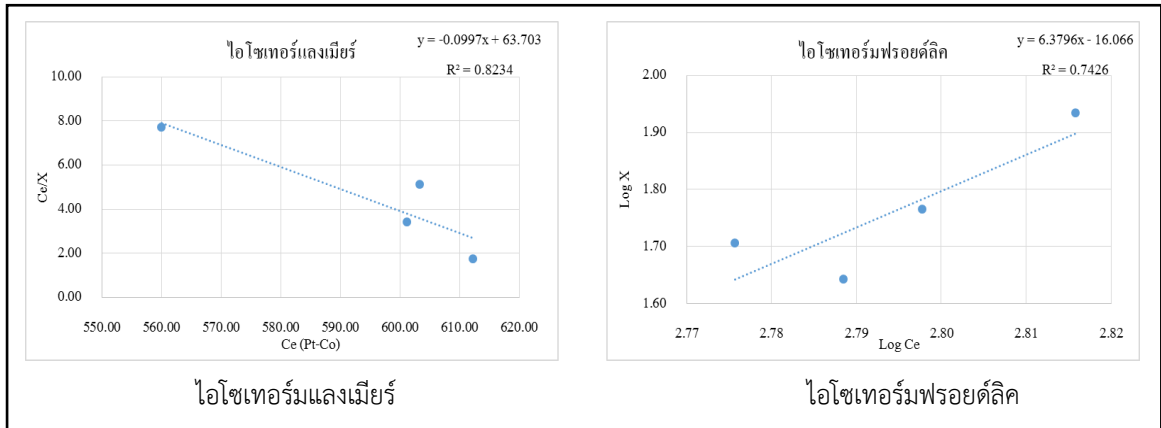


ตารางที่ ค.43 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	50,869.57	2,810.00	642.50			
0.0000	50,086.96	293.33	326.80			
1.0002	50,347.83	265.56	501.00	1.03	90.55	22.02
2.0006	49,304.35	256.67	411.60	3.08	90.87	35.94
3.0001	50,086.96	262.22	464.30	1.54	90.67	27.74
4.0006	49,304.35	286.67	541.67	3.08	89.80	15.69
5.0014	46,956.52	273.33	528.05	7.69	90.27	17.81
6.0017	46,173.91	223.33	516.10	9.23	92.05	19.67
7.0011	43,826.09	255.56	536.90	13.85	90.91	16.44
8.0006	44,608.70	253.33	663.60	12.31	90.98	0.00

ตารางที่ ค.44 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	2,373.33			
0.0000	633.33			
1.0000	612.22	1.74	2.55	2.79
2.0017	601.11	3.39	2.25	2.78
3.0002	603.33	5.11	2.07	2.78
4.0016	654.44	7.62	1.93	2.82
5.0008	560.00	7.72	1.86	2.75
6.0006	627.78	10.79	1.76	2.80
7.0009	596.67	11.76	1.71	2.78
8.0005	614.44	13.97	1.64	2.79



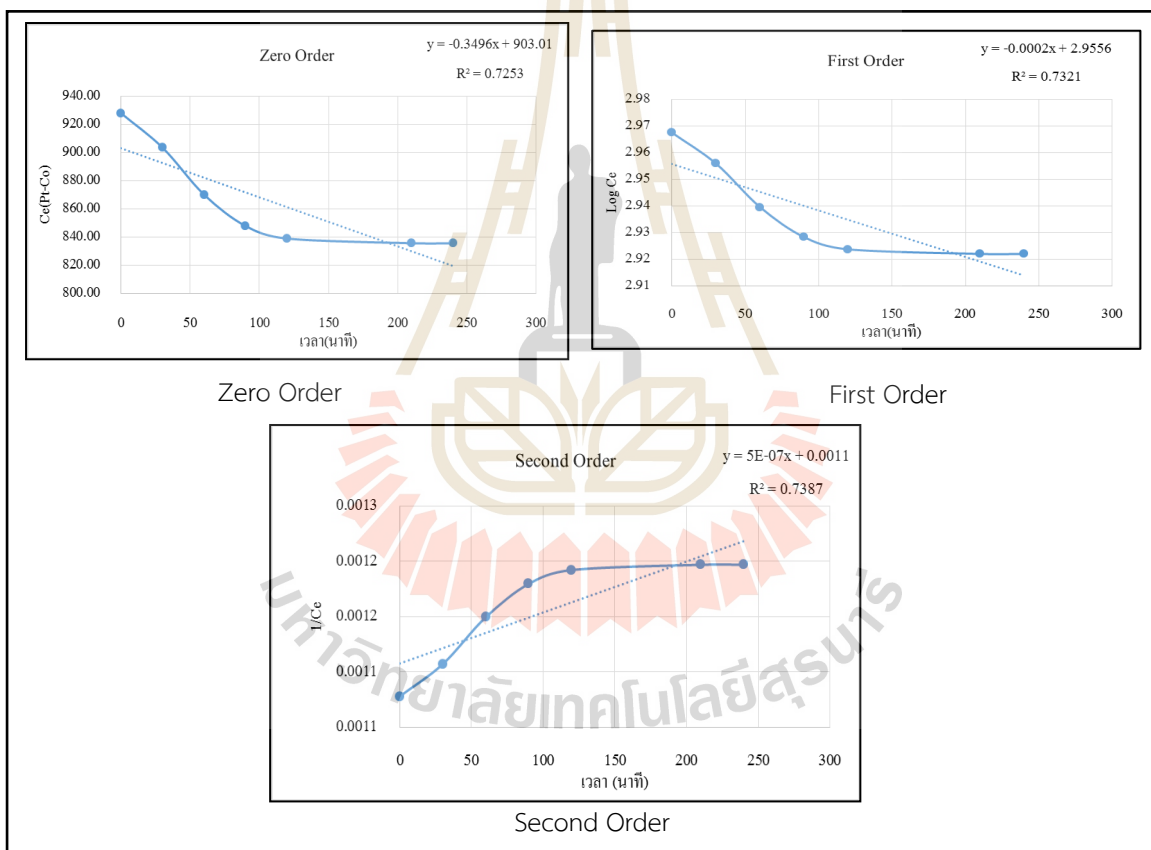
รูปที่ ค.33 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.45 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	70,032.79	2,373.33	745.67			
0.0000	60,590.16	633.33	543.30			
1.0000	59,016.39	612.22	529.20	15.73	74.20	29.03
2.0017	69,245.90	601.11	552.00	1.12	74.67	25.97
3.0002	64,524.59	603.33	600.47	7.87	74.58	19.47
4.0016	59,803.28	654.44	605.50	14.61	72.43	18.80
5.0008	60,327.87	560.00	600.05	13.86	76.40	19.53
6.0006	62,163.93	627.78	606.25	11.24	73.55	18.70
7.0009	55,081.97	596.67	620.75	21.35	74.86	16.75
8.0005	57,442.62	614.44	628.90	17.98	74.11	15.66

ตารางที่ ค.46 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	927.78	2.97	0.0011
30	903.33	2.96	0.0011
60	870.00	2.94	0.0011
90	847.78	2.93	0.0012
120	838.89	2.92	0.0012
150	822.22	2.91	0.0012
180	854.44	2.93	0.0012
210	835.56	2.92	0.0012
240	835.56	2.92	0.0012



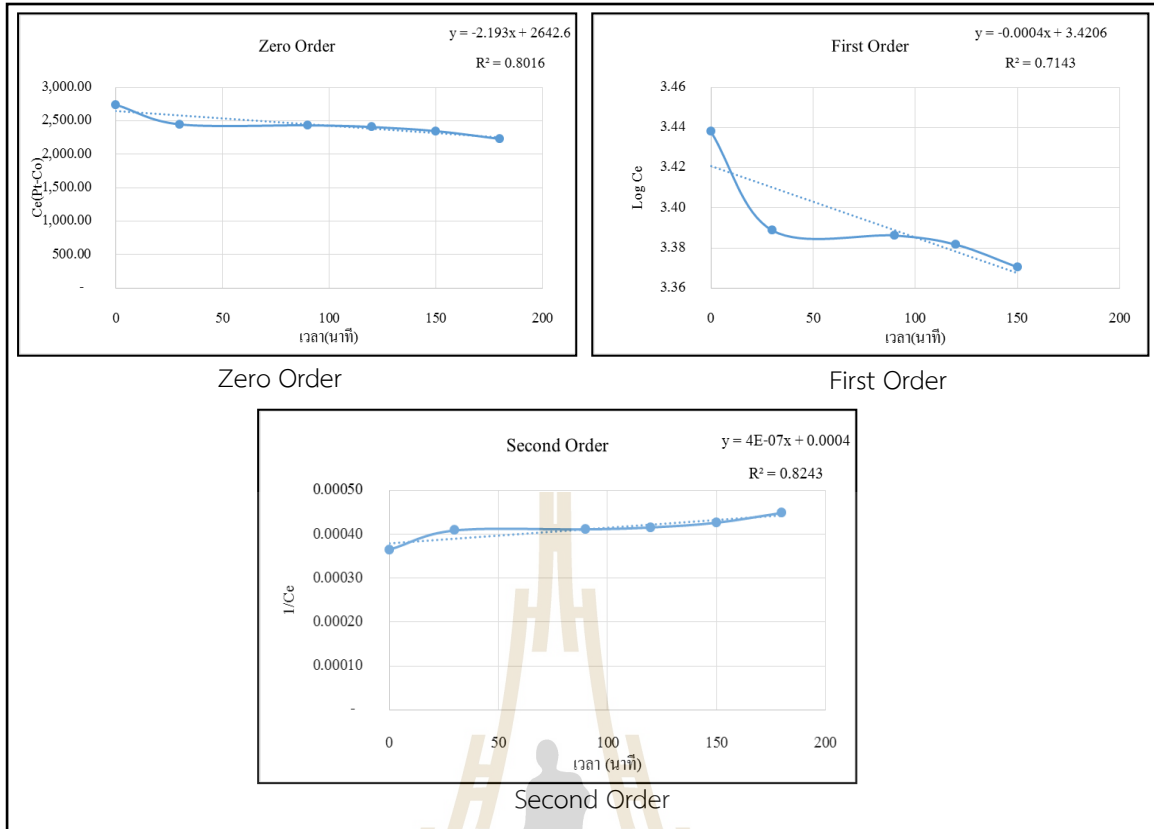
รูปที่ ค.34 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.47 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	2,640.00	927.78	9,765.00			
30	2,160.00	903.33	10,283.33	18.18	2.63	0.00
60	2,460.00	870.00	10,462.00	6.82	6.23	0.00
90	2,520.00	847.78	10,034.00	4.55	8.62	2.42
120	2,280.00	838.89	10,306.50	13.64	9.58	0.00
150	1,920.00	822.22	10,146.00	27.27	11.38	1.34
180	2,040.00	854.44	10,019.00	22.73	7.90	2.57
210	2,160.00	835.56	9,963.67	18.18	9.94	3.11
240	2,040.00	835.56	9,925.93	22.73	9.94	3.48

ตารางที่ ค.48 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	2,741.11	3.44	0.00036
30	2,447.78	3.39	0.00041
60	2,285.56	3.36	0.00044
90	2,433.33	3.39	0.00041
120	2,407.78	3.38	0.00042
150	2,346.67	3.37	0.00043
180	2,228.89	3.35	0.00045
210	2,366.67	3.37	0.00042
240	2,236.67	3.35	0.00045



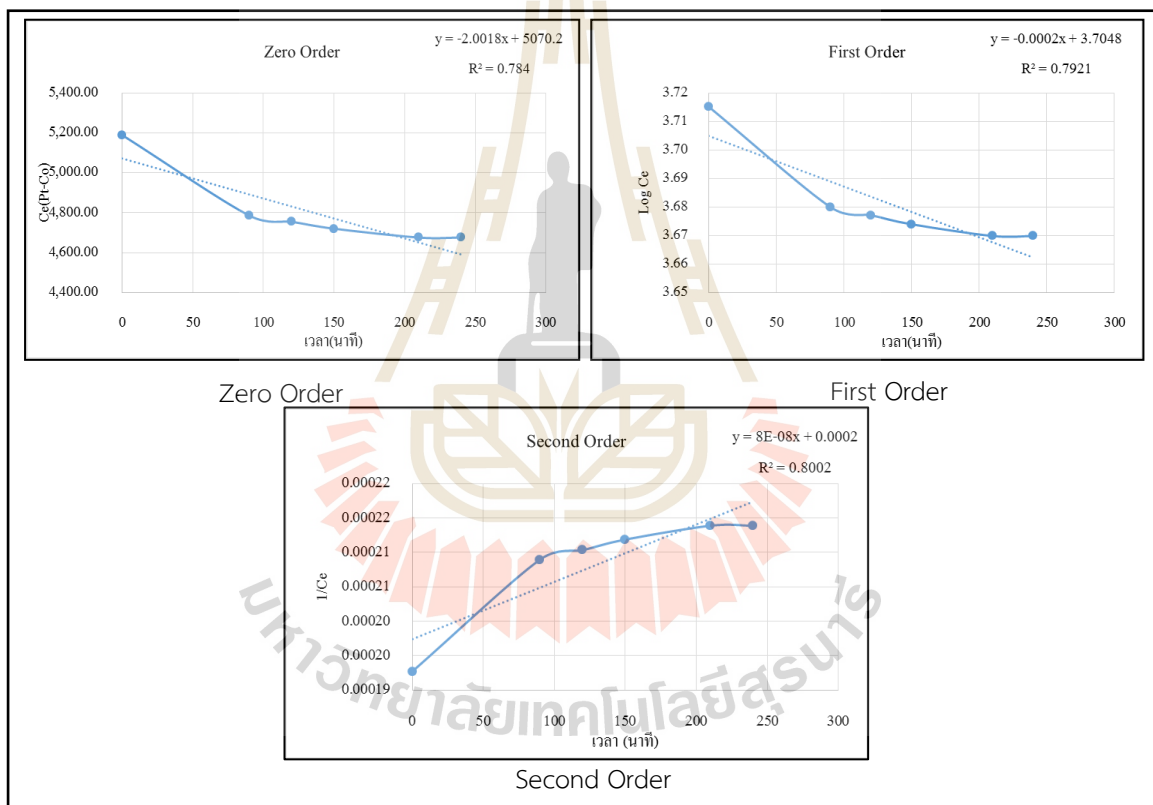
รูปที่ ค.35 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.49 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	3,909.09	2,741.11	4,305.00			
30	3,545.45	2,447.78	4,160.00	10.70	9.30	3.37
60	3,181.82	2,285.56	4,104.50	16.62	18.60	4.66
90	2,454.55	2,433.33	4,137.50	11.23	37.21	3.89
120	2,909.09	2,407.78	4,125.00	12.16	25.58	4.18
150	2,909.09	2,346.67	3,994.50	14.39	25.58	7.21
180	2,787.88	2,228.89	3,981.50	18.69	28.68	7.51
210	3,469.12	2,366.67	4,020.00	13.66	11.26	6.62
240	3,187.84	2,236.67	3,931.00	18.40	18.45	8.69

ตารางที่ ค.50 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	5,188.89	3.72	0.00019
30	4,797.78	3.68	0.00021
60	4,785.56	3.68	0.00021
90	4,785.56	3.68	0.00021
120	4,754.44	3.68	0.00021
150	4,720.00	3.67	0.00021
180	4,626.67	3.67	0.00022
210	4,675.56	3.67	0.00021
240	4,675.56	3.67	0.00021



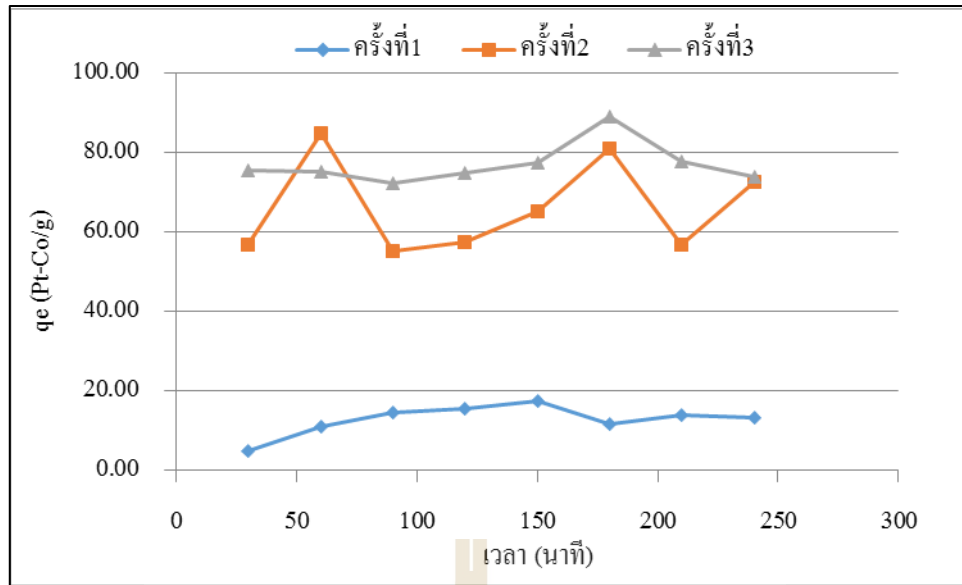
รูปที่ ค.36 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.51 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาท)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
0	3,085.71	5,188.89	5,694.00			
30	2,537.14	4,797.78	5,607.00	17.78	7.54	1.53
60	2,605.71	4,785.56	5,515.00	15.56	7.77	3.14
90	2,537.14	4,785.56	5,682.50	17.78	7.77	0.20
120	2,537.14	4,754.44	5,244.00	17.78	8.37	7.90
150	2,640.00	4,720.00	5,424.50	14.44	9.04	4.73
180	2,468.57	4,626.67	5,255.00	20.00	10.84	7.71
210	2,468.57	4,675.56	5,255.00	20.00	9.89	7.71
240	2,468.57	4,675.56	5,255.00	20.00	9.89	7.71

ตารางที่ ค.52 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดย ถ่านกัมมันต์

เวลา (นาท)	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	4.72	56.61	75.47	4.72	75.47	45.60	36.64
60	10.75	84.72	75.01	10.75	84.72	56.83	40.20
90	14.32	55.09	72.19	14.32	72.19	47.20	29.73
120	15.29	57.33	74.71	15.29	74.71	49.11	30.55
150	17.42	65.08	77.35	17.42	77.35	53.28	31.66
180	11.59	80.92	88.82	11.59	88.82	60.44	42.49
210	13.92	56.54	77.50	13.92	77.50	49.32	32.40
240	13.28	72.63	73.91	13.28	73.91	53.27	34.64

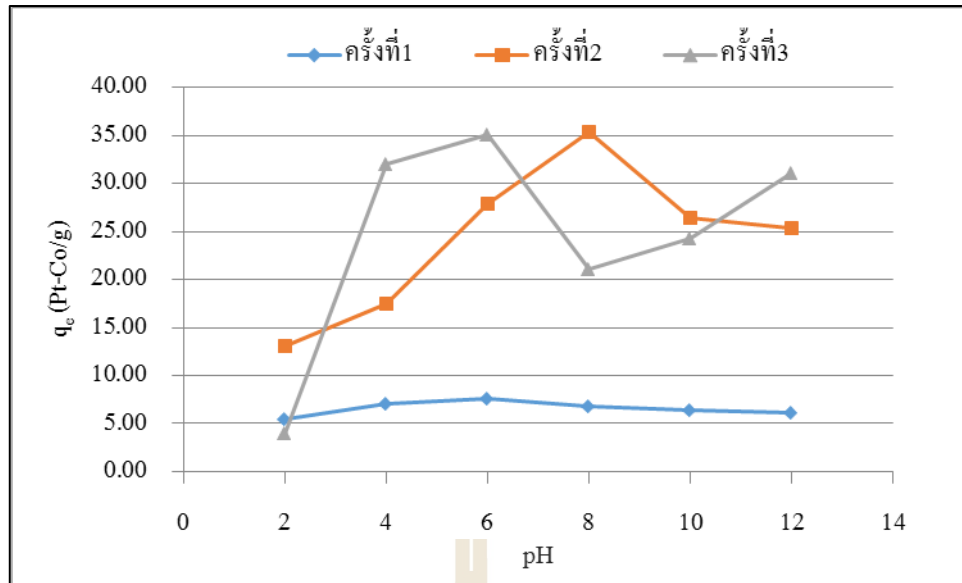


รูปที่ ค.37 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.53 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี ย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ $q_e$ (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
2	5.50	13.11	4.06	4.06	13.11	7.55	4.86
4	7.04	17.41	32.00	7.04	32.00	18.82	12.54
6	7.58	27.83	35.14	7.58	35.14	23.52	14.27
8	6.83	35.33	21.05	6.83	35.33	21.07	14.25
10	6.33	26.41	24.22	6.33	26.41	18.99	11.02
12	6.11	25.33	31.05	6.11	31.05	20.83	13.07





รูปที่ ค.38 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.54 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	6.53	1,655.17	903.33	9,765.00			
2	2.7	689.66	683.33	10,015.00	58.33	24.35	0.00
4	7.06	689.66	621.89	10,183.00	58.33	31.16	0.00
6	7.28	551.72	600.00	9,335.00	66.67	33.58	4.40
8	9	827.59	630.00	10,020.33	50.00	30.26	0.00
10	10.03	551.72	650.00	10,002.50	66.67	28.04	0.00
12	11.51	689.66	658.89	10,150.00	58.33	27.06	0.00

ตารางที่ ค.55 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	7.01	1,862.07	2,823.33	2,882.25			
2	2.56	1,034.48	2,298.89	1,003.03	44.44	18.58	65.20
4	6.64	1,241.38	2,126.67	773.77	33.33	24.68	73.15
6	7.12	1,241.38	1,710.00	747.20	33.33	39.43	74.08
8	7.7	1,034.48	1,410.00	734.30	44.44	50.06	74.52
10	9.25	1,379.31	1,766.67	967.65	25.93	37.43	66.43
12	11.28	1,448.28	1,810.00	1,037.35	22.22	35.89	64.01

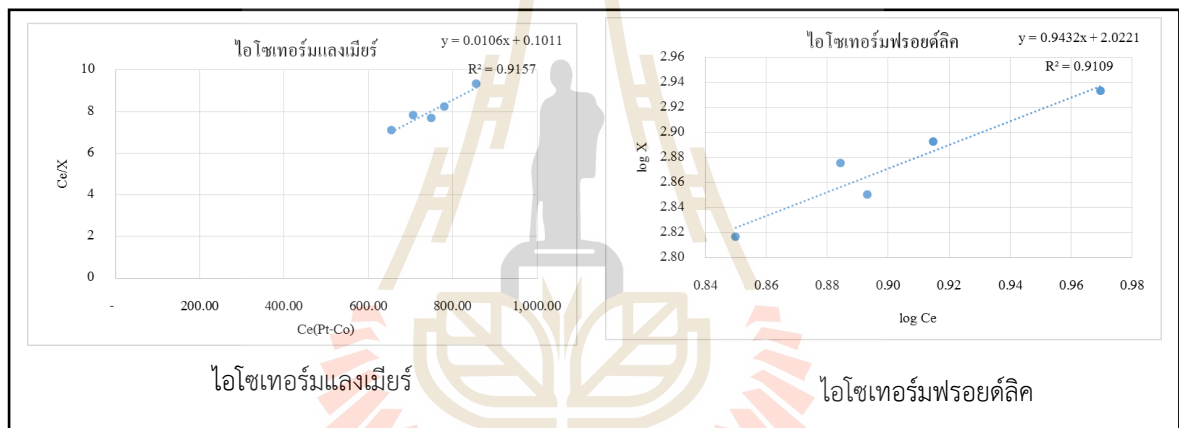
ตารางที่ ค.56 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลัง ดูดซับ	น้ำออก			%การกำจัด		
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	2.53	3,085.71	5,188.89	5,556.00			
2	6.94	2,659.09	5,026.67	4,964.00	13.83	3.13	10.66
4	7.33	2,386.36	3,908.89	4,919.00	22.66	24.67	11.47
6	7.61	1,840.91	3,783.33	4,665.00	40.34	27.09	16.04
8	9.66	2,522.73	4,346.67	4,821.50	18.24	16.23	13.22
10	11.77	2,045.45	4,220.00	4,745.00	33.71	18.67	14.60
12	2.53	2,386.36	3,946.67	4,790.00	22.66	23.94	13.79

ตารางที่ ค.57 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่

1

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	903.33			
0.0000	924.44			
1.0007	856.67	91.85	0.97	2.93
2.001	842.22	137.89	0.79	2.93
3.0004	780.00	94.88	0.91	2.89
4.001	750.00	97.85	0.88	2.88
5.0012	707.78	90.50	0.89	2.85
6.0008	714.44	113.49	0.80	2.85
7.0002	655.56	92.60	0.85	2.82
8.0013	673.33	117.12	0.76	2.83



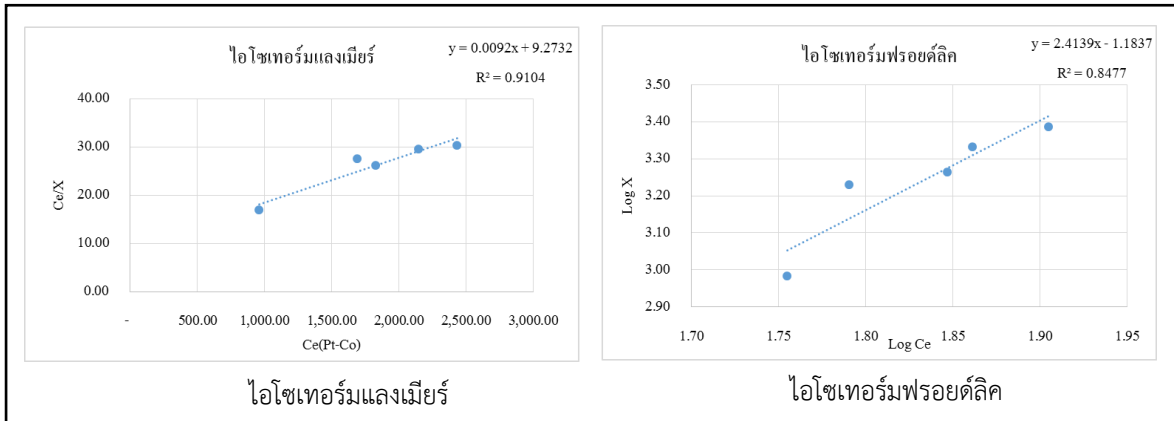
รูปที่ ค.39 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.58 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	2,640.00	903.33	9,765.00			
0.0000	4,063.49	924.44	10,430.67			
1.0007	3,238.10	856.67	10,051.33	0.00	5.17	3.64
2.001	3,238.10	842.22	10,303.50	0.00	6.77	1.22
3.0004	4,000.00	780.00	10,444.00	0.00	13.65	0.00
4.001	3,174.60	750.00	10,463.50	0.00	16.97	0.00
5.0012	2,793.65	707.78	10,280.50	0.00	21.65	1.44
6.0008	3,047.62	714.44	9,924.33	0.00	20.91	4.85
7.0002	1,904.76	655.56	10,069.50	27.85	27.43	3.46
8.0013	2,285.71	673.33	10,268.00	13.42	25.46	1.56

ตารางที่ ค.59 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	2,823.33			
0.0000	3,236.67			
1.0000	2,894.44	42.29	1.84	3.46
2.0008	2,432.22	30.25	1.91	3.39
3.0003	2,146.67	29.54	1.86	3.33
4.0007	1,830.00	26.02	1.85	3.26
5.0003	1,693.33	27.43	1.79	3.23
6.0006	975.56	12.94	1.88	2.99
7.0004	1,483.33	29.61	1.70	3.17
8.0004	960.00	16.87	1.76	2.98



รูปที่ ค.40 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

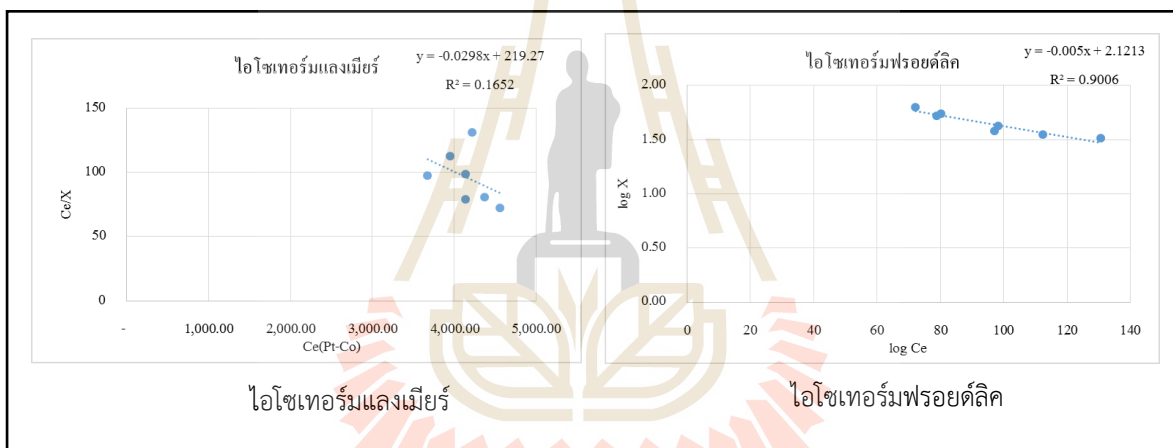
ตารางที่ ค.60 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	1,862.07	2,823.33	2,882.25			
0.0000	4,063.49	3,236.67	1,065.40			
1.0000	4,000.00	2,894.44	589.75	1.56	10.57	44.65
2.0008	3,809.52	2,432.22	337.70	6.25	24.85	68.30
3.0003	3,428.57	2,146.67	294.20	15.63	33.68	72.39
4.0007	3,047.62	1,830.00	530.85	25.00	43.46	50.17
5.0003	3,555.56	1,693.33	297.00	12.50	47.68	72.12
6.0006	3,428.57	975.56	277.25	15.63	69.86	73.98
7.0004	3,047.62	1,483.33	252.60	25.00	54.17	76.29
8.0004	2,285.71	960.00	203.20	43.75	70.34	80.93

ตารางที่ ค.61 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่

3

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	5,188.89			
0.0000	4,665.56			
1.0002	4,463.33	30.76	2.16	3.65
2.0002	4,557.78	72.23	1.80	3.66
3.0015	4,372.22	80.35	1.74	3.64
4.0000	4,138.89	78.84	1.72	3.62
5.0005	4,137.78	98.42	1.62	3.62
6.0012	4,220.00	130.69	1.51	3.63
7.0003	3,956.67	112.39	1.55	3.60
8.0012	3,676.67	97.27	1.58	3.57



รูปที่ ค.41 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.62 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก			%การกำจัด		
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)	COD	สี (Pt-Co)	สี (ADMI)
เริ่มต้น	4,500.00	5,188.89	5,556.00			
0.0000	4,500.00	4,665.56	5,734.00			
1.0002	3,272.73	4,463.33	5,786.50	27.27	13.98	0.00
2.0002	4,431.82	4,557.78	5,606.00	1.52	12.16	2.23
3.0015	2,795.45	4,372.22	5,611.50	37.88	15.74	2.14
4.0000	3,068.18	4,138.89	5,339.50	31.82	20.24	6.88
5.0005	3,340.91	4,137.78	4,693.50	25.76	20.26	18.15
6.0012	2,931.82	4,220.00	5,057.00	34.85	18.67	11.81
7.0003	2,931.82	3,956.67	4,954.00	34.85	23.75	13.60
8.0012	3,068.18	3,676.67	4,812.50	31.82	29.14	16.07



ภาคผนวก ง  
กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ





ตารางที่ ง.1 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

วันที่	น้ำฟอก			น้ำย้อมสีธรรมชาติ			น้ำย้อมสีเคมี		
	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)
1	7.19	3,200.00	56.10	6.28	4,800.00	9,110.33	7.35	1,066.67	4,778.33
3	6.84	3,200.00	56.30	6.30	4,400.00	7,211.00	7.61	800.00	8,833.67
5	6.82	2,800.00	43.20	6.54	6,200.00	10,462.00	7.44	800.00	10,418.00
7	6.88	3,400.00	43.40	6.45	2,666.67	6,784.33	7.43	666.67	4,156.00
9	6.76	5,733.33	61.60	7.07	3,600.00	10,462.00	7.49	2,000.00	4,153.33
11	7.29	4,400.00	40.40	6.57	5,066.67	10,462.00	7.01	933.33	10,083.67
13	7.29	7,200.00	73.63	6.18	14,666.67	10,462.00	7.25	800.00	9,818.33
15	7.29	7,200.00	61.70	6.18	14,666.67	9,451.33	7.25	800.00	9,024.67
17	7.29	7,200.00	90.13	6.21	10,533.33	9,451.33	7.25	933.33	10,462.67
19	7.29	7,200.00	195.50	6.21	10,666.67	9,451.33	7.25	2,000.00	10,462.67
21	6.88	8,800.00	97.47	6.20	6,533.33	9,625.33	7.17	2,000.00	10,462.67
23	6.88	8,800.00	59.73	6.20	6,533.33	9,625.33	7.17	1,600.00	10,462.67
25	6.88	8,800.00	97.47	6.20	6,533.33	9,625.33	7.17	1,600.00	10,462.67
27	6.93	11,333.33	97.47	7.12	4,000.00	9,625.33	6.54	2,400.00	10,462.67
29	6.93	11,333.33	97.47	7.12	4,000.00	9,625.33	6.54	2,400.00	10,236.00
31	7.16	6,000.00	97.47	7.10	7,400.00	9,625.33	7.46	5,400.00	10,236.00

ตารางที่ ง.1 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	น้ำฟอก			น้ำย้อมสีธรรมชาติ			น้ำย้อมสีเคมี		
	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)
33	7.16	7,000.00	97.47	7.10	6,400.00	9,625.33	7.46	5,600.00	10,236.00
35	7.16	6,000.00	97.47	7.10	8,000.00	9,625.33	7.46	5,000.00	10,127.00
37	6.76	8,400.00	97.47	7.07	5,200.00	9,625.33	7.49	2,000.00	10,127.00
39	7.29	8,400.00	97.47	6.57	5,200.00	9,625.33	7.01	2,000.00	10,127.00
41	7.29	8,400.00	97.47	6.18	5,200.00	9,625.33	7.25	2,000.00	10,127.00
43	7.29	10,800.00	79.43	6.18	5,600.00	9,625.33	7.25	5,200.00	10,432.00
45	7.29	10,800.00	79.43	6.21	5,600.00	9,625.33	7.25	5,200.00	
47	7.29	10,800.00	79.43	6.21	5,600.00	9,625.33	7.25	2,400.00	10,432.00
49	6.88	10,800.00	79.43	6.20	5,600.00	9,625.33	7.17	2,400.00	10,432.00
51	7.08	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,432.00
53	7.08	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,432.00
55	7.08	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,432.00
57	7.08	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00		7.55	2,400.00	10,293.00
59	7.33	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00		7.55	2,400.00	10,267.67
61	7.33	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00		7.55	2,400.00	10,267.67
63	7.33	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00		7.55	2,400.00	10,267.67

ตารางที่ ง.1 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	น้ำฟอก			น้ำย้อมสีธรรมชาติ			น้ำย้อมสีเคมี		
	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)	pH	COD (mg/l)	Color (ADMI)
65	7.33	10,800.00	79.43	6.53	5,600.00		7.55	2,400.00	10,267.67
67	7.29	7,000.00	75.97	6.21	6,400.00		7.25	5,600.00	10,267.67
69	6.88	10,800.00	75.97	6.20	5,600.00		7.17	2,400.00	10,267.67
71	6.88	10,800.00	75.97	6.20	5,600.00	9,625.33	7.17	2,400.00	10,267.67
73	6.88	10,800.00	75.97	6.20	5,600.00	9,625.33	7.17	2,400.00	10,267.67
75	7.08	10,800.00	75.97	6.53	5,600.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,424.67
77	7.08	10,800.00	75.97	6.53	5,600.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,424.67
79	7.08	11,333.33	75.97	6.53	4,000.00	9,625.33	7.55	2,400.00	10,424.67
81	7.29	6,000.00	75.97	6.18	7,400.00	9,625.33	7.25	5,400.00	10,424.67
83	7.29	7,000.00		6.18	6,400.00		7.25	5,600.00	
85	7.29	6,000.00		6.21	8,000.00		7.25	5,000.00	
87	7.29	8,400.00		6.21	5,200.00		7.25	2,000.00	
Min	6.76	2,800.00	40.40	6.18	2,666.67	6,784.33	6.54	666.67	4,153.33
Max	7.33	11,333.33	195.50	7.12	14,666.67	10,462.00	7.61	5,600.00	10,462.67
Average	7.11	8,503.03	80.91	6.46	6,246.97	9,538.70	7.31	2,618.18	9,799.58
S.D.	0.19	2,605.80	24.04	0.32	2,373.22	713.53	0.24	1,506.19	1,605.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
1	3,200.00	2,933.33	3,000.00				56.10	59.67	90.07			
3	3,200.00	2,400.00	2,400.00	25.00	25.00	25.00	56.30	52.43	63.50			
5	2,800.00	2,500.00	2,400.00	10.71	14.29	12.50	43.20	83.40	87.77			
7	3,400.00	2,400.00	2,000.00	29.41	41.18	35.29	43.40	83.20	94.10			
9	5,733.33	2,200.00	1,733.33	61.63	69.77	65.70	61.60	73.80	77.43			
11	4,400.00	3,400.00	3,600.00	22.73	18.18	20.45	40.40	103.63	65.30			
13	7,200.00	4,133.33	4,200.00	42.59	41.67	42.13	73.63	169.50	127.77			
15	7,200.00	3,433.33	4,733.33	52.31	34.26	43.29	61.70	74.43	77.57			
17	7,200.00	6,533.33	6,333.33		12.04	12.04	90.13	149.40	199.87			
19	7,200.00	7,066.67	7,200.00				195.50	220.57	100.70		48.49	48.49
21	8,800.00	8,400.00	7,800.00				97.47	105.27	103.47			
23	8,800.00	7,500.00	8,000.00				59.73	113.20	79.87			
25	8,800.00	7,200.00	7,466.67	18.18		18.18	97.47	45.20	69.40	53.63	28.80	41.21
27	11,333.33	7,200.00	7,400.00	36.47	34.71	35.59	97.47	54.37	83.27	44.22	14.57	29.39
29	11,333.33	8,266.67	8,600.00	27.06	24.12	25.59	97.47	48.97	77.57	49.76	20.42	35.09
31	6,000.00	3,900.00	4,600.00	35.00	23.33	29.17	97.47	68.30	61.03	29.92	37.38	33.65

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
33	7,000.00	3,600.00	3,700.00	48.57	47.14	47.86	97.47	56.60	80.10	41.93	17.82	29.87
35	6,000.00	3,900.00	3,800.00	35.00	36.67	35.83	97.47	58.73	82.10	39.74	15.77	27.75
37	8,400.00	7,333.33	7,400.00	12.70	11.90	12.30	97.47	64.87	97.40	33.45	0.07	16.76
39	8,400.00	7,066.67	6,866.67	15.87	18.25	17.06	97.47	51.50	63.43	47.16	34.92	41.04
41	8,400.00	6,733.33	7,066.67	19.84	15.87	17.86	97.47	45.70	40.17	53.11	58.79	55.95
43	10,800.00	7,733.33	7,600.00	28.40	29.63	29.01	79.43	58.20	32.40	26.73	59.21	42.97
45	10,800.00	7,733.33	7,600.00	28.40	29.63	29.01	79.43	35.27	44.10	55.60	44.48	50.04
47	10,800.00	8,533.33	8,466.67	20.99	21.60	21.30	79.43	27.20	75.90	65.76	4.44	35.10
49	10,800.00	8,200.00	6,800.00	24.07	37.04	30.56	79.43	72.47	101.57	8.77		8.77
51	10,800.00	8,800.00	9,400.00	18.52	12.96	15.74	79.43	114.57	46.33		41.67	41.67
53	10,800.00	7,400.00	7,600.00	31.48	29.63	30.56	79.43	62.53	48.43	21.27	39.02	30.15
55	10,800.00	7,133.33	7,333.33	33.95	32.10	33.02	79.43	48.60	41.10	38.81	48.26	43.54
57	10,800.00	9,408.00	7,742.00	12.89	28.31	20.60	79.43	18.00	71.57	77.34	9.90	43.62
59	10,800.00	9,016.00	8,232.00	16.52	23.78	20.15	79.43	45.87	52.43	42.26	33.99	38.12
61	10,800.00	8,428.00	7,938.00	21.96	26.50	24.23	79.43	42.73	90.40	46.20		46.20
63	10,800.00	9,212.00	9,016.00	14.70	16.52	15.61	79.43	44.40	42.97	44.10	45.91	45.00

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำพอกโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/L)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
65	10,800.00	8,232.00	7,644.00	23.78	29.22	26.50	79.43	96.90	109.40			
67	7,000.00	3,600.00	3,700.00	48.57	47.14	47.86	75.97	69.27	60.57	8.82	20.27	14.55
69	10,800.00	8,200.00	6,800.00	24.07	37.04	30.56	75.97	86.47	76.80			
71	10,800.00	8,800.00	9,400.00	18.52	12.96	15.74	75.97	42.13	40.00	44.54	47.35	45.94
73	10,800.00	7,400.00	7,600.00	31.48	29.63	30.56	75.97	84.07	63.10		16.94	16.94
75	10,800.00	7,133.33	7,333.33	33.95	32.10	33.02	75.97	28.60	50.80	62.35	33.13	47.74
77	10,800.00	9,408.00	7,742.00	12.89	28.31	20.60	75.97	26.80	36.10	64.72	52.48	58.60
79	11,333.33	8,266.67	8,600.00	27.06	24.12	25.59	75.97	68.47	55.80	9.87	26.55	18.21
81	6,000.00	3,900.00	4,600.00	35.00	23.33	29.17	75.97	92.40	61.07		19.61	19.61
83	7,000.00	3,600.00	3,700.00	48.57	47.14	47.86						
85	6,000.00	3,900.00	3,800.00	35.00	36.67	35.83						
87	8,400.00	7,333.33	7,400.00	12.70	11.90	12.30						
Min	2,800.00	2,200.00	1,733.33	10.71	11.90	12.04	40.40	18.00	32.40	8.77	0.07	8.77
Max	11,333.33	9,408.00	9,400.00	61.63	69.77	65.70	195.50	220.57	199.87	77.34	59.21	58.60
Average	8,503.03	6,351.61	6,280.62	28.12	28.61	28.03	80.91	71.89	73.72	42.09	31.55	35.93
S.D.	2,605.80	2,332.48	2,203.86	12.32	12.21	11.79	24.04	39.61	30.16	17.99	16.62	13.12

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีธรรมชาติโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
1	4800.00	2200.00	2600.00	54.17	45.83	50.00	9,110.33	4,907.67	5,901.67	46.13	35.22	40.68
3	4400.00	2933.33	2733.33	33.33	37.88	35.61	7,211.00	6,133.00	6,424.33	14.95	10.91	12.93
5	6200.00	3500.00	1666.67	43.55	73.12	58.33	10,462.00	7,833.00	8,333.00	25.13	20.35	22.74
7	2666.67	2466.67	2500.00	7.50	6.25	6.87	6,784.33	7,945.00	8,358.00			
9	3600.00	2500.00	2333.33	30.56	35.19	32.87	10,462.00	7,545.00	8,435.33	27.88	19.37	23.63
11	5066.67	3266.67	2466.67	35.53	51.32	43.42	10,462.00	7,683.67	7,443.67	26.56	28.85	27.70
13	14666.67	4066.67	3400.00	72.27	76.82	74.55	10,462.00	8,164.33	6,808.67	21.96	34.92	28.44
15	14666.67	4733.33	5133.33	67.73	65.00	66.36	9,451.33	8,683.00	8,353.33	8.13	11.62	9.87
17	10533.33	10266.67	7933.33	2.53	24.68	13.61	9,451.33	6,942.67	8,436.00	26.54	10.74	18.64
19	10666.67	8066.67	8000.00	24.38	25.00	24.69	9,451.33	9,818.00	9,518.33			
21	6533.33	6466.67	7000.00				9,625.33	10,056.00	10,285.00			
23	6533.33	5933.33	6000.00				9,625.33	10,354.67	9,911.00			
25	6533.33	5133.33	5400.00	21.43	17.35	19.39	9,625.33	10,448.33	9,693.00			
27	4000.00	4000.00	4200.00				9,625.33	6,229.00	10,195.00	35.29		35.29
29	4000.00	3400.00	3733.33	15.00	6.67	10.83	9,625.33	8,296.00	6,728.33	13.81	30.10	21.95
31	7400.00	3800.00	3400.00	48.65	54.05	51.35	9,625.33	8,725.33	7,785.00		19.12	19.12

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีธรรมชาติโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถัง 1	ออกถัง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
33	6400.00	3900.00	3600.00	39.06	43.75	41.41	9,625.33	7,292.00	6,371.67	24.24	33.80	29.02
35	8000.00	4600.00	4300.00	42.50	46.25	44.38	9,625.33	9,451.33	8,922.00			
37	5200.00	5100.00	5400.00				9,625.33	9,316.00	9,681.67			
39	5200.00	5866.67	4533.33				9,625.33	9,700.33	9,777.33			
41	5200.00	4600.00	4800.00				9,625.33	9,826.00	9,895.00			
43	5600.00	5600.00	4200.00		25.00	25.00	9,625.33	9,515.67	9,737.00			
45	5600.00	5600.00	4200.00		25.00	25.00	9,625.33	9,461.00	9,861.00			
47	5600.00	4733.33	4600.00	15.48	17.86	16.67	9,625.33	9,412.33	9,943.67			
49	5600.00	3500.00	2800.00	37.50	50.00	43.75	9,625.33	9,426.00	8,256.00		14.23	14.23
51	5600.00	2933.33	2666.67	47.62	52.38	50.00	9,625.33	6,119.33	6,958.67	36.42	27.70	32.06
53	5600.00	2500.00	2200.00	55.36	60.71	58.04	9,625.33	6,404.00	6,143.00	33.47	36.18	34.82
55	5600.00	2000.00	2266.67	64.29	59.52	61.90	9,625.33	5,497.00	5,652.00	42.89	41.28	42.09
57	5600.00	2254.00	2352.00	59.75	58.00	58.88						
59	5600.00	2613.33	2548.00	53.33	54.50	53.92						
61	5600.00	4116.00	3593.33	26.50	35.83	31.17						
63	5600.00	3528.00	2352.00	37.00	58.00	47.50						



ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีธรรมชาติโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย
65	5600.00	2744.00	3038.00	51.00	45.75	48.38						
67	6400.00	3900.00	3600.00	39.06	43.75	41.41						
69	5600.00	3500.00	2800.00	37.50	50.00	43.75						
71	5600.00	2933.33	2666.67	47.62	52.38	50.00	9,625.33	4,952.33	4,768.33	48.55	50.46	49.50
73	5600.00	2500.00	2200.00	55.36	60.71	58.04	9,625.33	5,940.67	4,565.00	38.28	52.57	45.43
75	5600.00	2000.00	2266.67	64.29	59.52	61.90	9,625.33	5,640.00	6,593.67	41.40	31.50	36.45
77	5600.00	2254.00	2352.00	59.75	58.00	58.88	9,625.33	7,962.33	6,962.00	17.28	27.67	22.47
79	4000.00	3400.00	3733.33	15.00	6.67	10.83	9,625.33	5,172.33	5,539.00	46.26	42.45	44.36
81	7400.00	3800.00	3400.00	48.65	54.05	51.35	9,625.33	5,917.67	6,256.33	38.52	35.00	36.76
83	6400.00	3900.00	3600.00	39.06	43.75	41.41						
85	8000.00	4600.00	4300.00	42.50	46.25	44.38						
87	5200.00	5100.00	5400.00									
Min	2,666.67	2,000.00	1,666.67	2.53	6.25	6.87	6,784.33	4,907.67	4,565.00	8.13	10.74	9.87
Max	14,666.67	10,266.67	8,000.00	72.27	76.82	74.55	10,462.00	10,448.33	10,285.00	48.55	52.57	49.50
Average	6,246.97	4,018.39	3,733.38	40.99	43.97	42.05	9,538.70	7,846.21	7,896.85	30.68	29.24	29.46
S.D.	2,373.22	1,640.98	1,513.15	17.37	18.13	17.20	713.53	1,739.21	1,717.70	11.82	12.22	11.21

ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีเคมีโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย
1	1,066.67	1,000.00	933.33	6.25	12.50	9.37	4,778.33	2,632.00	2,648.33	44.92	44.58	44.75
3	800.00	800.00	700.00	0.00	12.50	6.25	8,833.67	4,168.67	3,384.00	52.81	61.69	57.25
5	800.00	600.00	600.00	25.00	25.00	25.00	10,418.00	4,363.67	4,801.33	58.11	53.91	56.01
7	666.67	600.00	400.00	10.00	40.00	25.00	4,156.00	4,511.00	4,185.00			
9	2,000.00	800.00	466.67	60.00	76.67	68.33	4,153.33	2,906.33	3,126.00	30.02	24.74	27.38
11	933.33	800.00	466.67	14.29	50.00	32.14	10,083.67	4,601.00	3,725.00	54.37	63.06	58.72
13	800.00	666.67	600.00	16.67	25.00	20.83	9,818.33	4,176.00	5,078.00	57.47	48.28	52.87
15	800.00	733.33	733.33				9,024.67		6,321.33		29.95	29.95
17	933.33	933.33	933.33				10,462.67	7,211.67	9,011.00	31.07	13.87	22.47
19	2,000.00	1,400.00	1,866.67	30.00		30.00	10,462.67	9,586.33	9,303.33		11.08	11.08
21	2,000.00	1,900.00	1,933.33				10,462.67	10,371.33	8,935.00		14.60	14.60
23	1,600.00	1,300.00	1,333.33	18.75	16.67	17.71	10,462.67	8,332.33	10,445.00	20.36		20.36
25	1,600.00	2,000.00	1,933.33				10,462.67	10,402.67	8,872.00		15.20	15.20
27	2,400.00	1,333.33	2,500.00	44.44		44.44	10,462.67	9,516.33	9,757.67			
29	2,400.00	1,200.00	1,133.33	50.00	52.78	51.39	10,236.00	10,146.67	9,614.00			
31	5,400.00	3,600.00	3,800.00	33.33	29.63	31.48	10,236.00	9,956.00	9,700.33			

ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีเคมีโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถังที่ 1	ถังที่ 2	เฉลี่ย
33	5,600.00	2,500.00	2,500.00	55.36	55.36	55.36	10,236.00	10,190.00	9,961.67			
35	5,000.00	2,700.00	2,900.00	46.00	42.00	44.00	10,127.00	9,900.33	10,086.33			
37	2,000.00	800.00	800.00	60.00	60.00	60.00	10,127.00	10,358.00	9,937.00			
39	2,000.00	900.00	1,000.00	55.00	50.00	52.50	10,127.00	10,317.00	8,821.00			
41	2,000.00	1,000.00	1,133.33	50.00	43.33	46.67	10,127.00	10,430.00	10,308.00			
43	5,200.00	866.67	600.00	83.33	88.46	85.90	10,432.00	10,452.33	10,334.33			
45	5,200.00	866.67	600.00	83.33	88.46	85.90						
47	2,400.00	800.00	666.67	66.67	72.22	69.44	10,432.00	10,464.00	10,430.00			
49	2,400.00	400.00	400.00	83.33	83.33	83.33	10,432.00	10,461.00	10,460.67			
51	2,400.00	1,600.00	333.33	33.33	86.11	59.72	10,432.00	10,442.00	10,449.67			
53	2,400.00	200.00	500.00	91.67	79.17	85.42	10,432.00	10,341.67	10,285.33			
55	2,400.00	600.00	800.00	75.00	66.67	70.83	10,432.00	10,455.00	10,323.00			
57	2,400.00	588.00	490.00	75.50	79.58	77.54	10,293.00	9,985.00	10,027.00	2.99		
59	2,400.00	588.00	490.00	75.50	79.58	77.54	10,267.67	10,267.67	10,212.33			
61	2,400.00	392.00	392.00	83.67	83.67	83.67	10,267.67	10,282.67	10,018.33			
63	2,400.00	196.00	294.00	91.83	87.75	89.79	10,267.67	7,256.33	10,436.67	29.33		29.33

ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมสีเคมีโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (ต่อ)

วันที่	COD (mg/l)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)			สี (ADMI)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย	น้ำเข้า	ออกถึง 1	ออกถึง 2	ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	เฉลี่ย
65	2,400.00	588.00	196.00	75.50	91.83	83.67	10,267.67	10,462.33	10,452.00			
67	5,600.00	2,500.00	2,500.00	55.36	55.36	55.36	10,267.67	10,435.67	10,432.00			
69	2,400.00	400.00	400.00	83.33	83.33	83.33	10,267.67	10,461.50	10,455.33			
71	2,400.00	1,600.00	333.33	33.33	86.11	59.72	10,267.67	10,463.00	10,461.33			
73	2,400.00	200.00	500.00	91.67	79.17	85.42	10,267.67	10,461.00	10,402.00			
75	2,400.00	600.00	800.00	75.00	66.67	70.83	10,424.67	10,447.00	10,456.00			
77	2,400.00	588.00	490.00	75.50	79.58	77.54	10,424.67	10,462.00	10,391.33			
79	2,400.00	1,200.00	1,133.33	50.00	52.78	51.39	10,424.67	10,282.00	10,363.00			
81	5,400.00	3,600.00	3,800.00	33.33	29.63	31.48	10,424.67	10,227.00	10,309.67			
83	5,600.00	2,500.00	2,500.00	55.36	55.36	55.36						
85	5,000.00	2,700.00	2,900.00	46.00	42.00	44.00						
87	2,000.00	800.00	800.00	60.00	60.00	60.00						
Min	666.67	196.00	196.00	0.00	12.50	6.25	4,153.33	2,632.00	2,648.33	2.99	11.08	11.08
Max	5,600.00	3,600.00	3,800.00	91.83	91.83	89.79	10,462.67	10,464.00	10,461.33	58.11	63.06	58.72
Average	2,618.18	1,180.45	1,149.67	53.82	59.69	56.19	9,799.58	8,927.86	8,868.03	38.15	34.63	33.84
S.D.	1,506.19	867.98	964.32	25.99	23.93	23.86	1,605.58	2,517.89	2,482.50	18.38	20.20	17.71

ภาคผนวก จ  
การประเมินทางเลือกทางด้านวิศวกรรม



ตารางที่ จ.1 ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

อุปกรณ์	ราคา (บาท)	
	สีย้อมธรรมชาติ	สีย้อมเคมี
- ถังขนาด 300 L	3,000	3,000
- ชุดมอเตอร์ และใบกวน	10,000	10,000
- ปั๊ม	2,000	2,000
- เสริมฐานยกสูง	2,000	2,000
สารเคมี	ราคา (บาท)/น้ำเสีย 500 L	
- PAC	1,625	2,725
- Polymer	75	45
รวม	18,700	19,770

ตารางที่ จ.2 ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับ

อุปกรณ์	ราคา (บาท)
- ถังกรองแอสตันเลส ขนาด 28 ลิตร	5,000
- ถ่านกัมมันต์ 25 กิโลกรัม	2,000
รวม	7,000

ตารางที่ จ.3 ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

อุปกรณ์	ราคา (บาท)
- ถังบำบัดน้ำเสียขนาด 600 ลิตร	2,600
- ปั๊ม	2,000
- ค่าชุด-ถม ดินเพื่อติดตั้งบ่อบำบัด	5,000
รวม	9,600

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลจากแบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	-
ชื่อเจ้าของ	คุณวีรวรรณ พงษ์บุญ (K.ปู)
เบอร์โทร	081-8762623
ที่อยู่	370 บ.เมืองปัก ถ.ศรีพลรัตน์ หมู่1
ตำบล	เมืองปัก
อำเภอ	ปักธงชัย
ประกอบกิจการ	ทอผ้าไหมด้วยกี่กระตุก
คนงาน	2 คนทอ
แรงม้า	เครื่องทอที่กระตุก
วัตถุดิบ	ไหมพุ่ง 1,440 กก. ,ไหมยืน 720 กก.
กำลังการผลิต	ผ้าไหม 23,040 เมตร (200 เมตรต่อวัน)
เนื้อที่โรงงาน	2000

### ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไดเร็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอสிட /
ยี่ห้อ	(ไม่มียี่ห้อ ส่งมาจากบริษัทโดยเฉพาะ) /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 365 ลิตร</li> <li>2. สัดส่วน _____ ต่อ _____</li> <li>3. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____</li> </ol>



ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ในระบบพักน้ำ	
ระบบแบบไหน	1. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ 3. บ่อกักเก็บน้ำ 4. อื่นๆ เคมี H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	1. น้ำเสีย/ 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4. อื่นๆ _____	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	1. น้ำเสีย/ 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4. อื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการบำบัด H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่ : หาพื้นที่จัดตั้งบริเวณใกล้เคียงยาก
ความคุ้มค่า
อื่นๆ : ทางโครงการควรมีรถรับ-ส่งน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัด

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1. กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย 2. กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1. จันทร์-ศุกร์ 2. เสาร์-อาทิตย์ 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	มีชขาดาไหมไทย
ชื่อเจ้าของ	คุณอาทิตย์ (K.เล็ก)
เบอร์โทร	044-441684
ที่อยู่	118/1 หมู่7
ตำบล	นกออก
อำเภอ	ปักธงชัย
ประกอบกิจการ	ทอผ้าไหม ,เปิดหน้าร้านขายปลีก
คนงาน	50 คน
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	ไหมพุ่ง , ไหมยืน
กำลังการผลิต	5,000-6,000 หลาต่อเดือน
เนื้อที่โรงงาน	3 ไร่

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไดเร็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอสิด / 4.อื่นๆ เช่น _____
ยี่ห้อ	ไม่มียี่ห้อส่งมาจากบริษัทแอดวานซ์ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร 2. สัดส่วน ไหม 30 กก.ต่อหม้อ 3. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	1.บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ 3.บ่อกักเก็บน้ำ / 4.อื่นๆ บำบัดทางเคมี /	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	4. น้ำเสีย / 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4.อื่นๆ_____	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	1. น้ำเสีย 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4.อื่นๆ ไม่มี /	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

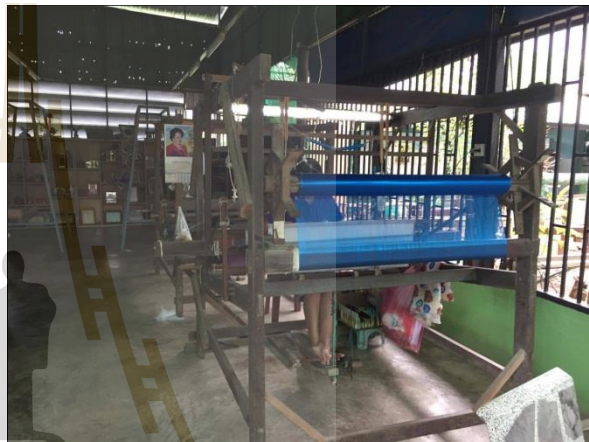
ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่ : ในเขตพื้นที่อ.ปรางค์ (กังวลในเรื่องพื้นที่เพราะพื้นที่บริเวณเมืองปัก มีราคาสูง)
ความคุ้มค่า : คิดว่าคุ้ม
อื่นๆ : ทางโครงการควรมีรถรับ-ส่งน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัด และมีผู้รับผิดชอบโดยตรง

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1.กลุ่มผ้าไหมปรางค์ชัย / 2.กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ / 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1.จันทร์-ศุกร์ / 2. เสาร์-อาทิตย์ 3. อื่นๆ เสนอแนะ : กลางวัน









แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	กลุ่มหัตถกรรมผ้าไทยบ้านดู่ (บ้านยม)
ชื่อเจ้าของ	คุณประภาพรพรณ พากักดี
เบอร์โทร	081-1861545 ,083-3749046 (K.ไพริน)
ที่อยู่	29 หมู่ 6 บ้านดู่
ตำบล	เมืองปัก
อำเภอ	ปักธงชัย
ประกอบกิจการ	ทอ, ย้อมผ้าไหม
คนงาน	32 คน
แรงม้า	200-300 กิโลวัตต์ (เครื่องข่ายภายในหมู่บ้าน)
วัตถุดิบ	ไหมพุ่ง , ไหมยืน
กำลังการผลิต	300 กก.ต่อปี
เนื้อที่โรงงาน	-

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีธรรมชาติ /
ยี่ห้อม	สีธรรมชาติ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร</li> <li>2. สัดส่วน ไหม 2 กก.ต่อหม้อ</li> <li>3. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____</li> </ol>

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	1. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ/ 3. บ่อกักเก็บน้ำ 4. อื่นๆ : บ่อพักพลาสติก (โดยการเติมสารเคมีเพื่อให้ตกตะกอน เมื่อบำบัดแล้วนำไปรดน้ำต้นไม้)	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	2. น้ำเสีย / 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4. อื่นๆ_____	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	1. น้ำเสีย 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4. อื่นๆ_____	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ : กรณีที่มีค่าใช้จ่าย จะมีผลต่อการพิจารณา

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1. กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย
2. กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์
3. กลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านตู /

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1. จันทร์-ศุกร์
2. เสาร์-อาทิตย์
3. อื่นๆ เสนอแนะ : ช่วงเช้าและช่วงเย็นเท่านั้น

แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	-
ชื่อเจ้าของ	คุณสมมาตร ทองภู
เบอร์โทร	-
ที่อยู่	65 หมู่1
ตำบล	จิ้ว
อำเภอ	ปักธงชัย
ประกอบกิจการ	ย้อมผ้าไหม
คนงาน	12 คน (คนย้อม 2 คน ,คนทอมี้อ 10 คน)
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	ไหมสำเร็จรูป
กำลังการผลิต	1,500 หลาต่อเดือน
เนื้อที่โรงงาน	-

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไดเร็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอสิด /
ยี่ห้อ	ไม่มียี่ห้อส่งมาจากบริษัทสมศักดิ์ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร</li> <li>2. สัดส่วน ไหม10-12 กก.ต่อหม้อ</li> <li>3. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____</li> </ol>

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	2. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ / 3.บ่อกักเก็บน้ำ 4.อื่นๆ _____	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	1. น้ำเสีย 2. น้ำใช้ 3. ขยะ / 4.อื่นๆ : น้ำประปาและน้ำบาดาล	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	ไม่มี	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1.กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย / 2.กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1.จันทร์-ศุกร์ (ทั้งวัน) / 2. เสาร์-อาทิตย์ 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_









## แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	จิวรี่พรไหมไทย
ชื่อเจ้าของ	คุณจิวรี่พร ฝ่ายฉิมพลี
เบอร์โทร	-
ที่อยู่	16 หมู่10
ตำบล	จัว
อำเภอ	ปทุมธานี
ประกอบกิจการ	ทอ , ย้อมผ้าไหม
คนงาน	20 คน
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	ไหม
กำลังการผลิต	30 กก.ต่อวัน
เนื้อที่โรงงาน	1 ไร่

### ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีธรรมชาติ สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไดเร็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอซิด / 4.อื่นๆ เช่น _____
ยี่ห้อ	ไม่มียี่ห้อส่งมาจากบริษัทสมศักดิ์ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	1.ขึ้นอยู่กับเจตสี / 2.ขึ้นอยู่กับบอร์เตอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร</li> <li>2. สัดส่วน น้ำสว 200 ลิตรต่อไหม 15 กก.</li> <li>3. ขึ้นอยู่กับบอร์เตอร์ที่จะผลิต</li> </ol>

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	3. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ 3.บ่อกักเก็บน้ำ/ (ใช้น้ำประปาในการ ย้อม และน้ำบาดาลล้าง)	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหา สิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	ไม่มี	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบ พื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	ไม่มี	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1.กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย / 2.กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1.จันทร์-ศุกร์ / 2. เสาร์-อาทิตย์ 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_

แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	คณูปลาติก
ชื่อเจ้าของ	คุณคณัญญา ดร.เชื่อนสม
เบอร์โทร	-
ที่อยู่	244/4 หมู่บ้านบ่อปลา ถ.ประชาอุทิศ
ตำบล	-
อำเภอ	ปทุมธานี
ประกอบกิจการ	ผ้าพลาสติก
คนงาน	16 คน (ทอผ้าและเขียนลาย 10คน)
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	-
กำลังการผลิต	300-400 ชิ้นต่อเดือน , 2 หลาต่อชิ้น
เนื้อที่โรงงาน	10*13 ตร.ม

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไตรี็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอสิด (รีเอคทีฟ) /
ยี่ห้อ	1. ยี่ห้อ Johan 2. Eksan
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 350 ลิตร (ย้อมครั้งละ 20-30ชิ้น ต่อครั้ง)</li> <li>2. สัดส่วน _____ ต่อ _____</li> <li>3. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____</li> </ol>

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	1.บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ / 3.บ่อกักเก็บน้ำ 4.อื่นๆ _____	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)	90,000 ลิตรต่อเดือน	
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	ไม่มี	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	ไม่มี	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมท่อผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1.กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย / 2.กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1.จันทร์-ศุกร์ (ทั้งวัน) / 2. เสาร์-อาทิตย์ 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_

แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	-
ชื่อเจ้าของ	คุณสมยศ มงคล
เบอร์โทร	-
ที่อยู่	143 หมู่4
ตำบล	ตะคุ
อำเภอ	ปทุมธานี
ประกอบกิจการ	-
คนงาน	12 คน (ทอไหม 8คน)
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	ไหม
กำลังการผลิต	1,500 หลาต่อเดือน (50 ชีตต่อหลา)
เนื้อที่โรงงาน	1 ไร่

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีธรรมชาติ สีสังเคราะห์ เช่น 1.สีไดเร็กซ์ 2. สีเบสิก 3. สีแอซิด / 4.อื่นๆ เช่น _____
ยี่ห้อ	ไม่มียี่ห้อส่งมาจากบริษัทสมศักดิ์ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต /
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	4. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 24 ลิตร 5. สัดส่วน สีย้อม 3 ชีตต่อ 10 กก.ไหม 6. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____

ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	1. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ / 3. บ่อกักเก็บน้ำ 4. อื่นๆ _____	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	1. น้ำเสีย / 2. น้ำใช้ 3. ขยะ 4. อื่นๆ _____	
ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	ไม่มี	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1. กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย / 2. กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ (K.แม่รัตน) / 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1. จันทร์-ศุกร์ / 2. เสาร์-อาทิตย์ / 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_

แบบสอบถามข้อมูลเบื้องต้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	ศูนย์พัฒนาภูมิปัญญาอาชีพปักธงชัย
ชื่อเจ้าของ	คุณสมศักดิ์ ปรีดาวิจิตรกุล (ประธานกลุ่ม)
เบอร์โทร	087-0888218
ที่อยู่	64 หมู่ 1
ตำบล	ธงชัยเหนือ
อำเภอ	ปักธงชัย
ประกอบกิจการ	-
คนงาน	10 คน (ยืนพื้นทอ 4คน)
แรงม้า	-
วัตถุดิบ	ไหม
กำลังการผลิต	มัดหมี่ 2 หลาต่อคนต่อวัน , ผ้าพื้น 5-8 หลาต่อคนต่อวัน
เนื้อที่โรงงาน	

ส่วนที่ 2 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	รายละเอียด
ชนิดสีที่ใช้	สีธรรมชาติ /
ยี่ห้อ	สีธรรมชาติ /
ส่วนผสมของสีที่ใช้	1. _____ 2. ขึ้นอยู่กับออร์เดอร์ที่จะผลิต _____
ในการย้อมผ้าใช้สัดส่วนในการย้อมผ้าอย่างไร	7. สัดส่วนวัสดุ 1 กก. ต่อน้ำสะอาด 5 ลิตร 8. สัดส่วน 10 กก.ต่อหม้อ 9. ขึ้นอยู่กับฤดูกาล และออร์เดอร์ที่จะผลิต



ส่วนที่ 3 กระบวนการกำจัดน้ำเสีย

	มี	ไม่มี
มีระบบการกำจัดน้ำเสียหรือไม่	/	
ระบบแบบไหน	4. บ่อเติมอากาศ 2. บ่อเกรอะ (ความลึก 1.5 ม ,กว้าง 0.8 ม.) / 3. บ่อกักเก็บน้ำ 4.อื่นๆ _____	
ขนาดน้ำเสีย (ปริมาตรต่อวัน)		
โรงงานของท่านมีปัญหาสิ่งแวดล้อมอะไรบ้าง	ไม่มี	
ท่านมีปัญหากับชุมชนโดยรอบพื้นที่ในเรื่องใดบ้าง	ไม่มี	

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นต่อการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทอผ้า

ประเด็น	เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	เฉยๆ
ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่	/		

ท่านมีข้อเสนอแนะอย่างไรกับการจัดตั้งศูนย์กลางการกำจัดน้ำเสียในพื้นที่
ความเป็นไปได้
สถานที่
ความคุ้มค่า
อื่นๆ

ท่านได้เข้าร่วมกลุ่ม หรือชมรม เกี่ยวกับผู้ประกอบการผ้าไหมหรือไม่ เช่น

1.กลุ่มผ้าไหมปักธงชัย / 2.กลุ่มไหมนครชัยบุรีรินทร์ / 3. \_\_\_\_\_

หากต้องมีการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นท่านสะดวกในวันเวลาใด

1.จันทร์-ศุกร์ / 2. เสาร์-อาทิตย์ / 3. อื่นๆ เสนอแนะ \_\_\_\_\_



ภาคผนวก ช  
การประชุมการมีส่วนร่วม

- แบบสอบถามความคิดเห็น
- บันทึกการประชุม
- เอกสารประกอบการประชุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## แบบสอบถาม ความคิดเห็น

โครงการวิจัย “ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอย่อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ; กรณีศึกษา อ.ปรางค์ชัย จ.นครราชสีมา”

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งบประมาณประจำปี 2559

### คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้ใช้รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นและความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมประชุมการมีส่วนร่วมของชุมชน ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้เฉพาะในโครงการวิจัยนี้เท่านั้น และข้อมูลของท่านเป็นสิทธิส่วนบุคคลตามกฎหมาย ผู้วิจัยจะวิเคราะห์และรายงานผลวิจัยโดยภาพรวมเท่านั้น การเปิดเผยข้อมูลจะต้องได้รับการยินยอมจากท่านผู้เป็นเจ้าของข้อมูลแล้วเท่านั้น และทีมผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลวิจัยมา ณ ที่นี้ (ผู้ให้ข้อมูลจะต้องได้รับการชี้แจงข้อมูลความเป็นมาเบื้องต้นของโครงการมาก่อนแล้ว)

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อผู้ถูกสัมภาษณ์.....

กลุ่มสมาชิกวิสาหกิจชุมชน.....

อื่นๆ.....

เพศ  1. ชาย

2. หญิง

อายุ

(1) น้อยกว่า 20 ปี

(2) 21-30 ปี

(3) 31-40 ปี

(4) 41-50 ปี

(5) 51-60 ปี

(6) > 60 ปี

การศึกษา

1. ประถมศึกษาหรือต่ำกว่า

2. มัธยมศึกษาตอนต้น

3. มัธยมศึกษาตอนปลาย

4. ระดับปริญญาตรี

5. ระดับปริญญาโท

6. ระดับปริญญาเอกและสูงกว่า

ท่านมีตำแหน่งใดในสถานประกอบการของท่าน

ประธานกลุ่ม

รองประธาน

สมาชิก

อื่นๆ.....

## ส่วนที่ 2 ข้อมูลสถานประกอบการ

2.1 จำนวนสมาชิกในกลุ่มทั้งหมด \_\_\_\_\_ คน

2.2 กลุ่มของท่านมีระบบบำบัดน้ำเสียหรือไม่

มี

ไม่มี

2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการท่านเป็นแบบใด

ตกตะกอนด้วยเคมี

การกรอง

ถังไร้อากาศ

การดูดซับด้วยถ่าน

อื่นๆ \_\_\_\_\_

2.4 สถานะของระบบบำบัดน้ำเสีย

มีการใช้งานอยู่

ไม่ได้มีใช้งาน

ระบบบำบัดมีปัญหา ระบุ \_\_\_\_\_

อื่นๆ \_\_\_\_\_

## ส่วนที่ 3 การสอบถามความคิดเห็น

3.1 ท่านมีความตระหนักถึงปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมมาก-น้อยเพียงใด

น้อยมาก

น้อย

เฉยๆ

มาก

มากอย่างยิ่ง

3.2 ท่านมีความรู้เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียมากน้อยเพียงใด

น้อยมาก

น้อย

ปานกลาง

มาก

มากอย่างยิ่ง

3.3 ท่านเห็นด้วยหรือไม่กับการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสีย สำหรับการสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมของชุมชน

ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ไม่เห็นด้วย

เฉยๆ

เห็นด้วย

เห็นด้วยอย่างยิ่ง

3.4 ท่านมีข้อเสนอเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดตั้งศูนย์กลางการจัดการน้ำเสียอย่างไร

---

---

---

---

## บันทึกการประชุม

### 1. จากผลของการศึกษาทั้งสี่ย้อมเคมีและสี่ย้อมธรรมชาติประเมินออกมาได้ระบบที่เหมาะสมคือระบบ Coagulation มีความคิดเห็นอย่างไร เห็นด้วยหรือไม่

**ถาม :** จากผลของการศึกษาทั้งสี่ย้อมเคมีและสี่ย้อมธรรมชาติประเมินออกมาได้ระบบที่เหมาะสมคือระบบ Coagulation มีความคิดเห็นอย่างไร เห็นด้วยหรือไม่ หรือปัญหาที่พบของระบบ Coagulation ที่ผู้เข้าร่วมประชุมใช้อยู่

**ผู้ตอบ1 :** ควรจะใช้ระบบบำบัดทางเคมี เนื่องจากการย้อมผ้าทั้งหมดมีผู้ใช้ย้อมผ้าด้วยสี่ย้อมเคมีถึงร้อยละ 80 และมีผู้ย้อมสีธรรมชาติเพียงร้อยละ 20 ไม่ควรจะทำให้การบำบัดโดยจุลินทรีย์ร่วมกับการบำบัดทางเคมี อาจจะมีประสิทธิภาพที่ไม่ดี ระบบที่เหมาะสมควรจะเป็นระบบบำบัดด้วยเคมีมากกว่า

**ถาม :** จากข้อมูลเรื่องประสิทธิภาพ น้ำฟอกจะประกอบไปด้วยโปรตีนใหม่ โปรตีนที่ออกมาตัวจุลินทรีย์จะบำบัดได้ดี แต่เมื่อนำมาบำบัดด้วยระบบ Coagulation ประสิทธิภาพต่ำเพียงร้อยละ 50 พอน้ำเสียที่ออกมามันกำจัดได้ดี เฉพาะสี สีจะใส แต่สารอินทรีย์จะยังหลงเหลืออยู่

**ผู้ตอบ1 :** เวลาเราทำการฟอก ถ้าฟอกด้วยเคมีน้ำที่ออกมาก็จะเป็นเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีร้อยละ 100 และจะมีการฟอกด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ น้ำเสียจะแตกต่างกัน

**ถาม :** ความแตกต่างของการย้อมผ้าคือ สี่ย้อมเคมีและสี่ย้อมธรรมชาติ ส่วนน้ำฟอกจะมีกระบวนการเหมือนกันใช่ไหมคะ

**ผู้ตอบ1 :** ในกระบวนการฟอกใหม่ การผสมสารเคมีต่างที่ใช้ในการฟอกจะแตกต่างกันและปริมาณของโปรตีนที่ออกมากหรือน้อยจะแตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติ น้ำเสีย เมื่อนำมารวมกับน้ำย้อมแล้วอาจจะมีผลต่อการเลือกใช้ระบบบำบัด

**ถาม :** อาจประเมินต่างกัน อย่างในงานนี้จะดูน้ำเสียรวมที่ออกมา

**ผู้ตอบ1 :** แต่ทางเรามองมุมของคุณภาพที่ออกมาในเรื่องของประสิทธิภาพของระบบจะลดลงหรือไม่หากน้ำฟอกมาปริมาณโปรตีนออกมามาก

**ถาม :** โดยตัวระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบมาก็พอที่จะบำบัดได้

**ถาม :** สรุป คือ อยากได้ระบบบำบัดทางเคมีคือระบบ Coagulation เนื่องจากบำบัดได้ดี

**ถาม :** เชิญค่ะ

**ผู้ตอบ2 :** ใช้ระบบบำบัดเคมีด้วยการเติมโคโคซานเพื่อช่วยในการตกตะกอนและมีระบบไฟฟ้าควบคุม ปัญหาคือชาวบ้านใช้ไม่ได้จริง เนื่องจากมีระบบที่ซับซ้อน และการหาสารเคมีที่ใช้ในระบบไม่ได้ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบ ควรเป็นระบบที่ง่ายๆ เช่น การเทและบำบัดเลยไม่ต้องเติมสารเคมีหรือเป็นจุลินทรีย์ก็ได้แต่ต้องเป็นระบบง่าย หากเป็นระบบศูนย์กลางมีคนหลายคนที่ใช้จะเกิดความยุ่งยากในการดูแลหากใช้ระบบยุ่งยาก เสนอเป็นระบบง่ายๆ เช่นการเทเพื่อบำบัด

**ถาม :** ปัญหาที่ตามมาของการเทเพื่อบำบัด มันจะส่งผลต่อน้ำใต้ดินอาจเกิดการซึมผ่านเข้าไปถึงชั้นน้ำใต้ดิน ระบบที่เราใช้จะมีสารเคมีซึมเข้าไปถึงชั้นดินและซึมเข้าไปยังชั้นน้ำใต้ดิน และน้ำใต้ดินก็จะไปสู่ น้ำผิวดินเกิดการปนเปื้อน

**ผู้ตอบ2 :** ข้อเสนอแนะที่อยากได้คือ ระบบใดก็ได้ที่ง่ายต่อการทำงาน

**ถาม :** นี่ก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่รัฐบาลสนับสนุนให้มาทำเรื่องนี้เนื่องจากไม่อยากจะอุดหนุนอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดเล็กที่ไม่มีระบบบำบัดที่น้ำเสียเนื่องจากอนาคตหากเกิดการปนเปื้อนและสะสมลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินจะทำให้การบำบัดหรือกำจัดยากมากโลหะหนักจะกระจาย จึงเป็นโครงการนี้ที่จะสนับสนุนไปส่งเสริมและให้เห็นความสำคัญเบื้องต้นของปัญหานี้

**ผู้ตอบ2 :** และในเรื่องของการใช้สารเคมี เช่นสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนสารส้มหากตะกอนที่ลงดินหรือปล่อยน้ำที่มีตะกอนจะสังเกตเห็นว่าดินจะถูกปิดกั้นการซึมผ่านของน้ำ

**ถาม :** ตะกอนสารส้มสามารถรวบรวมและนำไปทิ้งกับขยะชุมชนได้ เช่นเดียวกับตะกอนของระบบประปา

**ถาม :** สรุปว่าถ้าน้ำเสียของเราไม่ถูกวิธีจะส่งผลกระทบต่อชุมชนของเราเอง

**ผู้ตอบ1 :** ถ้าหากนำน้ำเสียฟอกย้อมมาบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเลย

**ถาม :** ลักษณะของน้ำเสียชุมชนกับน้ำเสียฟอกย้อมมีความแตกต่างกัน เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง สี หากจุลินทรีย์ที่ระบบบำบัดเจอน้ำเสียฟอกย้อมอาจทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ถึงจำเป็นต้องแยกน้ำเสียฟอกย้อมออกจากน้ำเสียชุมชน

**ผู้ตอบ2 :** น้ำฟอกไหมและน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือน้ำผงซักฟอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้เคียงกัน หากแยกโปรตีนไหมออกจากน้ำฟอกขาวไหมได้ก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนน้ำฟอกขาวไหมที่แยกโปรตีนออกแล้วก็นำไปบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

**ถาม :** น้ำผงซักฟอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างคล้ายกัน แต่คุณสมบัติทางเคมีของผงซักฟอกจะเป็นจำพวกฟอสเฟตซึ่งมันแตกต่างกับน้ำฟอกขาวไหมซึ่งเป็นโปรตีน

**ผู้ตอบ 1 :** มีการตรวจวิเคราะห์สารประกอบในน้ำเสียที่เก็บไปไหมครับ เนื่องจากการฟอกไหมแต่ละชนิดใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่ได้ใช้เพียงน้ำสบู่อผสมเท่านั้น ยังมีซิลิเกต ซัลไฟด์ ไฮโดรเจนอีกด้วย

**ถาม :** รวมกับน้ำเสีย โดยหลักๆ จะทำการวิเคราะห์ COD และ สี การเก็บตัวอย่างมีปารเก็บน้ำเสียตลอดปีและค่าที่ได้บางวันก็มีความสกปรกหรือค่า COD สูง บางวัน COD อาจลดลง ถือว่าเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงตลอดทั้งปีจากภาพทั้งหมดก็จะนำไปทดสอบ การทำงานคือเมื่อเก็บน้ำตัวอย่างของแต่ละรอบมาจะทำการทดลองและหาประสิทธิภาพของการบำบัดและเฉลี่ยประสิทธิภาพของการทำการทดลองทั้งปีออกมา ด้วยค่าน้ำเสียความเข้มข้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตว่าใช้ไหมก็ก็โลกรัมด้วย

**ผู้ตอบ 1,2 :** สถานประกอบการแต่ละแห่งมีกระบวนการทำไม่เหมือนกัน สารในน้ำเสียเลยไม่เหมือนกัน

**ถาม:** ถึงสถานประกอบการแต่ละแห่งมีกระบวนการทำไม่เหมือนกัน แต่คุณสมบัติของน้ำเสียไม่แตกต่างกันมากเท่าที่รวบรวมมาลักษณะน้ำเสียมาเปรียบเทียบทั้งปี จำพวกค่าลักษณะของแข็งเป็นของแข็งละลายน้ำเป็นสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 80 เพราะฉะนั้นน้ำเสียน้ำฟอกของทั้งสองแห่งที่เก็บมาไม่แตกต่างกันมากนัก เช่นการใช้สบู่ มีการผสมน้ำ 20 ลิตรใส่สบู่เข้าไปละลายไม่ได้มีผลทำให้คุณสมบัติของน้ำเสียเปลี่ยนไปทำให้การรวมเป็นน้ำเสียแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน เท่าที่เราเก็บมาทั้งปี ของ2 แหล่งที่บ้านคู่เป็นตัวแทนของการย้อมสีธรรมชาติ และมัดดาเป็นตัวแทนของการย้อมสีเคมี

## 2. ท่านเห็นด้วยหรือไม่ในการจัดตั้งศูนย์กลางการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่อำเภอปรางค์ชัย

**ถาม :** หากมีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ผู้ประกอบการที่ทำอุตสาหกรรมทางด้านฟอกย้อมเห็นด้วยไหมคะ คุ่มทุนไหมคะที่จะนำน้ำเสียมาที่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง

**ตอบ :** ไม่คุ้ม ไม่สะดวก

ถาม : แสดงว่าไม่เห็นด้วยกับการติดตั้งจุดศูนย์กลางใช้ไหมคะ ไม่สะดวกที่จะนำน้ำไป

ตอบ : ใช่

ถาม : แล้วมีข้อเสนอแนะแบบไหนบ้างคะ

ตอบ : ควรจะมีจุดฟอก ย่อม ใกล้เคียง หรือตำแหน่งเดียวกับระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง เพื่อที่จะไปย่อมและฟอก ณ จุดๆนั้น

ตอบ : เคยขอพื้นที่เข้าไปทำจุดฟอกย่อมศูนย์กลางแต่ก็ไม่มีผู้ประกอบการแห่งใดสนใจเข้าร่วม เนื่องจาก ไม่มีผู้รับผิดชอบในเรื่องของการดูแล, ค่าใช้จ่ายเช่นค่าน้ำ ค่าไฟ และชาวบ้านก็ไม่สะดวกที่จะนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ไปอย่างแรกที่ต้องคำนึงคือ ความสะดวกในการขนส่ง เกิดขึ้นแล้วปัญหาที่กล่าวมาจึงทำให้โครงการนี้ไม่สำเร็จ ระบบบำบัดที่นำมาให้ใช้จึงไม่มีผู้ทำ

ถาม : ทางเราได้ไปลงพื้นที่ ที่บุรีรัมย์และสุรินทร์ทางรัฐได้สนับสนุนเรื่องของระบบบำบัด พบปัญหาคือมีการติดตั้งระบบแต่ไม่มีการใช้งาน

ตอบ : ระบบบำบัดขนาดเล็กสำหรับการฟอกย่อมระดับครัวเรือนที่จะใช้ก็อยู่ที่จิตสำนึกของผู้เป็นเจ้าของ

ถาม : เรื่องจิตสำนึกเป็นเรื่องแรก ที่โครงการนี้ว่าตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาน้ำเสียกระทบกับคนในชุมชนหรือรอบข้างหรือไม่

ตอบ : ต้องมีความต่อเนื่องของผู้สนับสนุน เช่น มาติดตั้ง แล้วมาคอยติดตามตรวจสอบ, และหากถึงใหญ่ต้องรอนจนน้ำถึงระดับก่อนถึงจะสามารถบำบัดได้ จึงไม่คุ้มค่างกับค่าไฟ ค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ตัวปั้มต่าง ๆ และสารเคมี ทั้งไว้นานๆก็หมดอายุ และมีข้อเสนอแนะให้จัดมีผู้ดูแล

ถาม : มีข้อเสนออะไรเพิ่มไหมคะ

ตอบ : มีระบบไหนที่จะสามารถบำบัดและนำไปบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลได้ เป็นวิธีการบำบัดเบื้องต้น หากสร้างระบบบำบัดน้ำเสียศูนย์กลางเป็นไปได้ยาก

ถาม : บำบัดน้ำเสียเบื้องต้นที่บ้านและรวบรวมไปบำบัดต่อ

ตอบ : ให้รวบรวมน้ำเสียในถังปิดหรือบ่อเกรอะ และให้มีรถเข้ามารวบรวมไปยังระบบบำบัดน้ำเสียศูนย์กลาง และเก็บค่าใช้จ่ายในการขนส่งก็น่าสนใจ

ถาม : ระบบง่าย ๆ เล็ก ๆ ที่บ้านเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียศูนย์กลาง?

ตอบ : ไม่เห็นด้วยเนื่องจากมีปัญหาเยอะ และไม่ตอบโจทย์

ถาม : หากการบำบัดที่บ้านก็ต้องอาศัยความตระหนักถึงปัญหา และการมีจิตสำนึก

ตอบ : และมีแรงจูงใจ, รางวัล, ภาษี, ให้เครื่องหมายการันตีเครื่องหมายการค้าเพื่อรับรองว่าดูแลสิ่งแวดล้อม หรือระบบที่ใช้งานง่าย ๆ

ถาม : เจอระบบที่ว่ามีไหมคะ

ตอบ : เป็นระบบกรองด้วยทรายและถ่าน ปัญหาที่พบก็คืออุดตันต้องหมั่นลอกหน้าไปทิ้ง

ถาม : ในการบำบัดน้ำเสียตรงนี้เห็นข้อดีของการบำบัดน้ำไหมคะ คิดว่าจำเป็นไหมคะที่ต้องบำบัด

ตอบ : เริ่มจากจิตสำนึก ข้อดีคือรักษาสิ่งแวดล้อม

ถาม : สรุปว่าการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง คือ ไม่ตอบโจทย์ มีปัญหาเรื่อง ต้องมีผู้ดูแลจัดการ, ค่าใช้จ่าย, ไม่สะดวกในการขนส่งน้ำเสียที่จะนำไป เสนอว่าหากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กที่ครัวเรือน ใช้งานง่าย ดูแล

ง่าย และมีประสิทธิภาพ และจะทำการบำบัดน้ำเสียได้ก็ขึ้นอยู่กับจิตสำนึก และการให้รางวัลเช่นป้ายที่แสดงถึงว่า  
ผู้ประกอบการแห่งนี้รักษาสิ่งแวดล้อม

### 3. ในการบำบัดน้ำเสียท่านมีข้อกังวลเกี่ยวกับเรื่องอะไร หากจะสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

ถาม : ค่าใช้จ่าย

ตอบ : ไม่กังวล

ถาม : ประสิทธิภาพการบำบัด

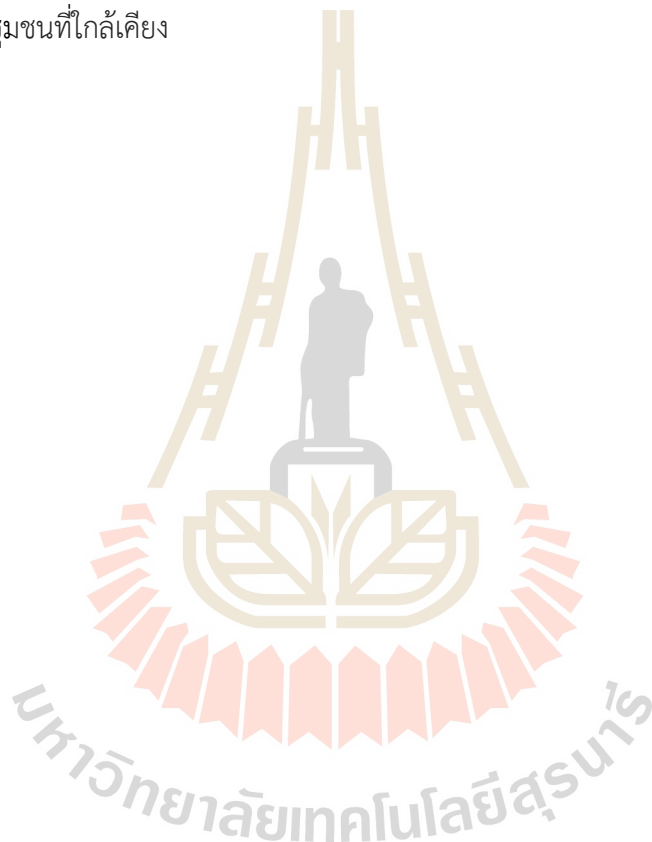
ตอบ : 2 ท่าน

ถาม : มีผลกระทบต่อสุขภาพ

ตอบ : 13 ท่าน

ถาม : ผลกระทบทางด้านชุมชนที่ใกล้เคียง

ตอบ : 15 ท่าน





## เอกสารประกอบการประชุม



โครงการวิจัย : ทางเลือกและโอกาส;  
การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก  
โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ;  
กรณีศึกษา อ.ปรางค์ชัย จ.นครราชสีมา

โครงการวิจัย  
ทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม  
ในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ;  
กรณีศึกษา อ.ปรางค์ชัย จ.นครราชสีมา

ทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.จรียา ยัมรัตน์บวร  
ผู้ร่วมงานวิจัย รศ.ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ที่มาและความสำคัญ



### ลักษณะของน้ำเสียฟอกย้อม

References	Parameter				
	pH	COD(mg/l)	Color	TSS(mg/l)	TDS(mg/l)
Priya et al.(2017)	5.5-10.5	350-700	-	200-1,100	1,500-2,200
Pirkarami et al.(2017)	8.27-9.71	267-714	-	73-328	1,724-5,381
Luong et al.(2016)	7.5±0.5	2,367±125	-	-	-
Francis and Sosamony (2016)	10-11	600-800	40-100	-	2,000-3,000
Kumar et al.(2014)	8-10	1400-1600	-	180-120	3,700-3,900
Eslami et al.(2013)	6.50	1,800	1,080(ADMI)	-	-
ShamimAhmedDeowan et al. (2013)	8.2±0.2-10.5±0.2	2,450	-	-	-
El-Gohary and Tawfik (2009)	8.8-9.4	595±131	-	276±76	-

## ที่มาและความสำคัญ (ต่อ)

### ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



ปริมาณน้ำเสียที่ไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณน้อย

การสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งของแต่ละสถานประกอบการจะไม่คุ้มทุน

การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางเพื่อบำบัดน้ำเสียทั้งหมด

เพื่อให้การแก้ไขปัญหาน้ำทิ้งฟอกย้อม เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

## วัตถุประสงค์

1

นำเสนอทางเลือกของระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อมอย่างน้อย 2 ทางเลือก ได้แก่ ระบบบำบัดทางเคมี ระบบบำบัดทางชีวภาพ หรือระบบแบบผสมผสาน เป็นต้น

2

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทางเลือกของระบบการบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อม เพื่อนำไปประเมินความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม

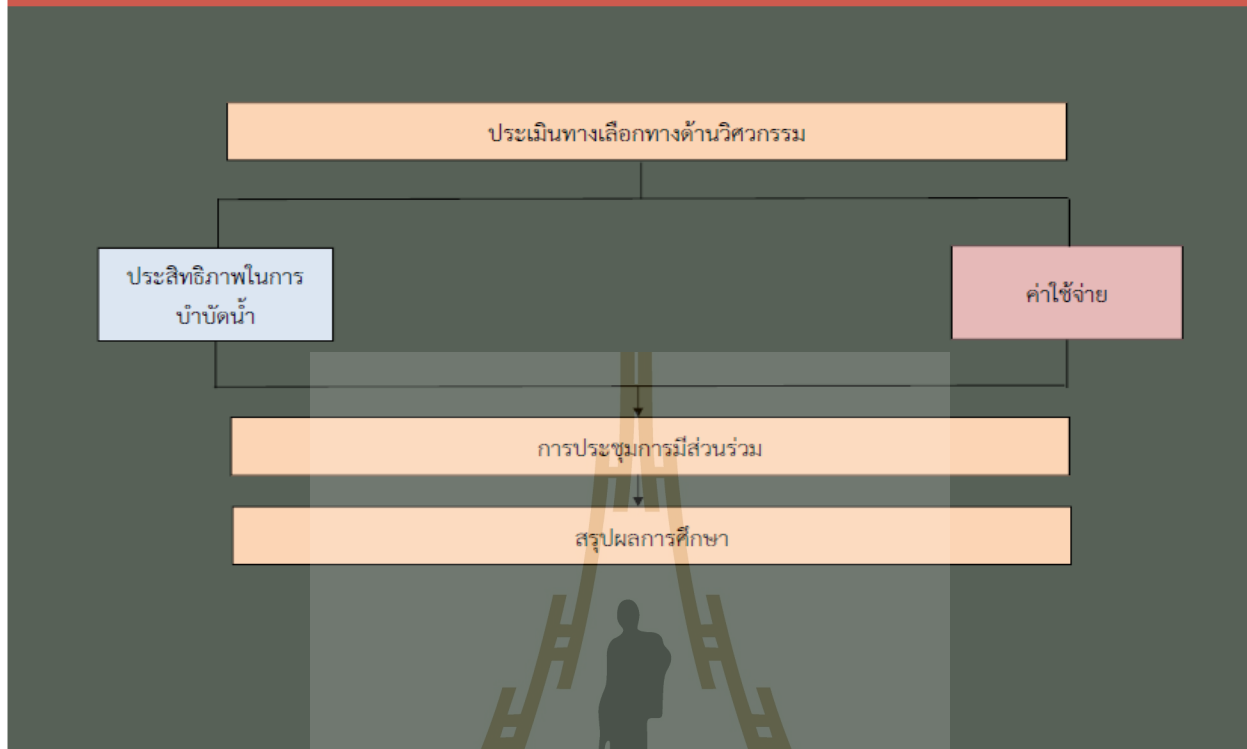
3

นำผลการศึกษาทางเลือกของระบบบำบัดน้ำทิ้งฟอกย้อม ผ่านกระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อให้ได้ระบบที่มีความเหมาะสมทั้งทางวิศวกรรมและเป็นที่ยอมรับของชุมชน

## วิธีการดำเนินการวิจัย



## วิธีการดำเนินการวิจัย (ต่อ)



## ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับวิสาหกิจชุมชน



### วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหม

- ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพ
- เหมาะกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดต่อวันไม่แน่นอน
- ระบบบำบัดน้ำเสียไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการดูแล
- ค่าใช้จ่ายในการสร้างและดูแลระบบไม่แพง

~~ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความยุ่งยากในการดูแลระบบ ค่าก่อสร้างระบบแพง และต้องการน้ำเข้าระบบในปริมาณที่คงที่~~



## ทางเลือกของระบบบำบัดน้ำเสีย

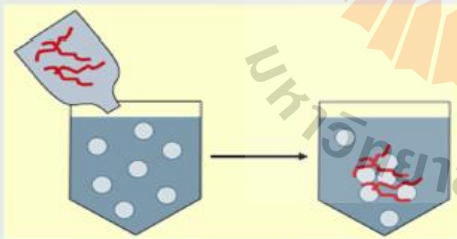


การ  
ตกตะกอน  
ด้วยเคมี

การดูดซับ

การย่อย  
สลายแบบ  
ไร้อากาศ  
โดยจุลินทรีย์

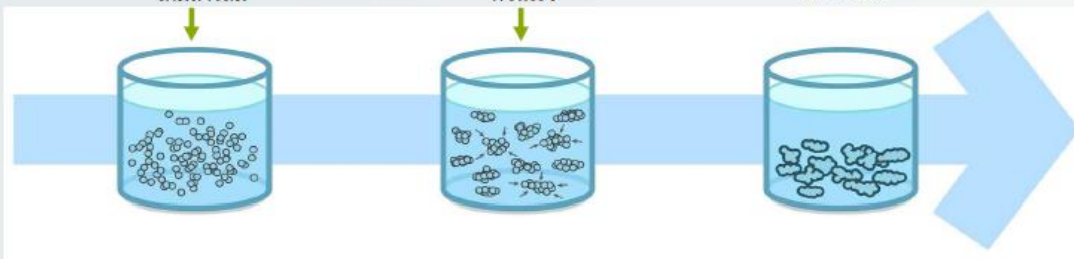
## ระบบบำบัดแบบ การตกตะกอนด้วยเคมี



เติมสารส้ม

กวนเร็ว

ตกตะกอน



## ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย

### ทางเลือกที่ 1 ระบบการตกตะกอนด้วยเคมี



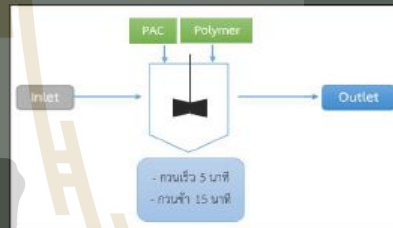
ข้อดี

- เหมาะสำหรับสีประเภทที่ไม่ละลายน้ำ
- ระบบไม่ซับซ้อน การควบคุมดูแลไม่ยุ่งยาก
- แยกตะกอนและสารแขวนลอยออกจากน้ำเสียได้หลายชนิด

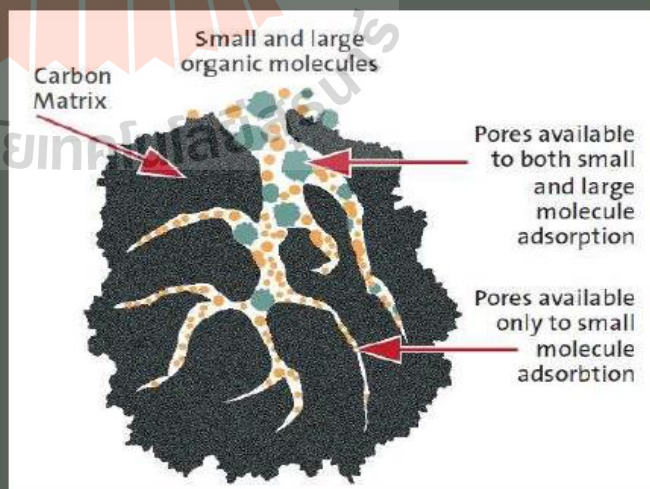
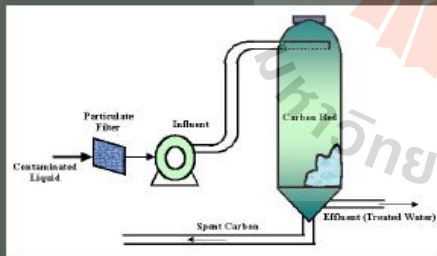


ข้อเสีย

- เกิดตะกอนขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งยุ่งยากในการกำจัด



## ระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์



## ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

### ทางเลือกที่ 2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

#### ข้อดี



- เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูง
- การเดินระบบและการดูแลรักษาระบบง่าย



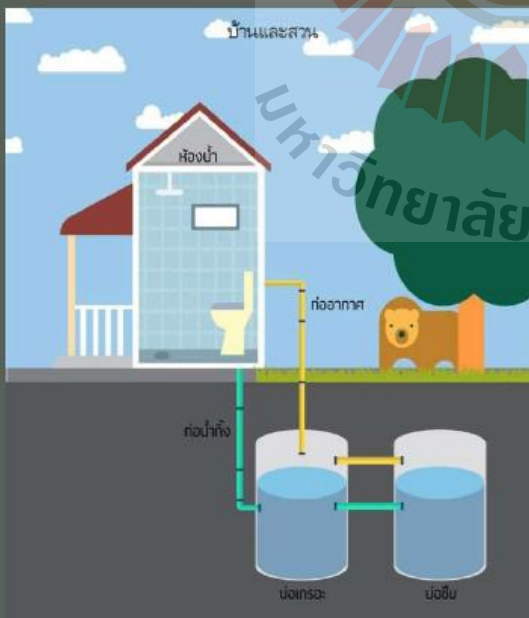
- การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงและเกิดปัญหาการอุดตัน



#### ข้อเสีย



## การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน



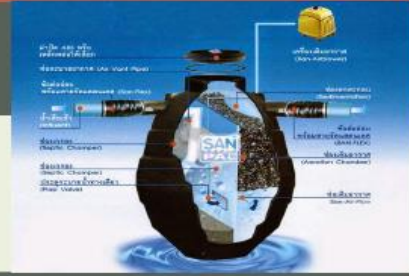
## ข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย (ต่อ)

### ทางเลือกที่ 3 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

#### ข้อดี



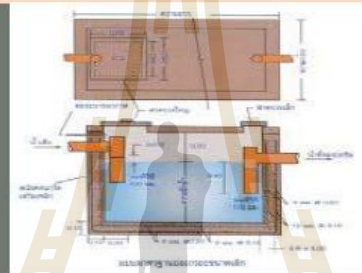
- สามารถลดค่าสี และ COD ในน้ำเสียได้
- การเดินระบบและการดูแลรักษาระบบง่าย



- น้ำเสียสิ่งทอบางชนิดมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดได้
- ต้องมีสารอาหารเพียงพอเพื่อไม่ให้จุลินทรีย์ในระบบตาย



#### ข้อเสีย



## ขอบเขตการศึกษา

2

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากสถานประกอบการ



น้ำฟอก



น้ำย้อม

น้ำฟอกย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้  
สีย้อมธรรมชาติ



น้ำฟอก



น้ำย้อม

น้ำฟอกย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้  
สีย้อมเคมี



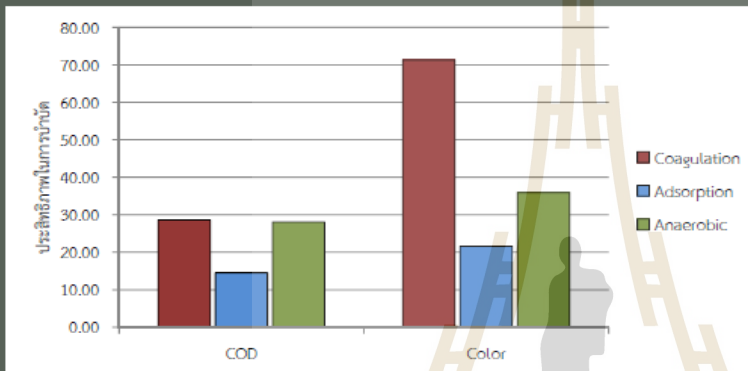
ผลการศึกษาวิจัย

สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำฟอก

ระบบ	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
	COD	สี
การตกตะกอนด้วยเคมี	28.56	71.31
การดูดซับ	14.55	21.62
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	28.03	35.93



ระบบการตกตะกอน  
ด้วยเคมี

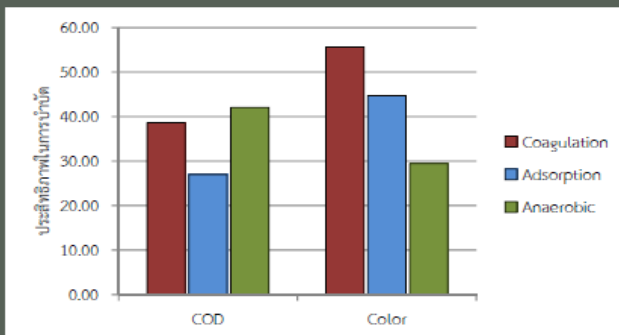
ผลการศึกษาวิจัย

สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำย้อม

ระบบ	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
	COD	สี
การตกตะกอนด้วยเคมี	38.61	55.62
การดูดซับ	26.99	44.70
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	42.05	29.46



ระบบการตกตะกอน  
ด้วยเคมี

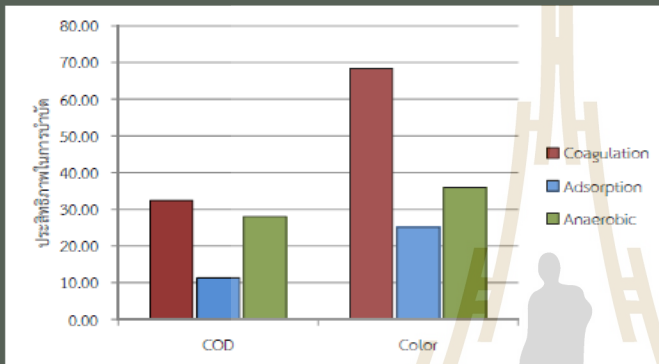
ผลการศึกษาวิจัย

สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำฟอก

ระบบ	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
	COD	สี
การตกตะกอนด้วยเคมี	32.42	68.39
การดูดซับ	11.35	25.08
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	28.03	35.93



การตกตะกอนด้วยเคมี

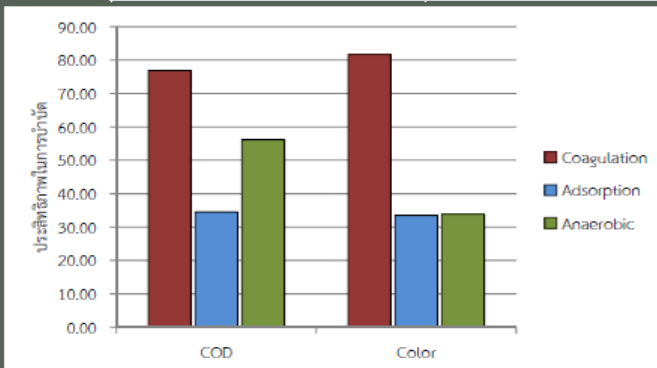
ผลการศึกษาวิจัย

การประเมินทางเลือกทางด้านวิศวกรรม

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี >> น้ำย้อม

ระบบ	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
	COD	สี
การตกตะกอนด้วยเคมี	76.92	81.69
การดูดซับ	34.47	33.49
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	56.19	33.84

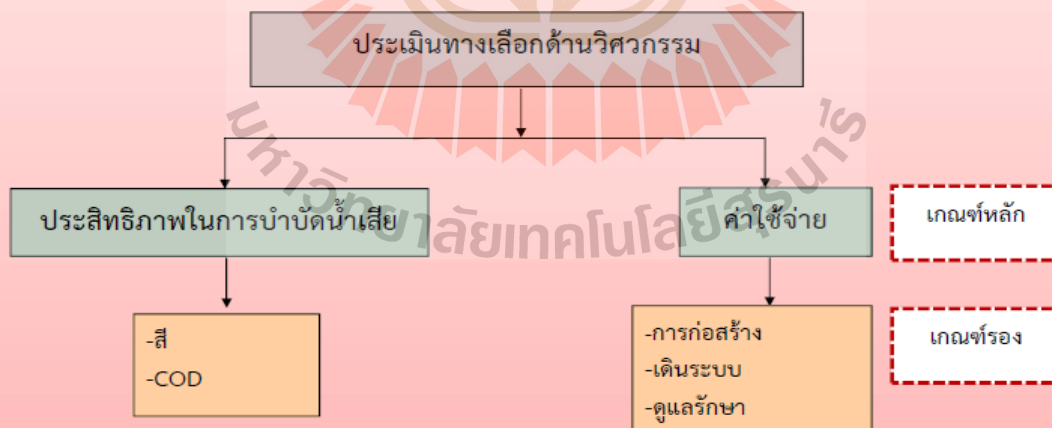


การตกตะกอนด้วยเคมี

## ค่าใช้จ่ายในการบำบัด

ระบบบำบัด	สถานประกอบการ	
	สียมธรรมชาติ	สียมเคมี
การตกตะกอนด้วยเคมี	8,700	9,770
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	7,000	7,000
การย่อยสลายแบบไร้อากาศ	9,600	9,600

## เกณฑ์ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย



ผลการประเมินทางเลือกระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับ  
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ระบบบำบัดน้ำเสีย	ประสิทธิภาพ	ค่าใช้จ่าย	รวมน้ำหนัก ความสำคัญ
การตกตะกอนด้วยเคมี	0.21	0.17	0.37
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	0.13	0.17	0.30
การย่อยสลายแบบไร้อากาศ	0.16	0.17	0.33



ระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับสีย้อมธรรมชาติ



ระบบบำบัดแบบ  
การตกตะกอนด้วยเคมี

การประเมินทางเลือกระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับ  
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ระบบบำบัดน้ำเสีย	ประสิทธิภาพ	ค่าใช้จ่าย	รวมน้ำหนัก ความสำคัญ
การตกตะกอนด้วยเคมี	0.28	0.17	0.37
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	0.09	0.17	0.30
การย่อยสลายแบบไร้อากาศ	0.13	0.17	0.33



ระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับสีย้อมเคมี



ระบบบำบัดแบบ  
การตกตะกอนด้วยเคมี

# ความคิดเห็นเกี่ยวกับ ผลการศึกษาโครงการวิจัย



27

จากผลการศึกษาของโครงการวิจัย



28

## ทางเลือกของระบบบำบัดน้ำเสีย

ทางเลือกที่ 1  
ระบบการตกตะกอนด้วยเคมี



ทางเลือกที่ 2  
ระบบย่อยสลายแบบ  
ไร้ออกซิเจน



ทางเลือกที่ 3  
ระบบการดูดซับ



29

จากผลการศึกษาของโครงการวิจัย

ท่านเห็นด้วยหรือไม่ในการจัดตั้งศูนย์กลางการ  
น้ำเสียในพื้นที่อำเภอปรางค์กู่

เห็นด้วย

ไม่เห็นด้วย

เฉยๆ



30

จากผลการศึกษาของโครงการวิจัย



จากผลการศึกษาของโครงการวิจัย







# จบการนำเสนอ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาคผนวก ซ

**บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

Tharika Kaenjun, Watcharapol Wonglertarak, Boonchai Wichitsathien and Jareeya Yimrattanabavorn. (2017). COMBINATION COAGULATION AND ADSORPTION PROCESSES FOR TREATING TEXTILE WASTEWATER IN HOUSEHOLD INDUSTRY. Seventh International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Mie, Japan, Nov. 21-24, 2017

- Yimrattanabavorn, J., Kaenjun, T., Wonglertarak and Wichitsathian, W., (2018). Combination Coagulation and adsorption processes for treating textile wastewater in household industry, International Journal of GEOMATE. Vol.15, No.51, 16-21
- J. Yimrattanabavorn, T. Kaenjun , W. Wonglertarak and B. Wichitsathian. (2018). Comparison of Natural Dyes Removal by Coagulation Process with Different Coagulants. The IWA Regional Conference on Opportunity for Water Reuse in Southeast Asia, October 30 - November 02, 2018, Phuket, Thailand.

# Comparison of Natural Dyes Removal by Coagulation Process with Different Coagulants

J. Yimrattanasavorn <sup>a,\*</sup>, T. Kaenjan <sup>b</sup>, W. Wongleertarak <sup>c</sup> and B. Wichitsathian <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Assistant Professor, <sup>b</sup> Master student, <sup>c</sup> Doctoral student, <sup>d</sup> Associate Professor School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Ave., Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000.  
<sup>\*</sup> E-mail: [chareerat@iessut.ac.th](mailto:chareerat@iessut.ac.th)

## Abstract

The natural dyes is interesting alternative dye because it can be derived from almost anything plants, minerals, and even some insects. The advantage of natural dyes is eco-friendly, do not create any environmental problems at the stage of production and do not affect the health. Thus, the household textile industry in Thailand, especially Thai silk enterprises, has used natural dyes. However the wastewater should be removed completely before they are discharged into received water. The aim of this study was using the Poly aluminum chloride (PAC) and Ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>) as coagulants to removal natural dyes from textile wastewater of Bandu enterprises. The wastewater samples which used lac (*Laccifer Lacca Kerr.*) khe (*Machura cochinchinensis Corner*) and golden shower pods (*Cassia fistula*) as natural dyes. The optimum conditions for each coagulation studies were set to measure the COD and color removal efficiencies. The color removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 94.65 and 62.76 % for lac, 75.50 and 79.30 % for khe, 30.41 and 4.20 % for golden shower pods respectively. And the COD removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 33.33 and 23.64 % for lac, 60.00 and 73.33 % for khe, 22.47 and 0.00 % for golden shower pods respectively. It can be concluded that coagulation-flocculation had effective in removal natural dyes both lac and khe but less effective for golden shower pods. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## Keywords:

Natural dye; Coagulation process; Textile household industry; Lac; Khe; Golden shower pods.

## INTRODUCTION

Textile wastewater is a considerable source of environmental contamination due to its strong color, high pH and chemical oxygen demand (COD). The discharge of textile wastewater not only has diverse aesthetic effects, but such discharge can be carcinogenic, mutagenic and generally detrimental to our environment (Chandra,2016; Santos et al.,2008). The textile industry is moving towards the directions of the eco-friendly technologies (Liu et al.,2013). Among those technologies, the applications of natural extracts including dyes have received much attention (Bechtold et al.,2003). The natural dyes is interesting alternative dye because it can be derived from almost anything plants, minerals, and even some insects. The advantage of natural dyes is eco-friendly, do not create any environmental problems at the stage of production and do not affect the health (Rubia et al.,2016). Thus, the household textile industry in Thailand, especially Thai silk enterprises, has used natural dyes. However, it should be removed completely from wastewater before they are discharged into received water because it is contaminated with strong color and high COD. Although it does not affect to human health, but it will affect the scenery of the received water. Conventional treatment methods such as biological, anaerobic microbial degradation, adsorption, chemical oxidation, membrane separation process, electro-chemical are generally unsuccessful for the removal of wastewater containing dyes (Santos et al.,2008) and unsuitable for use in textile household industry because their treatment methods requires a lot of space to build a system, high cost and difficult to operate. Coagulation is widely used processes due to their relatively simple operation and low cost (Chen et al., 2010) thus it is interesting alternative wastewater system for the textile household industry. The wastewater from the textile household industry

production process is not stable and has different characteristics because in dyeing process uses natural dyes, which are extract from the animal or plants to get the desired color. Therefore, it is important to use several types of coagulants to treat natural dye from wastewater. The aim of this study was using the Poly aluminium chloride (PAC) and Ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>) as coagulants to removal natural dyes from textile wastewater of household industry for support eco-friendly technologies and the development of clean products to cost-effective value added textile products (Bechtold et al., 2007). The optimum conditions for each type of coagulant were finding and compare the performance of COD and color removal efficiencies. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## MATERIALS AND METHODS

The scope of this study was carried out to investigate wastewater treatment of textile household industry on the sub-district namely Pak Thong Chai, Pak Thong Chai district, this district is in the southern part of Nakhon Ratchasima Province, northeastern Thailand as shown in Fig.1. And it is a famous place to produce textile products especially Thai silk. There are many groups of household industry. The sampling sites had used natural dyes in process namely, Bandu enterprises. Wastewater samples which contain of natural dye were collected. The natural dyes which were used in this study, were extracted from lac (*Laccifer Lacca Kerr.*), khe (*Machura cochinchinensis Corner*) and Golden shower pods (*Cassia fistula*).

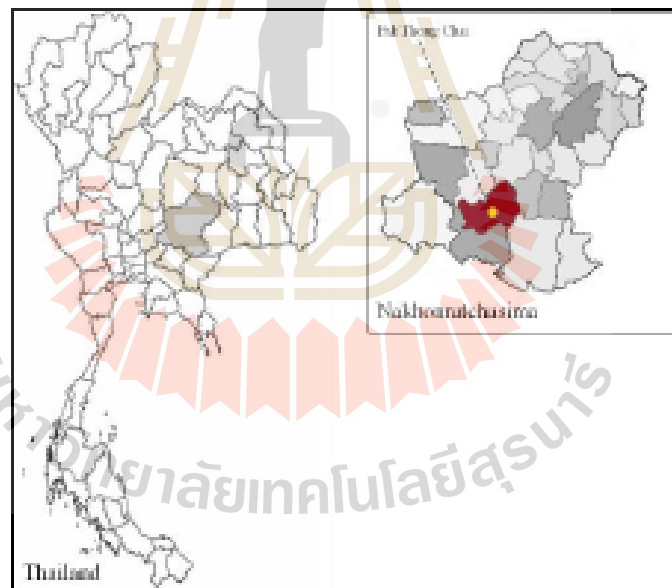


Fig. 1. The scope of this study namely Pak Thong Chai in the southern part of Nakhon Ratchasima Province.

### The Characteristics of Wastewater and Analytical Methods

The study was carried out to collect wastewater which contained different natural dyes; lac, khe and golden shower pods from Bandu enterprises, the textile household industry. Wastewater samples were analyzed for various parameters and analytical methods as shown in Table 1.

**Table 1** Parameter and analytical methods for wastewater

Parameter	Unit	Analytical methods (APHA et al,2012)
<b>Physical and Chemical quality</b>		
pH	-	pH Meter
Color	Pt-Co	2120 C.Spectrophotometric Method
COD	mg/L	5220 C.Closed Reflux
TS	mg/L	2540 B.Total Solid Dried at 103-105°C
TDS	mg/L	2540 C.Total Dissolve Solid Dried at 180°C
TSS	mg/L	2540 D.Total Suspended Solids Dried at 180°C
TVS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C
VSS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C
VDS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C

**The Coagulation-Flocculation Studies**

The procedure of coagulation-flocculation studies are presented in Fig. 2.

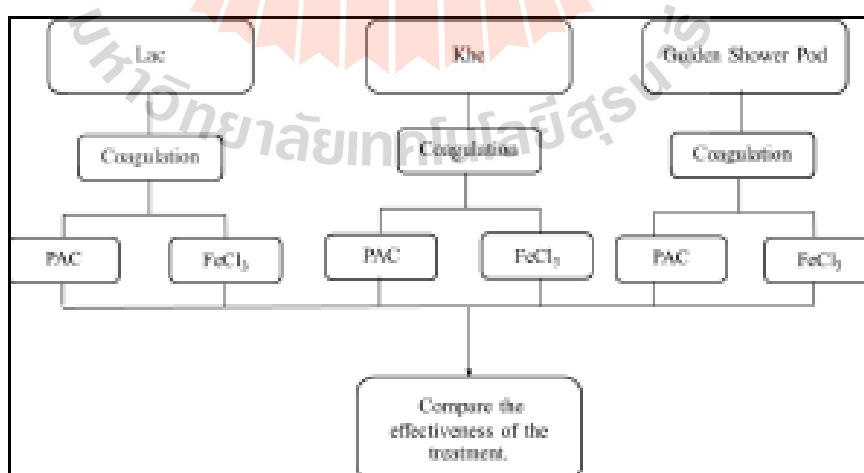
*The chemicals of coagulation-flocculation*

The coagulation-flocculation studies were carried out using the jar test method to determine the optimum pH range, suitable concentration of Poly aluminium chloride( $Al_2(OH)_5Cl_3$ ) or PAC (dosages 50 g/L) and Ferric chloride ( $FeCl_3$ ) (dosages 20 g/L) as coagulants, suitable concentration of polymer (dosages 1 g/L) as coagulation aid for each sampling wastewater. The selected varied coagulant dosages were added to 1,000 ml of solution and it was stirred for a period of 1 min at 200 rpm after rapid mixing. It was followed by a further slow mixing of 15 min at 40 rpm, Color and COD of supernatant were measured after settling for 30 min.

*The performance of coagulation-flocculation process*

The coagulation studies were carried out by using the optimum conditions which were found from the study of chemical of coagulation-flocculation. The COD and color removal efficiencies were calculated by using Eq. (1).

$$\% \text{ Removal Efficiency} = \frac{C_0 - C_2}{C_0} \times 100 \quad (1)$$



**Fig. 2** The procedure of study.

## RESULT AND DISCUSSION

### Characteristics of Textile Wastewater

As shown in Table 2, the results of raw wastewater characteristics were in the wide range of pH from 4.7-7.28, COD from 3,712-24,576 mg/l and color from 3,487.78-9,056.67 Pt-Co. These results indicated that the textile wastewater contained high of organic matter and color. These finding is the same as found in previous research of Yinrattanabovorn et al. (2018) and Chandran. (2016). The ratio of TDS/TS of all wastewater samples were in range of 0.72-0.96. These results indicated that textile wastewater contained dissolved solid more than 70% and the ratio of TVS/TS were in range of 0.73-0.80. These finding showed more than 70% of solid were organic matter. And as shown in Fig. 3 the characteristic of wastewater had ratio of VDS/TS were in range of 0.51-0.71. However, the ratio of FDS/TS were in range of 0.17-0.24. These indicated that the wastewater of natural dye contains mainly organic substances which were in soluble form. This might be because of the natural dyes which present in plants and animals are pigmentary molecules, that impart colour to the materials, they are organic matter (Jothi, 2008).

Table 2 The characteristics of textile wastewater of Bandu enterprises.

Parameter	Unit	Natural dyes			Mean	± S.D.
		Lac	Khe	Golden Shower Pods		
pH	-	4.7	7.28	5.42	5.80	1.09
COD	mg/l	4,664.00	3,712.00	24,576.00	10,984.00	9,618.85
Color	Pt-Co	3,487.78	8,801.11	9,056.67	7,115.19	2,567.08
TS	mg/l	2,427.33	1,626.00	24,710.00	9,587.78	10,698.03
TSS	mg/l	686	74	5,630.00	2,130.00	2,487.45
TDS	mg/l	1,741.33	1,552.00	19,080.00	7,457.78	8,218.52
TVS	mg/l	1,930.00	1198	19,710.00	7,612.67	8,559.32
VSS	mg/l	686	44	4,930.00	1,886.67	2,167.86
VDS	mg/l	1,244.00	1,154.00	14,780.00	5,726.00	6,402.25
TDS/TS	-	0.7174	0.9545	0.7722	0.81	0.10
TVS/TS	-	0.7951	0.7368	0.7977	0.78	0.03
TSS/TS	-	0.2826	0.0455	0.2278	0.19	0.10
VDS/TS	-	0.5125	0.7097	0.5981	0.61	0.08
FDS/TS	-	0.2049	0.2448	0.174	0.21	0.03

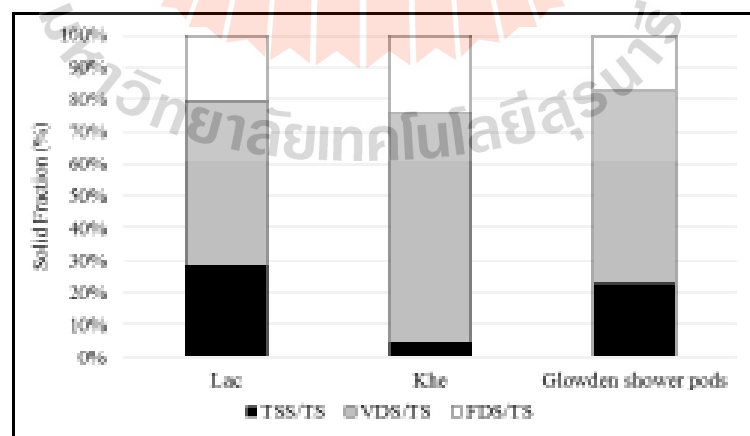


Fig. 3 The solid fraction of raw textile wastewater.

## The Coagulation-flocculation Studies

### The chemicals of coagulation-flocculation

The jar test was used to determine the optimal conditions for Coagulation process including coagulant types of PAC and  $FeCl_3$ , amount of coagulant and polymer and pH. The results of chemical coagulation-flocculation for lac, khe and golden shower pods are shown in Fig.4, 5 and 6 respectively. And the result of optimum conditions for coagulation-flocculation were concluded in Table 3. The results of optimum pH for lac had found in the same range of previous research of Yimrattanabavorn et al. (2018). The results showed  $FeCl_3$  had optimum pH in range of 5-8. These finding was supported that ferric species usually are in range of the pH between 4-8 and completely are insoluble form. The hydrolysis of  $FeCl_3$  generates ferric hydroxide particles. These particles agglomerate forming macroscopic flocs and are apparently readily adsorbed onto colloids (Kim et al., 2004).

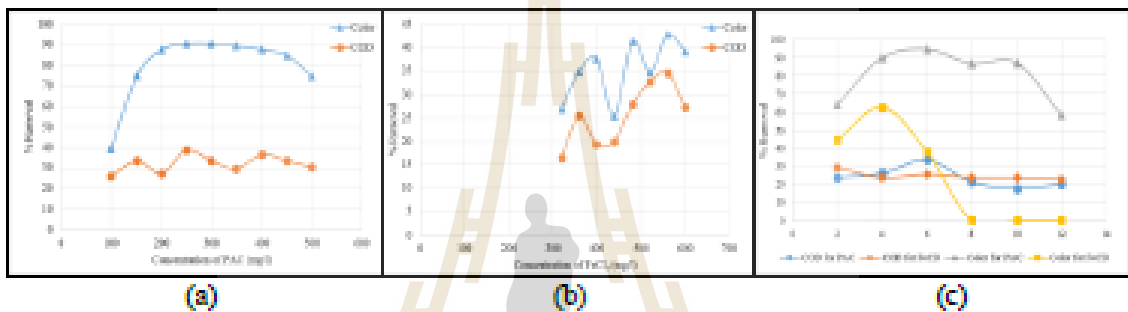


Fig. 4 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $FeCl_3$  (b) and pH (c) for lac

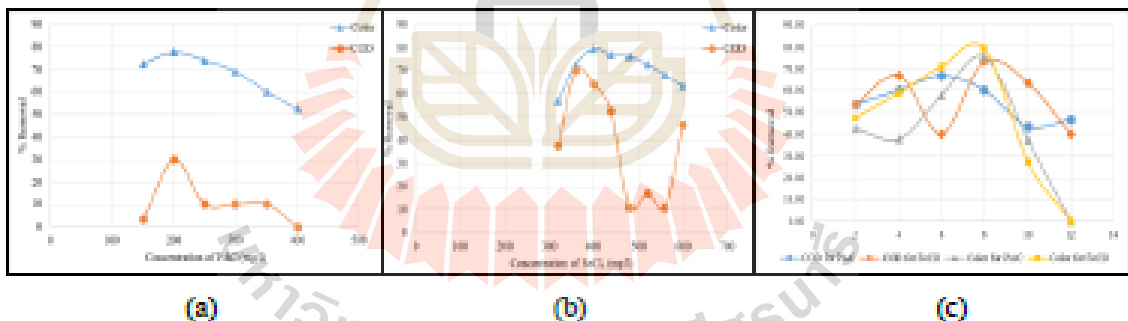


Fig. 5 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $FeCl_3$  (b) and pH (c) for khe

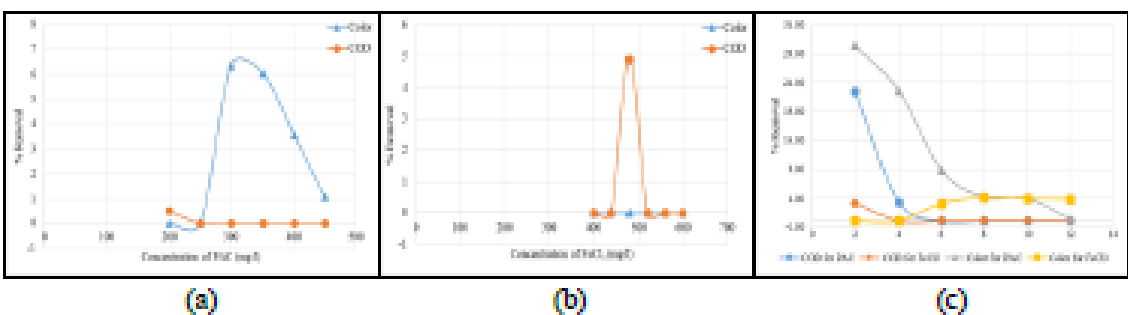


Fig. 6 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $FeCl_3$  (b) and pH (c) for golden shower pods

**Table 3** The conclusion of optimum conditions for coagulation process with PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulants.

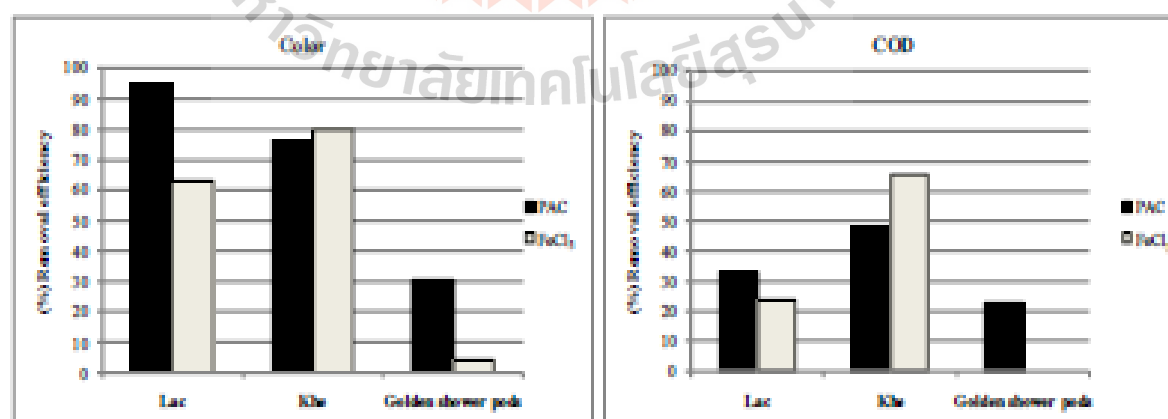
Natural dyes	PAC			FeCl <sub>3</sub>		
	Coagulant (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH	Coagulant (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
Lac	250	0.7	6	560	0.6	5
Khe	200	0.6	8	400	1	8
Golden Shower Pods	300	0.7	2	480	0.8	8

### The performance of coagulation process

The results of optimum conditions for coagulation process as summarized in Table 3 were carried out to treated raw wastewater from Bandu enterprises for measuring the performance of coagulation process. The wastewater samples before and after treated by coagulation process for using PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulant were analyzed COD and color. The removal efficiencies were calculated by using Eq. (1). The results of COD and color removal efficiencies were presented in Table 4 and Fig. 7. They showed the color removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 94.65 and 62.76 % for lac, 75.50 and 79.30 % for khe , 30.41 and 4.20 % for Golden shower pods respectively. And the COD removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 33.33 and 23.64 % for lac, 60.00 and 73.33 % for khe , 22.47 and 0.00 % for Golden shower pods respectively. In the studies using PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulant, it was found that all wastewater samples had color removal efficiency higher than COD. These finding are supported with the previous researches (Irfan et al., 2017; Kim et al., 2004).

**Table 4** The results of COD and color removal efficiencies of coagulation process

Natural dyes	Using PAC as Coagulant		Using FeCl <sub>3</sub> as Coagulant		% Removal for PAC		% Removal for FeCl <sub>3</sub>	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color	COD	Color
Lac	3,109.33	186.67	3,561.60	1,298.89	33.33	94.65	23.64	62.76
Khe	1,484.80	2,156.67	989.87	1,822.22	60.00	75.50	73.33	79.30
Golgen shower pods	19,054.93	6,302.22	24,746.67	8,676.67	22.47	30.41	0.00	4.20



**Fig. 7** The results of COD and color removal efficiencies for coagulation process of PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulants.



## CONCLUSION

In conclusion, the results showed using ferric chloride as coagulant is suitable for treat natural dyes from khe better than PAC with the removal efficiency of COD and color removal are 77.33 and 79.30 %. Whereas using PAC as coagulant is suitable to treat natural dyes of lac and golden shower pods better than ferric chloride with removal efficiency of COD and color are 33.33 and 94.65% for lac and removal efficiency of COD and color are 22.47 and 30.41% for golden shower pods. The result of this study indicate that coagulation process can be used as a pre or post-treatment process to conventional treatment methods such as biological, anaerobic microbial degradation and adsorption for improvement of removal efficiency for textile household industry. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## REFERENCES

- APHA, AWWA, and WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st ed. American Public Health Association, 2012.
- Deepa Chandran. (2016). A review of the textile industries wastewater treatment methodologies. *Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7, 392-403.
- D. Jothi. (2008). Extraction of natural dyes from African marigold flower (*TAGETES ERECTA L*) for textile coloration. *AUTEX Research Journal*, Vol.8, No.12. 49-53.
- J. Yimrattanasavorn, T. Kaenjun, W. Wonglertarak, B. Wichitsathian. (2018). Combination coagulation and adsorption processes for treating textile wastewater in household industry. *International Journal of GEOMATE*, Vol. 15(51), 16-21.
- L. Liu, J. Zhang, R. Tang. (2013). Adsorption and functional properties of natural lac dye on chitosan fiber. *Reactive & Functional Polymers*, Vol.73, 1559–1566.
- M. Irfan, T. Butt, N. Imtiaz, N. Abba, R. Khan, A. Shafique. (2017). The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2307–S2318
- Rubia, A. Bhardwaj. (2016). A review : natural colourants. *International journal of sciences & research technology*, 5(7), 778-781.
- T. Bechtold, A. Mahmud-Ali, R. Mussak. (2007). Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing. *Journal of the science of food and agriculture*. Vol. 87(14), 2589–2595.
- T. Bechtold, A. Turcanu, E. Ganglberger, S. Geissler. (2003). *Journal of Cleaner Production* 11, 499–509.
- T. Chen, B.Y. Gao and Q.Y. Yue. (2010). Effect of dosing method and pH on color removal performance and floc aggregation of polyferric chloride-polyamine dual coagulation in synthetic dyeing wastewater treatment. *Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 355, 121-129.
- T. Kim, C. Park, J. Yang, S. Kim. (2004). Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, B112, 95–103.
- S.C.R. Santos, V.J.P. Vilar, R.A.R. Boaventura. (2008). Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye. *Journal of Hazard. Mater*, Vol. 153, 999-1008.

## COMBINATION COAGULATION AND ADSORPTION PROCESSES FOR TREATING TEXTILE WASTEWATER IN HOUSEHOLD INDUSTRY

<sup>1</sup>Jareeya Yimrattanabavorn<sup>1</sup>, Tharika Kaenjun<sup>2</sup>, Watcharapol Wonglertarak<sup>3</sup> and Boonchai Wichitsathian<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

\*Corresponding Author, Received: 23 Nov. 2017, Revised: 9 April 2018, Accepted: 14 May 2018

**ABSTRACT:** Textile wastewater is a considerable source of environmental contamination due to its strong color, high pH and chemical oxygen demand (COD), and low biodegradability. The discharge of textile wastewater not only has diverse aesthetic effects, but such discharge can be carcinogenic, mutagenic and generally detrimental to our environment. Thus, textile wastewater should be removed completely before they are discharged into received water. Many methods have been reported for treating textile wastewater, among which coagulation and adsorption are widely used processes due to their relatively simple operation and low cost and suitable for household industry. The aim of this study was using the combination coagulation and adsorption processes to treat textile wastewater in household-scale industry. Coagulation performance and removal efficiencies in COD and color from four varies sources of textile wastewaters were investigated. The effluent from coagulation was treated with adsorption. The adsorption isotherm and removal efficiencies were investigated. The results showed the combination processes had the overall COD were in the range of 72.9-93.8% and color removal efficiencies were in the range of 70.6-98.5%. The results of coagulation study were found that in some cases of wastewater were effective in color removal but failed in COD removal, in another case, had failed in color but were effective in COD removal efficiencies. The results showed varies of pH had much affected on color removal efficiencies more than COD removal efficiencies. The further experiments should be carried out to improve the combination removal efficiencies for application as suitable for textile household industry.

*Keywords:* Coagulation, Adsorption, Textile wastewater, Household industry

### 1. INTRODUCTION

Textile wastewater is a considerable source of environmental contamination due to its strong color, high pH and chemical oxygen demand (COD), and low biodegradability. Due to toxic and carcinogenic effects of textile wastewater on living creatures and negative effects to photosynthetic activities of aquatic plants, removal of the coloring agent, and chemical complex compounds in wastewater appears to be very important for human health and environment [1,2]. Thus, textile wastewater should be removed completely before they are discharged into received water. Elimination of both dyes and COD in the textile wastewater by conventional wastewater treatment methods is very difficult. Conventional treatment methods such as biological, anaerobic microbial degradation, coagulation, adsorption and chemical oxidation, membrane separation process, electro-chemical are generally unsuccessful for the removal of wastewater containing dyes [2]. However, all of the methods suffered from one or another limitation. There is no single economically and technically viable method to solve this problem and usually two or three methods have to be a combination in order to achieve an adequate level of color and COD removal

[1]. Many methods have been reported for treating textile wastewater, among which coagulation and adsorption are widely used processes due to their relatively simple operation and low cost [3,4] thus they are suitable for household industry. In this study the coagulation and adsorption processes were selected as a combination to treat textile wastewater because of they were the most effective techniques for treatment textile wastewater and its simple design and low cost. The dyes of textile household industry can be classified as natural and synthetic which are complex organic molecules having groups such as azo, carbonyl, methane, nitro, quinoid, etc. [5]. The aim of this study was using the combination of coagulation and adsorption processes to treat textile wastewater in household industry. The performance of coagulation and adsorption processes were investigated in term of COD and color removal efficiencies. The outcome of this study could be applied to be used as the wastewater treatment process for textile household industry.

### 2. MATERIALS AND METHODS

The scope of this study was carried out to investigate wastewater treatment of textile household industry on the sub-district namely Pak

Thong Chai, Pak Thong Chai district, this district is in the southern part of Nakhon Ratchasima Province, northeastern Thailand as shown in Fig.1. And it is a famous place to produce textile products especially Thai silk. There are many groups of household industry. Thus, in this study divided the group of textile household industries in two groups according to dye type. The dyes can be classified as a natural and synthetic dye. The four sampling sites of textile household industries were selected; two sampling sites have used synthetic dyes in their process namely, Mudchada (MC) and Kayabatic (KY). Another two sampling sites have used natural dyes in their process namely, Bandu-Yellow (BY) and Bandu-Red (BR). The procedure of study is presented in Fig.2.

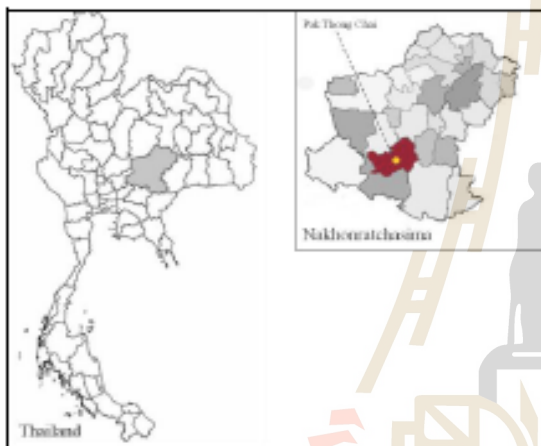


Fig. 1 The scope of this study namely Pak Thong Chai in the southern part of Nakhon Ratchasima Province

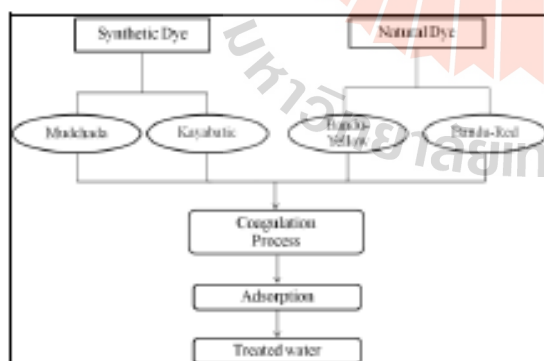


Fig. 2 The procedure of the study

### 2.1 The Characteristics of Wastewater and Analytical Methods

The study was carried out to collect raw wastewater from four sampling sites of textile

household industries were MC, KY, BY and BR. Wastewater samples were analyzed for various parameters and analytical methods as shown in Table 1.

Table 1 Parameter and analytical methods for wastewater

Parameter	Unit	Analytical methods[6]
Physical and Chemical quality		
pH	-	pH Meter
Color	Pt-Co	2120 C.Spectrophotometric Method
COD	mg/L	5220 C.Closed Reflux
TS	mg/L	2540 B.Total Solid Dried at 103-105°C
TDS	mg/L	2540 C.Total Dissolve Solid Dried at 180°C
TSS	mg/L	2540 D.Total Suspended Solids Dried at 180°C
TVS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile
VSS	mg/L	Solid Dried at 550°C
VDS	mg/L	

### 2.2 The Coagulation Process

#### 2.2.1 The chemicals of coagulation

The coagulation-flocculation studies were carried out using the jar test method to determine the optimum pH range, suitable volume of poly aluminum chloride (Al<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>) or PAC (dosages 50 g/L) and polymer (dosages 1 g/L) for each sampling wastewater.

#### 2.2.2 The performance of coagulation process

The coagulation studies were carried out by using the optimum pH range, volume of PAC and polymer from chemical of coagulation study. Calculated COD and color removal efficiencies by using Eq. (1).

$$\% \text{ Removal Efficiency} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

### 2.3 The Adsorption Process

#### 2.3.1 Adsorption isotherm

Adsorption isotherm studies were carried out at six different activated carbon (AC) mass (1, 2, 3, 4, 5 and 6 g.) which had Iodine was 1,015.30 mg/g. A series of 250 mL Erlenmeyer flask containing 200 mL of treated textile wastewater with coagulation process and required an amount of AC mass were mixed using the shaker at a constant agitation speed of 150 rpm. The sorbent was then separated by filtration. The filtration treated textile wastewater was measured color.

### 2.3.2 The performance of adsorption process

Batch adsorption experiments were performed as a function of varies pH (2, 4, 6, 8, 10, and 12). The conditions of the batch experiment are shown in Table 2. A series of 250 mL Erlenmeyer flask containing 100 mL of treated textile wastewater with coagulation process, 2 g of AC mass and required varies of pH were mixed using the shaker at a constant agitation speed of 150 rpm. The sorbent was then separated by filtration. The filtration treated textile wastewater was measured color. Influent and effluent of adsorption process were analyzed COD and color. Calculated COD and color removal efficiencies by using Eq. (1).

Table 2 The conditions of Batch adsorption experiments

Factor	MC	KY	BY	BR
Mass(g)	2	3	2.5	3
Temperature(°C)	25	25	25	25
Volume of Sample(mL)	100	100	100	100
Contact time(hr)	4,24	4,24	4,24	4,24
Agitation speed(rpm)	150	150	150	150
pH	2,4,6,8,10,12			

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Characteristics of Textile Wastewater

As shown in Table 3, The results of raw wastewater characteristics were in the wide range of COD from 2.73-84.61 g/L, pH from 4.1-9.7 and color from 543-51,867 Pt-Co. The ratio of TDS/TS of all wastewater samples were in the range of 0.85-0.98. These results indicated that raw wastewater contained dissolved solid more than 80%. And in Fig.3 showed the raw wastewater of synthetic dye group, MC and KY had the ratio FDS/TS higher than the natural dye group of BY and BR. On the other hand, the natural dye group had the VDS/TS volatile dissolved solid higher than synthetic dye group. These indicated that raw wastewater of natural dye contains mainly organic substances which were in form of dissolved solids. The natural dye extracted from many kinds of plants which are organic matter. Whereas the synthetic dye group contained mainly complex organic molecules having a group such as azo, carbonyl, methane, nitro, quinoid, etc. [5]. These results similar to many types of research [7] that reported wastewater from textile industries contains low biodegradability and had different types of dyes, which because of high molecular weight and complex structures.

Table 3 The characteristic of raw textile wastewater from household industry

Parameter	Synthetic Dye		Natural Dye	
	MC	KY	BY	BR
COD (g/L)	2.87	2.73	84.61	10.71
pH	6.1	9.7	8.9	4.1
Color(Pt-Co)	543	9,671	51,867	5,650
TS (g/L)	11.83	2.93	72.04	6.73
TSS (g/L)	0.19	0.10	10.58	0.35
TDS (g/L)	11.64	2.83	61.46	6.38
TVS (g/L)	2.30	1.26	47.26	6.67
VSS (g/L)	0.12	0.14	9.73	0.78
VDS (g/L)	2.18	1.11	37.52	5.90
VS/TS	0.19	0.43	0.66	0.99
TDS/TS	0.98	0.97	0.85	0.95
VDS/TS	0.18	0.38	0.52	0.86

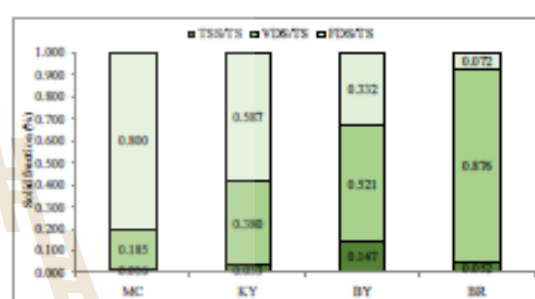


Fig. 3 The solid fraction of raw textile wastewater

### 3.2 The Coagulation Process

#### 3.2.1 The chemicals of coagulation

The results of coagulation studies were carried out to determine the chemicals and optimum pH for coagulation process. They were found the optimum pH were in range of 9 and 6 for synthetic dye group and for natural dye group respectively as shown in Fig 4 and the volume of PAC and polymer were 5 mL (Dosages PAC is 50,000 mg/L) and 0.4 mL (Dosages Polymer is 1,000 mg/L) for synthetic dye group and were 9 mL and 0.4 mL for natural dye group respectively as shown in Fig.5 and 6.

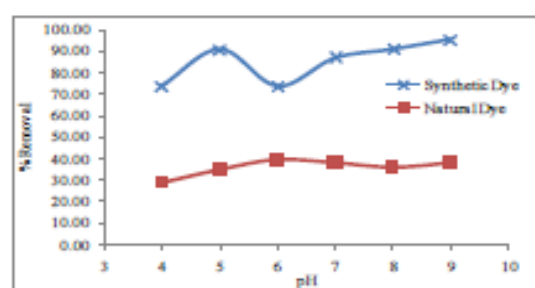


Fig. 4 The Results of coagulation studies to determine the optimum pH

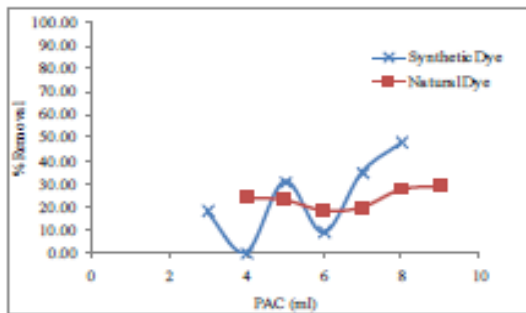


Fig. 5 The Results of coagulation studies to determine the optimum PAC

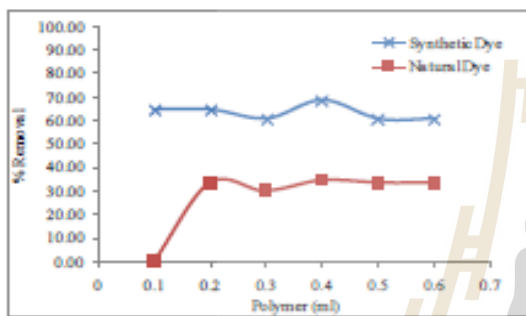


Fig. 6 The Results of coagulation studies to determine the optimum polymer

3.2.2 The performance of coagulation process

The results of optimum conditions for coagulation process as summarized in Table 4 were carried out to treated raw wastewater from four sampling sites for measuring the performance of coagulation process. The wastewater samples before and after treated by coagulation process were analyzed COD and color and calculated the removal efficiencies. The results of COD and color removal efficiencies of coagulation process were presented in Fig.7 and Table 5. They showed MC and BR had the same range of COD removal efficiencies were 44.44 and 46.86% respectively in the similar range of COD removal efficiencies only 6.06 and 9.62%. In previous research of [8], It was reported that coagulation process could reduce COD in range of 10.3-54 %. The other hand, KY and BY had Whereas, the color removal efficiencies KY and BY higher than MC and BR. And coagulation process

showed none of color removal efficiencies from wastewater of BR. The mechanism of coagulation applied to decolorize wastewater is still not clear, color removal by coagulation is found in some cases very effective, in another case however, has failed at all [9]. The efficiency of the coagulation-flocculation method depends on the raw wastewater characteristics, pH and temperature of the solution, the type and dosage of coagulants, and the intensity and duration of mixing [10].

Table 4 The conclusion of optimum conditions for coagulation process

Sample		Optimum Condition		
		PAC (mL) <sup>a</sup>	Polymer (mL) <sup>b</sup>	pH
Synthetic Dye	MC	5	0.4	9
	KY	5	0.4	9
Natural Dye	BY	9	0.4	6
	BR	9	0.4	6

<sup>a</sup>: dosages PAC is 50 g/L

<sup>b</sup>: dosages Polymer is 1 g/L

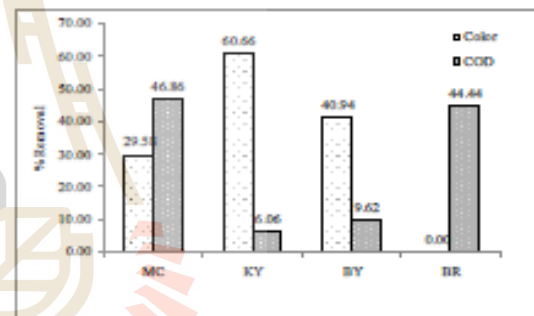


Fig. 7 The results of COD and color removal efficiency of the coagulation process

3.3 The Adsorption Process

3.3.1 Adsorption isotherm

Langmuir and Freundlich isotherms are widely recognized and have been successfully applied to defining many adsorption equilibriums and evaluate adsorption equilibrium of dyes from the effluent of coagulation. Therefore, dye adsorption data were analyzed by Langmuir and Freundlich Eq. (2) and (3), respectively;

Table 5 The results of COD and color removal efficiencies of the coagulation process

Sample	Before Coagulation-Flocculation			After Coagulation-Flocculation			% Removal	
	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	Color	COD
MC	9.0	437	7,067	6.9	333	3,755	29.58	46.86
KY	9.0	9,778	7,533	5.1	3,847	7,076	60.66	6.06
BY	6.0	19,000	34,667	6.9	11,222	31,333	40.94	9.62
BR	6.1	4,507	1,200	4.2	5,248	667	0.00	44.44

$$\frac{C_e}{X} = \frac{C_e}{X_m} + \frac{1}{KX_m} \quad (2)$$

$$\log X = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Where K and  $X_m$  are Langmuir constants (L mg<sup>-1</sup>) and maximum monolayer adsorption capacity (mg g<sup>-1</sup>), respectively and Freundlich coefficients n and  $K_f$  is related to adsorption intensity and adsorption capacity, respectively. Isotherm coefficients of both models are given in Table 6. They were shown Freundlich isotherm are much closer to experimental points than Langmuir isotherm. The coefficients of determination,  $R^2$  of Freundlich isotherm were in the range of 0.8583-0.9973 and  $R^2$  of Langmuir isotherms were in the range of 0.6791-0.9940. MC had the highest adsorption capacity 1.39 Pt-Co/g.

### 3.3.2 The performance of adsorption process

Batch adsorption experiments were performed as a function of varies pH (2, 4, 6, 8, 10, and 12) in effluents after coagulation processes. Influent and effluent of adsorption process were analyzed COD and color. The Calculations of COD and color removal efficiencies were summarized in Fig.8 and 9 respectively.

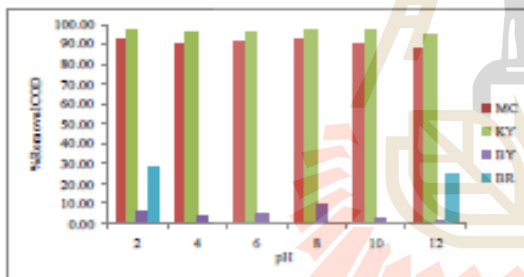


Fig.8 The performance of adsorption process in COD removal

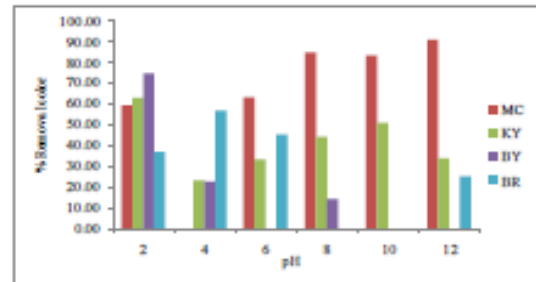


Fig.9 The performance of adsorption process in color removal

The results showed varies of pH had much affected on color removal efficiencies more than COD removal efficiencies. It was similar as reported in research of [11] that pH had affected on color adsorption capacity. In table 7, the optimum condition and removal efficiencies for adsorption processes were selected and concluded the performance of adsorption processes by consideration of effluent characteristics and standard.

### 3.4 The Performance of Combination Coagulation and Adsorption Processes

The conclusions of COD and color removal efficiencies for combination coagulation and adsorption processes are presented in Table 8. The overall removal efficiencies were calculated by selection optimum condition for coagulation and adsorption process under the characteristics of effluent and standard for textile effluent. The results showed the combination processes had the overall COD were in the range of 72.9-93.8% and color removal efficiencies were in the range of 70.6-98.5%. Although the performance of the combination processes obtained high removal efficiencies but the COD concentrations did not meet the standard for

Table 6 The constants of Langmuir and Freundlich isotherms for the adsorption process

Sample	Langmuir constant			Freundlich constant		
	$q_{max}$ (Pt-Co/g)	$K_L$ (L/g)	$R^2$	$K_f$ (Pt-Co/g)	n	$R^2$
MC	78.125	$6.57 \times 10^{-3}$	0.9994	1.39	1.49	0.9973
KY	-31.95	$-3.77 \times 10^{-4}$	0.9980	$2.92 \times 10^{-14}$	0.21	0.9354
BY	-212.77	$-8.10 \times 10^{-5}$	0.6791	$3.39 \times 10^{-22}$	0.16	0.8583
BR	294.11	$6.78 \times 10^{-4}$	0.9356	0.038	0.47	0.8770

Table 7 The selected performance of COD and color removal efficiencies of the adsorption process

Sample	Before Adsorption			After Adsorption			%Removal	
	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	Color	COD
MC	8.0	67	4,337	8.4	10	333	85.00	92.32
KY	8.0	2,730	9,131	8.9	1,529	280	44.00	96.93
BY	2.1	3,218	24,533	3.2	803	22,933	75.04	6.52
BR	2.0	2,621	933	4.1	1,663	667	36.54	28.57

Table 8 The conclusion of overall COD and color removal efficiencies for combination coagulation and adsorption processes

Sample	Influent			Effluent			% Of all removal efficiency	
	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	pH	Color(Pt-Co)	COD(mg/L)	Color	COD
MC	6.1	543	2,872	8.4	10	333	98.2	88.4
KY	9.7	9,671	2,733	8.9	1,529	280	84.2	89.8
BY	8.9	51,867	84,614	3.2	803	22,933	98.5	72.9
BR.	4.1	5,650	10,708	4.1	1,663	667	70.6	93.8

industry effluent. Our studies are going on to improve the removal efficiencies of this combination system such as using the other type of coagulants and optimum conditions for adsorption process.

#### 4. CONCLUSION

In conclusion, the results showed the combination processes had the overall COD were in the range of 72.9-93.8% and color removal efficiencies were in the range of 70.6-98.5%. The results of coagulation study were found that in some cases of wastewater from MC and BY were effective in color removal but failed in COD removal, in another case, wastewater from KY and BR, had failed in color but were effective in COD removal efficiencies. The results showed varies of pH had much affected on color removal efficiencies more than COD removal efficiencies. The further experiments should be carried out to improve the combination removal efficiencies for application as suitable for textile household industry.

#### 5. ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Suranaree University of Technology, Thailand.

#### 6. REFERENCES

- [1] Deepa C., A review of the textile industries wastewater treatment methodologies, *J. of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7, Jan. 2016, pp. 392-403.
- [2] Santos S.C.R., Vilas V.J.P., and Boaventura R.A.R., Waste metal hydroxide sludge as an adsorbent for a reactive dye, *J. of Hazard. Mater.* Vol. 153, 2008, pp. 999-1008.
- [3] Gercel O., Ozcan A., Ozan A.S. and Gercel H.F., Preparation of activated carbon from a renewable bio-plant of *Euphorbia rigida* by  $H_2SO_4$  activation and its adsorption behavior in aqueous solutions, *J. of Applied Surface Science*, Vol. 253, Mar. 2007, pp. 4843-4852.
- [4] Chen T., Gao B.Y. and Yue Q.Y., Effect of dosing method and pH on color removal performance and floc aggregation of polyferric chloride-polyamine dual coagulation in synthetic dyeing wastewater treatment, *J. of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 355, Feb. 2010, pp. 121-129.
- [5] Aci F., Nebioglu M., Arslan M., Imamoglu M., Zengin M. and Kucukislamoglu M., Preparation of activated carbon from sugar beet molasses and adsorption of methylene blue, *J. of Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 17, 2008, pp. 997-1001.
- [6] APHA, AWWA, and WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st ed. American Public Health Association, 2012.
- [7] Verma A.K., Dash R.R. and Bhunia P., A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *J. of Environmental Management*, Vol. 93, Jan. 2012, pp. 154-168.
- [8] Saraswati R. and Suresh S., Comparison of different Coagulants for Reduction of COD from Textile industry wastewater, in Proc. 5th Int. Conf. on Materials Today, 2017, pp. 567-574.
- [9] Janeczko M. and Gaydarazhiev S., Removal of dyes from textile effluents by chemical coagulation, in Proc 23rd Int. Conf. on International Mineral Processing Congress, 2006, pp. 2163-2167.
- [10] Wong P.W., Teng T.T. and Nik Norulaini N.A.R., Efficiency of the Coagulation-Flocculation Method for the Treatment of Dye Mixtures Containing Disperse and Reactive Dye, *J. of Water Quality Research Journal of Canada*, Vol. 42, 2007, pp. 54-62.
- [11] Elmoutbarki R., Mahjoubi F.Z., Tounsadi H., Moustadraf J., Abdennouri M., Zouhri A., El Albani A. and Barka N., Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: Kinetics, equilibrium and thermodynamics, *J. of Water Resources and Industry*, Vol. 9, 2015, pp. 16-29.

Copyright © Int. J. of GEOMATE. All rights reserved, including the making of copies unless permission is obtained from the copyright proprietors.

# Comparison of Natural Dyes Removal by Coagulation Process with Different Coagulants

J. Yimrattanabavorn<sup>a,\*</sup>, T. Kaenjun<sup>b</sup>, W. Wonglertarak<sup>c</sup> and B. Wichitsathian<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Assistant Professor, <sup>b</sup> Master student, <sup>c</sup> Doctoral student, <sup>d</sup> Associate Professor School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Ave., Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000.

\* E-mail: [chareeya@sut.ac.th](mailto:chareeya@sut.ac.th).

## Abstract

The natural dyes is interesting alternative dye because it can be derived from almost anything plants, minerals, and even some insects. The advantage of natural dyes is eco-friendly, do not create any environmental problems at the stage of production and do not affect the health. Thus, the household textile industry in Thailand, especially Thai silk enterprises, has used natural dyes. However the wastewater should be removed completely before they are discharged into received water. The aim of this study was using the Poly aluminium chloride (PAC) and Ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>) as coagulants to removal natural dyes from textile wastewater of Bandu enterprises. The wastewater samples which used lac (*Laccifer Lacca Kerr.*) khe (*Maclura cochinchinensis Corner*) and golden shower pods (*Cassia fistula*) as natural dyes. The optimum conditions for each coagulation studies were set to measure the COD and color removal efficiencies. The color removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 94.65 and 62.76 % for lac, 75.50 and 79.30 % for khe, 30.41 and 4.20 % for golden shower pods respectively. And the COD removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 33.33 and 23.64 % for lac, 60.00 and 73.33 % for khe, 22.47 and 0.00 % for golden shower pods respectively. It can be concluded that coagulation-flocculation had effective in removal natural dyes both lac and khe but less effective for golden shower pods. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## Keywords:

Natural dye; Coagulation process; Textile household industry; Lac; Khe; Golden shower pods.

## INTRODUCTION

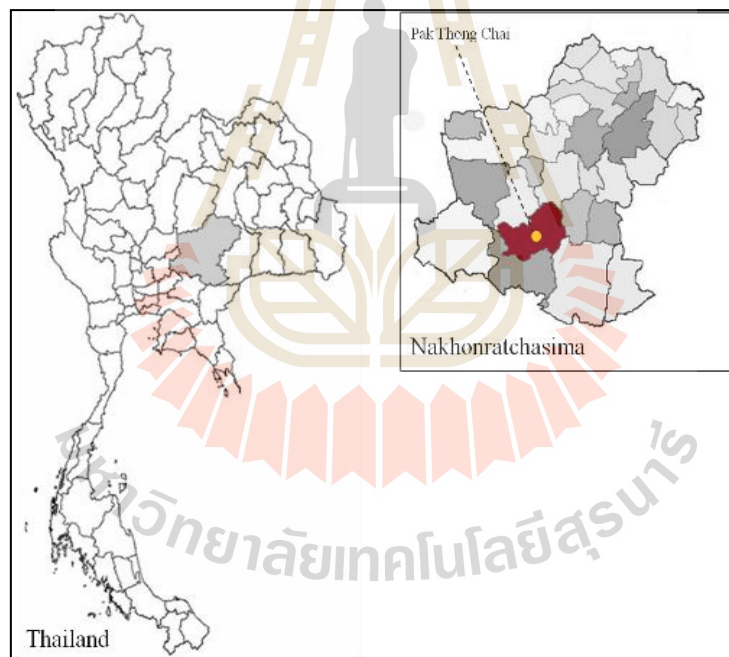
Textile wastewater is a considerable source of environmental contamination due to its strong color, high pH and chemical oxygen demand (COD). The discharge of textile wastewater not only has diverse aesthetic effects, but such discharge can be carcinogenic, mutagenic and generally detrimental to our environment (Chandra,2016; Santos et al.,2008). The textile industry is moving towards the directions of the eco-friendly technologies (Liu et al.,2013). Among those technologies, the applications of natural extracts including dyes have received much attention (Bechtold et al.,2003). The natural dyes is interesting alternative dye because it can be derived from almost anything plants, minerals, and even some insects. The advantage of natural dyes is eco-friendly, do not create any environmental problems at the stage of production and do not affect the health (Rubia et al.,2016). Thus, the household textile industry in Thailand, especially Thai silk enterprises, has used natural dyes. However, it should be removed completely from wastewater before they are discharged into received water because it is contaminated with strong color and high COD. Although it does not affect to human health, but it will affect the scenery of the received water. Conventional treatment methods such as biological, anaerobic microbial degradation, adsorption, chemical oxidation, membrane separation process, electro-chemical are generally unsuccessful for the removal of wastewater containing dyes (Santos et al.,2008) and unsuitable for use in textile household industry because their treatment methods requires a lot of space to build a system, high cost and difficult to operate. Coagulation is widely used processes due to their relatively simple operation and low cost (Chen et al., 2010) thus it is interesting alternative wastewater system for the textile household industry. The wastewater from the textile household industry



production process is not stable and has different characteristics because in dyeing process uses natural dyes, which are extract from the animal or plants to get the desired color. Therefore, it is important to use several types of coagulants to treat natural dye from wastewater. The aim of this study was using the Poly aluminium chloride (PAC) and Ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) as coagulants to removal natural dyes from textile wastewater of household industry for support eco-friendly technologies and the development of clean products to cost-effective value added textile products (Bechtold et al.,2007). The optimum conditions for each type of coagulant were finding and compare the performance of COD and color removal efficiencies. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## MATERIALS AND METHODS

The scope of this study was carried out to investigate wastewater treatment of textile household industry on the sub-district namely Pak Thong Chai, Pak Thong Chai district, this district is in the southern part of Nakhon Ratchasima Province, northeastern Thailand as shown in Fig.1. And it is a famous place to produce textile products especially Thai silk. There are many groups of household industry. The sampling sites had used natural dyes in process namely, Bandu enterprises. Wastewater samples which contain of natural dye were collected. The natural dyes which were used in this study, were extracted from lac (*Laccifer Lacca Kerr.*), khe (*Maclura cochinchinensis Corner*) and Golden shower pods (*Cassia fistula*).



**Fig. 1.** The scope of this study namely Pak Thong Chai in the southern part of Nakhon Ratchasima Province.

### The Characteristics of Wastewater and Analytical Methods

The study was carried out to collect wastewater which contained different natural dyes; lac, khe and golden shower pods from Bandu enterprises, the textile household industry. Wastewater samples were analyzed for various parameters and analytical methods as shown in Table 1.

**Table 1** Parameter and analytical methods for wastewater

Parameter	Unit	Analytical methods (APHA et al.,2012)
<b>Physical and Chemical quality</b>		
pH	-	pH Meter
Color	Pt-Co	2120 C.Spectrophotometric Method
COD	mg/L	5220 C.Closed Reflux
TS	mg/L	2540 B.Total Solid Dried at 103-105°C
TDS	mg/L	2540 C.Total Dissolve Solid Dried at 180°C
TSS	mg/L	2540 D.Total Suspended Solids Dried at 180°C
TVS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C
VSS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C
VDS	mg/L	2540 E. Fixed and Volatile Solid Dried at 550°C

### The Coagulation-Flocculation Studies

The procedure of coagulation-flocculation studies are presented in Fig. 2.

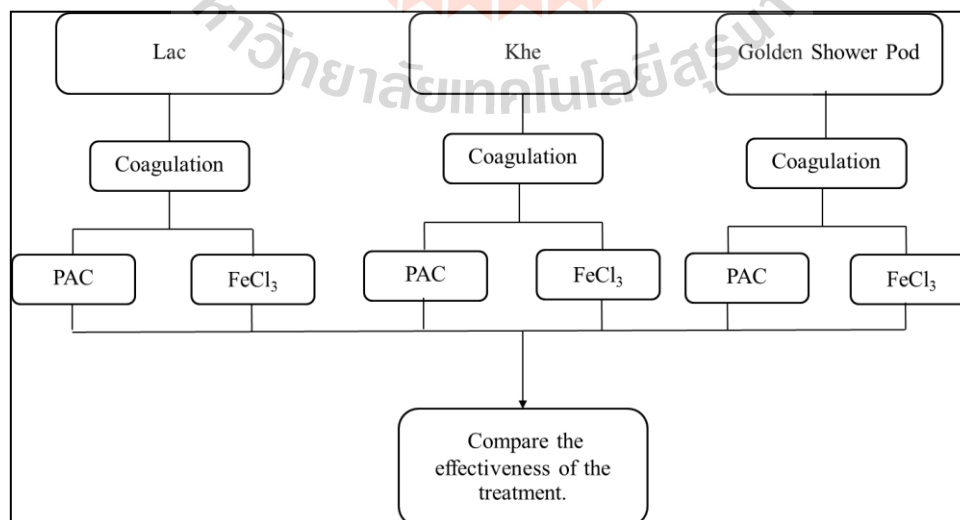
#### The chemicals of coagulation-flocculation

The coagulation-flocculation studies were carried out using the jar test method to determine the optimum pH range, suitable concentration of Poly aluminium chloride( $Al_2(OH)_3Cl_3$ ) or PAC (dosages 50 g/L) and Ferric chloride ( $FeCl_3$ ) (dosages 20 g/L) as coagulants, suitable concentration of polymer (dosages 1 g/L) as coagulation aid for each sampling wastewater. The selected varied coagulant dosages were added to 1,000 ml of solution and it was stirred for a period of 1 min at 200 rpm after rapid mixing. It was followed by a further slow mixing of 15 min at 40 rpm, Color and COD of supernatant were measured after settling for 30 min.

#### The performance of coagulation-flocculation process

The coagulation studies were carried out by using the optimum conditions which were found from the study of chemical of coagulation-flocculation. The COD and color removal efficiencies were calculated by using Eq. (1).

$$\% \text{ Removal Efficiency} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (1)$$



**Fig. 2** The procedure of study.

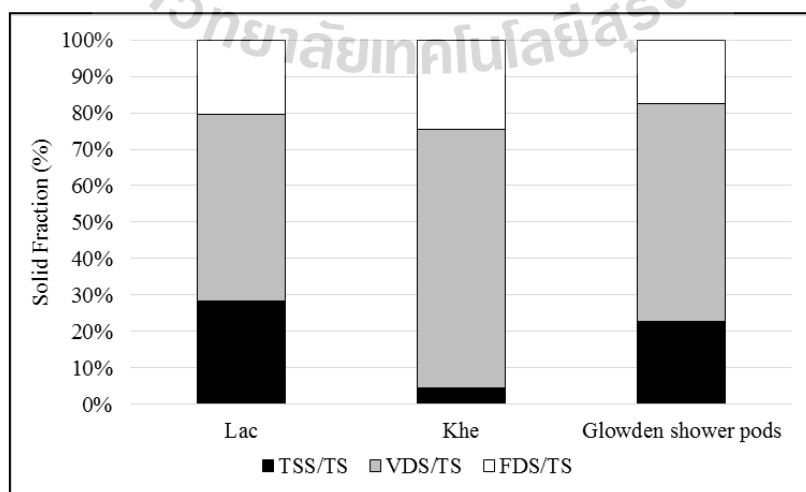
## RESULT AND DISCUSSION

### Characteristics of Textile Wastewater

As shown in Table 2, the results of raw wastewater characteristics were in the wide range of pH from 4.7-7.28, COD from 3,712-24,576 mg/l and color from 3,487.78-9,056.67 Pt-Co. These results indicated that the textile wastewater contained high of organic matter and color. These finding is the same as found in previous research of Yimrattanabovorn et al. (2018) and Chandran. (2016). The ratio of TDS/TS of all wastewater samples were in range of 0.72-0.96. These results indicated that textile wastewater contained dissolved solid more than 70% and the ratio of TVS/TS were in range of 0.73-0.80. These finding showed more than 70% of solid were organic matter. And as shown in Fig. 3 the characteristic of wastewater had ratio of VDS/TS were in range of 0.51-0.71. However, the ratio of FDS/TS were in range of 0.17-0.24. These indicated that the wastewater of natural dye contains mainly organic substances which were in soluble form. This might be because of the natural dyes which present in plants and animals are pigmentry molecules, that impart colour to the materials, they are organic matter (Jothi, 2008).

**Table 2** The characteristics of textile wastewater of Bandu enterprises.

Parameter	Unit	Natural dyes			Mean	± S.D.
		Lac	Khe	Golden Shower Pods		
pH	-	4.7	7.28	5.42	5.80	1.09
COD	mg/l	4,664.00	3,712.00	24,576.00	10,984.00	9,618.85
Color	Pt-Co	3,487.78	8,801.11	9,056.67	7,115.19	2,567.08
TS	mg/l	2,427.33	1,626.00	24,710.00	9,587.78	10,698.03
TSS	mg/l	686	74	5,630.00	2,130.00	2,487.45
TDS	mg/l	1,741.33	1,552.00	19,080.00	7,457.78	8,218.52
TVS	mg/l	1,930.00	1198	19,710.00	7,612.67	8,559.32
VSS	mg/l	686	44	4,930.00	1,886.67	2,167.86
VDS	mg/l	1,244.00	1,154.00	14,780.00	5,726.00	6,402.25
TDS/TS	-	0.7174	0.9545	0.7722	0.81	0.10
TVS/TS	-	0.7951	0.7368	0.7977	0.78	0.03
TSS/TS	-	0.2826	0.0455	0.2278	0.19	0.10
VDS/TS	-	0.5125	0.7097	0.5981	0.61	0.08
FDS/TS	-	0.2049	0.2448	0.174	0.21	0.03

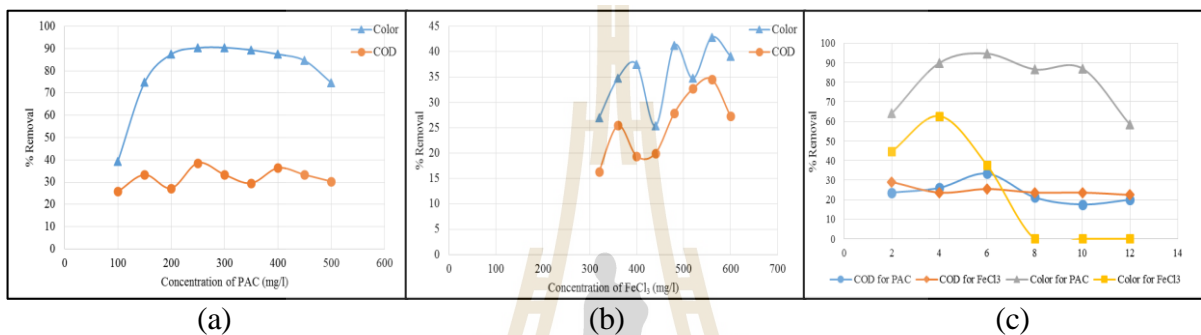


**Fig. 3** The solid fraction of raw textile wastewater.

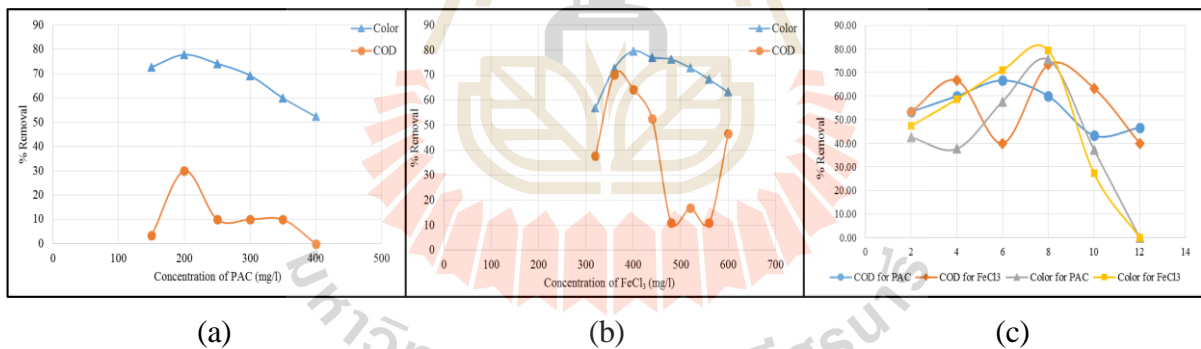
## The Coagulation-flocculation Studies

### The chemicals of coagulation-flocculation

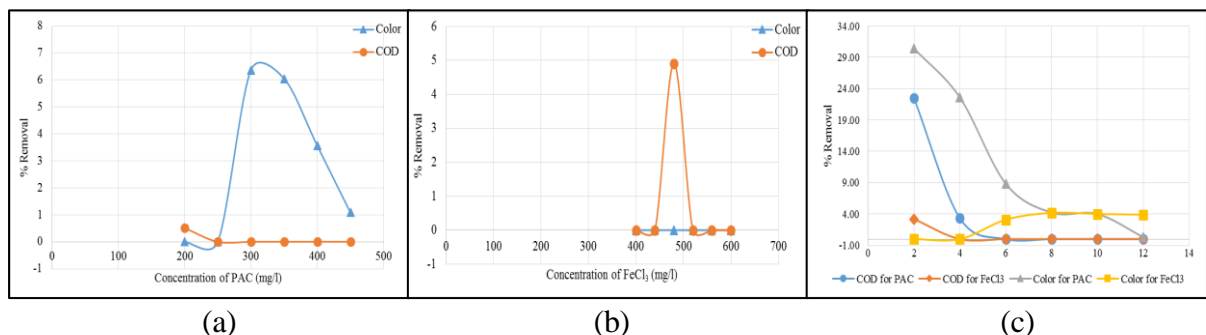
The jar test was used to determine the optimal conditions for Coagulation process including coagulant types of PAC and  $\text{FeCl}_3$ , amount of coagulant and polymer and pH. The results of chemical coagulation-flocculation for lac, khe and golden shower pods are shown in Fig.4, 5 and 6 respectively. And the result of optimum conditions for coagulation-flocculation were concluded in Table 3. The results of optimum pH for lac had found in the same range of previous research of Yimrattanabavorn et al. (2018). The results showed  $\text{FeCl}_3$  had optimum pH in range of 5-8. These finding was supported that ferric species usually are in range of the pH between 4-8 and completely are insoluble form. The hydrolysis of  $\text{FeCl}_3$  generates ferric hydroxide particles. These particles agglomerate forming macroscopic flocs and are apparently readily adsorbed onto colloids (Kim et al., 2004).



**Fig. 4** The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $\text{FeCl}_3$  (b) and pH (c) for lac



**Fig. 5** The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $\text{FeCl}_3$  (b) and pH (c) for khe



**Fig. 6** The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and  $\text{FeCl}_3$  (b) and pH (c) for golden shower pods

**Table 3** The conclusion of optimum conditions for coagulation process with PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulants.

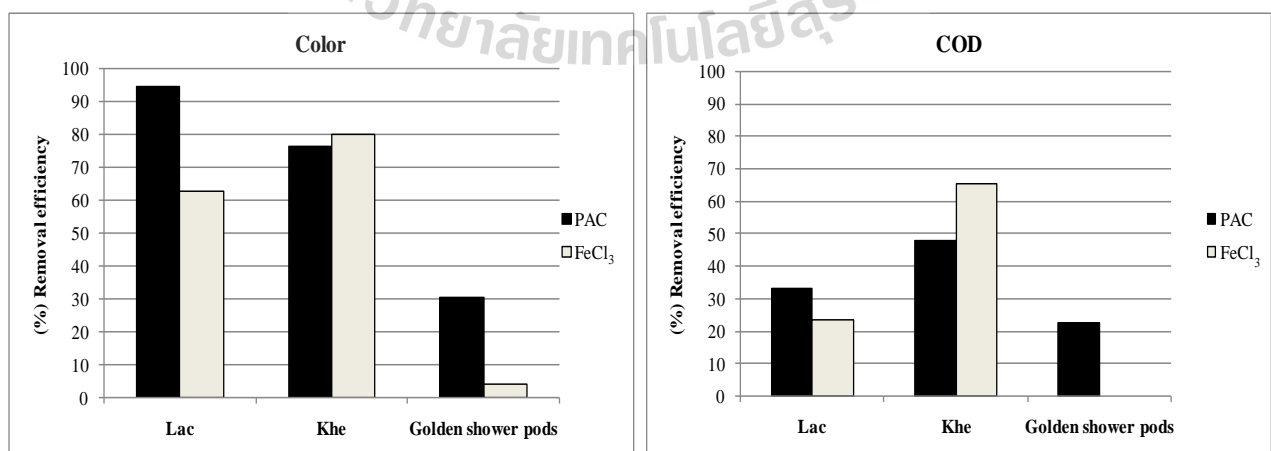
Natural dyes	PAC			FeCl <sub>3</sub>		
	Coagulant (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH	Coagulant (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
Lac	250	0.7	6	560	0.6	5
Khe	200	0.6	8	400	1	8
Golden Shower Pods	300	0.7	2	480	0.8	8

### The performance of coagulation process

The results of optimum conditions for coagulation process as summarized in Table 3 were carried out to treated raw wastewater from Bandu enterprises for measuring the performance of coagulation process. The wastewater samples before and after treated by coagulation process for using PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulant were analyzed COD and color. The removal efficiencies were calculated by using Eq. (1). The results of COD and color removal efficiencies were presented in Table 4 and Fig. 7. They showed the color removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 94.65 and 62.76 % for lac, 75.50 and 79.30 % for khe , 30.41 and 4.20 % for Golden shower pods respectively. And the COD removal efficiency for PAC and FeCl<sub>3</sub> were 33.33 and 23.64 % for lac, 60.00 and 73.33 % for khe , 22.47 and 0.00 % for Golden shower pods respectively. In the studies using PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulant, it was found that all wastewater samples had color removal efficiency higher than COD. These finding are supported with the previous researches (Irfan et al., 2017; Kim et al.,2004).

**Table 4** The results of COD and color removal efficiencies of coagulation process

Natural dyes	Using PAC as Coagulant		Using FeCl <sub>3</sub> as Coagulant		% Removal for PAC		% Removal for FeCl <sub>3</sub>	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color	COD	Color
Lac	3,109.33	186.67	3,561.60	1,298.89	33.33	94.65	23.64	62.76
Khe	1,484.80	2,156.67	989.87	1,822.22	60.00	75.50	73.33	79.30
Golgen shower pods	19,054.93	6,302.22	24,746.67	8,676.67	22.47	30.41	0.00	4.20



**Fig. 7** The results of COD and color removal efficiencies for coagulation process of PAC and FeCl<sub>3</sub> as coagulants.

## CONCLUSION

In conclusion, the results showed using ferric chloride as coagulant is suitable for treat natural dyes from khe better than PAC with the removal efficiency of COD and color removal are 77.33 and 79.30 %. Whereas using PAC as coagulant is suitable to treat natural dyes of lac and golden shower pods better than ferric chloride with removal efficiency of COD and color are 33.33 and 94.65% for lac and removal efficiency of COD and color are 22.47 and 30.41% for golden shower pods. The result of this study indicate that coagulation process can be used as a pre or post-treatment process to conventional treatment methods such as biological, anaerobic microbial degradation and adsorption for improvement of removal efficiency for textile household industry. The outcome of this study could be applied to treat wastewater from textile household industry.

## REFERENCES

- APHA, AWWA, and WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. American Public Health Association, 2012.
- Deepa Chandran. (2016). A review of the textile industries wastewater treatment methodologies. *Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7, 392-403.
- D. Jothi. (2008). Extraction of natural dyes from African marigold flower (*TAGETes EREECTA L*) for textile coloration. *AUTEX Research Journal*, Vol.8, No.12. 49-53.
- J. Yimrattanabavorn, T. Kaenjun, W. Wonglertarak, B. Wichitsathian. (2018). Combination coagulation and adsorption processes for treating textile wastewater in household industry. *International Journal of GEOMATE*, Vol. 15(51), 16-21.
- L. Liu, J. Zhang, R. Tang. (2013). Adsorption and functional properties of natural lac dye on chitosan fiber. *Reactive & Functional Polymers*, Vol.73, 1559–1566.
- M. Irfan, T. Butt, N. Imtiaz, N. Abba, R. Khan, A. Shafique. (2017). The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2307–S2318
- Rubia, A. Bhardwaj. (2016). A review : natural colourants. *International journal of sciences & research technology*, 5(7), 778-781.
- T. Bechtold, A. Mahmud-Ali, R. Mussak. (2007). Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing. *Journal of the science of food and agriculture*. Vol. 87(14), 2589–2595.
- T. Bechtold, A. Turcanu, E. Ganglberger, S. Geissler. (2003). *Journal of Cleaner Production* 11, 499–509.
- T. Chen, B.Y. Gao and Q.Y. Yue. (2010). Effect of dosing method and pH on color removal performance and floc aggregation of polyferric chloride-polyamine dual coagulation in synthetic dyeing wastewater treatment. *Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 355, 121-129.
- T. Kim, C. Park, J. Yang, S. Kim. (2004). Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, B112, 95–103.
- S.C.R. Santos, V.J.P. Vilar, R.A.R. Boaventura. (2008). Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye. *Journal of Hazard. Master*, Vol. 153, 999-1008.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นางสาวจรียา ยี่มรัตน์บวร  
ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
ที่อยู่ปัจจุบัน 79/2 ถนนนคร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์  
สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000  
โทรศัพท์ 044-224-4551

ประวัติการศึกษา  
2003 Ph.D.(Environmental Technology) Ehime University, Japan

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ การดูดซับ ระบบ  
บำบัดน้ำเสียฟอกย้อม ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ การหมุนเวียนน้ำ  
กลับมาใช้ใหม่, การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี