

การใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคเอกูเลชันและกระบวนการดูดซับ
เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

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

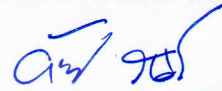


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Industrial Systems
and Environmental Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2018**

การใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคเอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ
เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

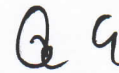
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



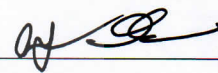
(อ. ดร. อภิชน วัชรเวทรวงศ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. จีรียา ยิ้มรัตน์บวร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร. บุญชัย วิจิตรเสถียร)

กรรมการ



(รศ. ดร. ปิยะรัตน์ ปรีขมาโนช)

กรรมการ



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชาริกา แก่นจันทร์ : การใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการ
ดูดซับเพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน (COMBINATION OF
COAGULATION AND ADSORPTION PROCESSES FOR TREATING TEXTILE
WASTEWATER IN HOUSEHOLD INDUSTRY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.จริยา ยัมรัตน์บวร, 314 หน้า

อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยเฉพาะกลุ่มทอผ้าไหมถูกจัดเป็นแหล่งมลพิษทางน้ำ
เนื่องจากน้ำเสียนี้อาจมีความเข้มข้นสูง ความเป็นกรด-ด่างสูง และค่าซีโอดีสูง ดังนั้น จึงควรมีการ
บำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ การใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเล
ชันและกระบวนการดูดซับในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ
เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายต่อการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน
การศึกษาค้นคว้ามีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสภาวะเหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย
จากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและ
กระบวนการดูดซับ ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนออกเป็น 2 กลุ่ม
ตามชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี โดยเลือกสถาน
ประกอบการที่เป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน 2 แห่ง ได้แก่ วิชาทอไหมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้า
ไหมบ้านคู่ เป็นตัวแทนกลุ่มทอผ้าใช้สีธรรมชาติ และห้างหุ้นส่วนจำกัดมัชชาดาไหมไทย เป็น
ตัวแทนกลุ่มทอผ้าใช้สีเคมี ผลการศึกษาสภาวะการตกตะกอนด้วยเคมี พบว่า ค่า pH ที่เหมาะสม
เท่ากับ 5.20 และ 8.00 สำหรับสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี ตามลำดับ และผลการศึกษาความ
เข้มข้น PACI และ polymer ที่เหมาะสม เท่ากับ 337.50 และ 0.55 มก./ลิตร สำหรับสีย้อมธรรมชาติ
และ เท่ากับ 537.50 และ 0.38 มก./ลิตร สำหรับสีย้อมเคมี ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูด
ซับของสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี พบว่า มีค่า pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 4.95 และ 4.69 ตามลำดับ
และทั้งสองกลุ่มมีผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสและความเร็วรอบที่เหมาะสมในการดูดซับมีค่า
เท่ากัน โดยมีค่าระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 240 นาที และความเร็วรอบ เท่ากับ 150 รอบ/นาที
ตามลำดับ และผลการศึกษาพบว่า ระบบบำบัดแบบโคแอกกูเลชันและตามด้วยกระบวนการดูดซับ
เหมาะสำหรับน้ำเสียกลุ่มสิ่งทอทั้งสองกลุ่ม มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ
42.03-56.11 และ 32.80-91.30 และมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 66.73 – 96.82
และ 89.45 – 95.16 สำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมีตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา ชาริกา

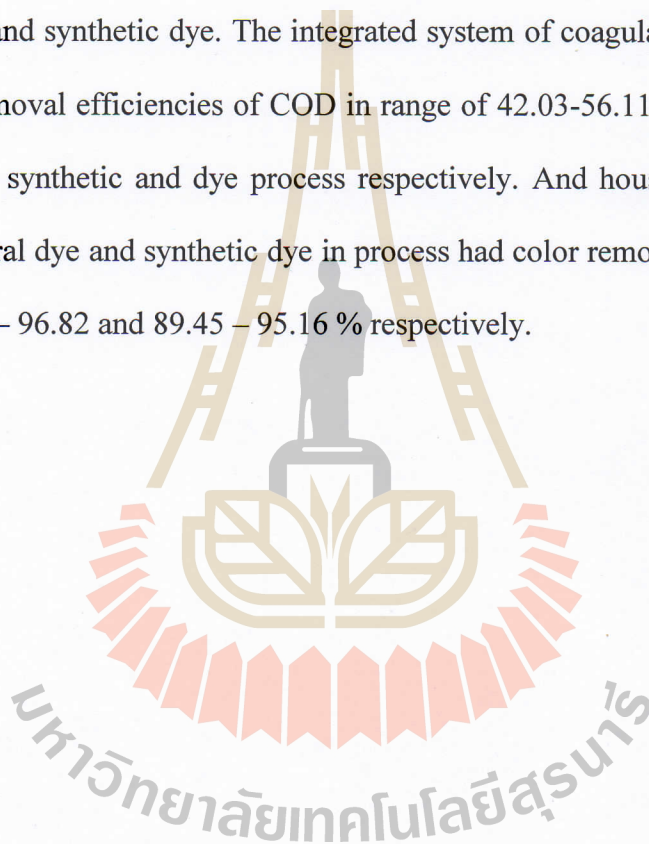
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา จ.จ.

THARIKA KAENJUN : COMBINATION OF COAGULATION AND
ADSORPTION PROCESSES FOR TREATING TEXTILE WASTEWATER
IN HOUSEHOLD INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
JAREEYA YIMRATTANABOVORN, Ph.D., 314 PP.

COAGULATION PROCESSES/ADSORPTION PROCESSES/TEXTILE
HOUSEHOLD INDUSTRY

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. The combination of coagulation and adsorption processes to treat wastewater from the 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 for the combination of coagulation and adsorption process. In this study divided the group of textile household industries 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 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 5.20 and 8.00 for natural dye group and for synthetic dye group respectively and the concentration of PACl and polymer were 337.50 and 0.55 mg/L

for natural dye group and for synthetic dye group were 537.50 and 0.38 mg/L respectively. The optimum adsorption conditions for natural dye group and for synthetic dye group were obtained the initial pH in the range of 4.95 and 4.69 respectively. And both of them obtained the same optimum contact time at 240 min and agitation speed of 150 rpm. And the results show the integrated system of coagulation process followed the adsorption process is suitable for both sampling sites of natural dye and synthetic dye. The integrated system of coagulation and adsorption process had removal efficiencies of COD in range of 42.03-56.11 and 32.80-91.30 % for natural dye synthetic and dye process respectively. And household textile group which use natural dye and synthetic dye in process had color removal efficiency are in range of 66.73 – 96.82 and 89.45 – 95.16 % respectively.



School of Environmental Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature Tharika Kaenjun

Advisor's Signature Janya Yimthakun

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ยิ้มรตนบวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาดูแลเอาใจใส่ และให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วิจิตรเสถียร และรองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะรัตน์ ปรีชญ์มาโนช ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและบุคลากรทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ โครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากร STEM เพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรมปี 2561 จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โครงการ Talent mobility จากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัยเป็นอย่างดี และทุนกิตติบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษาทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาใหม่ไทย และวิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมบ้านคู้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ส่วนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดู และส่งเสริมการศึกษามาโดยตลอด และขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวที่คอยห่วงใย ดูแล และให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

ธาริกา แก่นจันทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม	4
2.1.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม	4
2.1.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนในพื้นที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา	5
2.2 กระบวนการผลิตผ้าไหม	5
2.2.1 กระบวนการลอกสาวไหม	5
2.2.2 กระบวนการฟอกขาวไหม	7
2.2.3 กระบวนการย้อมสีไหม	8
2.2.4 กระบวนการทอผ้าไหม	9
2.2.5 สรุปกระบวนการผลิตผ้าไหม	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 11
2.3.1	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไป..... 11
2.3.2	ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในครัวเรือน..... 11
2.4	สีขุ่น..... 15
2.4.1	สีขุ่นธรรมชาติ..... 15
2.4.2	สีขุ่นเคมี..... 18
2.5	ระบบบำบัดน้ำเสียฟอกขุ่น..... 22
2.5.1	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์..... 22
2.5.2	ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 22
2.5.3	กระบวนการใช้โอโซนออกซิเดชั่น..... 23
2.5.4	กระบวนการตกตะกอนไฟฟ้า-เคมี..... 24
2.5.5	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียฟอกขุ่น..... 25
2.6	กระบวนการการตกตะกอนทางเคมี(Coagulation/Flocculation)..... 26
2.6.1	กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน..... 27
2.6.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน..... 30
2.6.3	การกำจัดสีโดยกระบวนการ Coagulation-Flocculation..... 32
2.6.4	การเปรียบเทียบชนิดของสาร Coagulant ที่ใช้..... 38
2.6.5	การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชั่น..... 39
2.7	การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Adsorption)..... 42
2.7.1	กลไกของกระบวนการดูดซับ..... 46
2.7.2	ประเภทของการดูดซับ..... 46
2.7.3	สรุปการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์..... 48
2.8	กฎหมายที่เกี่ยวข้อง..... 49
3	วิธีการดำเนินการ..... 51
3.1	สถานที่ทำการศึกษาวิจัย..... 51
3.2	ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย..... 51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	51
3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน.....	52
3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด.....	64
3.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบร่วม ระหว่างกระบวนการ โคออกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	66
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา.....	69
4.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน.....	69
4.1.1 ผลการศึกษาระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในครัวเรือน.....	69
4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในครัวเรือน.....	71
4.1.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการ บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดย กระบวนการ โคออกกูเลชัน.....	78
4.1.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการ บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดย กระบวนการดูดซับ.....	90
4.2 ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด.....	118
4.2.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ระหว่างกระบวนการ โคออกกูเลชันและ กระบวนการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	118
4.2.2 สรุปผลทางเลือกในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคออกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	120
4.3 ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบร่วม ระหว่างกระบวนการ โคออกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	122

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1	ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	122
5	สรุปผลการศึกษา.....	157
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	157
5.1.1	สถานะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน.....	157
5.1.2	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ.....	158
5.1.3	ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	159
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	159
	รายการอ้างอิง.....	160
	ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ.....	169
ภาคผนวก ข	กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	178
ภาคผนวก ค	กระบวนการดูดซับ.....	229
ภาคผนวก ง	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	279
ภาคผนวก จ	สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	282
ภาคผนวก ฉ	บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	299
	ประวัติผู้เขียน.....	314

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 12
2.2	ตัวอย่างวัตถุคืบและสีย้อมจากธรรมชาติ..... 19
2.3	สรุปประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 23
2.4	เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย..... 25
2.5	ช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ..... 31
2.6	การทบทวนงานวิจัยสาร โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม..... 40
2.7	การทบทวนงานวิจัยปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี..... 44
2.8	ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี..... 47
2.9	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม..... 50
3.1	ความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่าง..... 55
3.2	รายละเอียดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง..... 56
3.3	ค่าพารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะน้ำ..... 56
3.4	สถานะที่กำหนดสำหรับการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคแอกกูแลชัน..... 57
3.5	สถานะในการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 58
3.6	สถานะในการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 60
3.7	สถานะในการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 61
3.8	สถานะในการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 63
4.1	ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตไหม 1 กิโลกรัม..... 71
4.2	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 72
4.3	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี..... 74
4.4	ลักษณะสัดส่วนของแข็งของตัวอย่างน้ำเสีย..... 77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.5	สถานะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	79
4.6	ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	80
4.7	สรุปสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคนอกฤทธิ์ของน้ำเสียแต่ละชนิด.....	82
4.8	สถานะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....	85
4.9	ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมี.....	86
4.10	ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	92
4.11	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติถ่านกัมมันต์โดยถ่านกัมมันต์.....	93
4.12	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	94
4.13	สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	95
4.14	ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....	96
4.15	สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	97
4.16	ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	99
4.17	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติถ่านกัมมันต์โดยถ่านกัมมันต์.....	99
4.18	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	102
4.20 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	103
4.21 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	104
4.22 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	106
4.23 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีถ่านกัมมันต์โดยถ่านกัมมันต์.....	106
4.24 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	108
4.25 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	109
4.26 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	110
4.27 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมี.....	111
4.28 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	112
4.29 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีถ่านกัมมันต์โดยถ่านกัมมันต์.....	113
4.30 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	114
4.31 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.32 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	116
4.33 สรุปลักษณะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมี.....	117
4.34 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	119
4.35 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	124
4.36 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	125
4.37 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	126
4.38 สรุปลักษณะการศึกษายับยั้งที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	127
4.39 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	128
4.40 สรุปลักษณะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ.....	129
4.41 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	130
4.42 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	132
4.43 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.44 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	134
4.45 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	135
4.46 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	135
4.47 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ.....	136
4.48 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	137
4.49 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	140
4.50 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	141
4.51 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	142
4.52 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	143
4.53 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์มLangmuir และ Freundlich.....	144
4.54 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ.....	145
4.55 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.56	ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	147
4.57	ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	148
4.58	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	149
4.59	สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	151
4.60	ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich.....	151
4.61	สรุปสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ.....	152
4.62	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ.....	153

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการผลิตผ้าไหม.....5
2.2	กระบวนการผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 9
2.3	กระบวนการผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี..... 10
2.4	ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 14
2.5	ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี..... 14
2.6	โครงสร้างสีและวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากครั้ง..... 16
2.7	โครงสร้างของ morin quercetin และลักษณะของแก่นเข..... 17
2.8	โครงสร้างสี และวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากฝักคูณ..... 18
3.1	ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน..... 53
3.2	จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 54
3.3	จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี..... 55
3.4	การศึกษาดนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสีย..... 59
3.5	ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย..... 59
3.6	แผนผังการศึกษาระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 61
3.7	แผนผังการศึกษาค่าความ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 62
3.8	แผนผังการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์..... 63
3.9	ขั้นตอนการศึกษการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ..... 65
3.10	แผนผังการศึกษาในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบร่วมแบบที่ 1..... 67
3.11	แผนผังการศึกษาในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบร่วมแบบที่ 2..... 68
4.1	สมมูลมวลและสมมูลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ..... 69
4.2	สมมูลมวลและสมมูลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี..... 70
4.3	สัดส่วนของแข็งของน้ำเสียตัวอย่าง..... 78

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม ธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ FeCl ₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์	81
4.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม ธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ FeCl ₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์	84
4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม เคมีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ PACI และ FeCl ₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์	87
4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม เคมีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้ PACI และ FeCl ₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์	90
4.8 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	91
4.9 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	93
4.10 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	95
4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	96
4.12 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	98
4.13 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	100
4.14 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์.....	103
4.16 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	105
4.17 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	107
4.18 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	108
4.19 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	110
4.20 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	112
4.21 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อม ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	114
4.22 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	115
4.23 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์.....	117
4.24 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง.....	121
4.25 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่เวลาตกตะกอนต่างกันของน้ำฟอก ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ.....	123
4.26 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้ สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	124
4.27 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	126

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	127
4.29 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์.....	128
4.30 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ระบบ.....	130
4.31 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้ สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	131
4.32 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	133
4.33 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์.....	134
4.34 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์.....	136
4.35 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ระบบ.....	138
4.36 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่เวลาตกตะกอนต่างกันของน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี.....	139
4.37 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้ สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	140
4.38 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของ สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	141
4.39 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	142
4.40 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์.....	144

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการ ที่ใช้สีข้อมเคมีของทั้ง 3 ระบบ.....	146
4.42 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้ สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	147
4.43 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำข้อมของ สถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	149
4.44 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์.....	150
4.45 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับ น้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีของถ่านกัมมันต์.....	152
4.46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำข้อมของสถานประกอบการ ที่ใช้สีข้อมเคมีของทั้ง 3 ระบบ.....	153
4.47 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง.....	155
4.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำข้อมของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง.....	156

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CF	=	กระบวนการ โคแอกกูเลชัน
Ad	=	กระบวนการดูดซับ
Com	=	ระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ
PACl	=	Polyaluminum chloride
FeCl ₃	=	Ferric chloride
ADMI	=	American Dye Manufacturers Institute
Pt-Co	=	Platinum Cobalt scale
COD	=	Chemical Oxygen Demand
TS	=	ของแข็งทั้งหมด
TSS	=	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
TDS	=	ของแข็งละลายน้ำ
S.D.	=	Standard Deviation
R ²	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)
q _e	=	ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับที่ภาวะสม
K _L	=	สัมประสิทธิ์ของการดูดซับของ Langmuir
K _f	=	สัมประสิทธิ์ของการดูดซับของ Freundlich
n	=	Freundlich intensity parameter
q _{max}	=	ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่ถูกดูดซับที่เรียงตัวเป็นชั้นเดียวบนสารดูดซับ
C _e	=	ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่สมดุล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่สามารถสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนและประเทศชาติ จากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า โรงงานสิ่งทอส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยโรงงานสิ่งทอมีการใช้น้ำและสีย้อมเป็นจำนวนมาก หากไม่มีเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ซึ่งมีที่ตั้งของอุตสาหกรรมอยู่ในชุมชนหากไม่มีการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพหรือไม่ทำการบำบัด น้ำเสียสิ่งทอซึ่งมีลักษณะมีความเข้มข้น COD สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารแขวนลอย (Total Suspended solid;TSS) และสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (nonbiodegradable compounds) สูง (Szpyrkowicz et al.,2000; Mazumder,2011; Franco et al., 2013) จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ สารเคมีและโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในชุมชน (Robinson et al, 2001; Santos et al, 2008) และก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำของชุมชน ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำดิบผลิตน้ำประปาใช้ในชุมชน โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนขนาดเล็ก ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดต่อวันไม่แน่นอน ลักษณะของน้ำเสียไม่คงที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตแต่ละประเภท เทคโนโลยีที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษในน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสิ่งทอต้องสามารถกำจัดสารปนเปื้อนต่าง ๆ ได้แก่ สี ความเป็นกรด-ด่าง ความนำเสียของน้ำทิ้งในรูปบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) โดยระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการสิ่งทอที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น ทางเคมี ทางกายภาพเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสีแต่ละประเภทได้แตกต่างกันไป ได้แก่ วิธีทางเคมี เช่น วิธีก่อตะกอน (Coagulation-Flocculation) เหมาะสำหรับสีประเภทที่ไม่ละลายน้ำ วิธีกายภาพเคมี เช่น กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เหมาะสมสำหรับสีประเภทละลายน้ำ ส่วนวิธีทางชีวภาพนั้นเหมาะสำหรับสีย้อมทั่วไป แต่น้ำเสียสิ่งทอบางชนิด มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ จึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดแบบชีวภาพ จากข้อมูลการทบทวนเอกสารในเบื้องต้นได้ผลสรุปว่า เนื่องด้วยปัจจัยในด้านปริมาณน้ำเสียที่ไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณน้อย ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความ

ยุ่งยากในการดูแลระบบ มีค่าก่อสร้างระบบแพง และต้องมีปริมาณน้ำเข้าระบบในปริมาณที่คงที่ จึงไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ทั้งในด้านการก่อสร้างและการดำเนินการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความคิดจะนำกระบวนการโคแอกกูเลชันมาใช้ร่วมกับกระบวนการดูดซับมาบำบัดน้ำเสียสิ่งทอในครัวเรือน เนื่องจากเป็นระบบที่ง่ายต่อการบำบัด มีต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน (Gercel et al, 2007; Chen et al, 2010) และกระบวนการทั้งสองมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ และสีได้ค่อนข้างสูง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) โดยจากการศึกษาของ สุเทพ และ วีระนุช (2553) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งมีการใช้สีหลายประเภท เช่น คิสเพอร์ส รีแอกทีฟ พิกเมนต์ และ แร็ด เป็นต้น พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96.12 86.75 และ 54.18 ตามลำดับ และจากการศึกษาของวิจิตรอง แสงอรุณเลิศ (2558) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีเมทิลเรด(Methyl Red) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการดูดซับ พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดถึง ร้อยละ 64.47 และเมื่อใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับในการกำจัดสีย้อม Reactive ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสี COD และ TOC ได้สูงถึงร้อยละ 90 (Papic et al., 2004) จากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน และ กระบวนการดูดซับจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ โดยแต่ละกระบวนการมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงนำเอากระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดูดซับมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอในครัวเรือน โดยทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบต้นแบบในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน เพื่อถ่ายทอดให้กับอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1.2.2 เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 พื้นที่ศึกษา : อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยจะทำการคัดเลือกสถานประกอบการที่เป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนอย่างน้อย 2 แห่ง เพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนที่ใช้สีย้อมเคมี คือ ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 118/1 หมู่ 7 ถนนสีบศิริ ตำบลนกออก อำเภอปักธงชัย จังหวัด นครราชสีมา 30000 และสีย้อมธรรมชาติ คือ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านคู ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 29 หมู่ 6 ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30150

1.3.2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากสถานประกอบการสิ่งทอภายในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำไปตรวจลักษณะทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสีย โดยน้ำเสียจากสถานประกอบการแต่ละแห่งแบ่งน้ำเสียเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อม

1.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดสาร Coagulant ได้แก่ PACI และ $FeCl_3$ ความเข้มข้นสาร Coagulant และ Polymer ที่เหมาะสม และช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการตกตะกอน เป็นต้น เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

1.3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบการดูดซับ ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ช่วง pH ปริมาณถ่านกัมมันต์ เป็นต้น เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด

1.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในกระบวนการฟอกย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1.3.6 นำข้อมูลผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้เป็นระบบต้นแบบการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับเพื่อบำบัดน้ำเสียสิ่งทอจากอุตสาหกรรมในครัวเรือน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์และออกแบบระบบต้นแบบการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1.4.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลระบบต้นแบบถ่ายทอดเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอกลุ่มอื่น เช่น กลุ่มทอผ้าไหมมัดหมี่ ตำบลโคกสะอาด อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ และศูนย์หัตถกรรมพื้นบ้าน ตำบลนาโพธิ์ อำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นต้น

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคเอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ได้ทำการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม

2.1.1 อุตสาหกรรมผ้าไหม

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

โดยการผลิตไหม และผลิตภัณฑ์ไหมพบได้ทุกภาคของประเทศ ดังนี้ ภาคเหนือ 43 แห่ง ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ แพร่ ลำพูน พิชญโลก 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

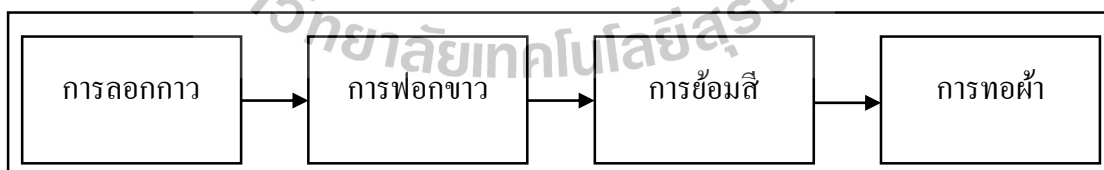
หม่อนเลี้ยงไหมจำนวนมาก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไหม และผลิตภัณฑ์ไหม ซึ่งเป็นอาชีพหลักของประชาชนในภูมิภาคนี้

2.1.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนในพื้นที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่ในการศึกษา คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนที่ตั้งอยู่ภายในตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ได้มีการทบทวนเอกสารและข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา 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 ตร.กม. มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น รวม 115,568 คน จำนวนประชากรชาย รวม 56,715 คน จำนวนประชากรหญิง รวม 58,853 คน มีอาชีพหลัก ได้แก่ ทำนา ทำไร่ ทำสวน และมีอาชีพเสริม ได้แก่ ทอผ้าไหม เลี้ยงสัตว์ โดยในอำเภอปักธงชัยมีอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมขนาดใหญ่จำนวน 1 แห่ง ขนาดเล็กจำนวน 23 แห่ง โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ ตำบลเมืองปักมีอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมขนาดเล็กจำนวน 11 แห่ง ได้แก่ กลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านคู่, กลุ่มผ้าไหมคณาบาดิก และกลุ่มผู้ประกอบการทอผ้าไหมมัชชาดา เป็นต้น

2.2 กระบวนการผลิตผ้าไหม (ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2550)



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตผ้าไหม

2.2.1 การลอกกวาวไหม

การลอกกวาวไหม คือ การไฮโดรไลซ์กวาวไหม หรือการทำลายพันธะเพปไทด์ของกวาวไหมให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำได้ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้กรด ต่าง เอ็นไซม์

สบู่ หรือน้ำอุณหภูมิสูงภายใต้ความดันที่เหมาะสม ปริมาณกาวยาไหมที่ถูกกำจัดออกจะทำให้ได้คุณภาพของเส้นไหมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะกระบวนการ และสารเคมีที่ใช้

1) ความสำคัญของการลอกกาวยาไหม

เนื่องจากเส้นไหมถูกเคลือบด้วยกาวยาไหมทำให้เส้นไหมมีความกระด้าง แม้จะนำไปต้มที่ความร้อนสูงก็ไม่สามารถกำจัดกาวยาไหมได้หมด ดังนั้น การลอกกาวยาไหมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อกำจัดกาวยาไหม (Sericin) รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ออกจากเส้นไหม โดยอาจเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มความนุ่มลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิตเส้นนอกจากจะทำให้ไหมนุ่มแล้วยังทำให้ไหมเกิดความเงามันอีกด้วย

2) วิธีลอกกาวยาไหม

ก่อนที่ไหมจะเข้าสู่ขั้นตอนการลอกกาวยาไหมต้องมีการเตรียมไหมก่อน ซึ่งเส้นไหมที่ได้จากการเตรียมไหม เรียกว่า ไหมดิบ โดยต้องนำไหมดิบมากรอ และตีเกลียว เพื่อร่อนนำไปลอกกาวยา ฟอกขาว และย้อมสี โดยส่วนประกอบของเส้นไหมดิบเป็นโปรตีน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) ร้อยละ 62.5-67.0 และส่วนที่เป็นกาวยาไหม เรียกว่า เซริซิน (sericin) ร้อยละ 23-27.5 นอกจากนี้ในเส้นไหมดิบยังประกอบไปด้วยส่วนอื่น ๆ ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน แร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปะปนมากับเส้นไหมด้วย เมื่อเตรียมไหมเรียบร้อยแล้วจึงนำไหมไปเข้าสู่กระบวนการลอกกาวยาไหม โดยการลอกกาวยาไหมมีหลายวิธีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ไหม รูปแบบของไหมก่อนลอกมีผลต่อการลอก เช่น ไหมเป็นเจ็ดหรือ เป็นห้า วิธีลอกกาวยาไหมอาจเลือกใช้ได้ทั้ง วิธีทางกายภาพหรือ ทางเคมี วิธีที่นิยมใช้ได้แก่

2.1) การลอกกาวยาไหมด้วยน้ำภายใต้ความดันสูง (High pressure water degumming)

การลอกไหมพันธุ์ต่าง ๆ สามารถต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำแบบเดียวกัน 3-4 ครั้ง การต้มไหมในน้ำเป็นเวลานานๆ จะค่อยๆ ทำให้เส้นไหมเกิดการเสื่อมสลายและไฮโดรลีสอย่างช้าๆ หากมีการใช้อุปกรณ์ความดันสูงจะทำให้เส้นไหมเสื่อมสลายหรือถูกทำลายน้อยที่สุด

2.2) การลอกกาวยาไหมด้วยด่าง (Alkaline degumming)

ในการลอกกาวยาไหมด้วยสารละลายด่างต้องคำนึงถึง pH และอุณหภูมิ โดยหากลอกกาวยาไหมด้วยสารละลายด่างที่ pH มากกว่า 9 ใช้เวลา 30 นาที กาวยาไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ เนื่องจาก pH ในอ่างลอกกาวยาไหมมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเส้นใยไฟโบรอิน โดยต้องทำการลอกกาวยาไหมที่อุณหภูมิไม่เกิน 90°C เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นไหมเปื่อย

2.3) การลอกกาวยาไหมด้วยกรด (Acid degumming)

ในการลอกกาวยาไหมด้วยสารละลายกรดที่ pH น้อยกว่า 2.5 หรือระหว่าง 1.5-2 กวา

ไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรดแร่ (mineral acids) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก มีประสิทธิภาพในการลอกกาไหมมากกว่ากรดอินทรีย์ (organic acids) เนื่องจาก pH ในอ่างลอกกาไหมส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ของเส้นใยไฟโบรอินด้วย

2.4) การลอกกาไหมด้วยสบู่ (Soap degumming)

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

2.5) การต้มด้วยสารซักฟอกสังเคราะห์ (Synthetic detergent degumming)

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

2.6) การลอกกาไหมด้วยเอนไซม์ (Enzymatic degumming)

เทคโนโลยีชีวภาพมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตเอนไซม์หลากหลายประเภทและมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน ประกอบกับการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะกับเส้นใยหรือ Substrate ทำให้ไม่เกิดการทำลายเส้นใย ภาวะที่ใช้ในการลอกกาไหมเป็นอันตรายสามารถนำมาใช้แทนสารเคมีได้ และปริมาณที่ใช้ไม่สูงมากนัก ทำให้สามารถประหยัดน้ำและพลังงานได้

2.2.2 กระบวนการฟอกขาวไหม

การฟอกขาวไหม (Bleaching) ทำให้เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาไหมมีสีขาวมากขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการย้อมสีให้ได้เฉดสีตามที่ต้องการ และสีไม่เพี้ยน โดยสารเคมีที่ใช้ในฟอกขาวไหม ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียม ไฮโดรซัลไฟต์ โพแทสเซียม เปอร์แมงกานัต มีรายละเอียดในการฟอกขาวไหม ดังนี้

1) กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 1

ใส่น้ำสะอาด 30 ลิตรลงในภาชนะ ต้มให้ถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใส่น้ำส้มเทียมน้ำ และ โซเดียมลงไปจนละลาย จากนั้นนำตะแกรงใส่รอกกั้นถึงฟอก นำเส้นไหมแบ่งใส่หว่างฟอกย้อม 3 – 4 หว่าง ทำการจัดและขยายไฟไหม้แล้วนำลงฟอก กลับเส้นไหมไปมาเป็นช่วง ๆ ประมาณ 30 นาที หรือนานกว่านั้นหากเส้นไหมยังไม่ขาวพอ จากนั้นนำเส้นไหมทิ้งซูดขึ้นฝั่งให้เย็น แล้วบิดให้หมาดที่สุด นำไปล้างในน้ำเย็น 4 ครั้ง บิดให้หมาดทุกครั้ง แล้วนำไปล้างในน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที บิดให้หมาด กระตุกเส้นไหมให้เรียงตัวขนานกัน และฝั่งให้แห้งด้วยลมในที่ร่ม

2) กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 2

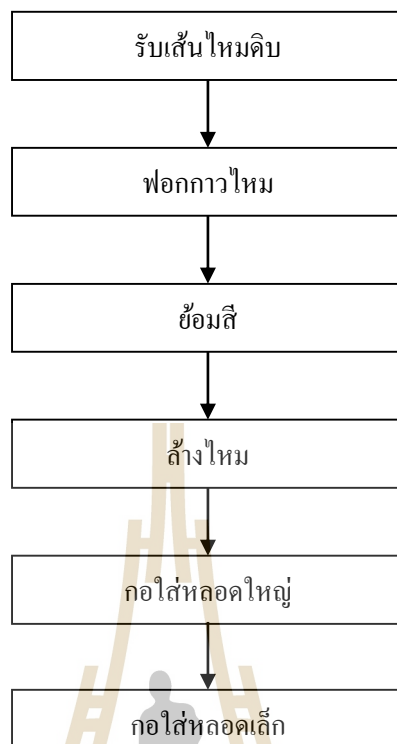
กระบวนการฟอกไหมครั้งที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เส้นไหมมีความสะอาดหมดจด และมีความขาวมากยิ่งขึ้น จนเหมาะสมในการย้อมสีอ่อนมาก ๆ เพื่อให้สีย้อมชัดเจนและมีความสดใสยิ่งขึ้น โดยเตรียมน้ำสะอาด 30 ลิตร ลงในภาชนะ ต้มจนถึง 90 องศาเซลเซียส ใส่น้ำส้มเทียมน้ำ โซดาแอส และ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ลงไปจนละลาย แล้วใส่ตะแกรงรอกกั้นถึง นำเส้นไหมทิ้งซูดลงฟอก และกลับเส้นไหมไปมาเป็นช่วง ๆ ประมาณ 30 นาที หรือนานกว่านั้นหากเส้นไหมยังไม่ขาวพอ จากนั้นนำเส้นไหมไปฝั่งให้เย็นแล้วบิดให้หมาดที่สุดนำไปซักล้างในน้ำเย็น 2 – 3 ครั้ง สลับกับการบิดให้หมาด แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที บิดให้หมาดล้างด้วยน้ำเย็น 1 – 2 ครั้ง บิดให้หมาดกระตุกเส้นไหมให้เรียงตัว และฝั่งให้แห้งด้วยลมในที่ร่ม

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 ซึ่งจะมีวิธีการเตรียมน้ำย้อมสีและวิธีการย้อมสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและส่วนที่นำมาใช้ในการย้อมสี โดยขั้นตอนการย้อมผ้าไหมโดยใช้สีธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 2.2

2) สีสังเคราะห์หรือสีเคมี เป็นสีที่มีความบริสุทธิ์ของตัวสีมาก สามารถนำสีเหล่านั้นมาผสมให้ได้สีตามที่ต้องการและปรับระดับความเข้มของสีได้ วิธีการย้อมทำได้ง่ายและสะดวก สีที่ได้จะมีความสดสวย และมีความทนทานของสีดี สีสังเคราะห์ที่นำมาย้อมมีหลายประเภท แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติของสีย้อม วิธีการย้อม คุณภาพสีย้อมที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนการย้อมผ้าไหมโดยใช้สีธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 กระบวนการผ้าไหมแบบใช้สีข้อมธรรมชาติ

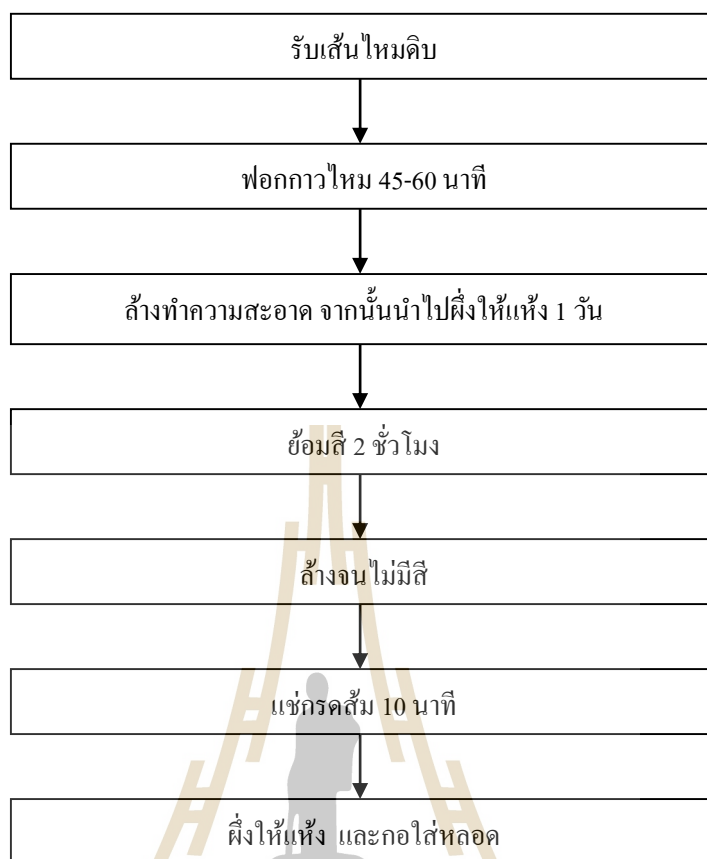
2.2.4 กระบวนการทอผ้าไหม

การทอผ้าไหม คือ การเอาเส้นไหมมากกว่า 2 เส้นขึ้นไปมาขัดสลับกัน ซึ่งมีวิธีการทอเป็นชั้น ๆ ดังนี้

1) เมื่อเตรียมไหมเส้นพุ่งและเส้นทอเรียบร้อยแล้ว นำเอาเส้นทออันใหม่สับต่อกับเส้นทอที่ค้างอยู่ในเขาทอและร่องฟันพิมพ์เดิม กางก็หรือทอให้เรียบร้อย

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

3) คล้องเชือกจากเขาทออันหนึ่งเข้ากับไม้คั่นเหยียบข้างใดข้างหนึ่งและคล้องเชือกเขาทอที่เหลืออีกอันเข้ากับไม้คั่นเหยียบอีกอัน เมื่อเหยียบไม้คั่นเหยียบข้างหนึ่ง เส้นทอจะออกเป็นช่องเนื่องจากการดึงของเขาทอ พุ่งกระสวยผ่านช่องว่างนั้นแล้วดึงพิมพ์กระทบเส้นพุ่งที่ออกมาจากกระสวยเข้าไปเก็บไว้ เหยียบไม้คั่นเหยียบอีกอัน พุ่งกระสวยผ่านช่องว่างกลับมาทางเดิม ดึงพิมพ์กระทบเส้นพุ่งเข้าไปเก็บ เหยียบไม้คั่นเหยียบอีกอัน พุ่งกระสวย ดึงพิมพ์กระทบ เหยียบไม้คั่นเหยียบ ทำสลับกันไปเรื่อย ๆ จนได้ผืนผ้าเกิดขึ้น จากนั้นพันผืนผ้าไว้ด้วยไม้ก้ำพัน



รูปที่ 2.3 กระบวนการฟ้ายาไหมแบบใช้สีย้อมเคมี

2.2.5 สรุปกระบวนการผลิตฟ้ายาไหม

โดยจากการศึกษากระบวนการผลิตฟ้ายาไหมโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การลอกขาวไหม การฟอกไหม การย้อมไหม และการทอฟ้ายาไหม ซึ่งกระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี มีขั้นตอนที่คล้ายกันดังรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมจากธรรมชาติจะมีการล้างไหมหนึ่งครั้ง คือ หลังจากที่ทำกรย้อมไหมเสร็จแล้ว ส่วนกระบวนการผลิตโดยใช้สีย้อมจากเคมี จะมีการล้างไหมสองครั้ง คือ หลังจากฟอกขาวไหมและหลังจากที่ย้อมไหมเสร็จแล้ว เป็นสาเหตุที่ทำให้การย้อมไหมโดยใช้สีย้อมเคมีใช้ปริมาณน้ำมากกว่าการย้อมไหมโดยใช้สีย้อมธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย

2.3 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

2.3.1 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วไป

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไป ประกอบด้วย สารแขวนลอย (Total Suspended solids) และสารอินทรีย์จากกระบวนการย้อมในปริมาณสูง ได้แก่ แป้ง สีข้อม กรดอะซิติก และเส้นใยเส้นด้ายที่ปนเปื้อนออกมาจากกระบวนการผลิต อีกทั้งยังมีสารอนินทรีย์ประเภทโลหะหนักจากสีข้อมปนเปื้อนในน้ำทิ้ง เช่น ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) โคบอล (Co) สังกะสี (Zn) เป็นต้น โดยน้ำเสียจากการอุตสาหกรรมสิ่งทอมีลักษณะสำคัญ คือ มีการปนเปื้อนของสีข้อม 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 และสารอินทรีย์ต่างๆ ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการปนเปื้อนสี ค่า COD TDS และสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (nonbiodegradable compounds) สูง มีค่า pH ตั้งแต่ 2 ถึง 12 (Poots et al., 1978, Szpyrkowicz et al, 2000; Mazumder, 2011; Franco et al., 2013) และ อุตสาหกรรมสิ่งทอใช้น้ำและสารเคมีปริมาณมาก (เช่น สีข้อมสีเกลือสารลดแรงตึงผิว) ในระหว่างการดำเนินการต่างๆ เช่น การย้อมสี การพิมพ์ และการตกแต่ง (Guimaraes et al, 2012)

2.3.2 ลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอภายในครัวเรือน

กระบวนการผลิตผ้าไหมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนจะมีการใช้วัตถุดิบที่แบ่งเป็น 2 ประเภทตามประเภทของสีข้อม คือ สีข้อมจากธรรมชาติและสีข้อมจากสารเคมี ทำให้ลักษณะน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีลักษณะแตกต่างกัน จากการศึกษาวัตถุดิบและกระบวนการผลิตใช้สีข้อมธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

References	Parameter					
	pH	COD(mg/l)	BOD ₅ (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 ^a	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 ^a BOD₃ day 27 °C

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า มีการใช้ สบู่ไขว้หรือหัวสบู่ ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำเกิดคราบไขมัน โซดาแอชที่ใช้ในกระบวนการลอกขาวไหมจะทำให้น้ำเสียมค่า pH สูงขึ้น แป้งมันที่นำไปใช้เพื่อช่วยให้ไหมกลมทำให้ง่ายต่อการทอผ้าทำให้เกิดสารอินทรีย์ในน้ำ สารส้มใช้ในกระบวนการย้อมสีเพื่อทำให้สีติดไหมได้ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ และสีจากธรรมชาติจะทำให้เกิดของแข็งละลายน้ำในรูปของสารอินทรีย์และทำให้เกิดสีปนเปื้อนในน้ำ

จากการศึกษาวัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีรายละเอียด ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าสบู่จะใช้ในการฟอกขาวไหมซึ่งจะทำให้เกิดคราบไขมัน และการใช้ โซดาแอชในกระบวนการฟอกขาวไหมทำให้น้ำเสียมค่า pH ในน้ำสูงขึ้น การใช้สารส้มในการทำให้สีติดไหมง่ายขึ้นทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ การย้อมด้วยสีเคมีจะทำให้เกิดปริมาณของแข็งละลายน้ำในรูปของสารอนินทรีย์สูง

จากกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี พบว่า มีพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ ดังนี้

1) ซีโอดี (COD)

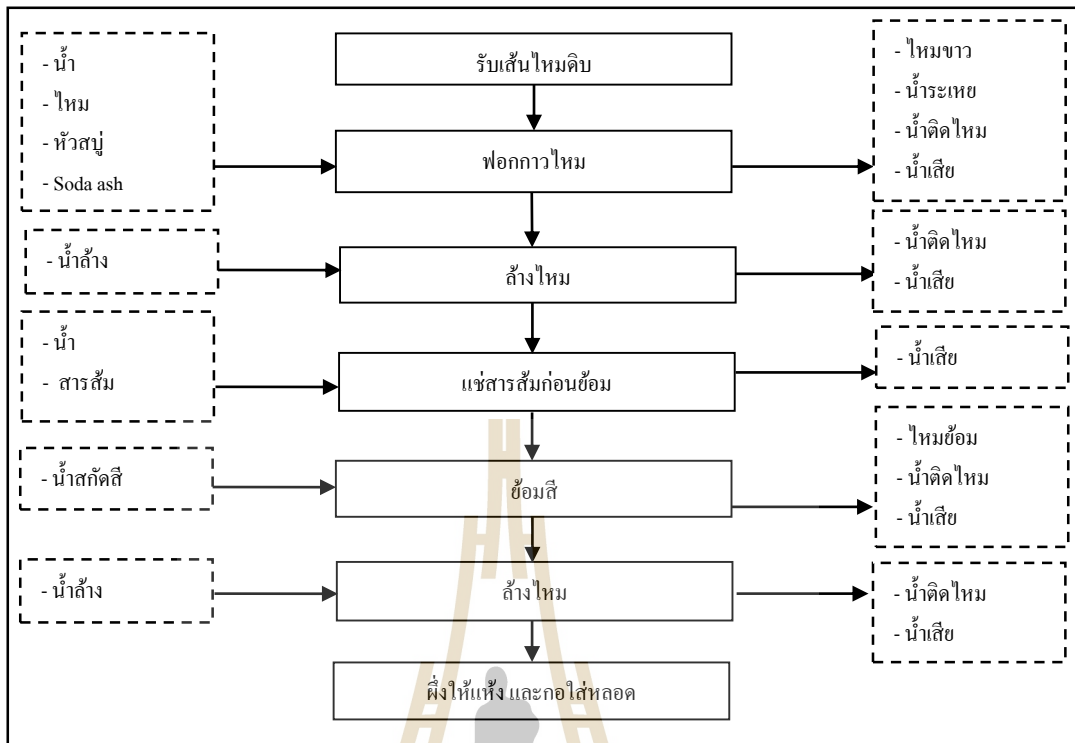
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีค่าซีโอดีสูงอยู่ในช่วง 500-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกิดจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใย สบู่ ไขมันและตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นต้น (จารุทัศน์ มลินทะเลข, 2537)

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

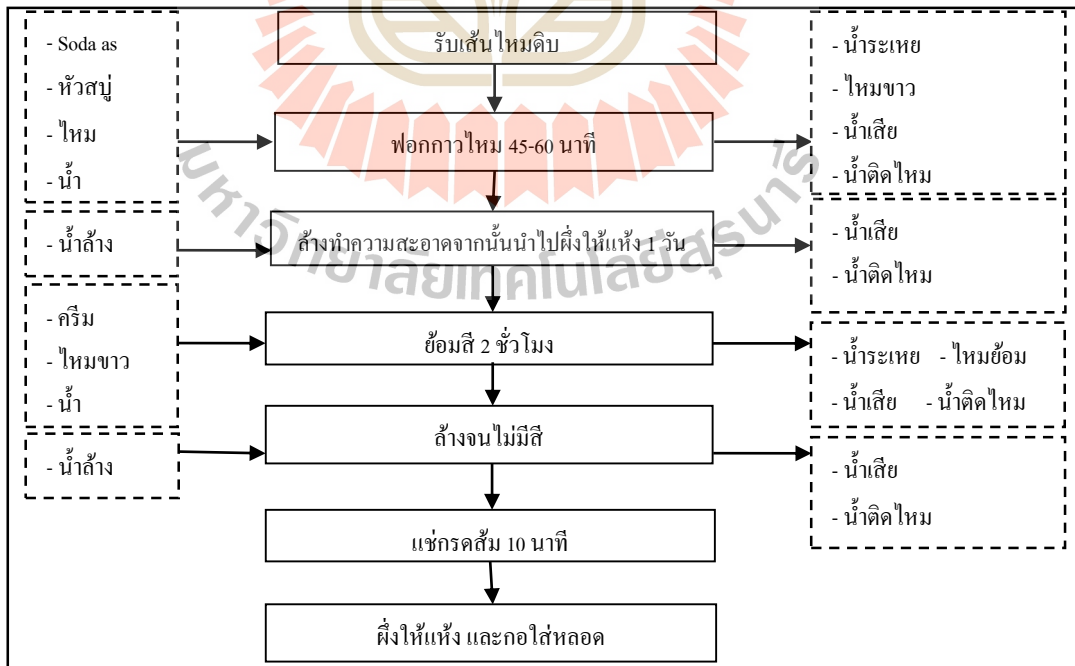
เป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิต พบว่า มีการใช้สารเคมีที่มีความเป็นกรดและด่างในปริมาณมาก ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ได้แก่ กรดอะซิติก (CH_3COOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เป็นต้น ดังนั้น หากทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจะพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะแปรผันไปตามกระบวนการผลิตของแต่ละสถานประกอบการ (ประเสริฐ ตปนียางกุล, 2536) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5.5-11 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

3) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการลอกขาวไหมจะทำให้เกิดของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำ กระบวนการย้อมสีไหมโดยใช้สี ทำให้เกิดของแข็งละลายน้ำ เป็นต้น ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอขึ้นอยู่กับชนิดสี และสารเคมีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีข้อมธรรมชาติ



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีข้อมเคมี

4) สี (Color)

ปริมาณสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย ชนิดของกระบวนการย้อม ปริมาณสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อม และชนิดของสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการย้อม โดยสีย้อมแต่ละชนิดมีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยแตกต่างกันทำให้ปริมาณสีในน้ำเสียมีปริมาณแตกต่างกัน โดยสีที่มีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยสูงจะมีปริมาณสีปนเปื้อนในน้ำเสียต่ำกว่าสีที่มีความสามารถในการผนึกกับเส้นใยต่ำ

ดังนั้น ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีลักษณะของค่า BOD COD สี สารแขวนลอยและค่า pH สูง ทำให้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยลักษณะของน้ำเสียดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และประเภทของสีย้อม เนื่องจากสีย้อมแต่ละประเภทมีความสามารถในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน เช่น สี Disperse สี Vat และสี Sulfur เป็นสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมสิ่งทอไม่สามารถฟอกย้อมสีใดสีหนึ่งได้ตลอดเวลา 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 สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ทำให้มองเห็นสีที่แตกต่างกัน (พิเชษฐ์ หนูหมื่น, 2557) โดยทั่วไปสีย้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี

2.4.1 สีย้อมธรรมชาติ (ศูนย์ส่งเสริมศิลปศึกษาระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2550)

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ในอดีตใช้สีธรรมชาติย้อมผ้า และแต่งสีอาหาร ซึ่งข้อดีของสีธรรมชาติ คือ ได้สีที่ไม่ฉูดฉาด สีอ่อนเย็นตากว่าสีสังเคราะห์ ปัจจุบันมีการใช้สีธรรมชาตินานมากขึ้น เพราะไม่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสี

ธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ปลอดภัย บางชนิดเป็นอาหารและยาได้ โดยการย้อมสีธรรมชาติเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีการสืบทอดกันมาตั้งแต่อดีตจากรุ่นสู่รุ่น ควบคู่กับกรรมวิธีในการทอผ้าพื้นบ้าน ซึ่งการย้อมสีธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน แต่การใช้สีธรรมชาติถือเป็นความภาคภูมิใจของชาวบ้าน เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่ยังคงความร่วมมืออยู่เสมอ

2.4.1.1 ตัวอย่างสีธรรมชาติและวิธีการสกัด

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไหมไทย ได้แก่

1) ครั่ง

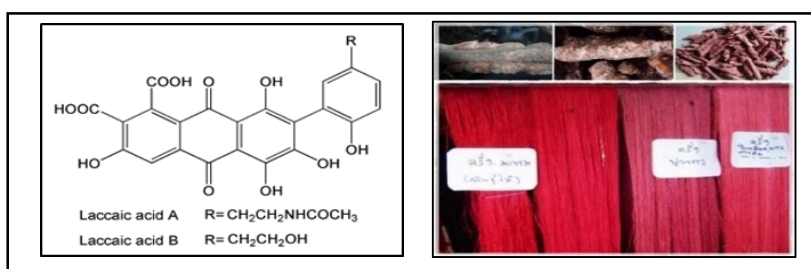
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Laccifer lacca*

ชื่อพื้นเมือง ครั่ง

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

การสกัดสีจากครั่ง

ต้มน้ำให้เดือด นำรังครั่งที่ล้างทำความสะอาดแล้วใส่ลงในครกแล้วตำให้ละเอียด เมื่อละเอียดดีแล้วเติมน้ำที่กำลังเดือดอยู่เทลงในครก ใช้สากนวดเนื้อครั่งไปมาจนกระทั่งได้น้ำสีแดงเข้ม จากนั้นตักน้ำออกจากครกและเก็บไว้ในหม้อ ตักน้ำเดือดเทลงในครกอีกครั้งใช้สากนวดจนกระทั่งได้น้ำสีแดงเข้มจึงตักน้ำออกใส่หม้ออีกรอบ ทำเช่นนี้ 2-6 ครั้ง จนน้ำสีแดงแยกจากเนื้อครั่งหมด ขึ้นอยู่กับคุณภาพของรังครั่ง โครงสร้างสีที่ได้จากครั่งซึ่งประกอบไปด้วย Laccic acid A, B, C, D และ E ซึ่งองค์ประกอบหลัก ๆ คือ Laccic acid A ร้อยละ 71-96 และ B ร้อยละ 0- 20 (Erwin, 2008) โครงสร้างสีและวัตถุดิบแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างสี (Erwin, 2008) และวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดสีจากครั่ง

2) ต้นเข

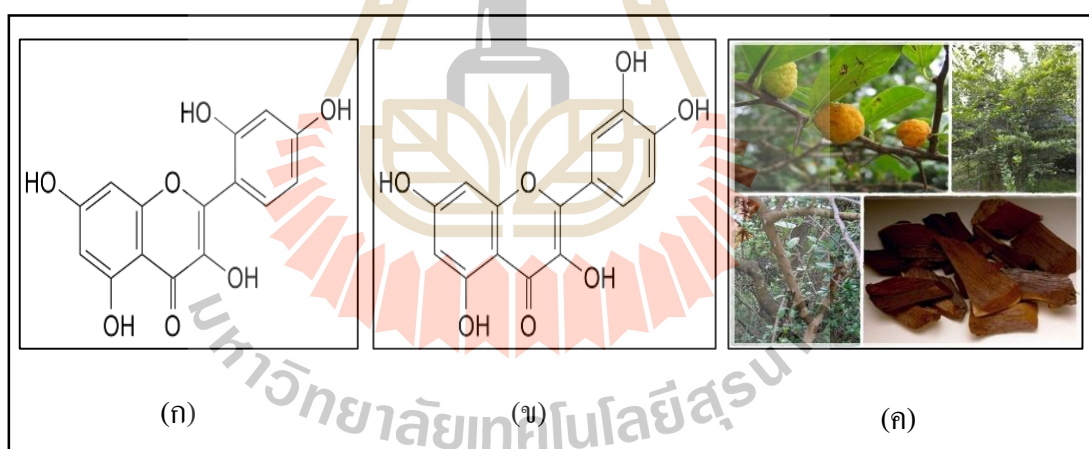
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cudrania Javanensis*

ชื่อพื้นเมือง เหลือง, แกล (ไทยภาคกลาง), แกก้อง (แพร่, น่าน), แกล แทร (ใต้), เข (นครราชสีมา), ช้างงาตอก (ลำปาง), หนามเข (ประจวบคีรีขันธ์), น้ำเครือไข่วัว (ปัตตานี)

ลักษณะทั่วไป ต้นเขเป็นต้นไม้ประเภทเถาเนื้อแข็งขนาดใหญ่ มักเกาะพันกับต้นไม้อื่น ส่วนที่ทอดไปกับพื้นดินจะแตกรากขึ้นเป็นพุ่มเตี้ย ๆ มักพบในป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณชื้น หรือที่ที่มีความชุ่มชื้นมาก โดยแก่นไม้จะใช้ทำสีข้อมไหม ให้สีเหลืองทอง

การสกัดสีจากเข

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



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

3) กุณ

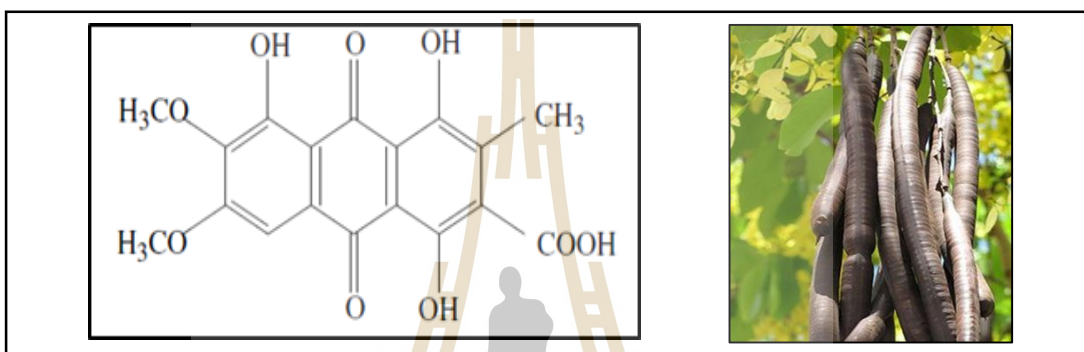
ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Cassia fistula L.*

ชื่อพื้นเมือง กุณ, ชัยพฤกษ์, ลมแล้ง, ลักเคยลักเกลือ

ลักษณะทั่วไป เป็นไม้ผลัดใบสูง 8-15 เมตร ดอกเป็นช่อสีเหลือง ผลเป็นฝักทรงกระบอก ยาว 20-60 เซนติเมตร สันผ่านศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร มีผลกลมโตเปลือกของต้นจะให้สีเหลือง

การสกัดสีจากฝักคูณ

ฝักสด 6-8 กิโลกรัม ใช้ย้อมไหม 1 กิโลกรัม เมื่อนำมาโขลกและแช่น้ำค้างคืน เมื่อกรองกากออกได้น้ำย้อมสีหมากสุก นำเส้นไหมลงย้อมแบบย้อมเย็นและย้อมร้อน ย้อมเสร็จให้นำไหมขึ้นผึ่งจนเย็นแล้วล้างน้ำจนสะอาด จากนั้นนำไปแช่ในน้ำปูนใส นาน 5 นาทีและล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆครั้ง ได้เส้นไหมสีน้ำตาลอมม่วง โดยโครงสร้างสีย้อมจากฝักคูณแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะประกอบไปด้วยfistulic acid เป็นหลัก (Misra et al.,1997)



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

2.4.1.2 สรุปการทบทวนเอกสารสีย้อมธรรมชาติ

จากตัวอย่างวัตถุดิบและวิธีการสกัดสีย้อมที่กล่าวมาข้างต้น และตัวอย่างวัตถุดิบและสีย้อมธรรมชาติดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า พืชแต่ละชนิดมีส่วนที่ให้สี และวิธีสกัดสีที่แตกต่างกัน ซึ่งสีที่ได้จะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่เลือกใช้ และจากการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการ พบว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการย้อมบ่อยที่สุด คือ ครั่ง คราม เข และฝักคูณ 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

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างวัตถุดิบและสีย้อมจากธรรมชาติ (กลุ่มสารสันทศเฉพาะทาง สำนักหอสมุด และศูนย์สารสันทศน์และเทคโนโลยี, 2560)

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

1) สีดไตรงัท (Direct dye)

สีดไตรงัทเป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย และทนแสง

2) สีรีแอคทีฟ (Reactive dye)

สีรีแอคทีฟเป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

3) สีแว็ต (Vat dye)

สีแว็ตเป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว็ตละลายน้ำ โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิคัลส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid)

4) สีเอซิด (Acid dye)

สีเอซิด เป็นสีที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจางสีเอซิด บางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

5) สีดิสเพอร์ส (Disperse dye)

สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตทเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสง และการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์ส แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes)

และสีย้อมแอมมิโนแอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (Ethanolamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

6) สีเบสิก (Basic or cationic dye)

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

7) สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye)

สีซัลเฟอร์ เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลสภาวะที่ละลายน้ำได้แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูกแต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

8) สีมอร์แดนต์ หรือ โครม (Mordant or chrome dye)

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

9) สีอะโซอิก (Azoic dye)

สีอะโซอิก สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้เกิดการรวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนตซึ่งจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอนหรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซักแต่ไม่ทนต่อการขัดถู

2.4.2.2 สรุปการทบทวนเอกสารสีย้อมเคมี

จากการศึกษาประเภทของสีย้อมเคมีทั้ง 9 ประเภท ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและสิ่งทอ พบว่า สีแต่ละประเภทมีวิธีการย้อมที่ต่างกัน เนื่องจากสีแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ต่างกัน บางชนิดสามารถละลายในน้ำได้ แต่บางชนิดต้องใช้ตัวทำละลายเพื่อช่วยให้สีละลายก่อนที่จะนำไปใช้ย้อมผ้าได้ และจากการศึกษาคุณสมบัติของสีย้อมพบว่า สีเอซิด (Acid dye) เป็นสีเคมีที่ละลายน้ำได้ดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน เช่น ไหม ใยขนแกะ ปอ ป่าน เป็นต้น และจากการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการ พบว่าสีย้อมที่ใช้เป็นสีเอซิดเช่นกัน

2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

การกำจัดสีของน้ำเสียฟอกย้อมของอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมได้ถูกพัฒนาต่อกันมา โดยในอดีตสีที่ถูกปล่อยออกมาจะมีปริมาณน้อยทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสถานประกอบการทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผ้าไหมมีการขยายตัวขึ้น และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วยสารเคมี และสีย้อมมากมายหลายชนิด จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการกำจัดสีหลายวิธีได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์(Activated Sludge)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไปโดยสารอินทรีย์ต่าง ๆ นั้นจะถูกนำมาใช้สร้างเป็นจุลินทรีย์ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าน้ำสามารถตกตะกอนในถังตกตะกอนได้ง่าย และแยกออกจากน้ำได้ง่ายขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะลอยขึ้นไปในอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์(Activated Sludge) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ ธาตุอาหาร ออกซิเจนละลาย ระยะเวลาในการบำบัด pH สารพิษ อุณหภูมิ การกวนและอัตราการไหลของน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ สามารถกำจัด COD และ สี ได้ประมาณร้อยละ 40-56 และ 13 - 30 ตามลำดับ (Aboulhassan et al., 2014) และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยระบบเอสปีอาร์ พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไครเร็กซ์ และ COD ได้มากกว่าร้อยละ 90 (สันทัด และคณะ, 2559)

2.5.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน(Anaerobic)

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย ดูดซับ เปลี่ยนรูปของมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง มลสารที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ได้แก่ อุณหภูมิ pH ระยะเวลาพักพักผลศาสตร์ (HRT) และเวลาพักพักของแข็ง (SRT) สภาพความเป็นด่าง และศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน จากการศึกษาพบว่ากระบวนการย่อย

สลายทางชีววิทยาสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้น้อยกว่าแบบใช้อากาศ คือ สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 50-80 แต่สามารถบำบัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถสรุปประสิทธิภาพการบำบัดสีได้ดังตารางที่ 2.3

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

2.5.3 กระบวนการใช้ออกซิเจนออกซิเดชัน (Ozone oxidation)

โอโซน(O_3) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง จึงนิยมนำมาใช้ในการย่อยสลายสีและสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมสีสิ่งทอ การโอโซนขึ้นเป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลสีด้วยโอโซนทำให้พันธะของโมเลกุลที่มีความยาวมากและทำให้เกิดสี แดกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กที่มีขนาดสั้นลง ทำให้สีของน้ำเสียลดลง ซึ่ง โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงและมีประสิทธิภาพสูง สามารถกำจัดสีจริงได้ แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีย้อมซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจนคลอรีนหรือซัลเฟอร์ จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม ซึ่งอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ในแหล่งน้ำได้ รวมทั้งอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดในน้ำ และเกิดสารบางชนิดขึ้น โดยสารเหล่านั้นเป็นสารก่อมะเร็ง

(Carcinogenic compounds) จากการศึกษาการใช้โอโซนในการออกซิไดซ์สี reactive พบว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา 1,4 และ 6 ชั่วโมง คือ ร้อยละ 48.51, 78.92 และ 90.2 ตามลำดับ (Wijannarong et al., 2013) และจากการใช้โอโซนในการออกซิไดซ์สี reactive พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงถึงร้อยละ 99.99 โดยเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมที่เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด COD จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุดร้อยละ 66.66 เมื่อความเข้มข้นสีเริ่มต้น 500 mg/l โดยมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที (Sharma et al., 2013)

2.5.4 กระบวนการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี (Electro-coagulation)

กระบวนการกำจัดสีแบบไฟฟ้าเคมี สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม โดยเป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้า เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดออกซิเดชันไปยัง สารที่เกิดรีดักชัน ผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสี ทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไปและสามารถดูดซับกับสีแวนดอลอยต่างๆที่อาจก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโตรดให้เกิดการตกตะกอนขึ้น กระบวนการไฟฟ้าเคมีมีกลไกการกำจัดสี โดยกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) และการลอยตัว (Floatation) ทำให้สามารถกำจัดสีออกจากน้ำ จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี Methylene Blue โดยใช้วิธีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในกระบวนการ Electro-coagulation พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 80 โดยใช้เวลา 20 นาที (Mahmoud et al., 2013) การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไหมสีแดงประเภทสีข้อมแอลิก และหาประสิทธิภาพการบำบัด โดยผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการบำบัด 40 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 95 และประสิทธิภาพในการบำบัดสีโอดีร้อยละ 79 (พลกฤษณ์ และคณะ, 2559)

2.5.5 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสีย ของระบบบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสีย ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น จากตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะเห็นว่าเทคโนโลยีในการบำบัดสีแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป ซึ่งแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้สูงแต่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนี้ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ มีข้อจำกัด คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบ และดำเนินการค่อนข้างสูง กระบวนการทางเคมี มีข้อจำกัด คือ การเดินระบบมีความยุ่งยากซับซ้อน ผู้ดูแลระบบต้องมีความชำนาญเป็นอย่างมาก ส่วนกระบวนการทางชีวภาพ มีข้อจำกัด คือ หากมีสารพิษ หรือสารที่เป็น

อันตรายเข้าสู่ระบบอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ โดยจากลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่องและมีปริมาณไม่มาก เนื่องจากการดำเนินการย้อมผ้าไม่ได้มีการดำเนินการทุกวัน หากมีการสร้างระบบบำบัดขนาดใหญ่และบำบัดน้ำเสียรวมจะทำให้เกิดความไม่คุ้มทุนและอาจใช้ระบบได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพเท่าที่ควร แต่หากมีการสร้างระบบบำบัดขนาดเล็กและติดตั้งในแต่ละแห่งจะมีความเหมาะสมและง่ายต่อการบำบัดมากกว่าโดยการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งกระบวนการทั้งสองมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้ค่อนข้างสูง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) ซึ่งการใช้สองระบบร่วมกันสามารถช่วยลดปริมาณตะกอน และช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ เนื่องจากการช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ต้นทุนสูง (Papic et al., 2004) ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียสิ่งทอโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันกับกระบวนการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556)

เทคโนโลยีในการบำบัดสี	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางกายภาพ		
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	- เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูง - สามารถกำจัดสีจริงและสีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ	- การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองออสโมซิสย้อนกลับ	- ใช้กำจัดไอออนสีย้อมและโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่	- กำจัดสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่ได้ - เกิดปัญหาการอุดตันและการเสียหายของเยื่อกรองขึ้นได้ง่ายหากน้ำที่นำมาบำบัดมีการปนเปื้อนสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน	- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูง - สามารถนำวัสดุ(พีวีเอ โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก) และน้ำสามารถกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน	- สีย้อมดิสเพอส์เมื่อผ่านกระบวนการแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชัน	- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูง - แยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์ออกและนำกลับมาใช้ใหม่ได้	- ค่าใช้จ่ายสูง

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) (ต่อ)

เทคโนโลยีในการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางเคมี		
การตกตะกอนเคมี	- เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง	- เกิดตะกอนขึ้นในปริมาณมาก ซึ่งยุ่งยากในการกำจัด
กระบวนการฟenton	- มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ	- ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
การใช้โอโซน/การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	- สามารถทำลายโมเลกุลของสี หมูโครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้	- ต้องควบคุม อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรด-ด่าง - สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า - อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารบางชนิด ทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งได้
การใช้ไฟฟ้าเคมี	- สามารถกำจัดสี reactive ในน้ำเสีย - มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง - สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย	- ต้องควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาการตกตะกอน
กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา		
ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	- สามารถกำจัดสีของกลุ่ม azo และ anthraquinone - เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงาน - คุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐาน	- มีอัตราเร็วในการกำจัดสีต่ำ - เป็นระบบที่ต้องการแหล่งพลังงาน
ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	- สามารถกำจัดสี reactive และ azo ในน้ำเสียได้ - อาจได้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน	- อาจเกิดสารที่เป็นพิษขึ้น - ต้องมีระบบบำบัดขั้นที่สองต่อหลังบำบัดอีกครั้ง

2.6 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation/Flocculation)

กระบวนการ โคแอกกูเลชัน/กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (Coagulation/Flocculation) กระบวนการ โคแอกกูเลชัน เป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก คอลลอยด์มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1-1 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถแยกตัวออกจากน้ำได้โดยวิธีการตกตะกอนตามธรรมชาติ เนื่องจากอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดเล็กเกินไป หลักการของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน คือ การเติมสาร โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) เช่น สารส้ม (Aluminum sulfate, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$) ลงไปในน้ำเสียทำให้คอลลอยด์หลายๆอนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนลงมาได้รวดเร็ว สารแอกกูแลนต์ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวประสานให้อนุภาคมารวมตัวกันเป็นฟล็อก

ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการ โคแอกกูเลชันมี 2 ส่วน คือ ด่างความเร็ว และด่างวนช้า ด่างความเร็วเป็นที่เติมสารเคมีและเป็นทางเข้าของน้ำเสีย สารเคมีและน้ำเสียจะผสมกันทันทีอย่าง

รวดเร็วในถังนี้ ส่วนถังกวนช้าเป็นที่สำหรับกระบวนการสร้างฟล็อก (Flocculation) ที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์ เพื่อส่งไปตกตะกอนในถังตกตะกอนซึ่งอยู่ตามหลังถังกวนช้าหรืออาจรวมอยู่ในถังเดียวกันถังกวนช้า อนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่ถูกบำบัดโดยถังตกตะกอน จะถูกส่งต่อไปบำบัดในถังกรอง น้ำที่ออกจากถังกรองจึงมีความใสสูงมาก (ในระบบของโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นถังปฏิกิริยาไบเดียว (Reactor tank) โดยมีการเกิดกระบวนการทั้งสองขั้นตอนในถังเดียวกันคือกระบวนการโคแอกกูเลชัน กระบวนการฟล็อกกูเลชัน กระบวนการตกตะกอน และแยกน้ำใส)

กระบวนการฟล็อกกูเลชัน เป็นขั้นตอนต่อจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยจะมีการกวนช้า (Slow mixing) เกิดขึ้นเพื่อสร้างตะกอนน้ำเสียให้มีขนาดใหญ่และหยาบมากขึ้น ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ง่ายมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการรวมตะกอนประมาณ 30-60 นาที สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟล็อกกูเลชัน หลังจากการเติมสารส้ม และปรับสภาพความเป็นกลางด้วยด่าง (Neutralization process) แล้วอาจจะต้องมีการเติมสารแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aid) เป็นสารเคมีประเภทโพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) ซึ่งเป็นสารโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยโคแอกกูแลนต์เอ็ด ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคหรือฟล็อกให้เกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ง่าย

2.6.1 กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและสารรวมตะกอน

กระบวนการ โคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน มีความสำคัญต่อระบบน้ำประปา เนื่องจากสารเจือปนบางชนิดเป็นของแข็งไม่จมตัว (nonsetttable solids) สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ทำให้กำจัดออกจากระบบได้ยาก ดังนั้นกระบวนการ โคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ โดย เปลี่ยนของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและหนักขึ้น โดยการเพิ่มและผสมสารสร้างตะกอน (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 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคและการรวมตะกอนเข้าด้วยกัน (มันสิน ตัญกุลเวศม์, 2542) ซึ่งมีหลักการดังนี้

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

1) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ทำได้โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย 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 ทำให้อนุภาคที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นฟล็อก วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี คือ

1) ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่

ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปมิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกกุเลชั่น เรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้ชื่อเทคนิคว่า 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 เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกแบบนี้ เรียกว่า กรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้ แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในการรวมตะกอนไม่ดีเท่าชั้นทราย หรืออีกวิธีคือใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งเป็นการใช้ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ซึ่งเป็นการนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคจากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ

5) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการนี้ได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอนนั้นอาศัยอุปกรณ์ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังกวนช้า (Flocculation Tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมสารรวมตะกอนจะทำหน้าที่กระจายสีเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค

เกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแม้ว่าถังกวนเร็วและถังกวนช้าทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอนและถังกรองซึ่งตามมาทีหลัง

2.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน

ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนจะดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1) อุณหภูมิ มีผลต่อความหนืดของน้ำ คืออุณหภูมิต่ำความหนืดสูง ทำให้อัตราการตกตะกอนช้าลงเพราะการรวมตัวเกิดกลุ่มก้อนช้า และอุณหภูมิสูงความหนืดต่ำ ทำให้อัตราการตกตะกอนได้ดีเพราะการรวมตัวเกิดกลุ่มก้อนเร็ว

2) คุณสมบัติและชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ที่มีสภาพเป็นประจุบวกหรือประจุลบหรือเป็นคอลลอยด์ประเภทที่ไม่ชอบน้ำ จะมีโอกาสถูกกำจัดออกจากน้ำได้ง่ายกว่าประเภทที่ชอบน้ำ หากทราบชนิดของคอลลอยด์ จะช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม จากการศึกษาผลของ pH ต่อการกำจัดสี พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี คิสเพอร์ส และสีรีแอกทีฟ ทำการศึกษาที่ pH 4 – 9 โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นสารโคแอกกูแลนต์ 0.15 mM สำหรับสีคิสเพอร์ส และ 0.50 mM สำหรับสีรีแอกทีฟ ซึ่งพบว่าที่ pH 5 สีคิสเพอร์ส กำจัด COD และสี ได้ร้อยละ 77.8 และ 93.9 ตามลำดับ ส่วนที่ pH 6 สีรีแอกทีฟ กำจัด COD และสี ได้ร้อยละ 63.3 และ 43.9 ตามลำดับ (Kim et al, 2004)

3) ปริมาณของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าน้ำมีปริมาณคอลลอยด์มากจะตกตะกอนได้ดีกว่าและใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำที่มีปริมาณคอลลอยด์น้อย เพราะน้ำที่มีความเข้มข้นสูงๆ 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 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสารส้มเพิ่มขึ้น 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 ที่เหมาะสมสำหรับสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ(มัลลิกา ปัญญาคะ ไป, 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 ปฏิกริยาเคมีที่เกิดในกระบวนการสร้างตะกอนจะสมบูรณ์ได้นั้นต้องอาศัยส่วนประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำที่สำคัญ ได้แก่ สภาพความเป็นด่างในน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH สำหรับสารสร้างตะกอนบางตัวเพื่อให้ปฏิกริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6) เกลือแร่ต่างๆ และการมีอนุภาค เช่น ซัลเฟตหรือฟอสเฟต จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดกลุ่มก้อนเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

- เปลี่ยนแปลงช่วง pH ที่ดีที่สุดของการเกิดกลุ่มก้อน
- เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดกลุ่มก้อน
- ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหลือในน้ำเปลี่ยนแปลงไป
- ปริมาณสารที่ใช้ในการสร้างตะกอนสำหรับการเกิดกลุ่มก้อนจะมีการเปลี่ยนแปลง

7) คุณสมบัติและชนิดของสารที่ใช้ในการสร้างตะกอน ซึ่งสารแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติของการตกตะกอนและปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของกลุ่มก้อน ความเร็วของการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน การเลือกชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีมาเป็นสารสร้างตะกอนพิจารณาได้จากคุณสมบัติของน้ำ เสียดังนั้นจึงต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารสร้างตะกอนจากการศึกษาการกำจัดดี โดยการตกตะกอนด้วยสารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่าระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวนอย่างต่ำ 10-20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกริยาที่สมบูรณ์ และ pH ที่เหมาะสมคือ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 95.68 และ 92.57 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดดีของน้ำเสียจากการข้อมไหมด้วยสิขธรรมชาติ 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 ส่วนการกวนช้า มีวัตถุประสงค์เพื่อให้กลุ่มก้อนเล็กๆจากการกวนเร็วมีโอกาสที่จะสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Matsushita et al, 2004) จากการศึกษากำจัดสีโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มและเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า ระยะเวลาสัมผัสหรือระยะเวลาในการกวนมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยปฏิกิริยาจะเริ่มตั้งแต่นาทีแรก และจะเริ่มคงที่หลังจาก 10 นาที เป็นต้นไป จึงควรใช้เวลากวนอย่างต่ำ 10-20 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ และ pH ที่เหมาะสมคือ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 95.68 และ 92.57 ตามลำดับ (วัชรพันธ์ และคณะ ,2550)

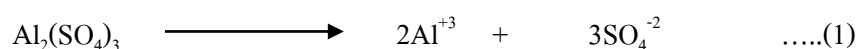
2.6.3 การกำจัดสีโดยกระบวนการ Coagulation-Flocculation

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

2.6.3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ Coagulation-Flocculation มีดังต่อไปนี้

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

สารส้มเป็นสาร โคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้ในประเทศไทยมากที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม(อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล คือ $Al_2(SO_4)_3$ เมื่อเติมสารส้มลงไปใต้น้ำจะแตกตัวให้อิออนบวก และลบ ดังปฏิกิริยาที่ (1)



เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำเกิดเป็น $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังปฏิกิริยา (2)-(4) ต่อไปนี้



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



ผลของปฏิกิริยาที่เกิดจากการดูดซับผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง $\text{Al}(\text{OH})_3$ สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ คือถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (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 $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชัน จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก 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) กลไกแบบดูดซับผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) ซึ่งเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง

1.2) กลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) จะเกิดในกรณีที่มีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ทำให้เกิดผลึกของ $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถจับกับอนุภาค และทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว จึงทำหน้าที่สร้างเป่าส้มฝั้อนุภาคคอลลอยด์จนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

1.3) กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุกับกลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ โดยความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าการทำลายเสถียรภาพ โดยกลไกจุดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกการสร้างผลึกขึ้นเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ

การศึกษาการตกตะกอนสีจากน้ำเสียด้วยสารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เพอริคลอไรด์ เพอร์สซัลเฟต สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์ ในส่วนของ Alum เมื่อใช้ในการตกตะกอนสีโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจะเตรียมจากสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ ที่มีจำหน่าย ในท้องตลาดปัจจุบัน ได้แก่ สีรีแอคทีฟ สีแอคติก สีเบสิก สีไดเรกต์ และสีดิสเพอร์ส พบว่า สามารถตกตะกอนสีดิสเพอร์สได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนสีประมาณร้อยละ 99 และประสิทธิภาพในการลดค่า COD ประมาณร้อยละ 70-84 (จารุทัศน์ มลิณะทะเล, 2537)

จากการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ และสี ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยการทำกรทดลอง Jar Test มีการกำหนดสภาวะในการศึกษา คือ การกวนเร็ว ใช้ความเร็วรอบ 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 ($PACl : Al_n(OH)_m Cl_{3n+m}$)

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride, PACl) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ในประเศญี่ปุ่น และบางประเทศในทวีปยุโรป PACl ถูกเตรียมขึ้นโดยอลูมิเนียมที่เป็น Al_2O_3 นี้จะทำปฏิกิริยากับ HCl ที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้รวมตัวเป็น $AlCl_3$ หลังจากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเบสที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อให้รวมตัวเป็นอลูมิเนียมโพลิเมอร์ ซึ่งเมื่อเติมสารส้มลงไป สารละลายนี้

สารส้มจะไปลดความเข้มข้นของ Al_2O_3 ให้เหลือร้อยละ 10-11 และเติมซัลเฟตลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอลูมิเนียม 2 อะตอม สูตรทั่วไปของ PACI คือ $Al_n(OH)_mCl_{3n+m}$ เมื่อ PACI ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันที เกิดเป็นอลูมิเนียมเชิงซ้อนมากมาย ซึ่งตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ $[Al_13O_4(OH)_{24}]^{+7}$ หรือ Al^{+3} ซึ่งการรวมตัวเป็นอลูมิเนียมจะขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของด่างกับ สารละลายอลูมิเนียม, ชนิดและความเข้มข้นของด่าง, ความเข้มข้นของสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์, อุณหภูมิซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาณของด่างที่เติมลงไป และ pH

การศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย PACI โดยทำการศึกษา pH ปริมาณ PACI และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสมกับน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่นำมาทดลองแบ่งตามประเภทของสีย้อมออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รีแอคทีฟ เอซิด ไคเร็กซ์ และดิสเพิส ผลการศึกษา พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับประเภทสีย้อม ชนิดของ โทไนต์ ระดับ pH ที่เหมาะสม ปริมาณ PACI และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสม ซึ่งสีย้อมประเภทที่ไม่ละลายน้ำจะถูกกำจัดได้ง่ายกว่า สีประเภทที่ละลายน้ำ และน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีระดับ pH ที่เหมาะสมที่ต่างกันแตกต่างกัน (กาญจนา ครองธรรมชาติ, 2535)

การศึกษาการตกตะกอนสีจากน้ำเสียด้วยสารตกตะกอนชนิด ต่าง ๆ ได้แก่ เฟอร์ริคคลอไรด์ เฟอร์รัสซัลเฟต สารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเบนโทไนท์ ในส่วนของ PACI เมื่อใช้ในการตกตะกอนสีโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งจะเตรียมจากสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ ที่มีจำหน่าย ในท้องตลาดปัจจุบัน ได้แก่ รีแอคทีฟ สีแอลิก สีเบสิก สีไคเร็กซ์ และสีดิสเพอร์ส พบว่า สามารถตกตะกอนสี ไคเร็กซ์ได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการตกตะกอน สีประมาณร้อยละ 98 และประสิทธิภาพในการลดค่า COD ประมาณร้อยละ 83% (จารุทัศน์ มลิณฑะเลข, 2537)

จากการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ และสี ด้วยกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ซึ่งมีการใช้สีหลายประเภท เช่น ดิสเพอร์ส รีแอคทีฟ พิกเมนต์ และ แร็ด เป็นต้น ได้ทำการศึกษาโดยการทำการทดลอง Jar Test มีการกำหนดสภาวะในการศึกษา คือ การกวนเร็วใช้ความเร็วรอบ 100 rpm และกวนช้า 40 rpm ใช้น้ำเสีย 500 ml ซึ่งจากการทดลอง Jar Test พบว่า ปริมาณ PACI 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 PACI 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 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแอสซิริออล 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 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอร์ริก ไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$)

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 10^9 - 10^7 ม.

3.2) กระบวนการ Flocculation เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็ก ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการ Coagulation ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดมากกว่า 10^7 ม. 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 และใช้เวลาดกตะกอน 120 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด คือ ร้อยละ 54 (Rana and Suresh, 2017) โดยจากการทดลองของ Kim et.al. (2004) ได้มีการศึกษาการกำจัดสี ย้อมรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบเช่นเดียวกับสีย้อมแอซิด 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 ชนิดคือ โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Polymer) เช่น เซลลูโลส, เจลาติน, แป้ง เป็นต้น และโพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Polymer) โดยการนำโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกันซึ่งสามารถจัดสารสังเคราะห์ขึ้นได้ตามต้องการ โดยสามารถทำให้มีขนาดแตกต่างกันทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่าง และยังสามารถจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของโพลีเมอร์ให้เป็นเส้นตรงหรือกิ่งสาขาได้ (โกมล ศิวะบวรและคณะ, 2534) โพลีเมอร์บางครั้งเรียกว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes) เมื่อพิจารณาถึงประจุที่มีอยู่บนสายโพลีเมอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

-Anionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นลบ เช่น Polyacryamide

-Cationic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นลบเช่น Polyamide

-Nonionic Polymer เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ เช่น แป้ง

โพลีเมอร์เป็นสารเคมีที่นำมาใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญคือใช้เป็นสารช่วยเร่งให้สร้างตะกอน ซึ่งโพลีเมอร์มีโครงสร้างเป็นสายยาวเมื่อเติมลงไปในการบวกรสร้างตะกอน โพลีเมอร์จะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้กลุ่มตะกอนเคลื่อนที่มาสัมผัสและรวมกันตกตะกอนลงมาเร็วขึ้น แต่หากเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์กลับคืนมาสู่สภาวะเสถียรอีกครั้ง (Rebhun and Lurie, 1993) โพลีเมอร์ที่มีประจุบวกสามารถให้เป็นสารสร้างตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงและต่ำได้ เมื่อใช้ค่า G (Velocity Gradient) ในการกวนเร็วมากกว่า 400 ต่อวินาที และทำให้ได้ตะกอนที่มีปริมาตรต่ำจึงง่ายต่อการนำไปกำจัด นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นจะหนักและมีความหนาแน่นมากกว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้สารสร้างตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ จึงทำให้การสร้างตะกอนและรวมตัวกันของตะกอนดีกว่า โพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้เนื่องจาก

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

การศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วย PACI โดยทำการศึกษา pH ปริมาณ PACI และปริมาณ Polymer ที่เหมาะสมกับน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่นำมาทดลองแบ่งตามประเภทของสีย้อมออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รีแอกทีฟ เอซิด ไคเร็กท์ และดิสเพอร์ส ผลการศึกษา พบว่าเมื่อใช้ โพลีเมอร์ ร่วมกับ PACI ในการตกตะกอน พบว่ามี ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ เอซิด ไคเร็กท์ 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 54.2-95.0ตามลำดับ (กาญจนา ครองธรรมชาติ, 2535)

2.6.4 การเปรียบเทียบชนิดของสารโคแอกกูแลนซ์ที่ใช้

จากตารางที่ 2.6 พบว่า สาร โคแอกกูแลนซ์ที่นิยมใช้มีดังนี้ PACI, Alum, Aluminium chloride, Ferric chloride, Ferric sulfate และ Magnesium chloride ซึ่งสาร โคแอกกูแลนซ์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี COD และของแข็งแขวนลอยในน้ำค่อนข้างสูง โดยสาร โคแอกกูแลนซ์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี COD และของแข็งแขวนลอยในน้ำเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ PACI > Magnesium chloride > Ferric chloride > Alum > Ferric sulfate > Aluminium chloride ซึ่งจากประสิทธิภาพในการกำจัดจะเห็นว่า PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัด สี และ COD ที่สูงสุด เมื่อเทียบกับสาร โคแอกกูแลนซ์ ชนิดอื่น ๆ และปริมาณ PACI ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้อยกว่าสาร โคแอกกูแลนซ์ชนิดอื่น และสาร โคแอกกูแลนซ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมา คือ Magnesium chloride และ Ferric chloride ตามลำดับ ซึ่งในการเลือกใช้สาร โคแอกกูแลนซ์ ควรคำนึงถึงคอลลอยด์ที่ต้องการกำจัด ได้แก่ ประจุของสี และคอลลอยด์ในน้ำเสีย ค่า pH ของน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับน้ำเสีย และต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินระบบด้วย โดยการปริมาณสาร โคแอกกูแลนซ์น้อยจะช่วยลดต้นทุนในการเดินระบบลงได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณสาร โคแอกกูแลนซ์ของ Magnesium chloride และ Ferric chloride พบว่าปริมาณ

Magnesium chloride ต้องใช้ปริมาณมากกว่า Ferric chloride แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีต่างกัน เพียงร้อยละ 7 ดังนั้น ในการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับน้ำเสียที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี เลือกใช้ PACl และ Ferric chloride เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ซึ่ง เป็นสารที่มี ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอสูง ทั้งสี ค่า COD และของแข็งแขวนลอย และจากการทบทวนเอกสาร พบว่า สาร Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในปัจจุบัน เนื่องจากสะดวกในการใช้ ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ ดังนั้นในการศึกษา วิจัยจึงเลือกใช้ Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอน

2.6.5 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันต้องรู้ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโค แอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดและปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม ระดับ pH ของน้ำ ความเร็วเกร เดียนท์ และระยะเวลาในการกวนน้ำ จึงต้องมีการทดลองจาร์เทสเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ น้ำเสีย เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป (มันสิน ตันทุลเวสม์, 2542)

2.6.5.1 การทดลองจาร์เทสต์

จาร์เทสเป็นวิธีทดสอบอย่างง่าย ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดย ทำการทดลองในบีกเกอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสามารถปรับความเร็วรอบได้ ในการทดลอง แต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์ และกำหนดสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาตรของน้ำ ตัวอย่าง ความเร็วรอบ ระยะเวลาการกวนน้ำ และระยะเวลาในการตกตะกอน จากนั้นทำการทดลอง โดยแปรเปลี่ยนปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ และระดับ pH ของน้ำตัวอย่าง ซึ่งจากการทดลองจาร์ เทสจะได้ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์และ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดโคแอกกูเลชันของน้ำตัวอย่าง โดยหากน้ำตัวอย่าง และชนิดสาร โคแอกกูแลนต์ที่ต่าง จะมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนที่ ต่างกัน และประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่างกันด้วย ดังข้อมูลในตารางที่ 2.6 ยกตัวอย่างเช่น ในการ ทดลองของ Wong et al.(2007) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้สาร โคแอกกูแลนต์ที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ PACl, Alum และ Magnesium Chloride ซึ่งพบว่า มีปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมแตกต่างกัน คือ 150, 200, และ 3,000 mg/L และมีช่วง pH ที่เหมาะสมที่ต่างกันสำหรับสาร โคแอกกูแลนต์แต่ละชนิด คือ 4.4-4.7, 4.1-4.3 และ 10.5-10.8 ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD มากกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นใน การศึกษาวิจัยจึงต้องมีการทำการทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียจาก อุตสาหกรรมสิ่งทอแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.6 การทบทวนงานวิจัยสาร โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม

Process conditions					Removal parameter (%)				References
ชนิดของสาร Coagulant	ความเข้มข้น (mg/l)	pH	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะเวลา (min)	COD	BOD ₅	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)
			Slow 50	2		52	TSS 47		
150	4.4-4.7	Rapid 60-65	3	93.6	-	100	-	Wong et al.(2007)	
		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)
			Slow 50	2		38	TSS 46		
200	4.1-4.3	Rapid 60-65	3	93.1	-			Wong et al.(2007)	
		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 การทบทวนงานวิจัยสาร โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อม (ต่อ)

Process conditions					Removal parameter (%)				References
ชนิดของสาร Coagulant	ความเข้มข้น (mg/l)	pH	ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะเวลา (min)	COD	BOD ₅	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)
			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)
			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					

2.7 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) ซึ่งความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับน้ำเสียดัวยวัสดุดูดซับขึ้นกับปัจจัยหลายประการดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งสามารถสรุปเป็นปัจจัยหลัก ๆ ได้ดังนี้

1) สมบัติของตัวดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ ในการศึกษาการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียดัวยกระบวนการดูดซับ พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับประจุบนผิวของตัวดูดซับและประจุของสีย้อมเมื่อละลายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับทางเคมี สีย้อมที่มีประจุลบในโมเลกุลจะถูกดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำ เพราะ ผิวของตัวดูดซับจะมีไอออนบวกจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) ปริมาณมากเกาะอยู่ที่ผิว ซึ่งสภาพประจุบนผิวของตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความเป็นกรดต่างของสารละลายในขณะนั้นด้วย (รวินิภา ศรีมูล, 2559)

2) ความเข้มข้นของสารละลาย การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นสารบนตัวดูดซับกับสารละลาย ดังในการศึกษาการดูดซับไอโซเทอร์มเมอร์และจลนพลศาสตร์ของสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมะพร้าว พบว่า ความสามารถในการดูดซับเมื่อเทียบกับระยะเวลาในการดูดซับที่เวลาต่าง ๆ และที่ความเข้มข้นของ MB เริ่มต้นต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าเวลาในการสัมผัสกับสารละลาย MB ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50-300 มก. / ล. ในการเข้าสู่สมดุลคือประมาณ 2 ชั่วโมง ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นสูงกว่า 400-500 มิลลิกรัมต่อลิตรต้องใช้เวลาเข้าสู่สมดุลประมาณ 30 ชั่วโมง (Tan et al., 2008)

3) ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกการดูดซับจะเกิดเร็วมากเนื่องจาก concentration gradient ในสารละลายและที่ว่าง บนผิวของตัวดูดซับยังคงมีมากทำให้ดูดซับสีย้อมได้มาก หลังจากนั้นการดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะที่ว่างเหล่านั้นดูดซับสีย้อมไว้เต็มที่แล้ว ดังในการศึกษาพฤติกรรมดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชานอ้อย พบว่า ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับจะเริ่มช้าลง และเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง (จักรกฤษณ์ และบุญส่ง, 2555)

4) ปริมาณของตัวดูดซับ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลาย ดังในการศึกษาจลนพลศาสตร์ และสมดุลใน

การดูดซับสีย้อมสิ่งทอโดยถ่านกะลามะพร้าว พบว่า การเพิ่มปริมาณสารดูดซับปริมาณสารดูดซับที่ดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของการดูดซับจะลดลง (Aljeboree et al., 2017) และการศึกษาโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เถ้าในการดูดซับสีคองโกเรด พบว่า เมื่อใช้ปริมาณถ่านต่อสารละลาย 0.5-0.35 g/l ร้อยละการดูดซับจะเพิ่มจาก 30.0 เป็น 70.1 (Jain and Sikarwa, 2008)

5) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับ ในกระบวนการดูดซับความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การดูดซับเกิดได้ดีขึ้น แต่ในกระบวนการคายความร้อนการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การดูดซับลดลง เนื่องจากการละลายของสีย้อมเกิดขึ้นได้ดี ทำให้แรงดึงดูดระหว่างสีย้อมกับตัวดูดซับลดลง ดังในการศึกษาการดูดซับไอโซเทอร์มอร์และจลนพลศาสตร์ของสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมะพร้าว พบว่าความสามารถในการดูดซับลดลงจาก 434.78 เป็น 384.62 mg / g เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 30-50 ° C บ่งบอกถึงลักษณะความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความสัมพันธ์ทางกายภาพระหว่างสารประกอบอินทรีย์ (รวมทั้งสีย้อม) และ active sites ของสารดูดซับอ่อนลง นอกจากนี้ความสามารถในการละลายของ Methylene Blue จะเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้แรงปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับสีย้อมมากกว่าสีย้อมกับตัวดูดซับ ดังนั้นสีย้อมถูกดูดซับได้ยากขึ้น (Tan et al., 2008) ดังนั้น กระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่เหมาะสม เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ถ่านกัมมันต์หรือการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ถ่านไม้ชนิดต่างๆ กะลามะพร้าว และ ขี้เถ้า เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ตัวดูดซับแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมดูดซับสีย้อมที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น สมบัติของตัวดูดซับ สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ ความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นของสารละลายระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ และอุณหภูมิ ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพและพฤติกรรมดูดซับทั้งสิ้น การเลือกใช้วัสดุดูดซับควบคู่ไปกับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับจะช่วยให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดีและช่วยลดปริมาณสี

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)	ขี้เถ้า	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	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับของ GRL และ DY 12 ลดลง เพราะอุณหภูมิสูงทำให้ความสามารถในการละลายของสีข้อมเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างสีข้อมและตัวทำละลายดีกว่าระหว่างข้อมและ 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)	ขานอ้อย	Reactive Black 5	เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นด้วย
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 ทำให้เกิดการแข่งขันกับกลุ่มไอออนบวกของสีข้อมทำให้การดูดซับลดลง
	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) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบของเหลว-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

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง ดังตารางที่ 2.8

นอกจากการแบ่งประเภทการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแล้วยังอาจแบ่งประเภทการดูดซับตามกลไกเพิ่มเติมได้อีก คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม และการดูดซับแบบเฉพาะเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุล ตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ พฤติกรรมการดูดซับนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ และเคมี

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

จากการศึกษาการการดูดซับสีของผ้า ด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีเมทิลเรดจากน้ำเสียสังเคราะห์ ได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุด ร้อยละ 64.47 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีเมทิลเรด คือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 g ความเข้มข้นของสารละลายสีเมทิลเรดเริ่มต้นสูงสุด 300 mg/l และในสภาวะที่เป็นกรด (วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ, 2558) สอดคล้องกับผลการศึกษากำจัดสีของผ้าด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสี Methylene Blue ได้แก่ ปริมาณถ่านกัมมันต์ เวลาเข้าสู่สมดุล ความเป็นกรดต่าง และไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่า ปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับเท่ากับ 32 g/l เวลาในการดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 150 นาที ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.00 และเป็นไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และเมื่อใช้ถ่านในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมพบว่า สีของน้ำทิ้งตัวอย่างมีความเข้มข้นลดลงร้อยละ 63.5-75.6 (อรดี และศศิธร, 2557) และจากการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทน โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตสำหรับการดูดซับสีของผ้า พบว่าในการทดสอบการดูดซับสีของผ้าและศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับสีด้วยแบบจำลองจลนศาสตร์อันดับหนึ่งเทียมและอันดับสองเทียม พบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสีของผ้าเป็น 500 mg/g และการดูดซับดังกล่าวเป็นการไปตามแบบจำลองจลนศาสตร์อันดับสองเทียม (ศรีสุดา และคณะ, 2558) ในการศึกษาของ Liu et al.(2012) และ Gecgel et al (2013) พบว่า ผลของ pH ในสารละลายส่งผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสีของประจุลบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีเมื่อพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ($pH < pH_{zpc}$) หรือในสภาวะที่เป็นกรด และจากผลการศึกษาของ Katheresan et al.(2018) พบว่าค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ คือ อัตราการดูดซับต่ำเมื่อ pH ต่ำและ ในทางกลับกันอัตราการดูดซับสูงสุดถ้า pH อยู่ที่ประมาณ 6 และในการศึกษาการดูดซับสีของเอซิดซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้ในการย้อมไหม พบว่า การดูดซับสีของเอซิดส่วนใหญ่การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสอง (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 และจากงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่าสีของน้ำสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพ

ในการกำจัดสีมากกว่าร้อยละ 60 โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์ที่มีขายอยู่ทั่วไป เนื่องจากการศึกษาระบบรวมนี้นี้ เป็นการศึกษาเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ดังนั้น ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์จึงเป็นทางเลือกที่ง่ายต่อการซื้อ และง่ายต่อการใช้งานที่สุด

2.8 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรมให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นอาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ไว้ดังตารางที่ 2.9 ส่วนสี ให้ใช้วิธีเอดีเอ็มไอ (ADMI Method) ADMI ย่อมาจาก American Dye Manufacturers Institute ถือเป็นหน่วยมาตรฐานในการวัดค่าสี เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของสีย้อมและเม็ดสีในน้ำเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษอาหาร พลาสติก และเครื่องสำอาง จากการกำหนดค่าสีในน้ำทิ้ง ให้มีค่าสี (Color) ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ โดยประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยจะมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 07 มิถุนายน 2560 เป็นต้นไป

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม(ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2560)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	
พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน
ค่าความเป็นกรด ต่าง pH	5.5 – 9.0
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
สี (Color)	ไม่เกิน 300 เอ็ดเอ็มไอ
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

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ มีขั้นตอนการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

3.1 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4, 5 และ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

3.2 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 14 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐานประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1) การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน (single coagulation) และกระบวนการดูดซับ (single adsorption)

ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐานประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการคูดซ์บ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน

23

2) สรุปทางเลือกในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการคูดซ์บ

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการคูดซ์บ

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐานประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1) การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการคูดซ์บเพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

2) สรุปผล และวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาข้อมูลพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้

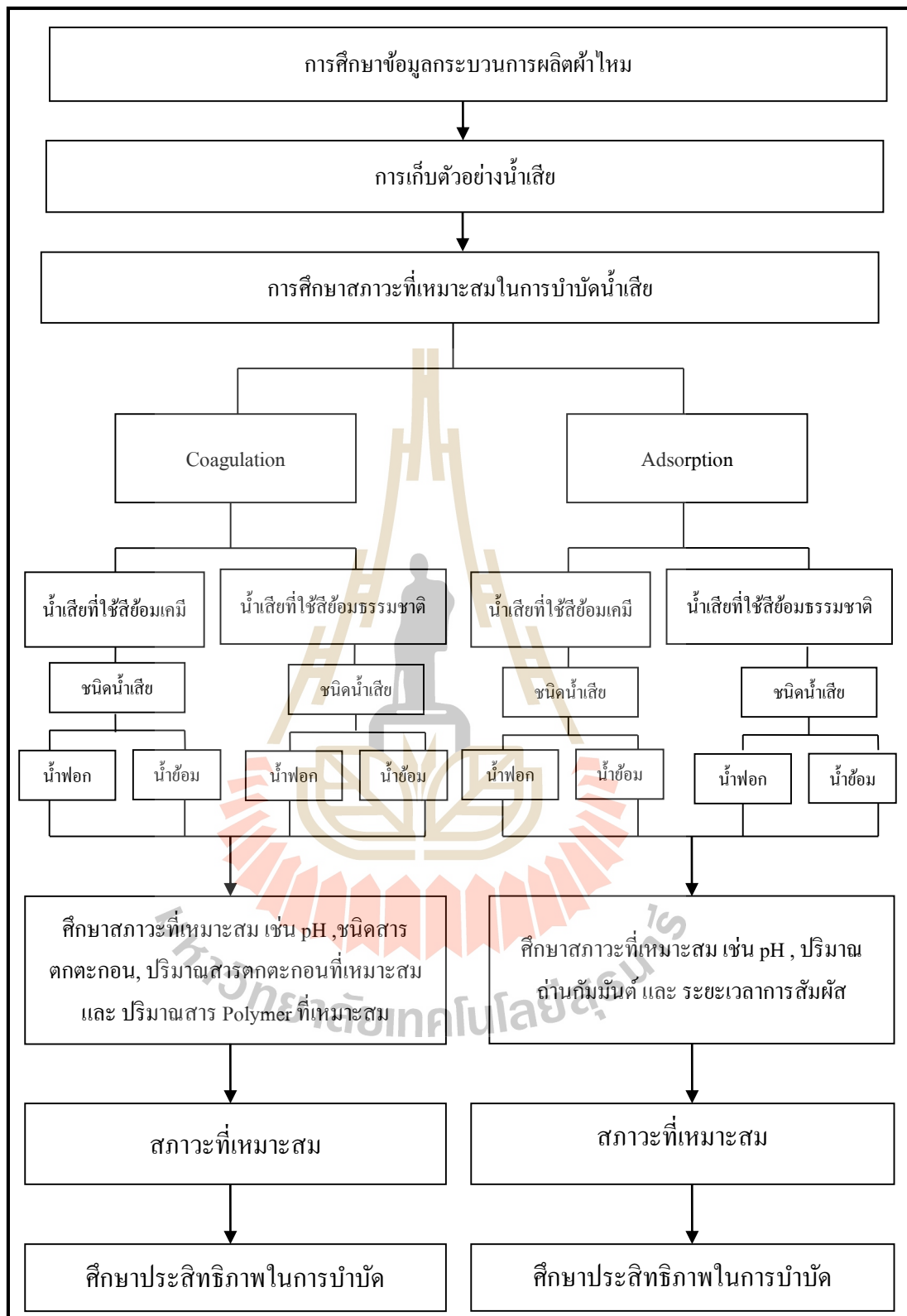
1) การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

1.1) การศึกษากระบวนการผลิตผ้าไหม

ที่ลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลสถานประกอบการผลิตผ้าไหมที่อยู่ในพื้นที่ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา ทำการคัดเลือกสถานประกอบการเพื่อเป็นตัวแทนของสถานประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน โดยทำการคัดเลือกกระบวนการผลิตผ้าไหมที่ใช้สีย้อมเคมี และสีย้อมธรรมชาติแห่งละ 1 ที่ โดยใช้เกณฑ์ความสมัครใจและความพร้อมในการให้ข้อมูล เพื่อทำการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต รายละเอียดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำ ปริมาณสารเคมี ชนิดสีที่ใช้ เป็นต้น เพื่อให้ทราบข้อมูลลักษณะน้ำเสียเบื้องต้น และนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยให้สมดุลมวลของกระบวนการผลิต และการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้ประกอบการ พร้อมทั้งทบทวนจากงานวิจัยที่ผ่านมา

1.2) การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

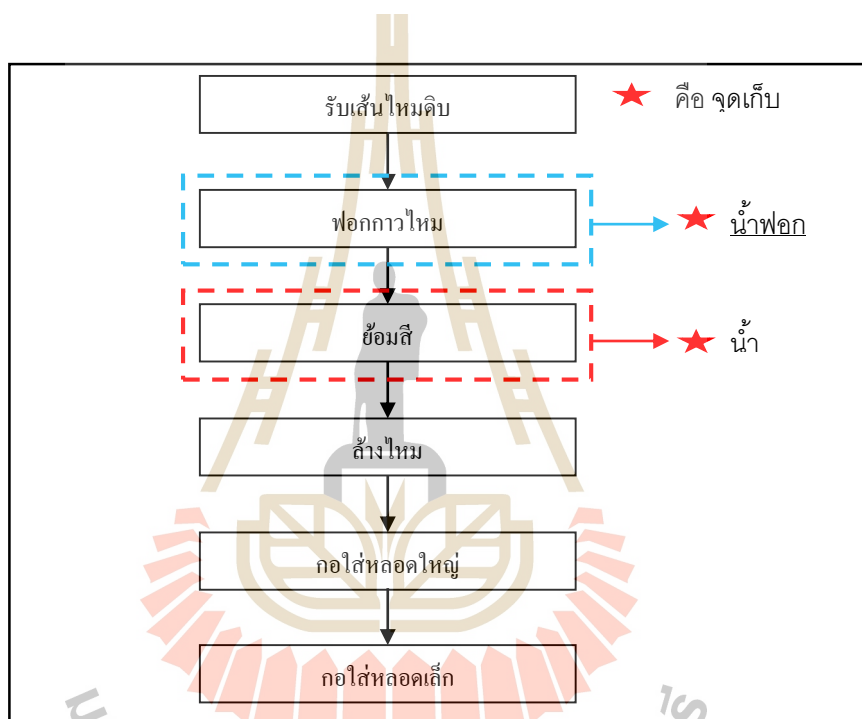
จากการสำรวจข้อมูลสถานประกอบการผลิตไหมตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวข้างต้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกลุ่มสถานประกอบการ 2 แห่ง เพื่อเป็นตัวแทน ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

1. วิชาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านคู

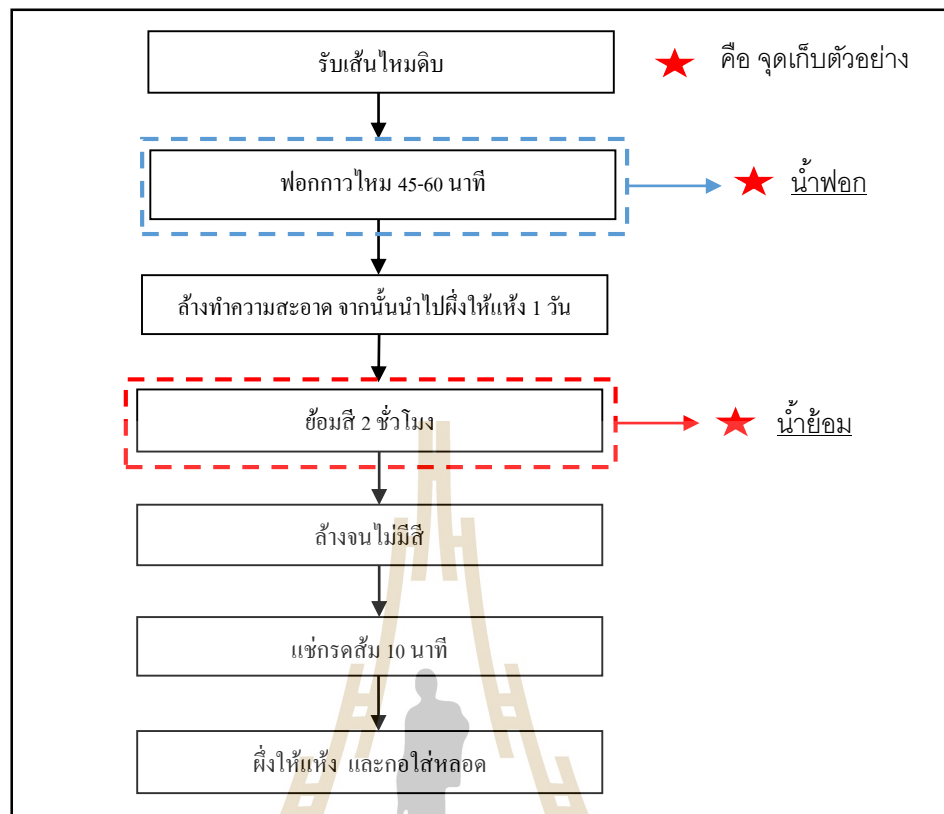
ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 29 หมู่ 6 ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30150 มีสมาชิกทั้งหมด 24 คน ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตสินค้าผลิตภัณฑ์ผ้าทอและผ้าสิ่งทอจากไหม วิชาหกิจชุมชนกลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านคูเป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติในกระบวนการย้อม ในการเก็บน้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียแสดงในรูปที่ 3.2 แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีธรรมชาติ



รูปที่ 3.2 จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

2. ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย

ตั้งอยู่บ้านเลขที่ 118/1 หมู่ 7 ถนนสีบศิริ ตำบลนกออก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประกอบกิจการผลิตและจำหน่ายผ้าไหม ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับไหมทุกประเภท ห้างหุ้นส่วนจำกัด มัชชาดาไหมไทย เป็นตัวแทนของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีในกระบวนการย้อม ในการเก็บน้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียแสดงในรูปที่ 3.3 แบ่งตัวอย่างน้ำเสียออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำฟอก และน้ำย้อมสีเคมี



รูปที่ 3.3 จุดเก็บน้ำตัวอย่างของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

1.3) ความถี่ในการเก็บตัวอย่างและรายละเอียดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา
ทดลอง

ความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยของน้ำตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด
รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1 และรายละเอียดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดลองได้แก่
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ และ
การศึกษาระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยแสดงในตารางที่ 3.2

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

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง	จำนวนตัวอย่าง (ครั้ง)			
	สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ		สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี	
	น้ำฟอก	น้ำย้อม	น้ำฟอก	น้ำย้อม
1. กระบวนการโคแอกกูเลชัน	3	3	3	3
2. กระบวนการดูดซับ	3	3	3	3
3.ระบบร่วมระหว่าง กระบวนการโคแอกกูเลชันและ กระบวนการดูดซับ	6	6	6	6

1.4) การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตของสถานประกอบการ ทั้ง 2 แห่ง นำตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน รายละเอียดพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะน้ำ (APHA, AWWA, and WEF, 2012)

Parameter	Unit	Analytical methods
pH	-	pH Meter
Color	Pt-Co	2120 C.Spectrophotometric Method
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 และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนของกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

2.1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าชนิดของสาร โคแอกกูแลนต์ มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ในน้ำเสียจริงจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และจากการพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD พบว่า PACI และ $FeCl_3$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD สูงเมื่อเทียบกับสาร โคแอกกูแลนต์ชนิดอื่น ๆ และหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้สารทั้ง 2 ชนิด เป็นสาร โคแอกกูแลนต์สำหรับกระบวนการ โคแอกกูเลชัน ในการศึกษานี้ใช้ PACI และ $FeCl_3$ ความเข้มข้น 50 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้ Polymer เป็นสารช่วยสร้างตะกอนในการศึกษาวิจัย ซึ่งมีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร และใช้ H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.1 N และ NaOH ความเข้มข้น 0.1 N ในการปรับ pH โดยทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการก่อตะกอนและรวมตะกอนได้แก่ ปริมาณสาร โคแอกกูแลนต์ ,ปริมาณสารช่วยตกตะกอน และ pH เป็นต้น ในการศึกษาค่าสภาวะที่เหมาะสมจะใช้เครื่อง Jar Test เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ และมีการกำหนดสภาวะในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะที่กำหนดสำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

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

2.2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับ

2.2.1) การเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่สั่งซื้อจากบริษัท ซี.ไอ.แกนต์คิก คาร์บอน จำกัด ซึ่งเป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดขนาด 8×30 และ Iodine number 1,200 mg/g(รายละเอียดของถ่านกัมมันต์แสดงในภาคผนวก ค.) มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับ

2.2.2) การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

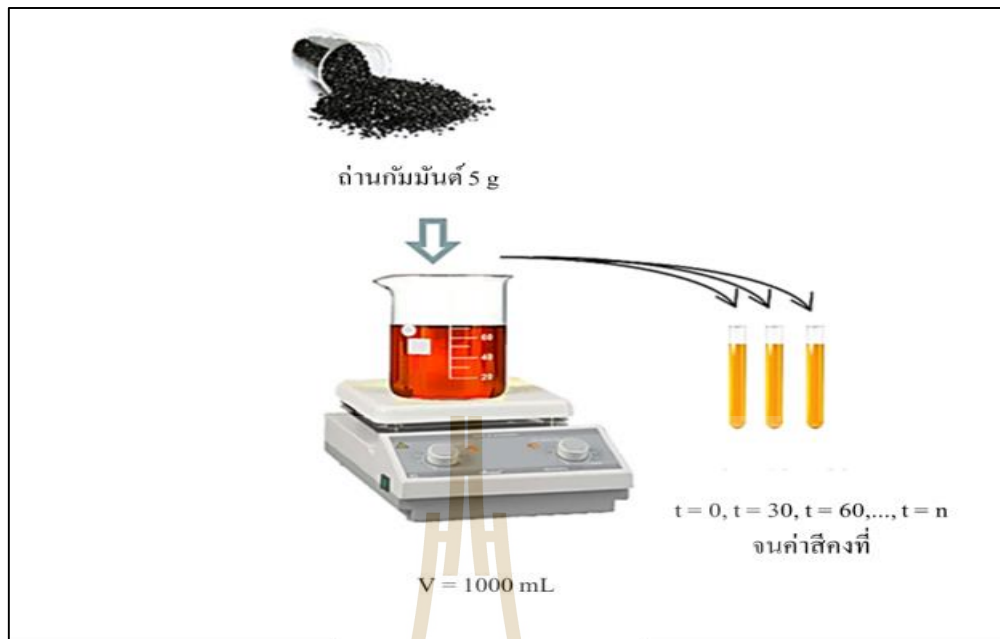
นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับเพื่อหาอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิด และนำไปเทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย คือ สมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อันดับหนึ่ง และอันดับสอง ตามลำดับ ซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ทั่วไปที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression correlation, R^2) 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 3.5 และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.5 สภาพในการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

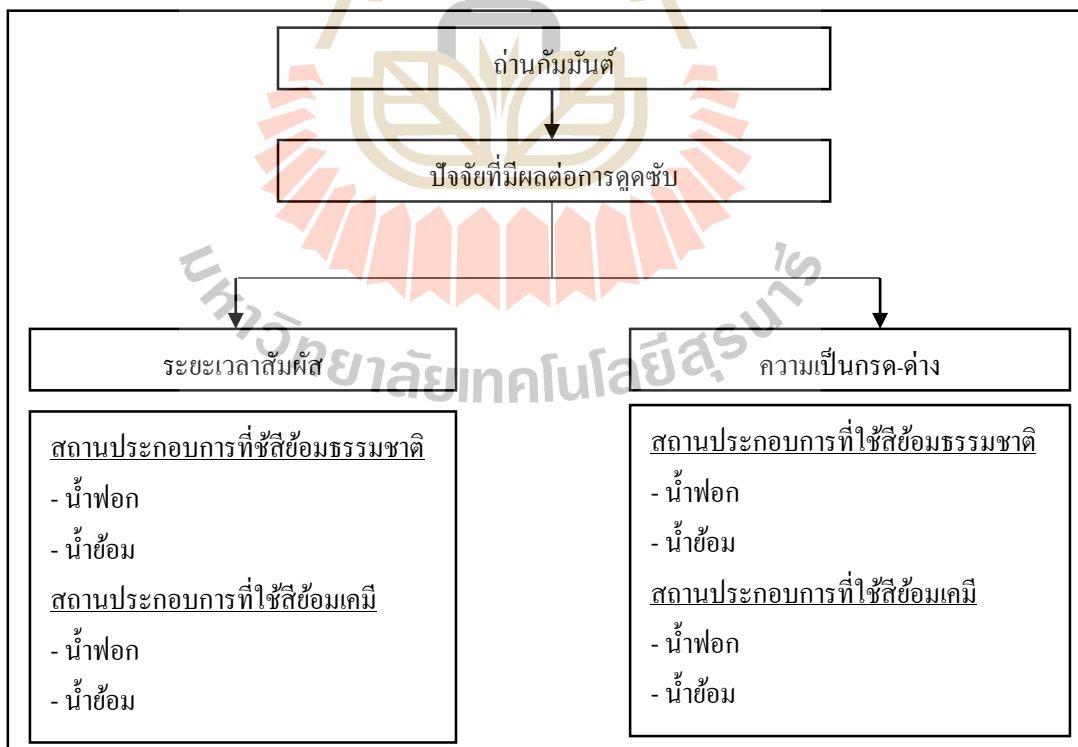
ปัจจัย	น้ำเสียสีข้อมเคมี		สีข้อมธรรมชาติ	
	น้ำข้อม	น้ำฟอก	น้ำข้อม	น้ำฟอก
ค่าสี (Pt-Co)	ตามค่าน้ำเสียจริง			
ปริมาณน้ำเสีย (mL)	1,000	1,000	1,000	1,000
ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	5	5	5	5
ความเร็วรอบ(rpm)	150	150	150	150
pH	ตามค่าน้ำเสียจริง			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง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

2.2.3) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำเสียได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง โดยวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังการทดลอง รายละเอียดการศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเสียบ



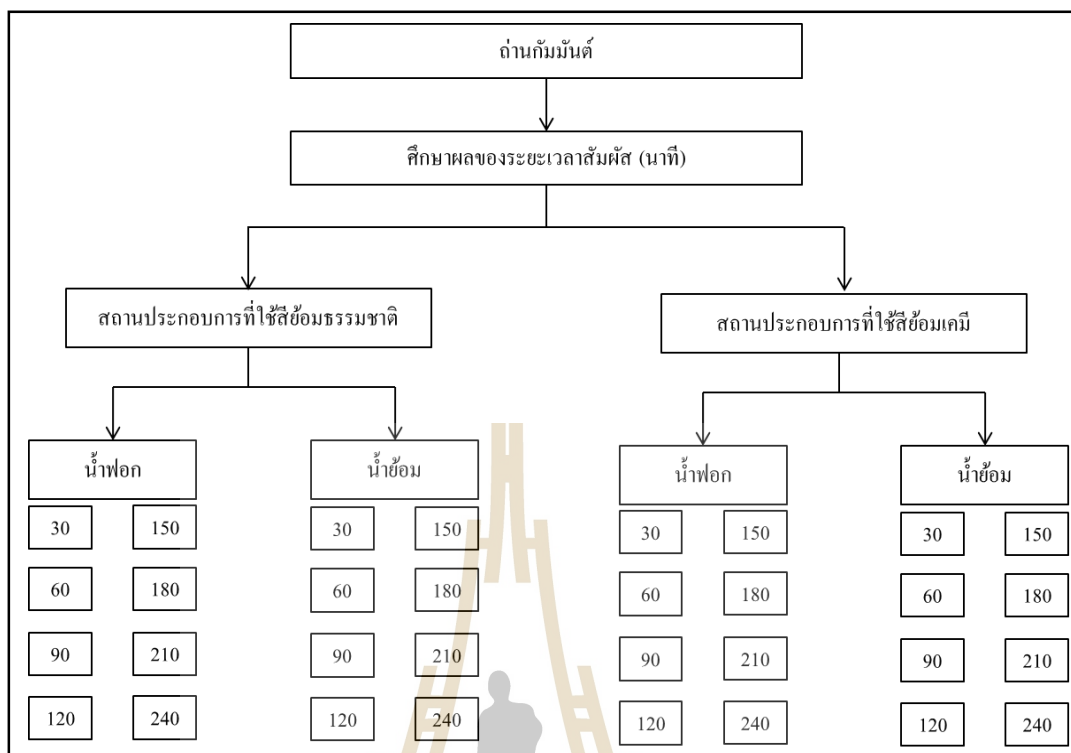
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียบ

1) ศึกษาระยะเวลาสัมผัสสำหรับการดูดซับน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์
นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาศึกษาระยะเวลาสัมผัสสำหรับการดูดซับน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสียปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่ถ่านกัมมันต์ 5 กรัม และนำไปกวนด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องส่วนค่าสี และ pH จะมีค่าเท่ากับน้ำเสียจริงในแต่ละครั้ง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที จนครบ 240 นาที จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย รายละเอียดของสถานะในการศึกษาสรุปในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สถานะในการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	น้ำเสียสีข้มเคมิ		สีข้มธรรมชาติ	
	น้ำข้อม	น้ำฟอก	น้ำข้อม	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

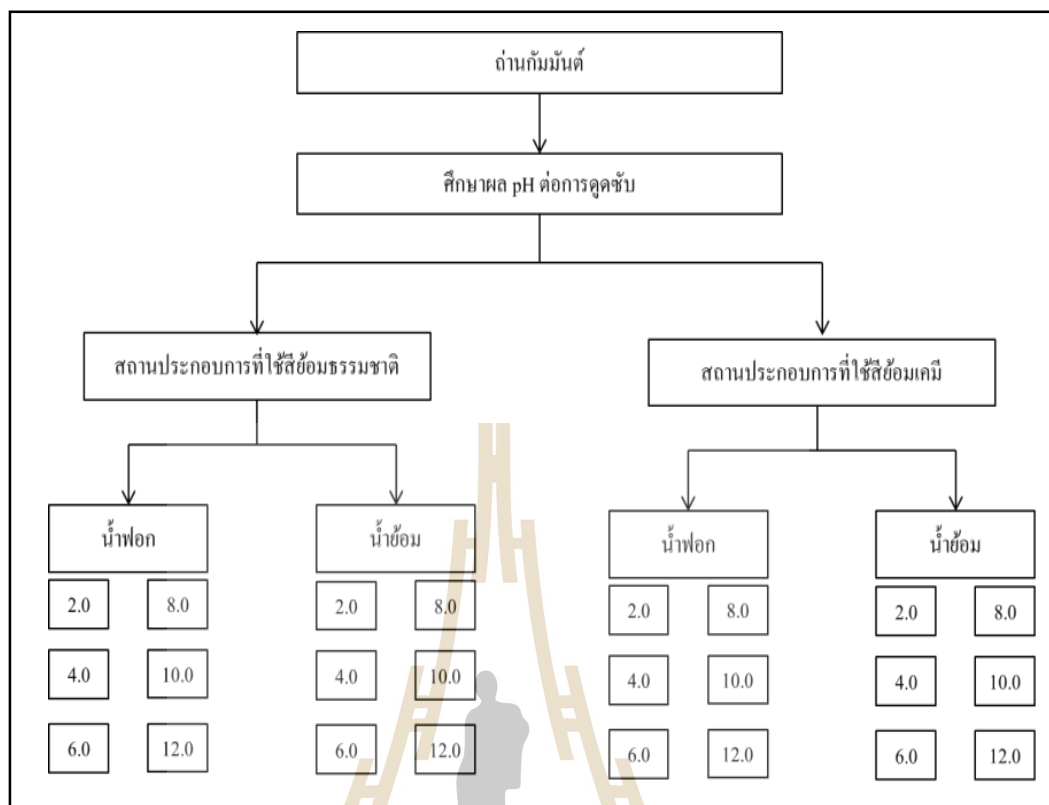
2) ศึกษาผลของความเป็น pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์
นำน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นปรับค่า pH ของน้ำเสียให้มีค่าแตกต่างกัน 6 ค่า ได้แก่ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ 12.0 ด้วย H_2SO_4 1 N และ NaOH 1 N ใช้ถ่านกัมมันต์ 8 g จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อที่ 2.2.3.1 ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย รายละเอียดของสถานะในการศึกษาสรุปในตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แผนผังการศึกษาระยะเวลาสัมผัสนาทีต่อการดูดซับน้ำเลียของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.7 สภาวะในการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเลียของถ่านกัมมันต์

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
ระยะเวลาสัมผัสนาที	ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2.2.3.1			
pH	2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0			
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง



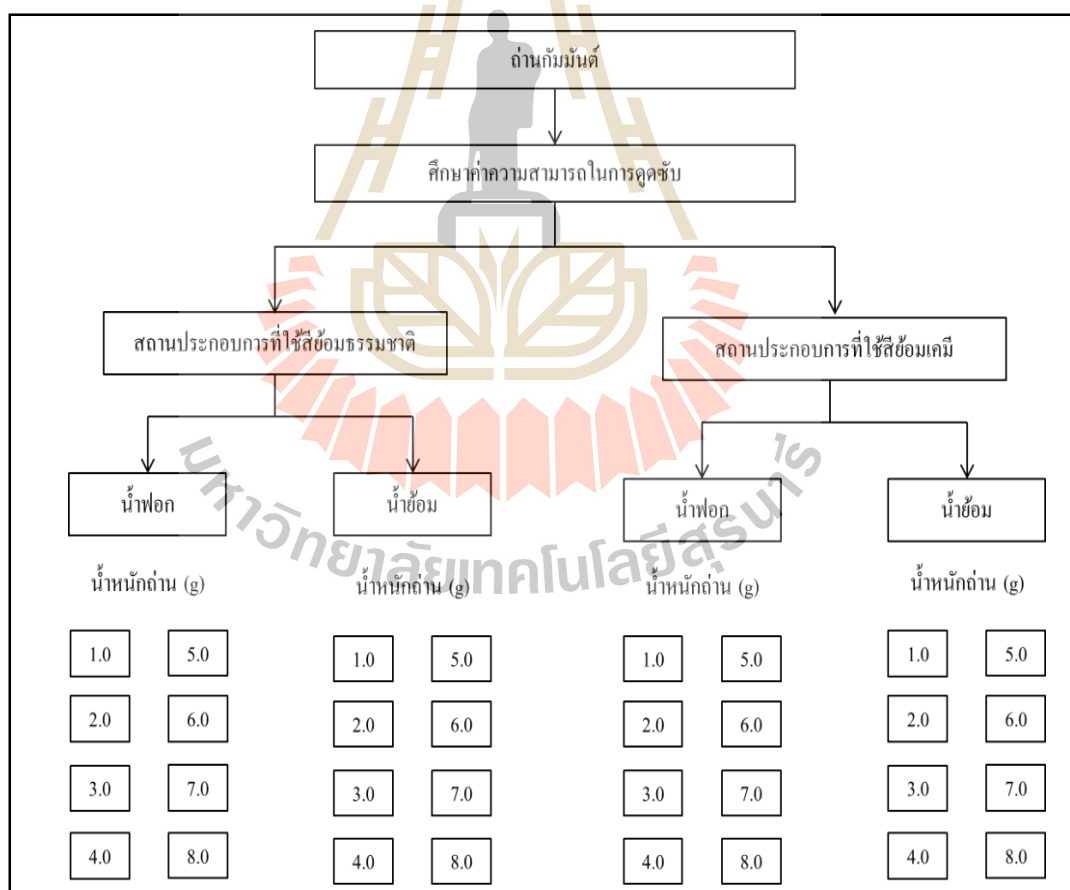
รูปที่ 3.7 แผนผังการศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

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 กรัม ไปเขย่าความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และสถานะที่เหมาะสมดังสรุปในตารางที่ 3.8 จากนั้นวัดค่าสี และ COD เริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในน้ำเสียรายละเอียดการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.8 ผลการศึกษาที่ได้ นำไอโซเทอรั่มของ Langmuir และ Freundlich มาทดสอบเพื่อประเมินค่าคงที่ในการดูดซับและค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.8 สภาวะในการศึกษาผลของค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

ปัจจัย	น้ำเสียสีข้อมเคมี		สีข้อมธรรมชาติ	
	น้ำข้อม	น้ำฟอก	น้ำข้อม	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 แผนผังการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเสียของถ่านกัมมันต์

3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 มีดังนี้

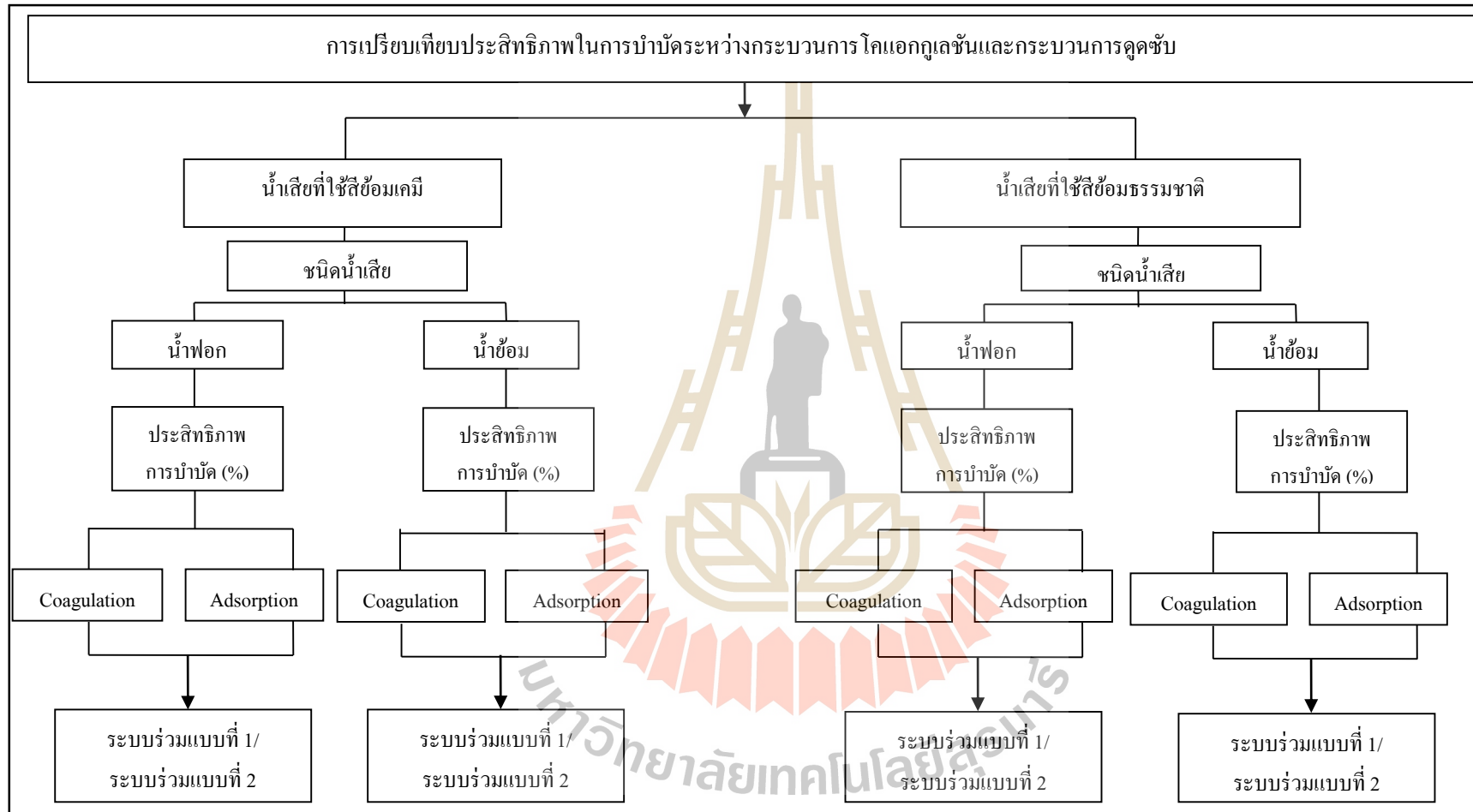
1) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

1.1) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกระบวนการโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดสารโคแอกกูแลนต์ ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ ความเข้มข้นของ Polymer และ pH ที่เหมาะสมของน้ำเสียแต่ละชนิด ซึ่งจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียวัดค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของน้ำตัวอย่างแต่ละชนิดและนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัดของกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าระบบรวมแบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 ที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิดโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าทางสถิติที่ได้จากโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23

1.2) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับด้วยใช้ถ่านกัมมันต์ เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการดูดซับ ได้แก่ เวลาในการสัมผัส ปริมาณถ่านกัมมันต์ และ pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิด ซึ่งจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมตรวจวัดค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของน้ำตัวอย่างแต่ละชนิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัดของกระบวนการโคแอกกูเลชัน เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าระบบรวมแบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 ที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิดโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23

2) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดสี และ COD นำไปทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair Sample T-Test เนื่องจากการเปรียบเทียบโดยวิธี Paried sample test คือการ Compare means ด้วย paired samples T test ของข้อมูล 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน รูปแบบนี้จะมีความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มเหมือนกัน (Berthouex and Brown , 2002) ซึ่งในการศึกษาได้ใช้น้ำเสียชนิดเดียวกันและมาจากสถานประกอบการเดียวกัน จึงสามารถใช้วิธี Paired t-test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างได้

3) สรุปทางเลือกในการใช้ระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ เพื่อให้ทราบว่าควรใช้ระบบใดซึ่งมี 2 แบบระบบรวมแบบที่ 1 หากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD สูงกว่ากระบวนการดูดซับ และระบบรวมแบบที่ 2 หากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างกระบวนการดูดซับ และกระบวนการดูดซับ พบว่ากระบวนการดูดซับมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD สูงกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยรายละเอียดของระบบรวมแต่ละแบบจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

1) การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับเพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

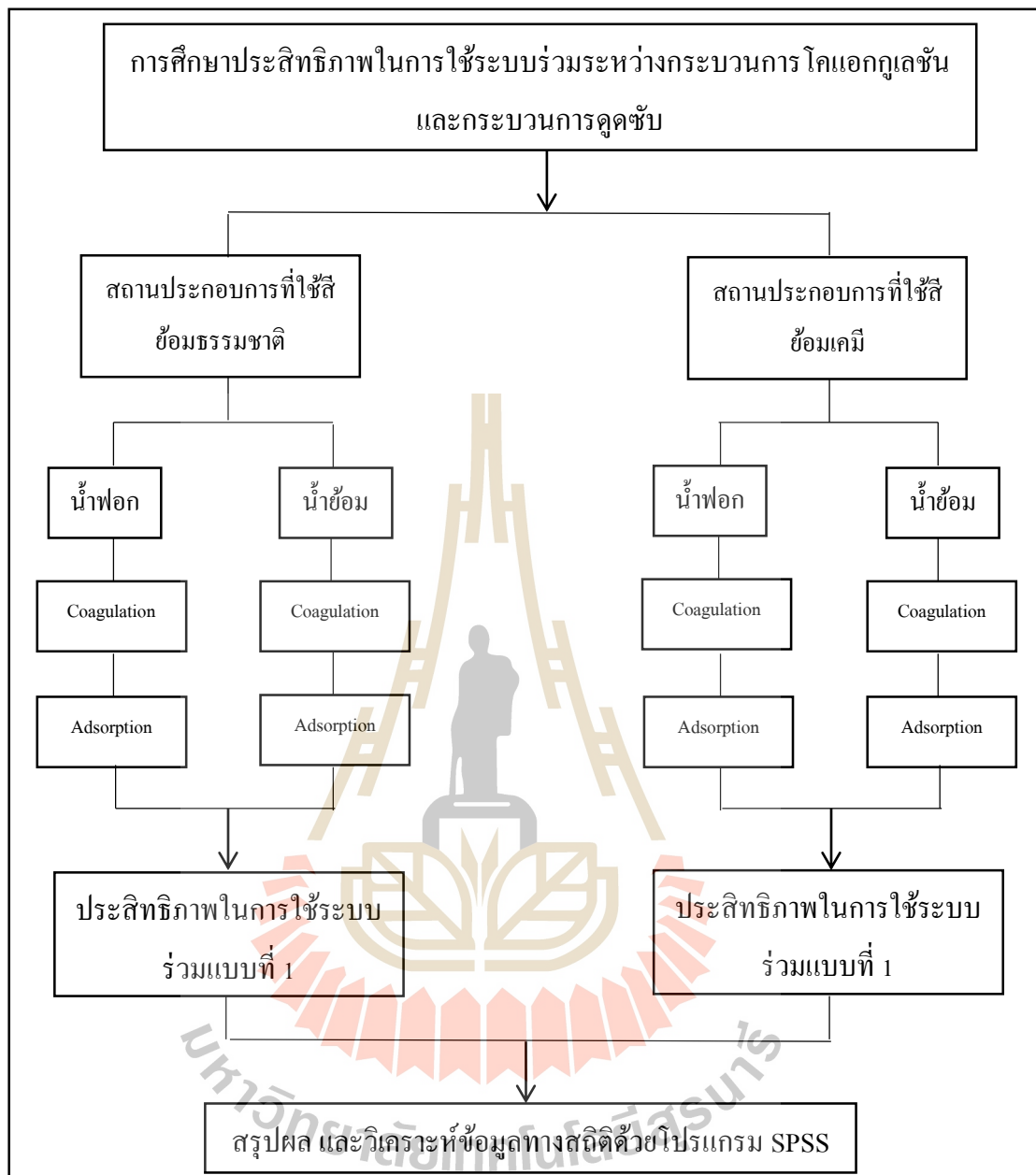
ข้อสรุปที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับซึ่งระบบรวมจะมี 2 ทางเลือก ดังนี้

1.1) ระบบรวมแบบที่ 1 คือ การบำบัดโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ทำการตกตะกอนโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 และนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมาทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ ได้แก่ เวลาในการสัมผัส ปริมาณถ่านกัมมันต์ และ pH ที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับจะทำเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 2.2

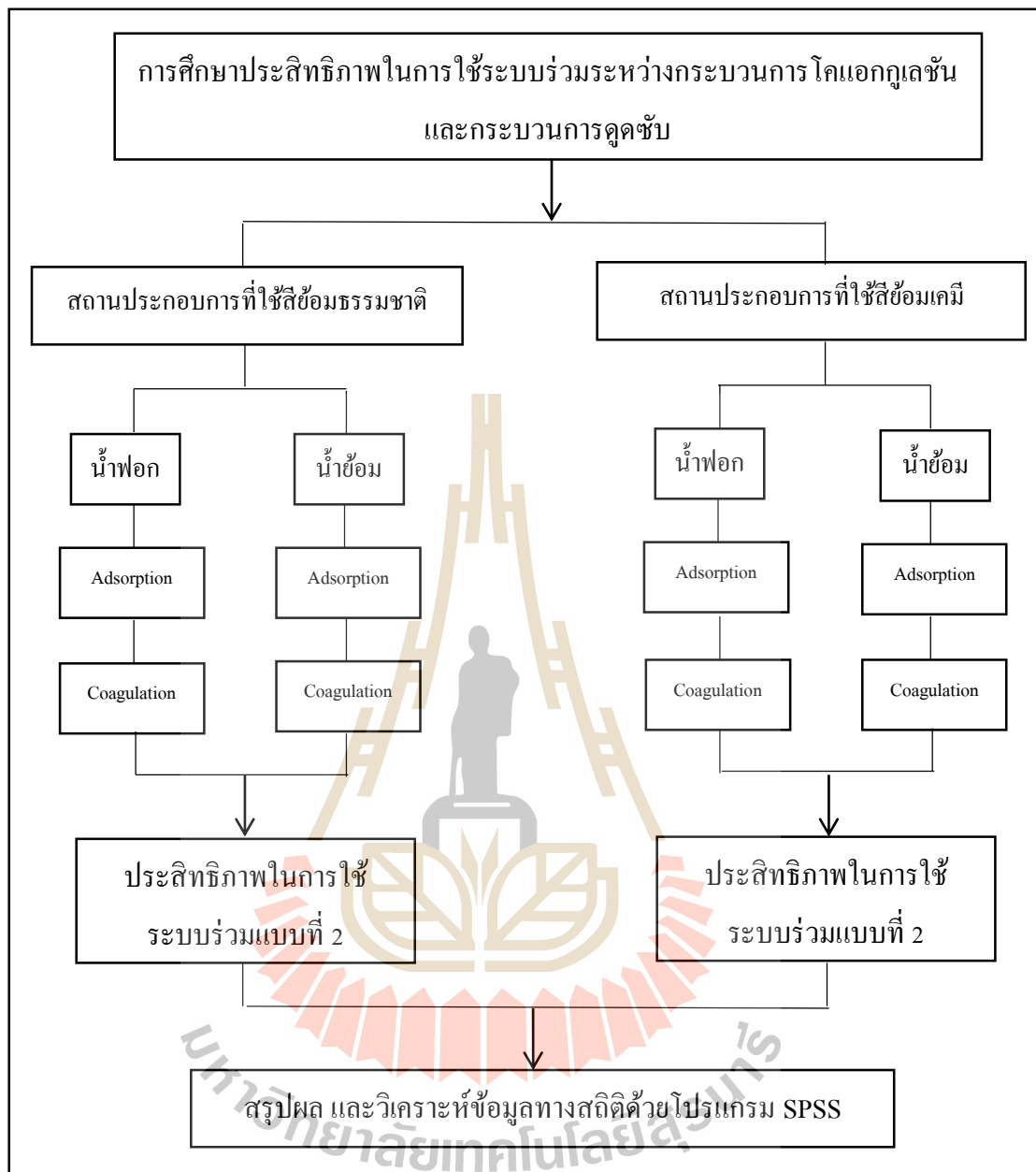
1.2) ระบบรวมแบบที่ 2 คือ การบำบัดโดยใช้กระบวนการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ก่อน และตามด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทำการตกตะกอนโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 และนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการดูดซับมาทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดสารโคแอกกูแลนต์ ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ ความเข้มข้นของ Polymer และ pH ที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับจะทำเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 2.1

2) สรุปผล และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สรุปผลประสิทธิภาพของการใช้ระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ สรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน ของระบบรวมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ นำไปทดสอบค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23



รูปที่ 3.10 แผนผังการศึกษาในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบร่วมแบบที่ 1



รูปที่ 3.11 แผนผังการศึกษาในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ระบบร่วมแบบที่ 2

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผลการศึกษา

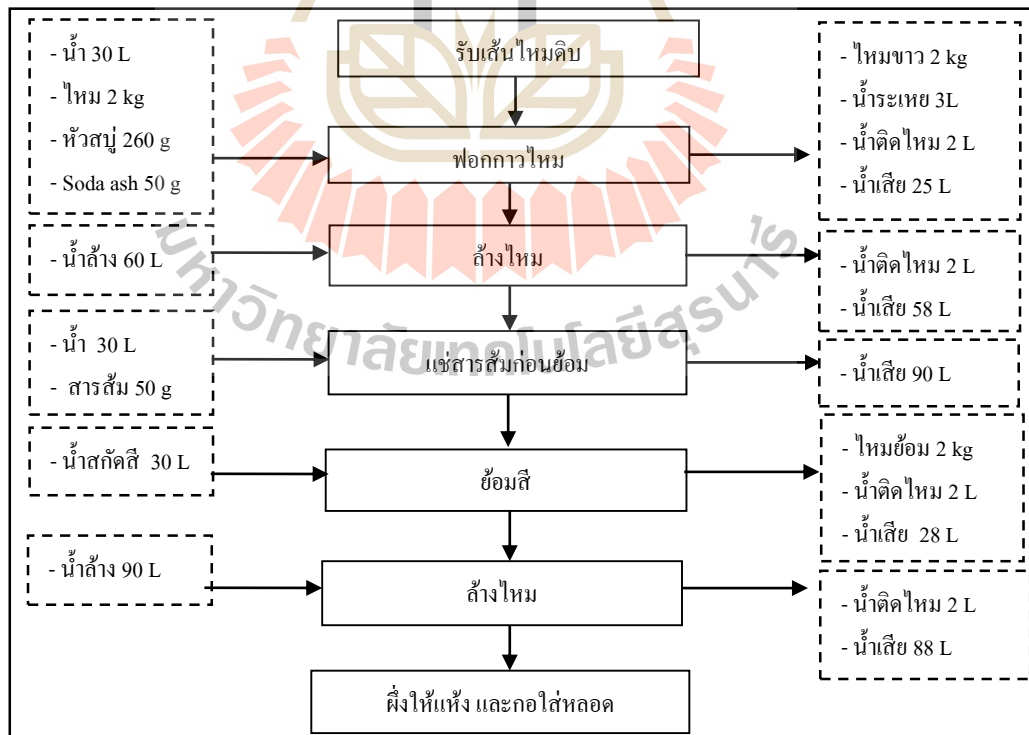
การศึกษาคั้งนี้ ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน

4.1.1 ผลการศึกษากระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

1) กระบวนการผลิตของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ผลการศึกษากระบวนการผลิตนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลและสมดุลน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.1

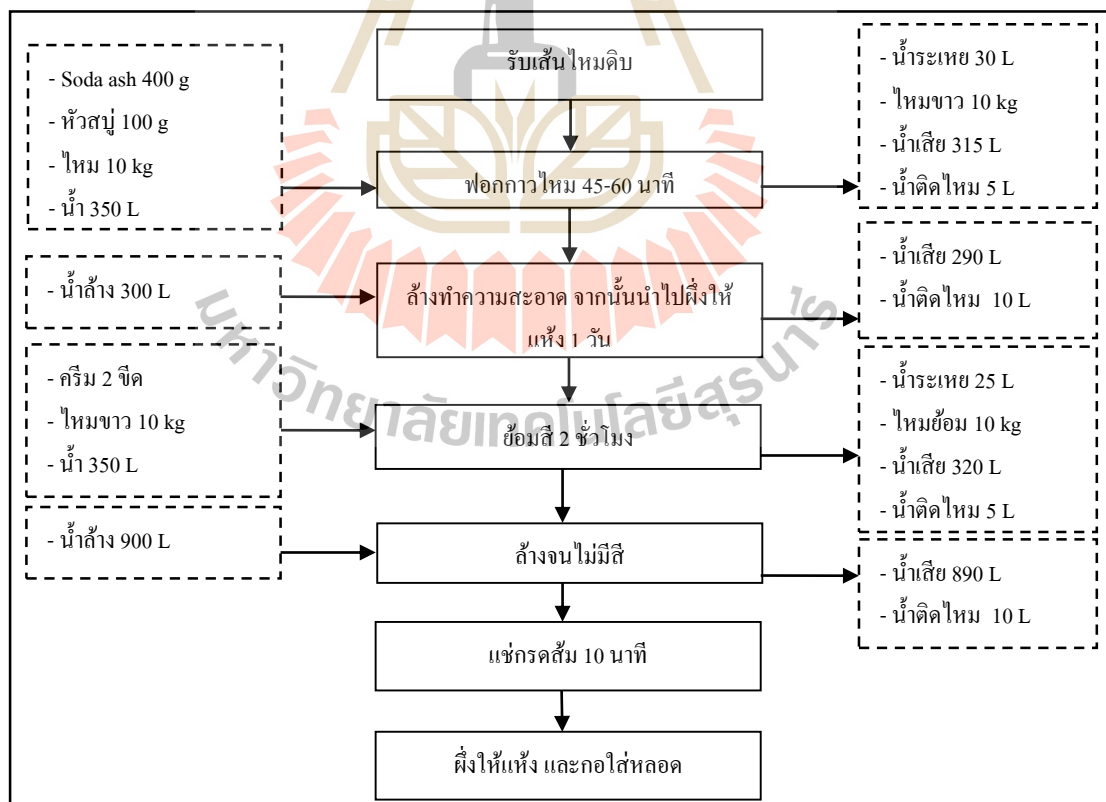


รูปที่ 4. 1 สมดุลมวลและสมดุลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมธรรมชาติ

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

2) กระบวนการผลิตของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ผลการศึกษาระบวนการผลิตนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทำสมดุลมวลและสมดุลน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.2 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 4.2 สมดุลมวลและสมดุลน้ำของการผลิตผ้าไหมแบบใช้สีย้อมเคมี

3) ผลการศึกษาการเปรียบเทียบน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี

จากการศึกษากระบวนการผลิตของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง พบว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีการใช้น้ำมากกว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติถึง 1.8 เท่า และส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียมากกว่าเช่นกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมเคมีมีการใช้น้ำมากกว่ากระบวนการผลิตที่ใช้สีย้อมธรรมชาติทุกขั้นตอนดังข้อมูลสรุปการปริมาณการใช้น้ำที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 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

4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

1) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 11 ครั้ง พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 42,066.51 mg/l ซึ่งมีค่าสูงมากเนื่องจากในขั้นตอนการฟอกขาวไหมจะทำให้มีกากไหมปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากในเส้นไหมที่นำมาฟอกจะมีองค์ประกอบของโปรตีนธรรมชาติอยู่ 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (fibroin) ร้อยละ 70-80 เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำคือเส้นไหม และมีส่วนที่เป็นกากไหม เรียกว่า เซริซิน (sericin) อยู่ร้อยละ 20-30 ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ดี (พรอนงค์ และคณะ, 2559; Sonjui et.al.,2009) ทำให้น้ำฟอกมีค่า COD สูง และพบว่า มีค่าสีสูงเฉลี่ย 25,589.14 Pt-Co ซึ่งค่าสีในน้ำฟอกเกิดจากการใช้ไหมเหลือง ซึ่งเมื่อเส้นไหมผ่านขั้นตอนการฟอกขาวไหม กากไหมสีเหลืองจะหลุดออกจากเส้นไหมส่งผลให้น้ำฟอกมีสีเหลืองขุ่นค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าสูงจะเห็นได้จากข้อมูลการผลิตจะเห็นได้ว่าในกระบวนการฟอกขาวไหมมีการใช้หัวสบู่และโซดาแอช (NaOH) ร่วมด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.1 ทำให้ค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่าง คือมีค่าอยู่ในช่วง 8.14-9.40 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงดังภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำฟอก		น้ำย้อม	
		Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
COD	mg/l	15,942.86 – 84,614.40	42,066.51 \pm 18,447.29	3,712.00 – 24,576.00	13,420.84 \pm 7,163.02
pH	-	8.14 – 9.97	9.40 \pm 0.55	3.40 – 7.30	5.10 \pm 1.19
Color	Pt-Co	8,653.33 – 51,867.00	25,589.14 \pm 13,851.70	645.56 – 9,056.67	3,714.45 \pm 3,051.03
TS	mg/l	18,694.67 – 48,072.50	39,914.04 \pm 15,208.43	1,560.00 – 24,710.00	7,901.80 \pm 6,165.25
TSS	mg/l	916.67 – 22,960.00	6,420.05 \pm 6,520.44	46.67 – 5,630.00	1,139.51 \pm 1,514.73
TDS	mg/l	17,634.67 – 61,463.33	33,493.99 \pm 12,109.47	1,513.33 – 19,080.00	6,762.29 \pm 4,965.67
TVS	mg/l	2,725.00 – 47,256.67	21,819.02 \pm 11,647.48	1,212.00 – 19,710.00	5,873.78 \pm 5,061.09
VSS	mg/l	245.00 – 9,736.67	3,187.38 \pm 2,894.32	78.67 – 4,930.00	1,017.62 \pm 1,314.82
VDS	mg/l	2,445.00 – 37,520.00	18,631.64 \pm 9,434.24	1,133.33 – 14,780.00	4,856.16 \pm 4,019.46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2) ลักษณะสมบัติน้ำขี้ม

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 13 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 13,420.84 mg/l มีค่าค่อนข้างสูงแต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำฟอกจะมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากค่า COD ของน้ำขี้มมีค่าสูงเกิดจากสีย้อมธรรมชาติมักสกัดมาจากส่วนประกอบของพืชหรือสัตว์ ทำให้น้ำเสียมีองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าสารอนินทรีย์ (Jothi, 2008) ส่งผลให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น COD สูงตามไปด้วย และมีค่าสีสูงถึง 3,714.45 Pt-Co ส่วนค่า pH ของน้ำขี้ม จากการเก็บตัวอย่าง 13 ครั้ง (รายละเอียดผลการศึกษาดังกล่าวในภาคผนวก ก.) พบว่ามี pH อยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง เนื่องจากพีเอชมีผลต่อเจดสีของสีย้อมธรรมชาติ จากการศึกษาผลของพีเอชของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อคุณภาพและเจดสีของไหมที่ข้อมสีจากครั้ง พบว่าการใช้สารช่วยติดสีที่แตกต่างกันและพีเอชต่างกันจะทำให้เกิดเจดสีที่ต่างกัน เช่น การใช้ไบมะขามเป็นสารช่วยติดสีโทนสีที่ได้จะเป็นสีแดงเข้ม โดยที่พีเอช 3 และ 4 จะมีเจดสีที่เข้มกว่าที่พีเอชอื่น ๆ (จุฑามาศ และอังคณา, 2559)

1.3) การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำฟอกและน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ผลการศึกษาลักษณะน้ำฟอกและน้ำขี้ม พบว่าเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงค่อนข้างกว้าง โดยจะมีค่า Min-Max และค่า S.D. ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าสูงมาก เช่น น้ำขี้มมีค่า COD อยู่ในช่วง 3,712.00 – 24,576.00 mg/l และมีค่า S.D. เท่ากับ $\pm 7,163.02$ mg/l เนื่องจากน้ำขี้มจากสีย้อมธรรมชาติแต่ละครั้งมีการใช้วัตถุดิบต่างชนิดกันเพื่อให้ได้สีตามความต้องการของลูกค้า และปริมาณสินค้าที่ผลิตต่อการผลิต ซึ่งจากการเก็บตัวอย่างได้มีการใช้สีย้อมจากครั้ง เข และฝักคูณ ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำขี้มที่วิเคราะห์ได้แต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันด้วย

2) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

2.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 9 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 40,222.90 mg/l เนื่องจากขั้นตอนการฟอกขาวไหมทำให้มีขาวไหมปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เช่นเดียวกับน้ำฟอกที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และมีค่าสีสูงถึง 3,916.67 Pt-Co ซึ่งค่าสีในน้ำฟอกเกิดจากการใช้ไหมขาว ซึ่งเมื่อเส้นไหมผ่านขั้นตอนการฟอกขาวไหม กาวไหมสีขาวจะหลุดออกจากเส้นไหมส่งผลให้น้ำฟอกมีสีขาวขุ่นค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าสูง ส่วนค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่าง

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำฟอก		น้ำข้อม	
		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	Pt-Co	1,380.00 – 9,833.33	3,916.67 \pm 2,767.31	543.00 – 10,315.56	2,906.01 \pm 3,121.25
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เท่ากับ 8.97 – 9.76 (รายละเอียดผลการศึกษาระดับภาคผนวก ก) ซึ่งเกิดจากการใช้โซดาแอส และ หัวสบู่ในกระบวนการฟอกขาวไหม ดังแสดงในรายละเอียดข้อมูลการผลิตในรูปที่ 4.2

2.2) ลักษณะสมบัติน้ำย้อม

ผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากการเก็บตัวอย่างจำนวน 10 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้น COD เท่ากับ 2,681.99 mg/l น้ำสีย้อมเคมีเกิดจากการใช้สีย้อมสังเคราะห์ประเภทสีเอซิดละลายน้ำ ดังนั้น หลังจากการย้อมไหมแล้วในน้ำก็ยังคงมีอนุภาคสีเหลืออยู่ ส่งผลให้ในน้ำเสียยังคงมีค่า COD สูง ส่วนค่าสีในน้ำมีค่าสูงถึง 2,906.01 Pt-Co (รายละเอียดผลการศึกษาระดับภาคผนวก ก.) เนื่องจาก เกล็ดสีของสีย้อมเคมีโดยไม่ขึ้นอยู่กับ pH แต่ความเข้มของสีย้อมหรือเกล็ดสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณผงสี ย้อมที่ใช้ในการย้อมแต่ละครั้ง 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 ± 632.66 mg/l เนื่องจากน้ำย้อมจากสีเคมีแต่ละครั้งมีการใช้สีย้อมในปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับเกล็ดสีที่ต้องการผลิตและปริมาณการผลิต ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ของน้ำย้อมที่วิเคราะห์ได้แต่ละครั้งก็ต่างกัน ซึ่งในการศึกษาวิจัยของ จักรกฤษณ์ อัมพุก (2548) ได้มีการศึกษาลักษณะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมไหมไทยที่มีการใช้สีย้อมเคมี 5 ครั้ง พบว่า COD อยู่ในช่วง 303 – 1,577.5 mg/l แสดงว่าในน้ำสีย้อมเคมีมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่น้อย และค่า COD มีช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างของสีย้อมเคมี

3) การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี

3.1) ลักษณะสมบัติน้ำฟอก

จากการพิจารณาลักษณะสมบัติน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสีย้อมเคมี จะเห็นว่าลักษณะสมบัติน้ำฟอกของทั้งสองสถานประกอบการมีลักษณะคล้ายกัน คือ มีค่าเฉลี่ย COD และค่าสีสูง ส่วนค่า pH จะอยู่ในช่วงที่เป็นต่าง แต่น้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีช่วงค่า COD และสี สูงกว่าน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยมีค่าเฉลี่ย COD สูงกว่าประมาณ 1 เท่า และมีค่าเฉลี่ยสีสูงกว่า 6.5 เท่า เนื่องจากการใช้เส้นไหมคนละลายพันธุ์ โดยสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติใช้ไหมเหลืองส่งผลให้น้ำฟอก

มีสีเหลืองขุ่น แต่สถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีใช้ไหมขาวส่งผลให้น้ำฟอกมีสีขาวขุ่น ค่าสีของน้ำฟอกจึงมีค่าแตกต่างกัน และจากลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำฟอกทั้งสองชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) พบว่าลักษณะของแข็งในน้ำฟอกของทั้ง 2 แห่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยของแข็งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำร้อยละ 86 และ 86 สำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติและสีข้อมเคมีตามลำดับ และประกอบไปด้วยสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 45 สังกเกตได้จากสัดส่วนของ VDS/TS (สีขาว)

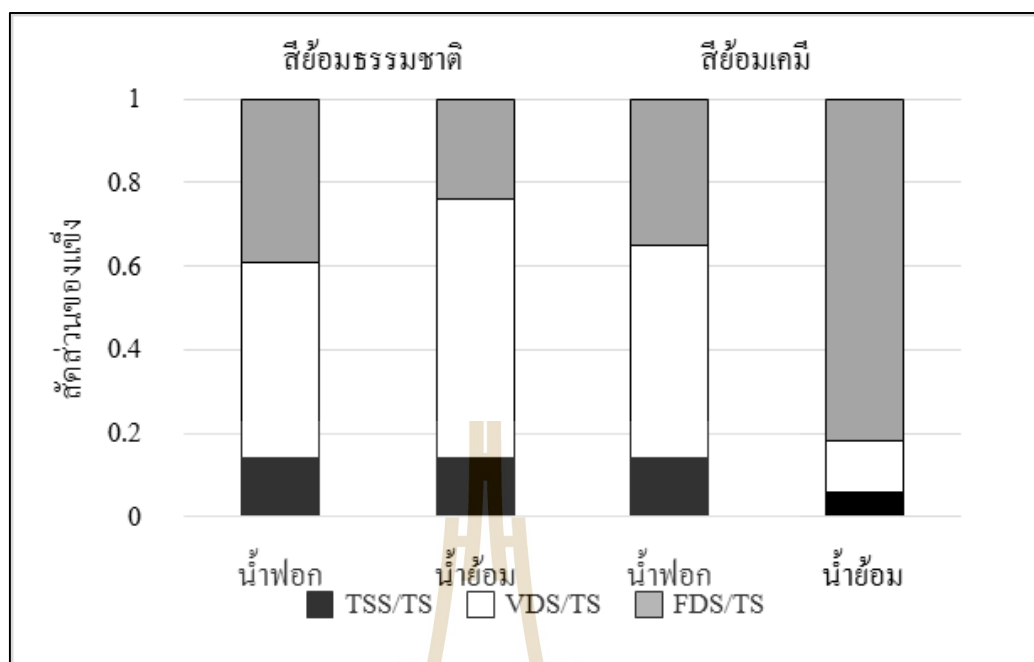
3.2) ลักษณะสมบัติน้ำข้อม

จากการพิจารณาค่าลักษณะสมบัติน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติและสีข้อมเคมี จะเห็นว่าลักษณะสมบัติของน้ำข้อมธรรมชาติมีค่าเฉลี่ย COD สูงกว่าน้ำข้อมเคมีประมาณ 4.5 เท่า และค่าสีของน้ำข้อมธรรมชาติมีค่าสูงกว่าน้ำข้อมธรรมชาติเล็กน้อยทั้งในหน่วย Pt-Co ส่วนค่า pH ของน้ำข้อมจากธรรมชาติจะมีช่วงค่า pH กว้างกว่าสีข้อมเคมี เนื่องจาก pH มีผลต่อเจดสีของสีข้อมธรรมชาติดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และจากลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำข้อมทั้งสองชนิด ดังแสดงตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 (รายละเอียดผลการศึกษาดังภาคผนวก ก.) พบว่าลักษณะของแข็งของน้ำข้อมธรรมชาติและเคมีส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งละลายน้ำร้อยละ 86 และ 95 สำหรับน้ำข้อมธรรมชาติและเคมี ตามลำดับ โดยน้ำข้อมธรรมชาติประกอบไปด้วยของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์มากกว่าร้อยละ 62 สังกเกตได้จากสัดส่วนของ VDS/TS ที่มากกว่าสัดส่วนของ FDS/TS แต่น้ำข้อมเคมีประกอบไปด้วยของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์เพียงร้อยละ 13

โดยจากลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ทำการเก็บตัวอย่างจากสถานประกอบการทั้งสองแห่งเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสมบัติน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกข้อม โดยทั่วไป จากการรวบรวมลักษณะน้ำเสียโดย ศิริพรรณ คำแน่น (2554) พบว่าลักษณะน้ำเสียในของกระบวนการฟอกขาวมีความเข้มข้น COD อยู่ในช่วง 6,700-13,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-9.6 ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียจากสถานประกอบการทั้งสองแห่ง และในการศึกษาครั้งนี้ น้ำเสียยังคงมีค่าความเข้มข้น COD และค่า pH สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเช่นเดียวกับน้ำข้อม

ตารางที่ 4.4 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.
สีเขียวธรรมชาติ	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
	น้ำขุ่น	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
สีเขียวเคมี	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
	น้ำขุ่น	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



รูปที่ 4.3 สัดส่วนของแข็งของน้ำเสียตัวอย่าง

4.1.3 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่งทอในครัวเรือนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

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

1) สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สี่ล้อมธรรมชาติ

1.1) น้ำฟอก

1.1.1) ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำฟอกทั้งหมด 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกคือ 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 มีประสิทธิภาพในการก่อตะกอนสูง (flocculation) และสภาวะที่เป็นกรดมีผลต่อการตกตะกอนโปรตีนโดยธรรมชาติ ซึ่งโปรตีน sericin มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันที่ pH เป็นกรดเนื่องจาก isoelectric point ของโปรตีน sericin อยู่ที่ประมาณ pH 4.24 Teramoto et.al. (2008) ดังนั้น ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเมื่อปรับ pH เท่ากับ 4 น้ำพอกจะเกิดตะกอนขึ้นและเมื่อเติม PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์จะทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเติม Polymer ลงไปซึ่งจะไปเป็นสะพานเชื่อมระหว่างตะกอนให้มึ้นน้ำหนักรวมขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น ดังนั้น ตะกอนที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะประกอบไปด้วยโปรตีน Sericin และอนุภาคของสียบางส่วนด้วย ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 13.70 – 51.50 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 54.61 – 97.16 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	ใช้ PACI เป็นสาร โคแอกกูแลนต์			ใช้ FeCl ₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์		
	PACI (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH	FeCl ₃ (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำพอก						
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
4*	450	0.4	6	-	-	-
5*	450	0.5	4	-	-	-
เฉลี่ย	330.00	0.58	5.20	480	0.80	6.90

หมายเหตุ * อ้างอิงข้อมูลจากโครงการทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560)

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

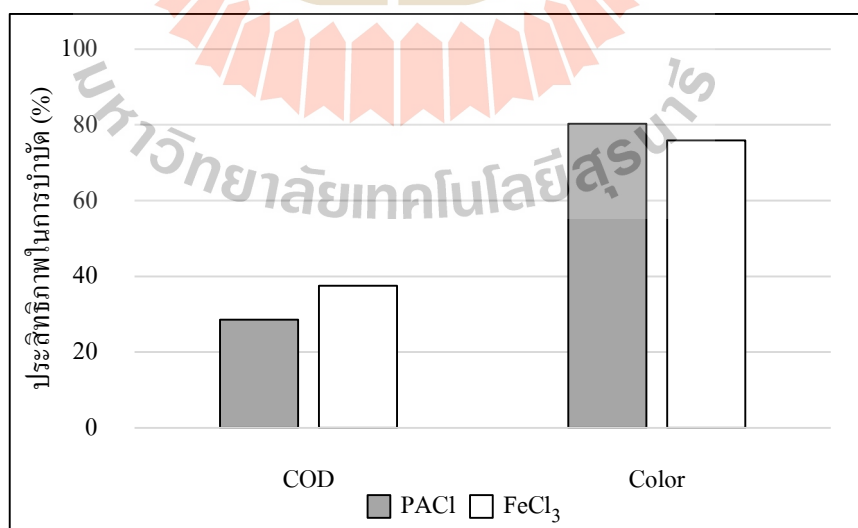
ชนิดสารโคแอกกูแลนต์	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอก				
PACl	13.70-51.50	28.56 \pm 20.17	54.61-97.16	80.30 \pm 22.61
FeCl ₃	11.55-61.26	37.55 \pm 24.93	58.86-92.74	75.87 \pm 16.94
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อม				
PACl	4.42 – 60.02	31.93 \pm 20.57	30.02-94.65	57.64 \pm 32.62
FeCl ₃	0.00-64.40	29.34 \pm 32.58	4.20-79.30	48.75 \pm 39.46

1.1.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกใช้ FeCl₃ ความเข้มข้น 80 – 160 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 2.2 - 2.6 mg/l โดย pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 4 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่ง pH เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกันในการบำบัดน้ำฟอก เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรด โปรตีน Sericin จะเกิดเป็นตะกอนดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และเมื่อเติม FeCl₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์จะทำหน้าที่สะเทินประจุลบที่อยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุทำให้อนุภาคที่แขวนลอยในน้ำเข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และมีการเติม Polymer เพื่อไปทำหน้าที่เช่นเดียวกับการใช้ PACl เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้นโดยที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 11.55 – 61.26 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในอยู่ในช่วงร้อยละ 58.86-92.74 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากการศึกษา Lin et.al. (2012) โดยใช้ 2-hydroxypropyltrimethyl ammonium chloride chitosan (HACC) เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ซึ่งเป็นสารที่มีประจุบวก เช่นเดียวกับกับการใช้ FeCl₃ และ PACl ซึ่งสามารถสร้างพันธะกับโปรตีน Sericin ได้ เนื่องจากโปรตีนดังกล่าวมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม -OH, -NH- และ -N⁺(CH₃)₃ อยู่สูง ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีประจุลบ ดังนั้น กลไกการกำจัดโปรตีน Sericin จึงเป็นกลไก charge neutralization mechanism ซึ่ง PACl และ FeCl₃ แยกตัวแล้วเกิดสารที่มีประจุบวก ดังนั้น การกำจัดโปรตีน sericin โดยใช้ PACl และ FeCl₃ จึงเกิดจากกลไก charge neutralization mechanism เช่นเดียวกัน

1.1.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง เมื่อใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น PACI และ Polymer เท่ากับ 383.33 และ 0.60 mg/l ตามลำดับ และที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 28.56 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 80.30 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น FeCl_3 และ Polymer เท่ากับ 120 และ 2.40 ตามลำดับ และที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 37.55 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 75.87 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้ FeCl_3 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงกว่าการใช้ PACI แต่การใช้ PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าการใช้ FeCl_3 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของ PACI และ FeCl_3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข.) ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACI ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผลการศึกษารูปในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ 4.7 สรุปสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคแอกกูแลชันของน้ำเสียแต่ละชนิด

สถานประกอบการ	น้ำตัวอย่าง	สถานะที่เหมาะสม			
		ชนิดสารโคแอกกูแลนต์	ความเข้มข้นสารโคแอกกูแลนต์ (mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH
ใช้สีย้อมธรรมชาติ	น้ำฟอก	PACl	383.33	0.60	4.00
	น้ำย้อม	PACl	330.00	0.58	5.20
ใช้สีย้อมเคมี	น้ำฟอก	PACl	450.00	0.37	4.00
	น้ำย้อม	PACl	537.50	0.38	8.00

1.2) น้ำย้อม

1.2.1) ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าสถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำย้อม พบว่าสถานะที่เหมาะสมใช้ PACl ความเข้มข้น 200-300 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.6 และ 0.7 mg/l และมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 2-8 และจากผลการวิจัยในโครงการทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560) พบว่าสถานะที่เหมาะสมใช้ PACl ความเข้มข้น 450 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.4 และ 0.5 mg/l โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 4 และ 6 ดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากโครงการดังกล่าวได้ทำการศึกษาในเวลาใกล้เคียงกันและใช้น้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการเดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลมีความแม่นยำและครอบคลุมมากขึ้นจึงนำสถานะที่เหมาะสมดังกล่าวมาใช้พิจารณาพร้อมด้วย โดยจากการศึกษาพบว่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับกระบวนการโคแอกกูแลชันของน้ำย้อมสีธรรมชาติ เนื่องจาก pH มีผลต่อชนิดสีของน้ำย้อมธรรมชาติดังที่ได้กล่าวไปแล้วในลักษณะของน้ำย้อมสีธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น ในการเก็บครั้งที่ 1 คือ น้ำย้อมสีแดง สกัดมาจากครั้ง ซึ่งจากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวกับครั้ง พบว่ากลุ่มสารที่ให้สีแดง คือ Lacciac acid A และ Lacciac acid B ซึ่งเป็นสารในกลุ่มของ แอนทราควิโนนเป็นโครงสร้างหลักในโมเลกุลของสีย้อม และมี Amino group เป็นหมู่ออกซิโซโซม ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (บทที่ 2) ซึ่งจากผลการศึกษาการหาสถานะที่เหมาะสม 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 แต่ในสถานะที่เป็นกลางและเบสอ่อน ๆ คือ ช่วง pH 7.2-8.5 สีย้อมจะอยู่ในรูปของสารละลายสีแดง และเมื่อ pH เท่ากับ

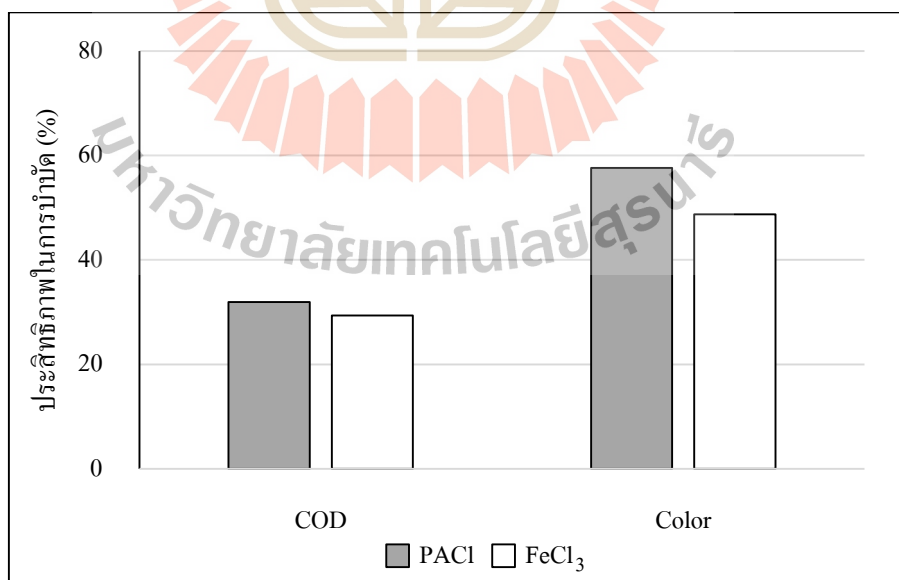
11 ขึ้นไปน้ำสีขุ่นจะยังมีสีแดงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนละเอียดสีแดง (สุริย์ พุทธะกุล , 2543) ดังนั้น จะเห็นว่าในสภาวะที่เหมาะสมที่ pH ในช่วงเท่ากับ 5.20 สีขุ่นจะอยู่ในรูปของตะกอนสีแดง โดยจากในการศึกษาของ Wei et al. (2015) พบว่าที่ pH 6 เกิดกลไกในการกำจัดสารแขวนลอยที่เกิดขึ้นสำหรับสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 7 คือ กลไก Charge Neutralization ดังนั้น เมื่อมีการเติม PACl และ Polymer ลงไปจะทำให้เกิดกลไกการดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) ซึ่งเกิดจากการที่อะลูมิเนียมจาก PACl ที่มีประจุบวกไปทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำหรือตะกอนสีในน้ำสีขุ่นซึ่งมักมีประจุลบให้เป็นกลาง เป็นการลดประจุที่ผิวของสารแขวนลอยทำให้อนุภาคสามารถรวมตัวกันจนเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอนได้ เป็นผลให้ความเข้มข้นซีโอดีบางส่วนในน้ำลดลงได้ เพราะอนุภาคของสีขุ่นเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง รวมถึงมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนได้ แต่ในน้ำยังมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ไม่ตกตะกอนละลายอยู่ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้วยังมีความเข้มข้น COD สูงอยู่ ซึ่งจากผลการศึกษาที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 4.42- 60.02 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 30.02- 94.65 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

1.2.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ $FeCl_3$ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำขุ่นโดยใช้ $FeCl_3$ 3 ครั้ง พบว่า เมื่อใช้ $FeCl_3$ ความเข้มข้น 400 – 560 mg/l และ Polymer ความเข้มข้น 0.6-1.0 mg/l โดย pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 5 และ 8 โดยพบว่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกันในการบำบัดน้ำสีขุ่นธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองครั้งที่ 1 น้ำขุ่นสีแดงสกัดมาจากครั้ง ซึ่ง pH มีผลต่อรูปของสีขุ่นดังที่กล่าวไปข้างต้น โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ pH 5 สีขุ่นจะอยู่ในรูปของตะกอนสีแดง โดยจากการทบทวนเอกสารพบว่า $FeCl_3$ จะมีประสิทธิภาพสูงในช่วง pH 3.5-6.5 ดังแสดงในตารางที่ 2.5 (บทที่ 2) เนื่องจากเกิดกลไก Adsorption Destabilization โดย $FeCl_3$ จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของตะกอนสีขุ่นและอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุเป็นผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนได้ ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00-64.40 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 4.20-79.30 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

1.2.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมโดยเฉลี่ย 5 ครั้ง เมื่อใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่มีสภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ความเข้มข้น PACI และ Polymer เฉลี่ยเท่ากับ 330.00 และ 0.58 mg/l ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 5.20 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 31.93 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 57.64 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 48.75 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้ PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีสูงกว่าการใช้ FeCl_3 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของ PACI และ FeCl_3 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข.) ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACI ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปผลในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการ โคแอกกูแลชัน โดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

2) สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมเคมี

2.1) น้ำฟอก

2.1.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำฟอก ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าที่สภาวะเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้ PACI 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 PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์จะทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเติม Polymer ลงไปซึ่งจะไปเป็นสะพานเชื่อมระหว่างตะกอนให้มีน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น ดังนั้น ตะกอนที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะประกอบไปด้วยโปรตีน Sericin และอนุภาคสีบางส่วนด้วย

ตารางที่ 4.8 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	ใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์			ใช้ FeCl ₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์		
	PACI (mg/l)	Polymer(mg/l)	pH	FeCl ₃ (mg/l)	Polymer (mg/l)	pH
สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอก						
1	350	0.4	4	240	1	4
2	600	0.4	4	240	0.4	2
3	400	0.3	4	160	1	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
4*	250	0.4	6	-	-	-
เฉลี่ย	537.50	0.38	8.00	113.33	1.67	6

หมายเหตุ * อ้างอิงข้อมูลจากโครงการทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560)

ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 20.00 – 46.43 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 90.96 – 98.44 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากลักษณะน้ำฟอกที่ใช้ใหม่ขาวขุ่น หลังจากการตกตะกอนแล้วตะกอนของกาวไหมสีขาวจะแยกออกจากน้ำทำให้น้ำใสและไม่ขุ่น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง แต่จากลักษณะของแข็งของน้ำฟอกจะเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจะมีประสิทธิภาพสำหรับน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยมากกว่า ดังนั้น จึงยังคงมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในรูปละลายน้ำหลงเหลืออยู่

ตารางที่ 4.9 ตารางสรุปผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ชนิดสาร โคแอกกูแลนต์	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอก				
PACI	20.00-46.43	32.29 \pm 13.31	90.96-98.44	94.57 \pm 3.75
FeCl ₃	24.42-44.84	34.62 \pm 10.21	87.56-97.03	91.07 \pm 5.19
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อม				
PACI	50.00-95.70	81.61 \pm 13.54	84.26-87.69	85.67 \pm 1.80
FeCl ₃	16.67-63.96	35.04 \pm 25.35	45.97-78.34	61.07 \pm 16.29

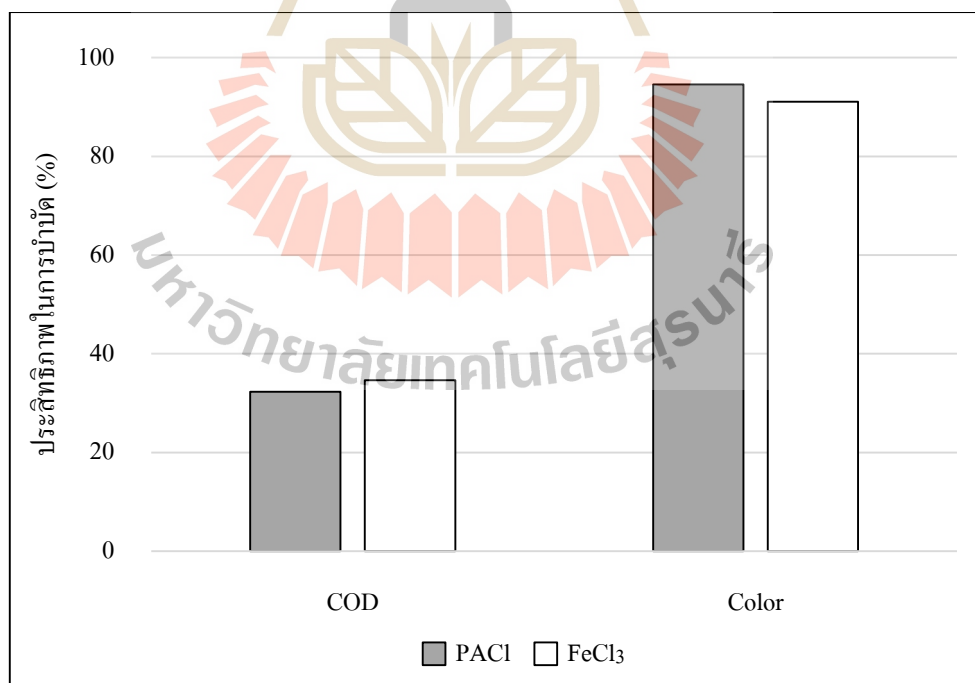
2.1.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกใช้ FeCl₃ 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 FeCl₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์จะทำหน้าที่สะเทินประจุลบที่อยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุทำให้อนุภาคที่แขวนลอยในน้ำเข้าใกล้กันมากขึ้นเกิดเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และมีการเติม Polymer เพื่อไปทำหน้าที่เช่นเดียวกับการใช้ PACI เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ ทำให้เกิดการตกตะกอนได้เร็วขึ้นเช่นเดียวกับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 24.42 – 44.84 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 87.56 – 97.03 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยกลไกการ

กำจัดโปรตีน Sericin ในน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีเป็นกลไก Charge neutralization mechanism เช่นเดียวกับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

2.1.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ พบว่าที่สภาวะที่เหมาะสม เมื่อใช้ PACI เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น PACI และ Polymer เท่ากับ 450 และ 0.37 mg/l ตามลำดับ และที่ช่วง pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 32.29 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 94.57 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น FeCl_3 และ Polymer เท่ากับ 213.33 และ 0.80 mg/l ตามลำดับ และที่ช่วง pH เท่ากับ 3.33 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 34.62 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 91.07 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นว่าการใช้ FeCl_3 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงกว่าการใช้ PACI แต่การใช้ PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า FeCl_3 ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการโคแอกกูแลชัน โดยใช้ PACI และ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของ PACI และ FeCl_3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข.) แต่หากใช้ FeCl_3 จะมีสภาวะที่เหมาะสมที่ pH 3.33 ซึ่งต่ำกว่า PACI แต่น้ำฟอกจะมี pH ในช่วงที่เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.3 ดังนั้น จะต้องมีการจ่ายในการเติมสารเคมีเพื่อปรับ pH มากกว่า ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACI ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปในตารางที่ 4.7

2.2) น้ำย้อม

2.2.1) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำย้อม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมใช้ PACI ความเข้มข้น 600 และ 700 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.3 และ 0.4 mg/l โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง pH 7-10 และจากผลการวิจัยในโครงการทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมใช้ PACI ความเข้มข้น 250 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 0.4 mg/l โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ดังแสดงในตารางที่ 4.8 เนื่องจากโครงการดังกล่าวได้ทำการศึกษาในเวลาใกล้เคียงกันและใช้น้ำตัวอย่างจากสถานประกอบการเดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลมีความแม่นยำและครอบคลุมมากขึ้นจึงนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวมาใช้พิจารณาร่วมด้วย เนื่องจาก pH มีผลต่อการแตกตัวของ PACI โดยที่ pH มีค่าต่ำ PACI จะแตกตัวได้ไม่ดี แต่ที่ pH มีค่าสูงขึ้น PACI จะแตกตัวเป็นอนุภาคนิวเมอเจนเชิงซ้อนได้มากขึ้น โดยอนุภาคนิวเมอเจนมีประจุบวกในขณะที่อนุภาคของสีย้อมที่มักใช้ในกระบวนการย้อมไหมเป็นสีแอนไอออนมีประจุลบ ดังนั้น เมื่อใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์ ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมจึงมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง และ Polymer จะมีส่วนช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นรวมกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งเมื่อตะกอนของสีที่แยกออกจากน้ำจะทำให้ค่า COD ลดลงด้วย เนื่องจากอนุภาคสีที่ตกตะกอนออกจากน้ำมีส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ด้วยเช่นกัน โดยจากการศึกษาของ Sanghi et.al. (2006) พบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจนถึง pH 9.5 ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการ pH มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PACI โดยที่ pH มากกว่า 7 จะเกิดอนุภาคนิวเมอเจนเชิงซ้อนได้มาก และจะเปลี่ยนไปเป็นตะกอนของเกลืออนุภาคนิวเมอเจน เมื่อ pH มากกว่า 10 เมื่อ pH 8.5-9.5 ในน้ำมีประจุบวก (H^+) ต่ำ เมื่อเติม PACI ลงไปจะเกิดอนุภาคนิวเมอเจนเชิงซ้อนได้มาก ทำให้สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลไก Charge neutralization และการดูดซับ โดยที่ pH 8.5 – 9.5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแอนไอออนร้อยละ 42-61 ซึ่งที่สภาวะเหมาะสม พบว่ามี

ประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 50.00 – 95.70 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 84.26 – 87.69 ดังแสดงในตารางที่ 4.9

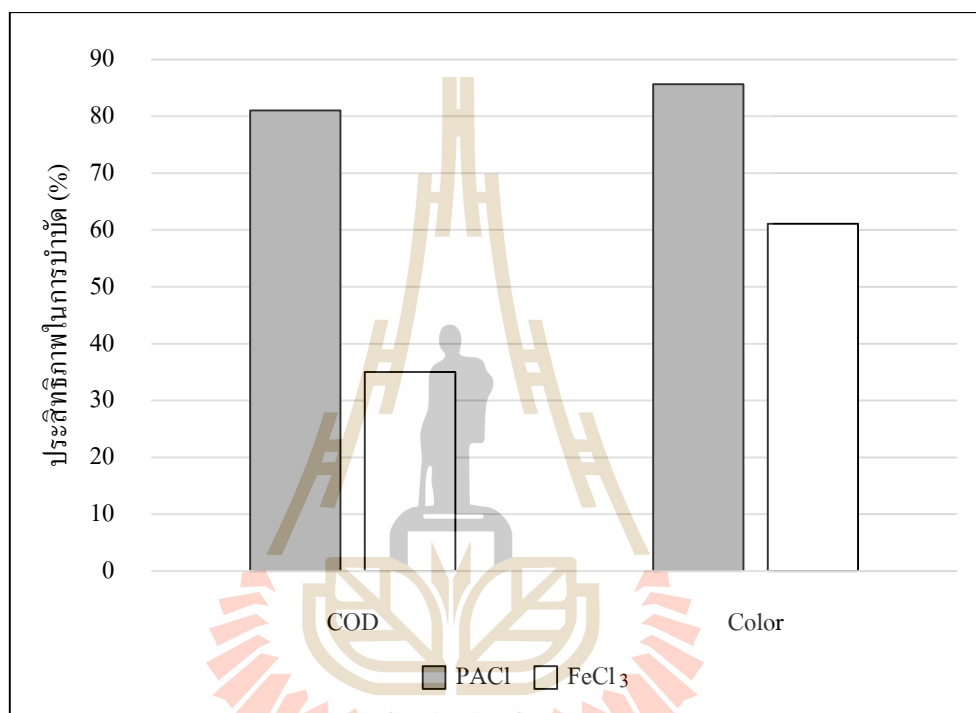
2.2.2) ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำขี้อมโดยใช้ FeCl_3 พบว่าเมื่อใช้ FeCl_3 ความเข้มข้น 40 – 200 mg/l ใช้ Polymer ความเข้มข้น 1.6 และ 1.8 mg/l โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมในช่วง 4 - 8 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่ FeCl_3 มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน เนื่องจากเกิดกลไก Adsorption Destabilization โดย FeCl_3 จะแตกตัวเป็นประจุบวกในน้ำ และจะทำหน้าที่เช่นเดียวกับในน้ำขี้อมธรรมชาติคั้งที่ได้กล่าวไปข้างต้น คือ สะเทินประจุบนผิวของตะกอนสีขี้อม ซึ่งเป็นประจุลบ และอนุภาคต่าง ๆ ที่แขวนลอย และละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลางโดยการดูดซับประจุเป็นผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถตกตะกอนได้ ส่วน Polymer จะช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นรวมกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เร็วขึ้น ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมจากผลการศึกษา พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 16.67 – 63.96 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 45.97-78.34 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยจากการทดลองของ Kim et al. (2004) ได้มีการศึกษาการกำจัดสีขี้อมรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบเช่นเดียวกับสีขี้อมแอสิด โดยใช้ FeCl_3 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสี reactive 84 สูงสุดเท่ากับร้อยละ 71.3 และมีประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD สูงสุดเท่ากับร้อยละ 66.5 ที่ความเข้มข้น FeCl_3 เท่ากับ 2.78 mM และ pH 6 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมเป็นจุดที่มีค่า Zeta potential ดำจันเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่ง pH ของน้ำมีผลต่อค่า Zeta potential ดังนั้น pH จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดสี และ COD ในน้ำสีขี้อม

2.2.3) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีขี้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีขี้อมธรรมชาติโดยใช้ PACI และ FeCl_3 เมื่อใช้ PACI เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ พบว่าที่สภาวะเหมาะสม ที่ความเข้มข้น PACI และ Polymer เฉลี่ยเท่ากับ 537.50 และ 0.38 mg/l ตามลำดับ โดยที่ pH เท่ากับ 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 77.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 85.67 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้ FeCl_3 เป็นสาร โคแอกกูแลนต์ คือ ที่ความเข้มข้น FeCl_3 และ Polymer เท่ากับ 113.33 และ 1.67 mg/l ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 35.04 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 61.07 จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี จะเห็นได้ว่าการใช้ PACI มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสีสูงกว่าการใช้ FeCl_3 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อทำการทดสอบ

ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Paired t-Test พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี ของ PACl และ FeCl_3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\text{-value}>0.05$) แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของ PACl มีประสิทธิภาพสูงกว่า FeCl_3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\text{-value}<0.05$) (รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข)ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ PACl เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของ PACl ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น และสรุปในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำขุ่นของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยกระบวนการโคแอกกูแลชั่น โดยใช้ PACl และ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

4.1.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่งทอในครัวเรือนโดยกระบวนการดูดซับ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ กำหนดสภาวะในการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.2-3.3 (บทที่ 3) มีรายละเอียดผลการศึกษาดังต่อไปนี้

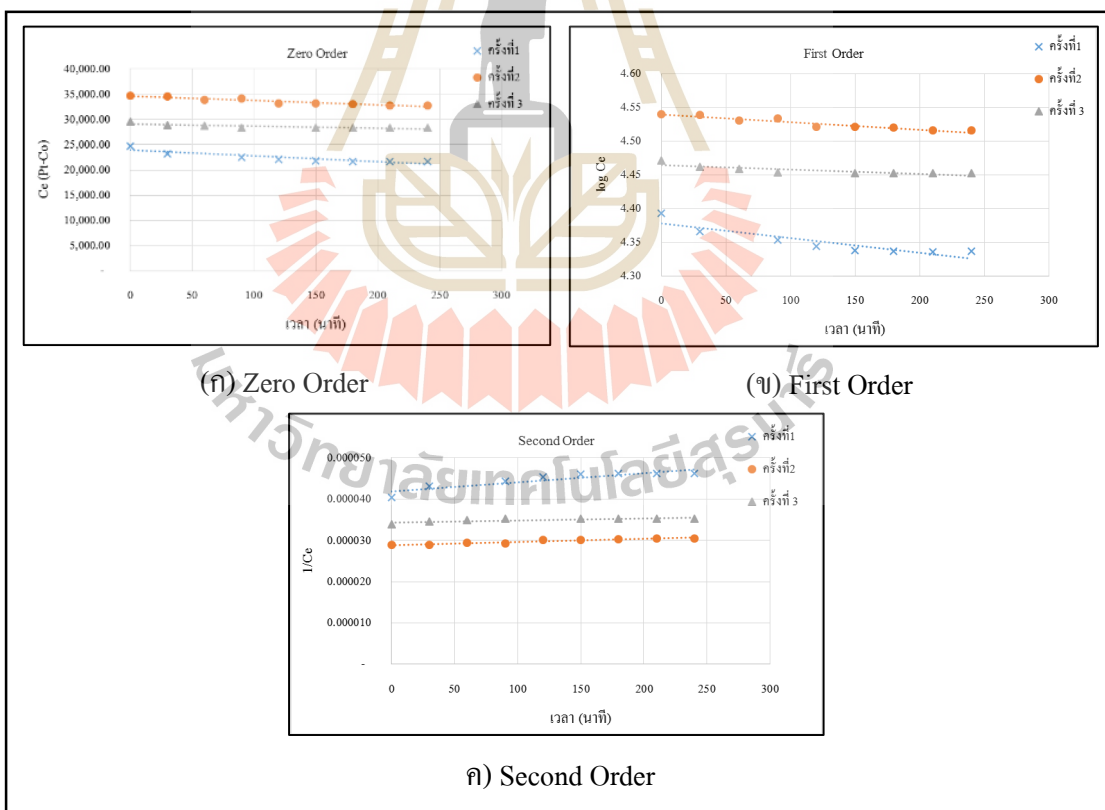
- 1) สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติ

1.1) น้ำฟอก

1.1.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอก

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับคือ สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ (zero order) จลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่ง (first order) และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสอง (second order) เป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression correlation : R^2) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.8(ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.8 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สื่อธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

โดยค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่งและสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.10 พบว่า R^2 ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.6799 – 0.9089 ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.6829 – 0.9105 และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.6858-0.9121 ซึ่งจากผลการนำค่า R^2 ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันแล้วพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุดคือเท่ากับ 0.8081 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ และอันดับหนึ่ง แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คือ มีค่าเท่ากับ $5 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-8}$ และเมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สี ย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R^2	K	R^2	K	R^2
Min-Max	4.167-11.536	0.6799-0.9089	$6 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-4}$	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	$1.2 \times 10^{-4} \pm 7.21 \times 10^{-5}$	0.8031 ±0.1143	$1.1 \times 10^{-8} \pm 7.9 \times 10^{-9}$	0.8081 ±0.1143

1.1.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

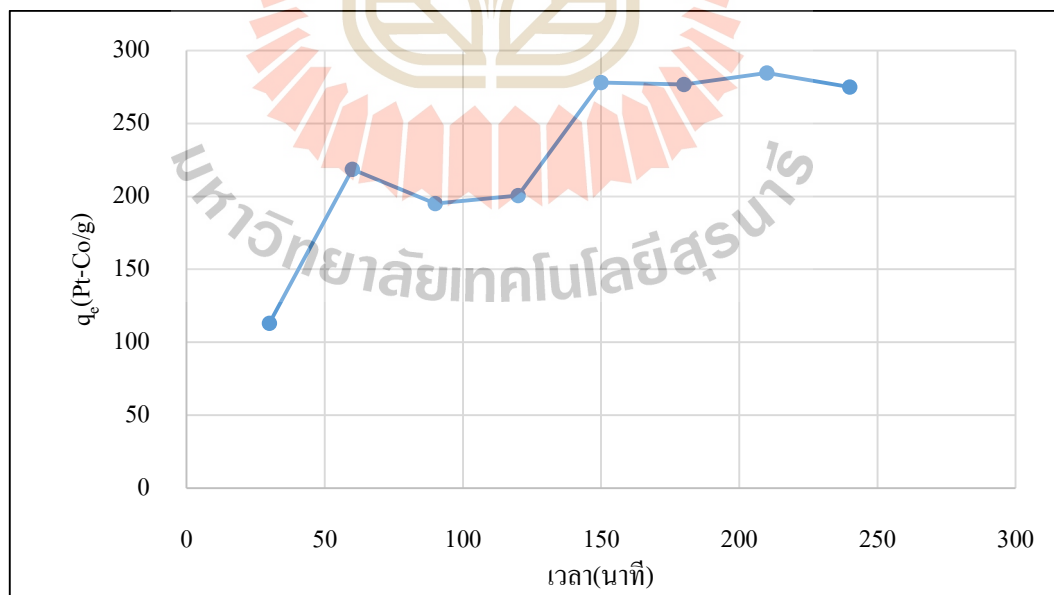
- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอก ใช้ น้ำฟอก 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอก (q_t , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.9 พบว่าผลของเวลาต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก จะเห็นได้ว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในน้ำฟอกมีอนุภาคที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำอยู่สูงดังจะเห็นได้จากลักษณะสมบัติของน้ำฟอกย้อมมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ประมาณร้อยละ 10 ของของแข็งทั้งหมด ซึ่งอนุภาคเหล่านี้ อาจทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของถ่านทำให้อนุภาคของสีในน้ำไม่สามารถเกิดการดูดซับในรูพรุน

ของถ่านกัมมันต์ได้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ลดลงได้ (วนิดา ชูอักษร, 2555)

ตารางที่ 4.11 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีเชื่อม
ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; q_c (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 4.9 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีเชื่อม
ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

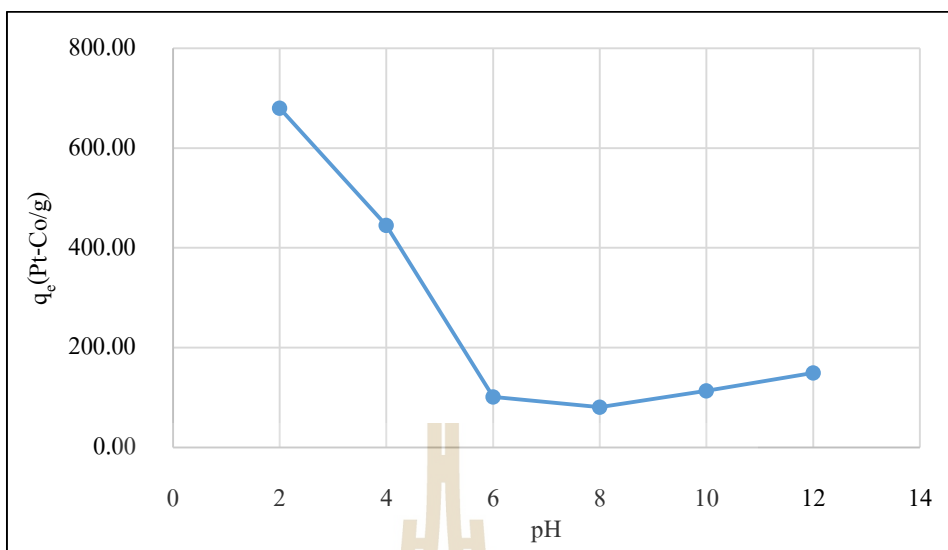
โดยจากการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียงร้อยละ 4.10-12.35 และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 8.04-25.43 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้นในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ระยะเวลาสัมผัส 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 4.12 และรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อน้ำเสียมีสถานะเป็นกรดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด โดยพบว่าที่สถานะ pH เท่ากับ 2 และ 4 เนื่องจากค่า pH จะมีผลต่อ โพรตีน sericin ที่อยู่ในน้ำฟอก คือ ในสถานะที่เป็นกรดจะเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ ทำให้อนุภาคสีในน้ำถูกดูดซับได้ง่ายขึ้น และเนื่องจาก โพรตีนดังกล่าวมีองค์ประกอบของสารในกลุ่ม $-OH$ $-NH$ และ $-N^+(CH_3)_3$ อยู่สูง ซึ่งเป็น โพรตีนที่มีประจุลบ เมื่อ pH ของสารละลายเป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าที่ pH เป็นด่าง (Gecgel et al, 2013) การตกตะกอนและการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ค่าสี และ COD ของน้ำฟอกลดลง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 15.56-28.80 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 82.97-93.12 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.12 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยถ่านกัมมันต์

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 4.10 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ด้วยถ่านกัมมันต์

1.1.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอก มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 184.078-342.629.63 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 ดังนั้นการทดลองหาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์จึงต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 2 และ 4

ตารางที่ 4.13 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

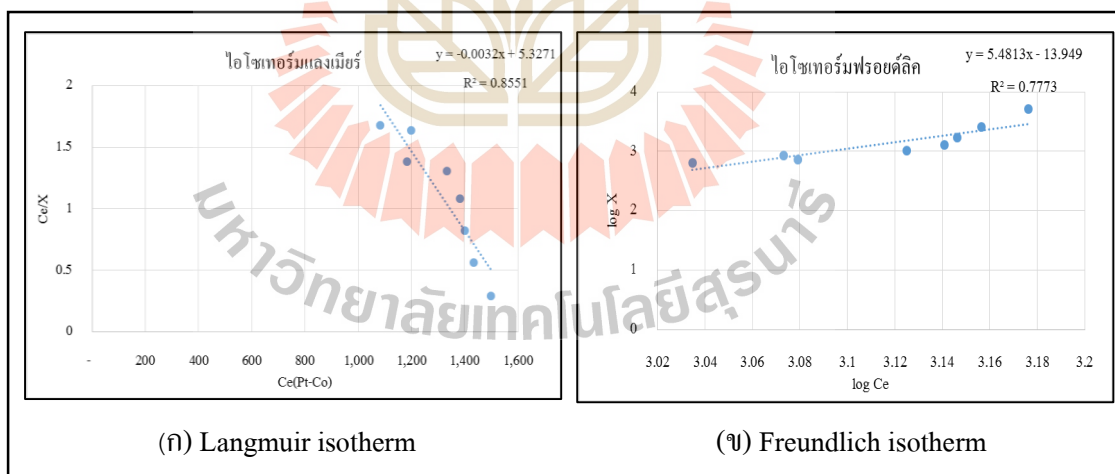
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	2 และ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

1.1.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้สภาวะดังแสดงในตารางที่ 4.13 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษา มาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir สามารถนำไปหาค่าคงที่ q_c และ K_L ได้ และสมการของ Freundlich สามารถนำไปหาค่า n และ K_f ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Langmuir เนื่องจากมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.5014-0.8551 เข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอร์ม Freundlich แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (Li et al.,2017) (รายละเอียดคดดังแสดงในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 4.14 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

ข้อมูล	Langmuir constant			Freundlich constant		
	q_{max} (Pt-Co/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (Pt-Co/g)	n	R^2
Min-Max	-313 – 2.51	-6.04×10^{-4} - -1.38×10^{-4}	0.644-0.855	1.12×10^{-14} -3,460	-14.43 -12.35	0.4568-0.8179
Mean \pm S.D.	-170 ± 159.63 .	$-4.43 \times 10^{-7} \pm 2.64 \times 10^{-4}$	0.735 ± 0.108	$1.96 \times 10^3 \pm 1,774.2$	-0.632 ± 13.41	0.684 ± 0.198



รูปที่ 4.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

1.1.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 2.67 โดยใช้ถ่าน 5.67 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 4.11-25.23 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 87.91-96.16 (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 4.15 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

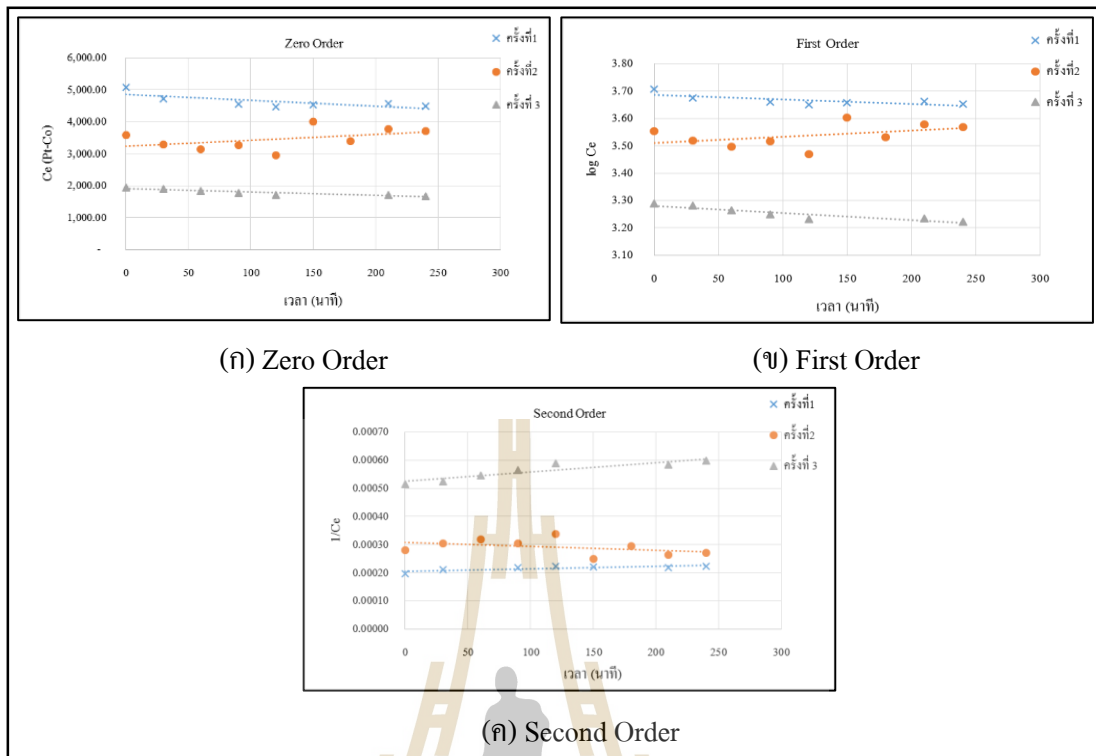
ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็วรอบ (rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	3
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	6
3	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	8
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2.67	อุณหภูมิห้อง	5.67

1.2) น้ำย้อม

1.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาดูดซับด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.12 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค.)



รูปที่ 4.12 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

โดยค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.16 พบว่า R^2 ของจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์โดยมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.5606 – 0.8313 ส่วนจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับหนึ่งมีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.5647 – 0.8374 และจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีค่าอยู่ในช่วง 0.5685-0.8431 ซึ่งจากผลการนำค่า R^2 ทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันแล้วพบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับสองมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุดคือเท่ากับ 0.7058 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ และอันดับหนึ่ง แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วง $8 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-7}$ เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า โดยจากการศึกษาการดูดซับสีย้อมจากแก่นฝางซึ่งเป็นสีย้อมธรรมชาติโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองเช่นเดียวกัน (เสาวณีย์ ชูยิ่งสกุลทิพย์, 2556)

ตารางที่ 4.16 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
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 ⁻⁵	0.7011 ± 0.193	$1.9 \times 10^{-7} \pm 1.56 \times 10^{-7}$	0.7058 ± 0.194

1.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

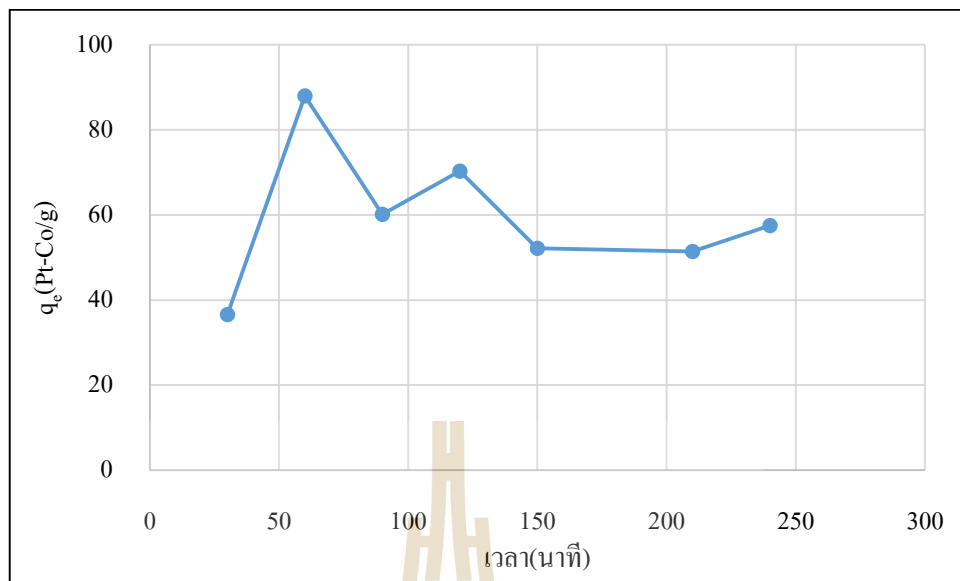
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อม ใช้น้ำย้อม 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.17 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

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



รูปที่ 4.13 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

โดยจากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.13 พบว่าผลของเวลาต่อการดูดซับสีในน้ำสีย้อมจะเห็นว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จากการศึกษาก่อนเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 0-26.42 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงร้อยละ 0-13.91 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

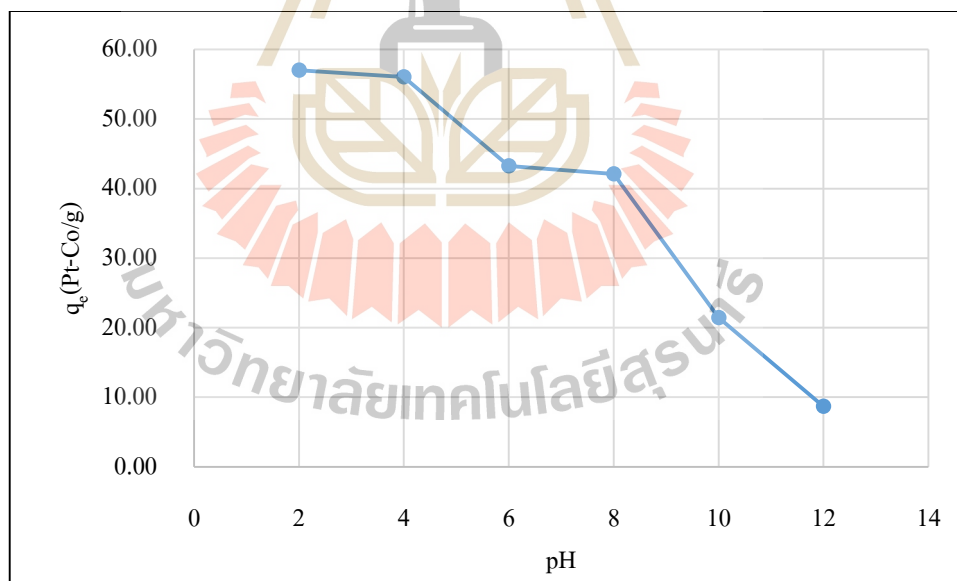
- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำย้อมปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.14 พบว่า ที่ pH ที่เป็นกรดจะมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงกว่าที่ pH สูง โดย pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 2 และ 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 2.21 และ 0.66 Pt-Co/g ตามลำดับ เนื่องจากผลของ pH ต่อสีย้อมธรรมชาติดังกล่าวไปข้างต้น และ pH เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ โดย pH ของสารละลายมีผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ คือที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะมีค่า pH_{zpc} (pH of zero net proton charge) เป็นค่าความเป็นกรด - ด่างสุทธิที่ผิวเท่ากับศูนย์ เมื่อค่า pH สูง ($pH > pH_{zpc}$) พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุลบ และการดูดซับโมเลกุลของสีย้อมที่เป็นประจุบวกจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างผิวกับโมเลกุลของสีย้อม และ เมื่อ pH ต่ำ พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ($pH < pH_{zpc}$)

การดูดซับสีย้อมที่เป็นประจุบวกจะลดลง เนื่องจากการจะเกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุลของสี
 ย้อมกับพื้นผิวของตัวดูดซับ(Gecgel et al, 2013)

ตารางที่ 4.18 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่
 ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

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 4.14 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
 ด้วยถ่านกัมมันต์

ดังนั้น ที่สภาวะเป็นกรดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีของธรรมชาติได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นด่างเนื่องจาก ในสภาวะที่เป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ($\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$) และสี้อมมีประจุลบทำให้สามารถดูดซับอนุภาคสีได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 28.38-65.40และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 35.40-60.23 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.)

1.2.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำย้อม มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.19 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 3.40-7.30 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.19 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

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

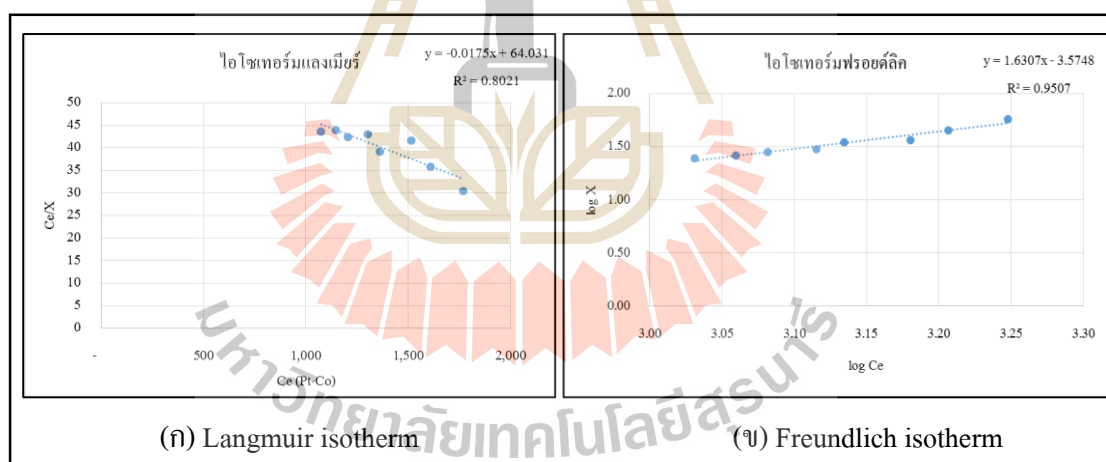
1.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสภาวะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.19 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.15 จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.535 ± 0.588 ส่วนไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.867 ± 0.092 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.)ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ

ค่า R^2 แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich ซึ่งมีสมมติฐานของไอโซเทอร์ม Freundlich คือ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้น้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอร์ม Freundlich เป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนามาจากไอโซเทอร์ม Langmuir ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยการดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) (Ho and Chiang,2001; วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2558)

ตารางที่ 4.20 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	-1.84×10^{-3} - (-1.58×10^{-3})	0.8021-0.9324	2.67×10^{-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 4.15 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

1.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้น้

ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 2.67 โดยใช้ถ่าน 8 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.21 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 23.21-30.77 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 47.84-53.30 47.79 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) โดยจากผลการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สอง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7058 ± 0.194 และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Freundlich เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.867 ± 0.092 จัดเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 4.21 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	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) สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

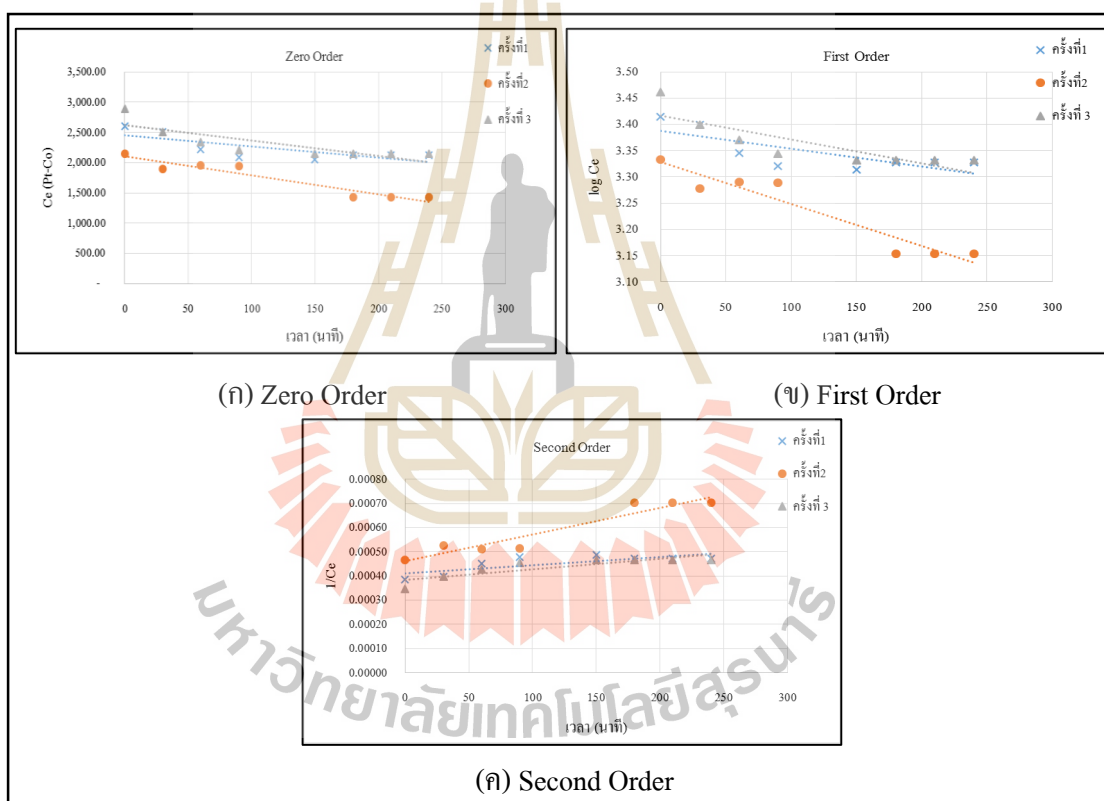
2.1) น้ำฟอก

2.1.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์ เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับคือ สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ (zero order) อันดับหนึ่ง (first order) และอันดับสอง (second order) เป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับโดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression correlation : R^2) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.16(ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่งและสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษาสรุปดังตารางที่ 4.22 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 แสดงว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ(K) พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในช่วง 3×10^{-7} - 1×10^{-6} เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า



รูปที่ 4.16 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.22 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สี
ข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ข้อมูล	Zero Order		First Order		Second Order	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
Min-Max	1.8253-2.9946	0.6092-0.7314	0.0003-0.0008	0.6026-0.9148	3×10^{-7} - 1×10^{-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

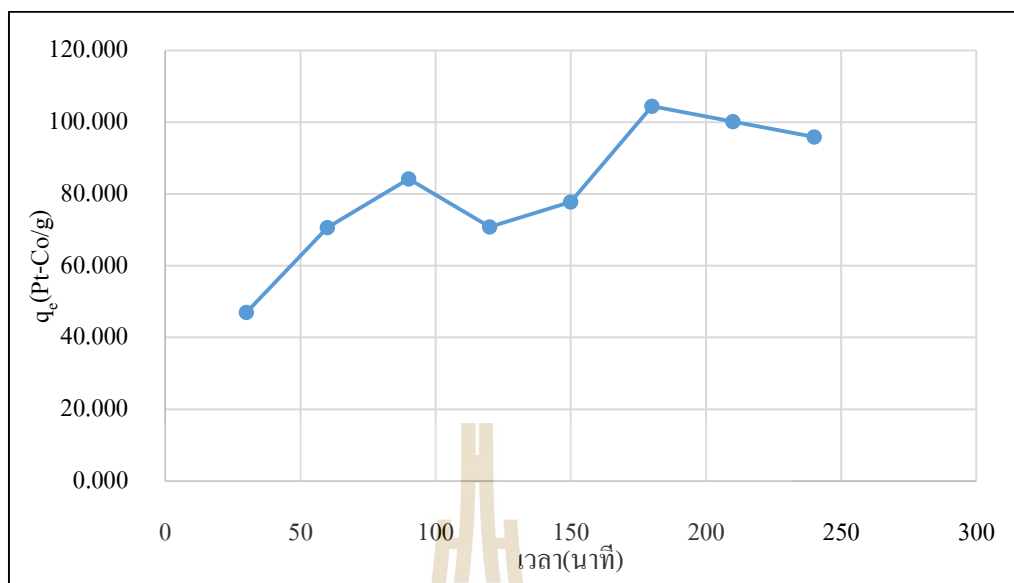
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอก ใช้น้ำฟอก 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอก (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.23 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

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



รูปที่ 4.17 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

จากตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.17 พบว่าผลของเวลาต่อการดูดซับสีในน้ำฟอก จะเห็นได้ว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในน้ำฟอกมีอนุภาคที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำอยู่สูงจึงจะเห็นได้จากลักษณะสมบัติของน้ำฟอกย้อมมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ (ตารางที่ 4.3) ทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของถ่านทำให้อนุภาคของสีในน้ำไม่สามารถเกิดการดูดซับในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของถ่านกัมมันต์ลดลง โดยจากการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 180-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพียงร้อยละ 18.33-33.75 และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการลด COD ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 19.80-27.66 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) ดังนั้น ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้ระยะเวลาสัมผัส เท่ากับ 240 นาที

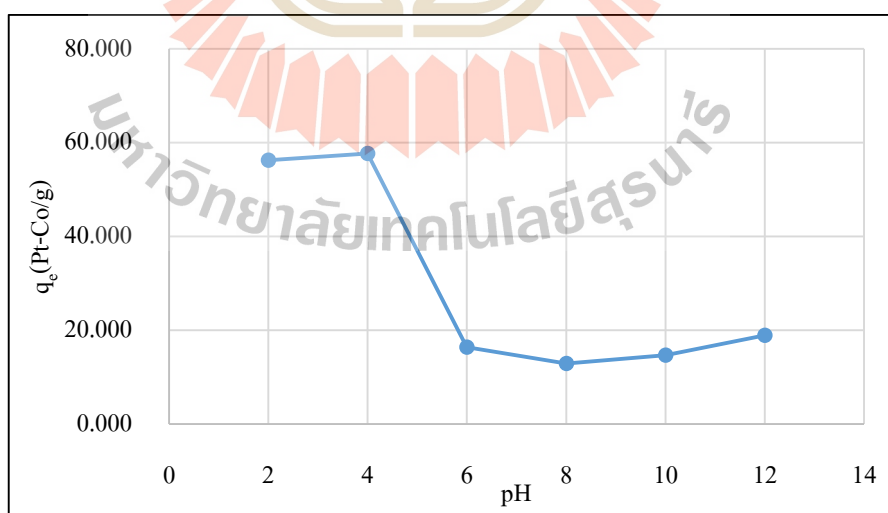
- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำฟอกปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับ(q_e) ดังแสดงในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อน้ำฟอกมีสถานะเป็นกรดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดโดยพบว่าที่สภาวะ pH เท่ากับ 2 และ 4 เนื่องจากค่า pH จะมีผลต่อโปรตีน sericin ที่อยู่ในน้ำฟอกเช่นเดียวกับน้ำฟอกที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ในสภาวะ

ที่เป็นกรดจะเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ ทำให้อนุภาคสีในน้ำถูกดูดซับได้ง่ายขึ้น และโปรตีนดังกล่าวมีประจุลบ เมื่อ pH ของสารละลายเป็นกรดพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าที่ pH เป็นค่า่าง การตกตะกอนและการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ค่าสี และ COD ของน้ำฟอกลดลงโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ค่อนข้างน้อย คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.17-12.59 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 85.85-94.06 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.24 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 4.18 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

2.1.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอกสรุปผลปัจจัยที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 4.25 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 4.25 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

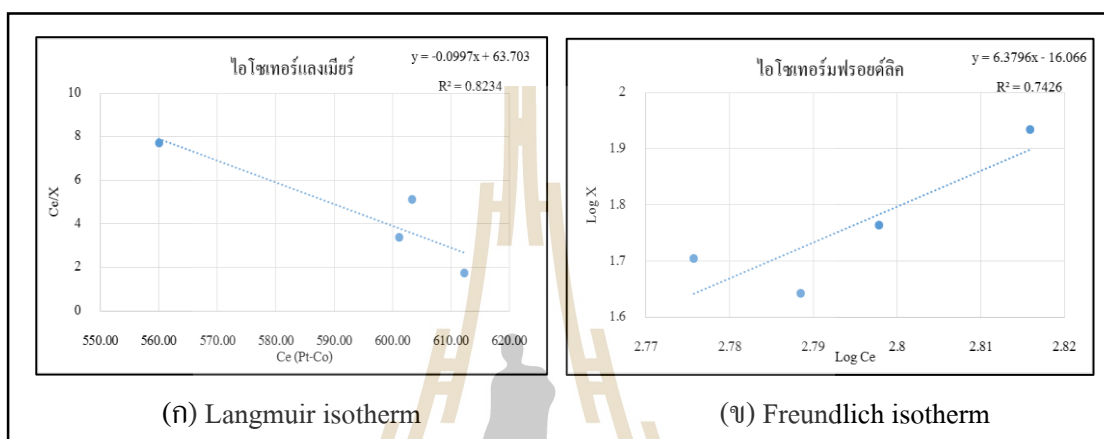
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามน้ำเสียจริง
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	2 และ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

2.1.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.25 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7433 ส่วนไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5889 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้ว จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Langmuir มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Langmuir แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) (Li et al.,2017)

ตารางที่ 4.26 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	8.56×10^{-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 4.19 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

2.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้กระบวนการดูดซับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 3.33 โดยใช้ถ่าน 4.33 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.21 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกอยู่ในช่วงร้อยละ 9.23-13.86 และ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 76.40-93.20 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) โดยจากการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สอง โดยมี R^2 เท่ากับ 0.752 ± 0.157 และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7433 ± 0.122

ตารางที่ 4.27 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

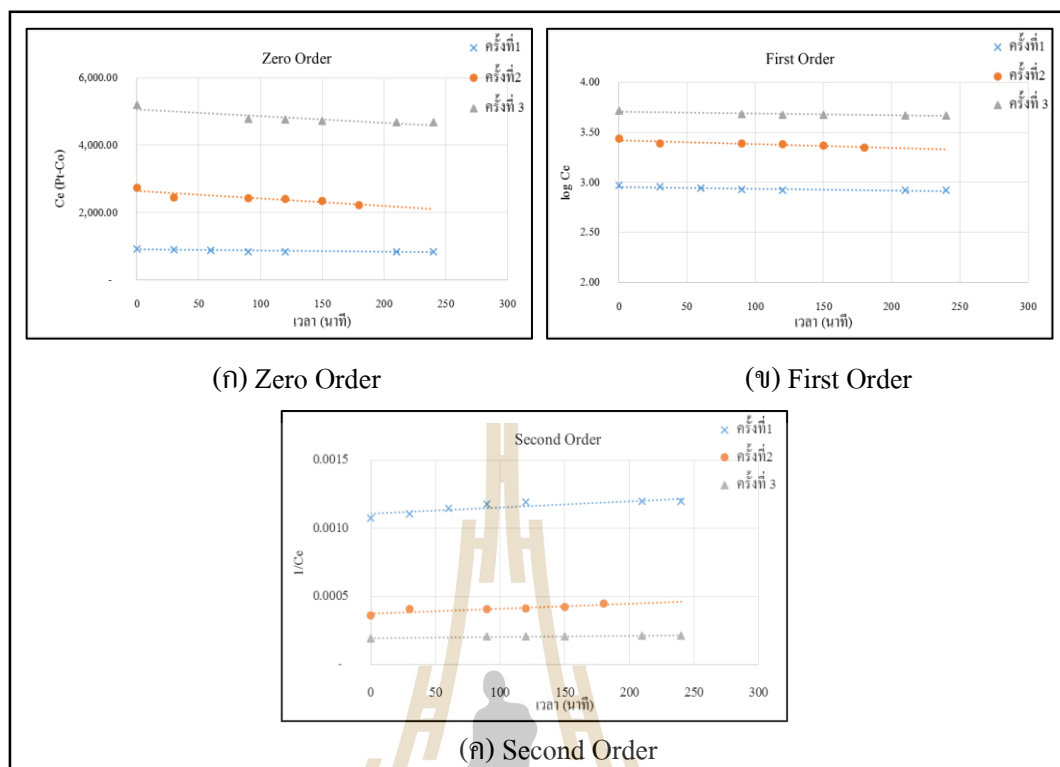
ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลา สัมผัส (นาท)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็ว รอบ(rpm)	pH	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักถ่าน (g)
1	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	2
2	240	ตามน้ำเสียจริง	150	4	อุณหภูมิห้อง	6
3	240	ตามน้ำเสียจริง	150	2	อุณหภูมิห้อง	5
เฉลี่ย	240	ตามน้ำเสียจริง	150	3.33	อุณหภูมิห้อง	4.33

2.2) น้ำย้อม

2.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.20 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดคดดังแสดงในภาคผนวก ค) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.28 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 แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า โดยจากผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมเอซิดส่วนใหญ่การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสอง (Ho and Chang, 2001 ; จักรกฤษณ์ อัมพฤษ, 2548; Cretescu et al.,2017)



รูปที่ 4.20 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.28 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 ± 1.0136	0.7703 ± 0.0399	$2. \times 10^{-4} \pm 1.2 \times 10^{-4}$	0.746 ± 0.0408	$3.3 \times 10^{-7} \pm 2.2 \times 10^{-7}$	0.788 ± 0.044

2.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อม ใช้น้ำย้อม 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่ม

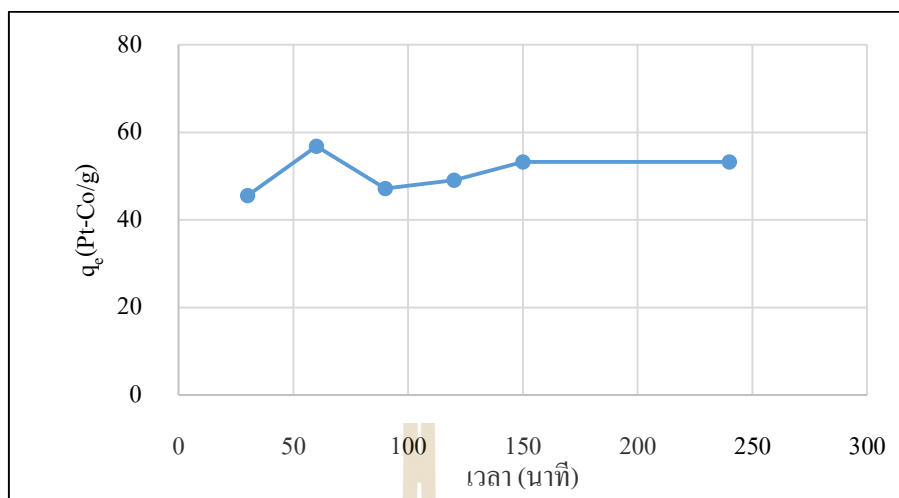
เข้าสู่สมมูลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และรูปที่ 4.21 พบว่าผลของระยะเวลาที่สัมผัสต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมจะเห็นว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วลดลงอย่างช้า ๆ จากการศึกษาเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 150-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 18.45 – 22.72 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีในช่วงร้อยละ 9.89-18.40 (รายละเอียดผลการศึกษาระบุแสดงในภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 4.29 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

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์ โดยใช้น้ำย้อมปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในรูปที่ 4.22 และ ตารางที่ 4.30 พบว่าช่วง pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดอยู่ในช่วง pH 6 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 7.582-35.136 Pt-Co/g เนื่องจากผลของ pH ในสารละลายส่งผลต่อประจุบนผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสีย้อมประจุลบจะมี

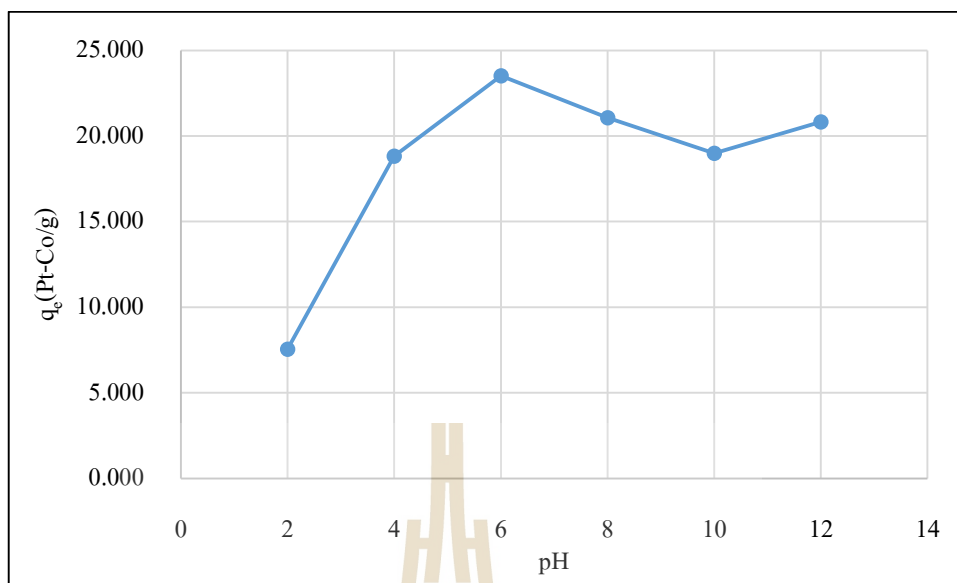


รูปที่ 4.21 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี
ข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีเมื่อพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นประจุบวก ($\text{pH} < \text{pH}_{\text{zpc}}$) 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 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 27.09 - 50.06 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.30 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่
ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

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



รูปที่ 4.22 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

2.2.3) สรุปผลการศึกษารายละเอียดที่มีผลต่อการดูดซับน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษารายละเอียดที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำข้อม มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.31 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำข้อมของถ่านกัมมันต์คือที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 13.279-73.908 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 6 และ 8 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 35.13 และ 35.55 Pt-Co/g ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วง pH ที่ใกล้เคียงกับน้ำข้อมสีเคมีเริ่มต้น ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงใช้ pH เริ่มต้นในการศึกษาซึ่งมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 6.10-7.19 ดังลักษณะสมบัติของน้ำเสียในตารางที่ 4.3

2.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำข้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำข้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสภาวะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.31 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir นำมาคำนวณค่าคงที่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.32 และรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.31 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

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

จากตารางที่ 4.32 และรูปที่ 4.23 จะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8864 ± 0.0339 ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.663 ± 0.432 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้วจะเห็นว่า การดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al., 1998) จากการศึกษาของ Ho and Chial (2001) พบว่าผลการดูดซับสีย้อม acid red และ acid blue ที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich

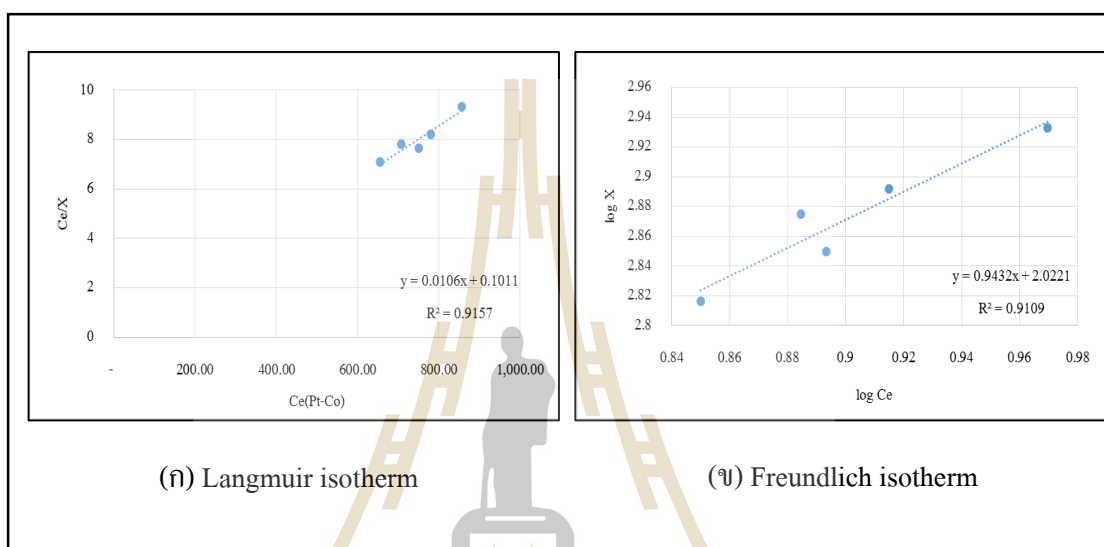
ตารางที่ 4.32 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

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	-1.36×10^{-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 ใช้ระยะเวลาสัมพัทธ์เท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 6.67 โดยใช้ถ่าน 7.67 g รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.33 ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสม

มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำย้อมอยู่ในช่วงร้อยละ 31.82-53.13 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 27.43-70.34 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.) โดยจากการศึกษาพบว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับที่สอง โดยมี R^2 เท่ากับ 0.788 ± 0.044 และ การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบ Freundlich เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8864 ± 0.0339



รูปที่ 4.23 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.33 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	สภาวะที่เหมาะสม					
	ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้น (Pt-Co)	ความเร็ว รอบ(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 ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกกระบวนการสำหรับการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิด นำผลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากหัวข้อที่ 4.1.3 และ 4.1.4 มาทำการเปรียบเทียบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ เท่ากับร้อยละ 28.56 และ 14.54 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 80.30 และ 93.55 ในหน่วย Pt-Co และเท่ากับร้อยละ 71.31 และ 21.62 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD ของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) รายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง

1.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ เท่ากับร้อยละ 31.93 และ 26.99 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 57.64 และ 50.57 ในหน่วย Pt-Co และเท่ากับร้อยละ 55.62 และ 44.70 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD ของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) รายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง

2) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

2.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าน้ำฟอกจากสถานประกอบการ

ที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ เท่ากับร้อยละ 32.42 และ 11.35 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 94.57 และ 87.22 ในหน่วย Pt-Co และเท่ากับร้อยละ 68.39 และ 25.08 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีในหน่วย Pt-Co และ COD ของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีในหน่วย ADMI พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีของกระบวนการโคแอกกูเลชันสูงกว่ากระบวนการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) รายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง

2.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ เท่ากับร้อยละ 81.61 และ 42.90 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสี เท่ากับร้อยละ 85.67 และ 42.30 ในหน่วย Pt-Co และเท่ากับร้อยละ 81.69 และ 33.95 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ เมื่อนำค่าประสิทธิภาพไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีในหน่วย Pt-Co และ ADMI ของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่ค่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชันสูงกว่ากระบวนการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$)รายละเอียดการวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ชนิดน้ำเสีย	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)			ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)		
	CF	Ad	p-value	CF	AD	p-value
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ						
น้ำฟอก	28.56	14.54	0.490	80.30	93.35	0.454
น้ำย้อม	31.93	26.99	0.288	57.64	50.57	0.218
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี						
น้ำฟอก	32.42	11.35	0.128	94.57	87.22	0.319
น้ำย้อม	81.61	42.90	0.006	85.67	42.30	0.099

หมายเหตุ CF หมายถึง กระบวนการโคแอกกูเลชัน, Ad หมายถึง กระบวนการดูดซับ

4.2.2 สรุปผลทางเลือกในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

1) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการนำข้อมูลไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่า ถึงแม้ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD จะเห็นได้ว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้น ระบบร่วมแบบที่ 1 จึงเป็นระบบร่วมที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยกระบวนการดูดซับ

1.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการนำข้อมูลไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่า ถึงแม้ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD จะเห็นได้ว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้น ระบบร่วมแบบที่ 1 จึงเป็นระบบร่วมที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยกระบวนการดูดซับ

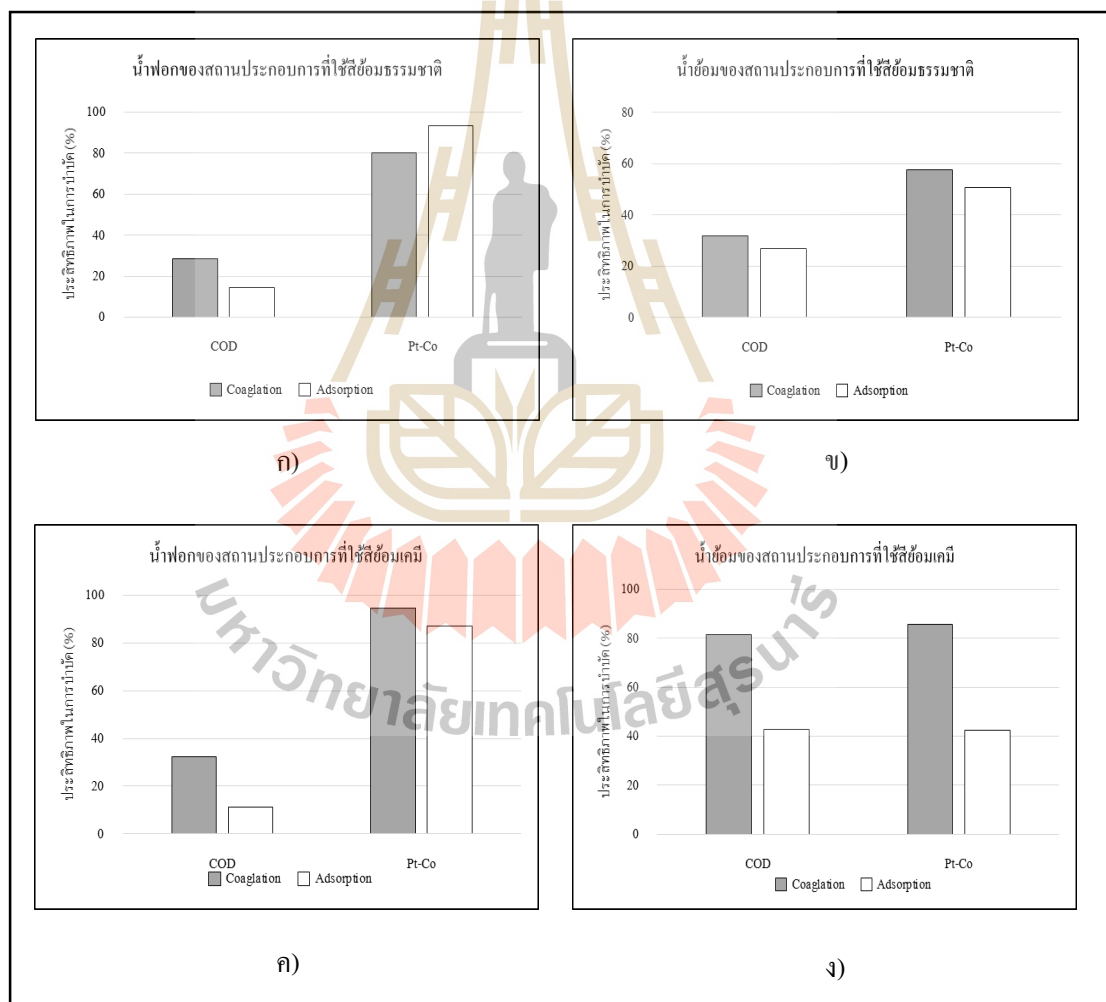
2) น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

2.1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการนำข้อมูลไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่า น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีในหน่วย ADMI ของกระบวนการโคแอกกูเลชันสูงกว่ากระบวนการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ สีในหน่วย Pt-Co พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากระบวนการดูดซับเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้น ระบบร่วมแบบที่ 1 จึงเป็นระบบร่วมที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยกระบวนการดูดซับ

2.2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการนำข้อมูลไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของกระบวนการโคแอกกูเลชันสูงกว่ากระบวนการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดสี พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่ากระบวนการดูดซับเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้น ระบบรวมแบบที่ 1 จึงเป็นระบบรวมที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี คือ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยกระบวนการดูดซับ



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ (ก และ ข) และสีย้อมเคมี (ค และ ง)

4.3 ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

จากผลสรุปการเลือกระบบร่วมแบบที่ 1 คือ การใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันก่อนและตามด้วยระบบดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ของน้ำเสียแต่ละชนิด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำน้ำเสียมาผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียแต่ละชนิดที่ได้ในหัวข้อที่ 4.1.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จากนั้นนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับเพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบร่วมรายละเอียดผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

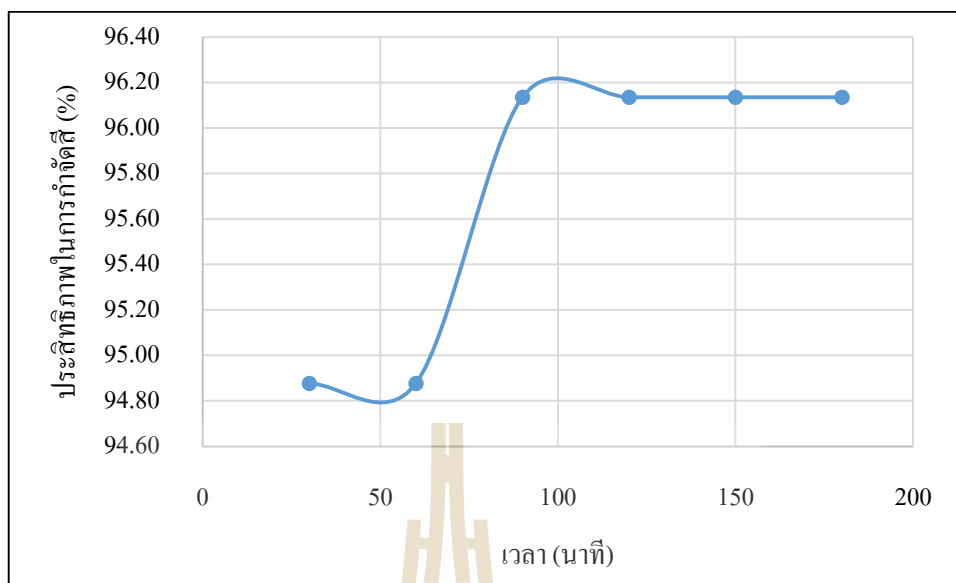
4.3.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1) สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1.1) น้ำฟอก

1.1.1) ผลการศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจะเห็นได้ว่าที่ pH เท่ากับ 4 เป็นสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งในสภาวะดังกล่าวทำให้โปรตีนในน้ำฟอกเกิดเป็นตะกอนขึ้นค่อนข้างเยอะ ซึ่งหากใช้เวลาตกตะกอนเพียง 30 นาที ตะกอนจะยังไม่สามารถตกลงสู่ด้านล่างได้หมด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสมเพิ่มเติม เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานของระบบร่วมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการตกตะกอนจะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีมากยิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น จนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 90 นาที ค่าสี เริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ดังนั้น ระยะเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับน้ำฟอก คือ 90 นาที โดย Rana and Suresh (2017) ได้ทำการศึกษาการกำจัด COD ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการตกตะกอนมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาการตกตะกอนประมาณ 90 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดจะเริ่ม COD จะเริ่มคงที่จนถึงระยะเวลา 180 นาที



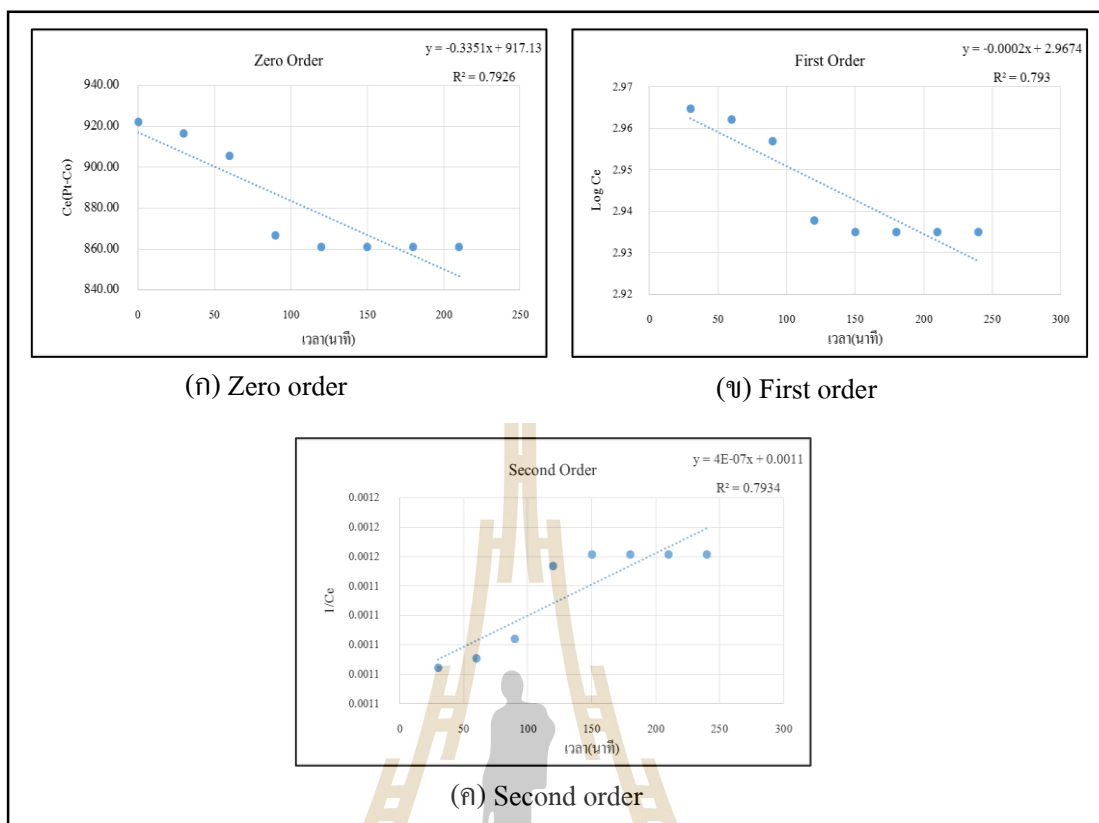
รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีที่เวลาดกตะกอนต่างกันของน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากผลการศึกษาการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชันของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ พบว่าน้ำเสียยังคงมีค่า COD เหลืออยู่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 26,732.67 mg/l มีค่าสีเหลืออยู่เท่ากับ 773.33 และมีค่า pH เท่ากับ 3.98 หลังจากนั้นนำน้ำเสียดังกล่าวมาทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับ ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1.2) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.26 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดคดดังแสดงในภาคผนวก จ.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสอง หาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.35 พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นปฏิกิริยาอันดับสองโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7934 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ในช่วง 4×10^{-7} เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า



รูปที่ 4.26 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สื่อธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.35 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สื่อธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

Zero Order		First Order		Second Order	
K	R ²	K	R ²	K	R ²
10.053	0.7926	0.0002	0.7930	4×10^{-7}	0.7934

1.1.3) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สื่อธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัสและความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่ผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ใช้น้ำฟอกที่ผ่านกระบวนการดูดซับ 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำข้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.27 พบว่าผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกจะเห็นว่าการดูดซับสีที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเวลาผ่านไปประมาณ 210-240 นาที ค่าการดูดซับสีจะเริ่มคงที่โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในเท่ากับร้อยละ 17.02 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 10.92

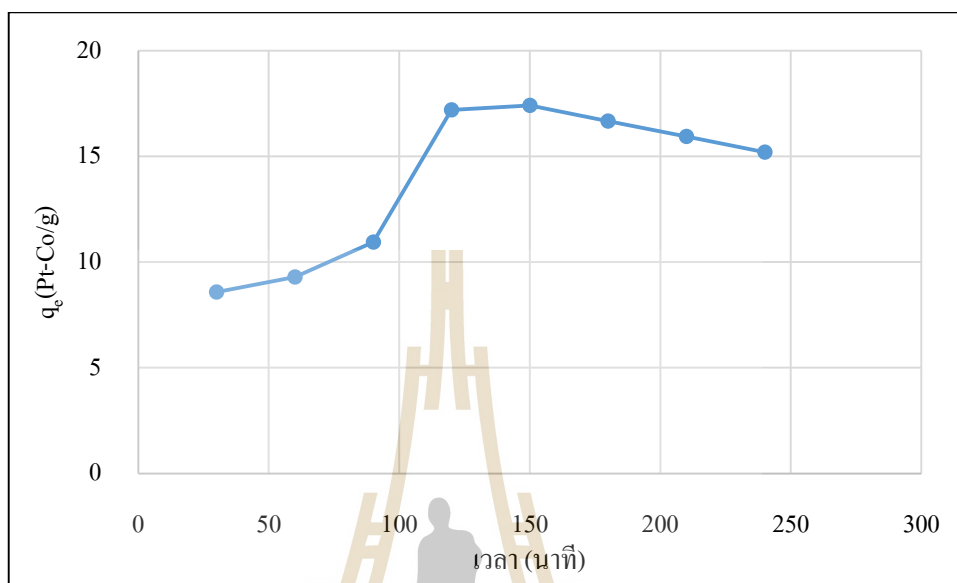
ตารางที่ 4.36 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
30	8.58	5.32	4.60
60	9.30	5.32	5.17
90	10.94	8.51	6.32
120	17.20	14.89	10.34
150	17.41	8.51	10.92
180	16.68	17.02	10.92
210	15.94	17.02	10.92
240	15.20	17.02	10.92

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำฟอกที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.37 และรูปที่ 4.28 พบว่า pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงอยู่ในช่วง pH 4 โดยมีค่าความสามารถในการดูด

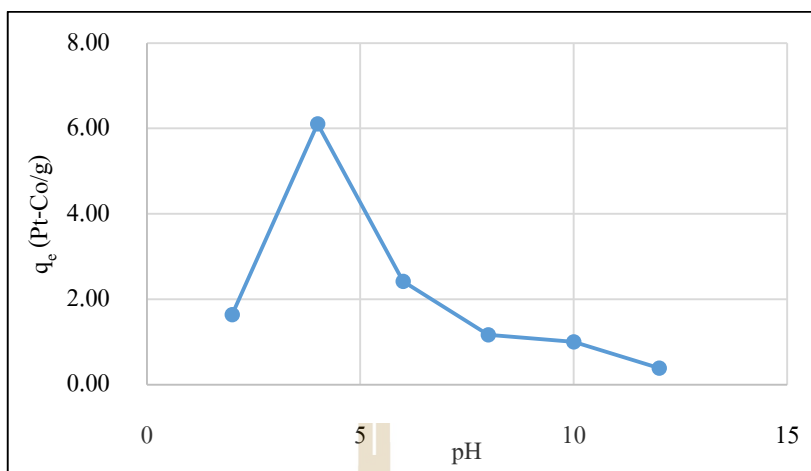
ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.11 Pt-Co/g และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 20.45 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และร้อยละ 25.29



รูปที่ 4.27 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.37 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่
ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
2	1.64	20.45	6.78
4	6.11	20.45	25.29
6	2.42	17.96	10.00
8	1.17	16.72	4.83
10	1.00	1.80	4.14
12	0.39	8.35	1.61



รูปที่ 4.28 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยถ่านกัมมันต์

1.1.4) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอก มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.38 พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำฟอกหลังผ่านกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 15.20 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าที่ pH 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 6.11 Pt-Co/g โดยจากค่า pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันมี pH เท่ากับ 3.98 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงเลือกใช้ค่า pH ของน้ำหลังผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันในการทดลองสำหรับขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.38 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

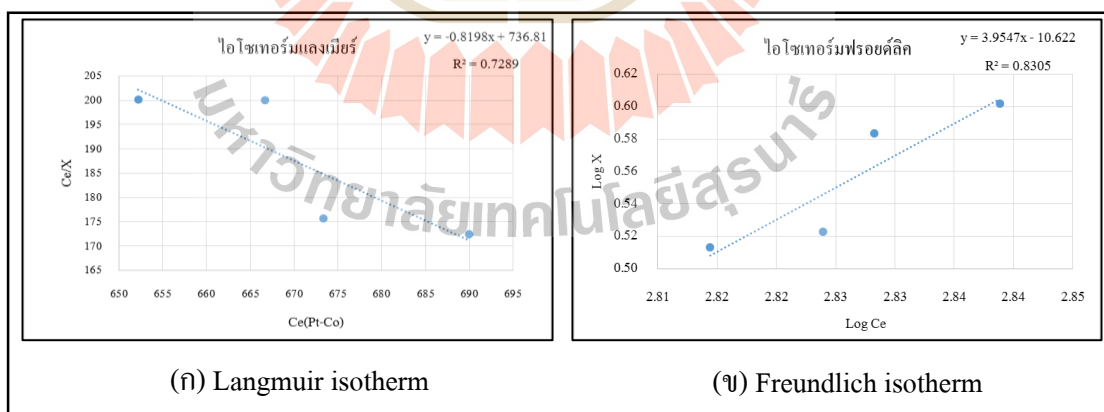
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัส	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามความเข้มข้นของน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	ตามค่า pH ของน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

1.1.5) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.38 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 - 8 g ต่อน้ำตัวเสียน 200 ml เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษา มาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir นำมาคำนวณค่าคงที่ดังสรุปในตารางที่ 4.39 และรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8305 ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7289 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของน้ำย้อมที่เกิดขึ้นเป็นแบบไอโซเทอร์ม Freundlich ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al.,1998)

ตารางที่ 4.39 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

Langmuir constant			Freundlich constant		
q_{max} (PtCo/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (Pt-Co/g)	n	R^2
-1.22	-0.0011	0.7289	2.39×10^{11}	0.252	0.8305



รูปที่ 4.29 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์

1.1.6) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.40 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบร่วมโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ โดยสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ โคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 383.33 และ 0.60 mg/l ตามลำดับ ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 และระยะเวลาในการตกตะกอน 90 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ pH เท่ากับ 3.89 (pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชัน) โดยใช้ถ่าน 6 g ต่อปริมาตรน้ำเสีย 200 ml ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกเท่ากับร้อยละ 64.35 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 97.17 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก จ.) ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกสูงกว่าการใช้ระบบ โคแอกกูเลชันหรือระบบดูดซับเพียงระบบเดียว เนื่องจากการใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชันในการบำบัดก่อนจะช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียลงได้ และทำให้กระบวนการดูดซับทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 4.40 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

กระบวนการ โคแอกกูเลชัน					กระบวนการดูดซับ			
ชนิดสาร Coagulant	ความเข้มข้นสาร Coagulant(mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH	เวลาดตกตะกอน (นาที)	เวลาในการ สัมผัส (นาที)	pH	ปริมาณ ถ่าน (g)	ความเร็ว รอบ (rpm)
PAC	383.33	0.60	4	90	240	เท่ากับหลัง Coagulation	6	150

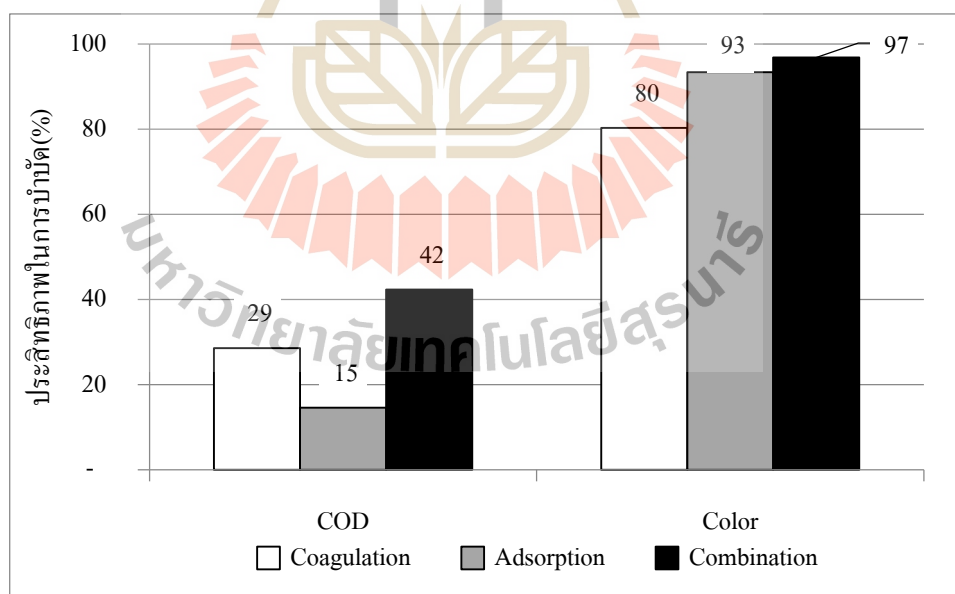
1.1.7) สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากสภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.40 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.41 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 32.18-51.16 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 95.03 -

98.16 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้ระบบร่วมสูงกว่าการใช้ระบบโคแอกกูเลชันหรือระบบดูดซับเพียงระบบเดียวซึ่งการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพิ่มขึ้นร้อยละ 13 และ 27 เมื่อเทียบกับกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และ 4 เมื่อเทียบกับโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับดังแสดงในรูปที่ 4.30 และจากการนำข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติทั้ง 3 วิธี ไปทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Paired t-test พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD ของทั้ง 3 ระบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\text{-value} > 0.05$) (รายละเอียดการศึกษาแสดงดังภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.41 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

น้ำตัวอย่าง	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
น้ำฟอก	32.18-51.16	42.03 \pm 8.01	95.03 -98.16	96.82 \pm 1.31



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ระบบ

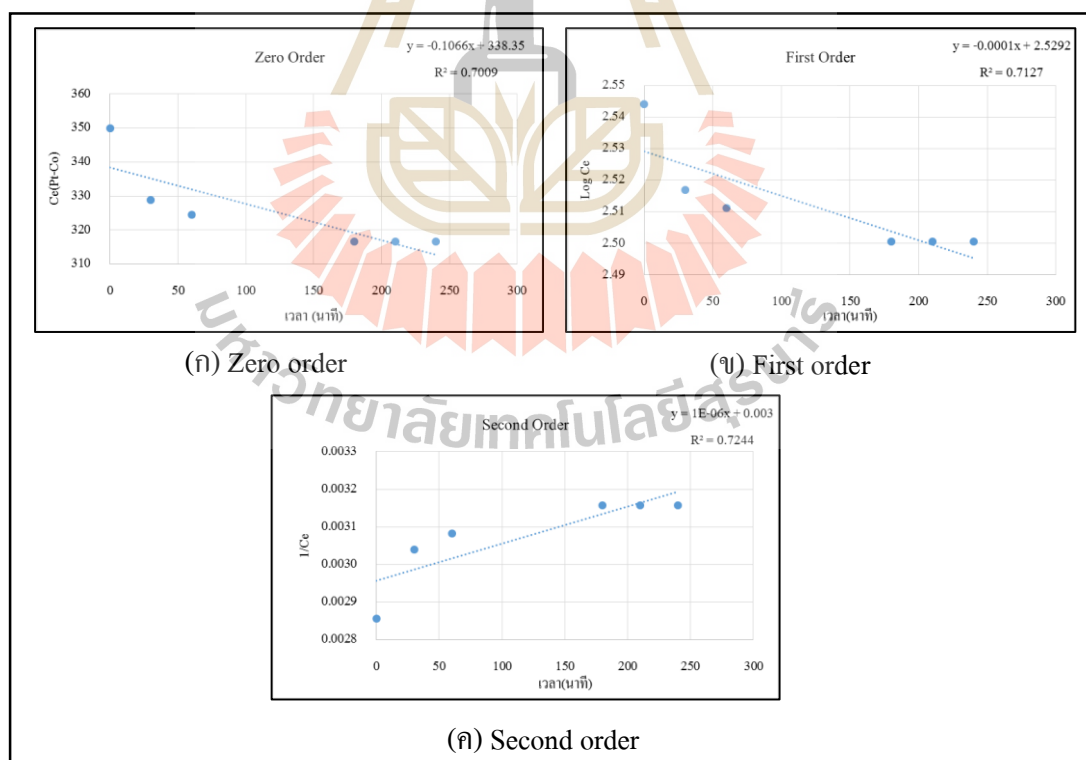
1.2) น้ำย้อม

จากผลการศึกษารับบำบัดน้ำย้อมโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ พบว่าน้ำเสียยังคงมีค่า COD เหลืออยู่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 6,857.14 mg/l และมีค่าสีเหลืออยู่เท่ากับ 327.78 ในหน่วย Pt-Co และ 596.00 ในหน่วย ADMI และค่า pH เท่ากับ 4.59 หลังจากนั้นนำน้ำเสียดังกล่าวมาทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับ ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

1.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับอันดับศูนย์ หนึ่ง และสอง แสดงดังรูปที่ 4.31 (ก-ค) (รายละเอียดคดดังแสดงในภาคผนวก จ.)



รูปที่ 4.31 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

โดยค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสอง หาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.42 พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นปฏิกิริยาอันดับสองโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7244 โดยจากค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองมีค่าค่อนข้างต่ำก็อยู่ในช่วง 1×10^{-6} เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า

ตารางที่ 4.42 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สี ย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

Zero Order		First Order		Second Order	
K	R^2	K	R^2	K	R^2
0.1066	0.7009	0.0001	0.7127	1×10^{-6}	0.7244

1.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี ย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัสและความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของระบบร่วมระหว่าง กระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ใช้น้ำย้อมที่ผ่านกระบวนการดูดซับ 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมจุดนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.43 และรูปที่ 4.32 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจะมีผลทำให้ค่า q_e ในการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 90 นาที หลังจากนั้นค่า q_e จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่ที่ระยะเวลามากกว่า 210 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในเท่ากับร้อยละ 35.71 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 10.04

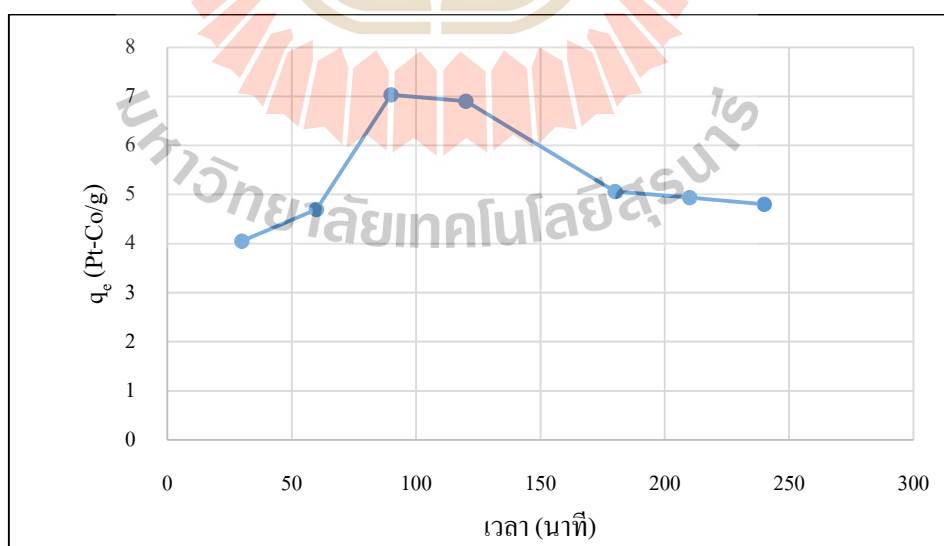
- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำย้อมที่ผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าความสามารถในการดูดซับ (q_e) ดังแสดงในตารางที่ 4.44 และรูป

ที่ 4.33พบว่า pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงอยู่ในช่วง pH 4 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.10 Pt-Co/g และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 61.90 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 43.99

ตารางที่ 4.43 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

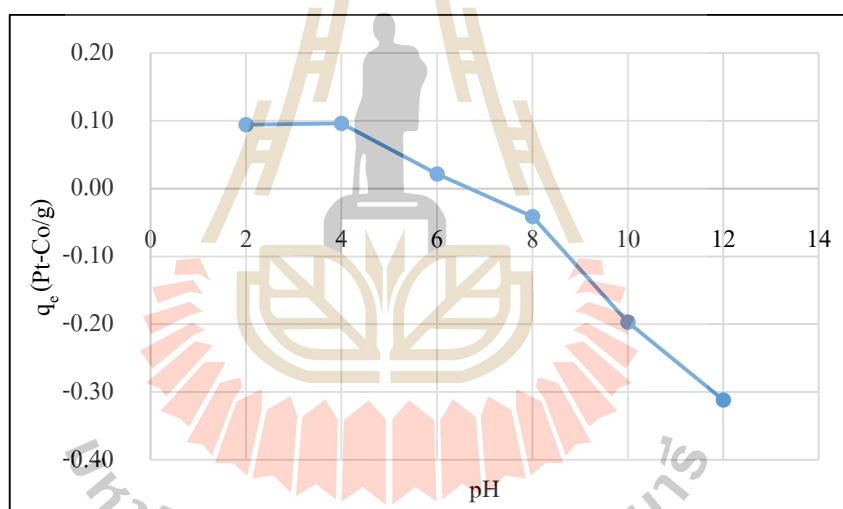
ระยะเวลาสัมผัส (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
30	4.05	14.29	6.03
60	4.70	14.29	7.30
90	7.03	14.29	11.43
120	6.90	21.43	11.75
150	3.73	35.71	6.67
180	5.06	35.71	9.52
210	4.94	35.71	9.78
240	4.80	35.71	10.04



รูปที่ 4.32 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.44 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
2	0.09	52.38	43.04
4	0.10	61.90	43.99
6	0.02	52.38	9.81
8	-0.04	55.56	0.00
10	-0.20	57.14	0.00
12	-0.31	58.73	0.00



รูปที่ 4.33 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

1.2.3) สรุปผลการศึกษานี้ซึ่งมีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษานี้ซึ่งมีผลต่อการดูดซับของน้ำย้อม มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.45 พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำย้อมหลังจากกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลาสัมผัส 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 4.80 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 4 มีค่าความสามารถในการดูด

ซึบเท่ากับ 0.10 Pt-Co/g โดยจากค่า pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมี pH เท่ากับ 4.59 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงเลือกใช้ช่วงค่า pH ของน้ำหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันในการทดลองสำหรับขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.45 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

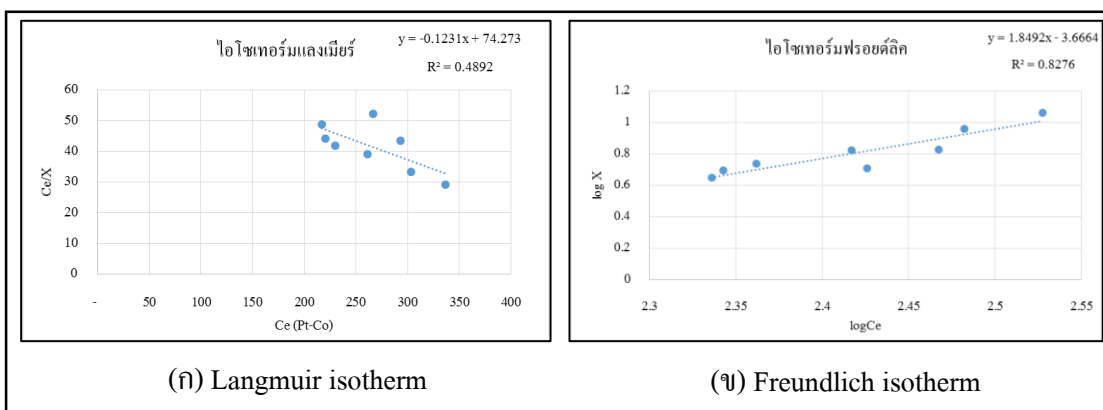
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมผัสน้ำ	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามความเข้มข้นของน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	ตามค่า pH ของน้ำกระบวนการโคแอกกูเลชัน
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

1.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.45 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 -8 g ต่อปริมาตรน้ำ 200 ml เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich ดังแสดงในตารางที่ 4.46 และรูปที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8276 ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.4829 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al.,1998)

ตารางที่ 4.46 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

Langmuir constant			Freundlich constant		
q_{max} (PtCo/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (Pt-Co/g)	n	R^2
-8.123	-1.666×10^{-3}	0.4829	2.15×10^{-4}	0.54	0.8276



รูปที่ 4.34 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของถ่านกัมมันต์

1.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 4.47 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบร่วมโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 337.50 และ 0.55 mg/l ที่สภาวะ pH เท่ากับ 6 และระยะเวลาในการตกตะกอน 30 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 4.95 (pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน) โดยใช้ถ่าน 8 g ต่อน้ำเสีย 200 ml

ตารางที่ 4.47 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

กระบวนการ โคแอกกูเลชัน					กระบวนการดูดซับ			
ชนิดสาร Coagulant	ความเข้มข้นสาร Coagulant(mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH	เวลาดตกตะกอน (นาที)	เวลาในการสัมผัส (นาที)	pH	ปริมาณถ่าน (g)	ความเร็วรอบ (rpm)
PAC	337.50	0.55	6	30	240	เท่ากับหลัง Coagulation	8	150

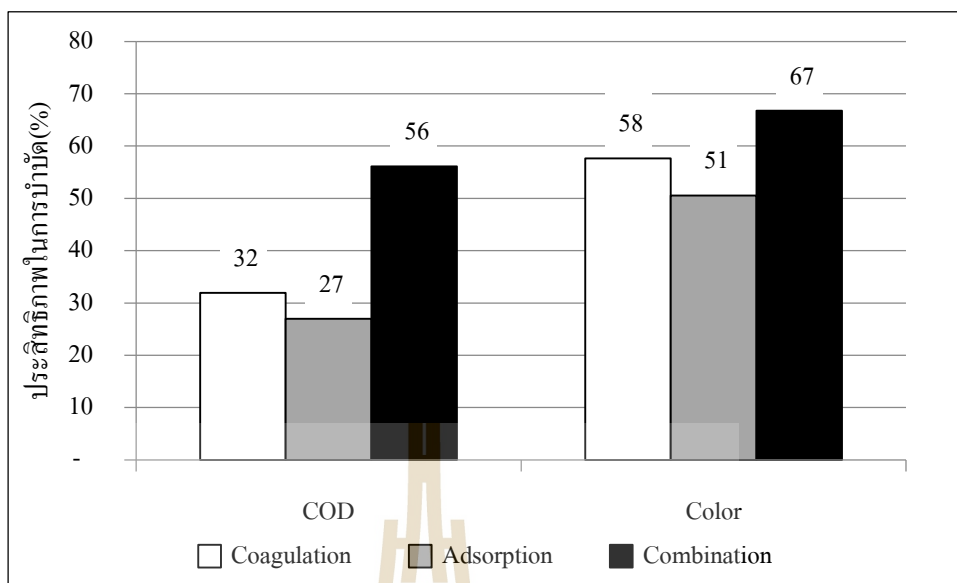
โดยที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำย้อมเท่ากับร้อยละ 49.80 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 69.53 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ) เนื่องจากการใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชันจะสามารถตกตะกอนอนุภาคสีย้อมและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียบางส่วน ทำให้กระบวนการดูดซับสามารถดูดซับอนุภาคสีได้ดีขึ้น

1.2.6) สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากสภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.47 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4.48 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 51.51 -63.16 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 51.85-91.09 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมโดยใช้ระบบร่วมสูงกว่าการใช้ระบบ โคแอกกูเลชันหรือระบบดูดซับเพียงระบบเดียว ซึ่งการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพิ่มขึ้นร้อยละ 24 และ 29 เมื่อเทียบกับกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และ 16 เมื่อเทียบกับ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.35 และจากการนำข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติทั้ง 3 วิธี ไปทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Paired t-test พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD โดยใช้ระบบร่วมสูงกว่าการบำบัดโคแอกกูเลชันเพียงกระบวนการเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (รายละเอียดการศึกษาแสดงดังภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.48 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

น้ำตัวอย่าง	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
น้ำย้อม	51.51 -63.16	56.11 \pm 4.33	51.85-91.09	66.73 \pm 16.20



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำขี้มของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติของทั้ง 3 ระบบ

2) สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

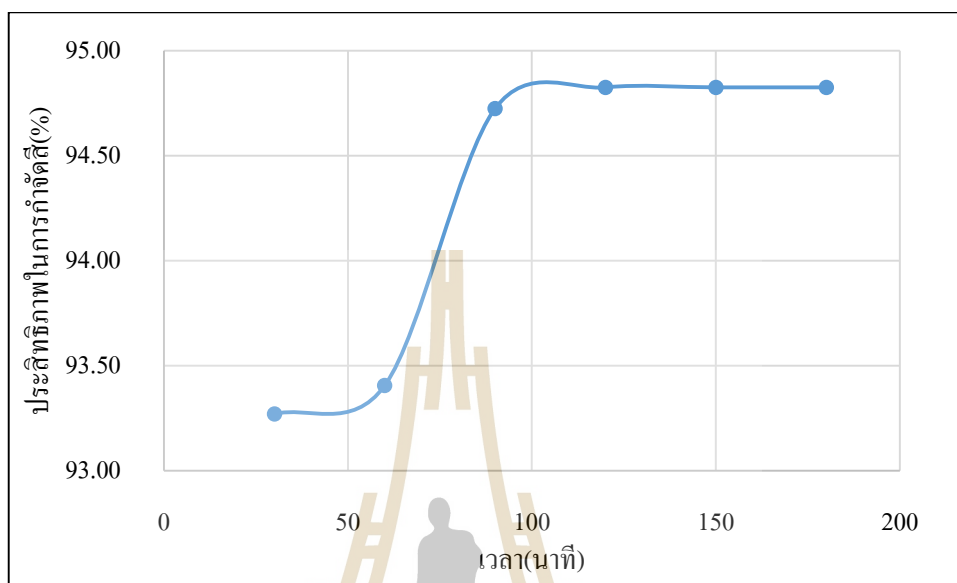
2.1) น้ำฟอก

2.1.1) ผลการศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกที่ pH 4 ซึ่งในสภาวะดังกล่าวทำให้โปรตีนในน้ำฟอกเกิดเป็นตะกอนขึ้นค่อนข้างเยอะ หากใช้เวลาตกตะกอนเพียง 30 นาที ตะกอนจะยังไม่สามารถตกลงสู่ด้านล่างได้หมด ดังนั้น จึงทำการศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสมเพิ่มเติม เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานของระบบร่วมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการตกตะกอนเกิดได้ดีขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น จนเมื่อระยะเวลาการตกตะกอนประมาณ 90 นาที ค่าสีเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.36 เช่นเดียวกับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ดังนั้น ระยะเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันน้ำฟอก คือ 90 นาที

จากผลการศึกษาการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี พบว่าน้ำเสียยังคงมีค่า COD เหลืออยู่ค่อนข้างสูงเท่ากับ 12,727.27 mg/l และมีค่าสีเหลืออยู่เท่ากับ 173.33 ในหน่วย Pt-Co และ 115.2 ในหน่วย ADMI และ

ค่า pH เท่ากับ 3.85 หลังจากนั้นจึงนำน้ำเสียดังกล่าวมาทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับ ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

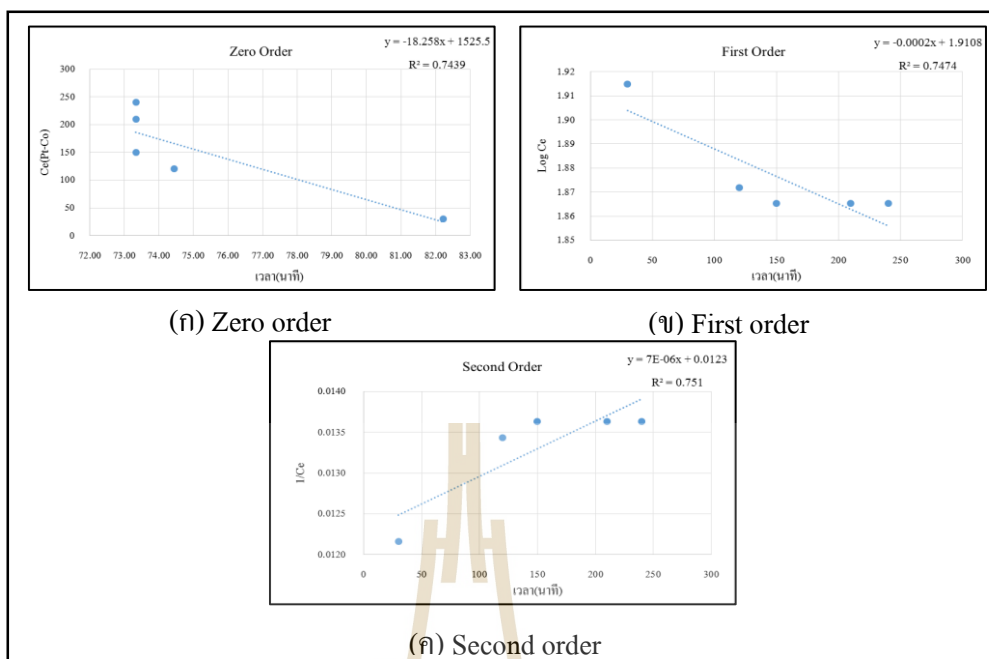


รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่เวลาตกตะกอนต่างกันของน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

2.1.2) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำฟอกด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.37 (ก-ค) ตามลำดับ (รายละเอียดคดคังแสดงในภาคผนวก จ.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสอง หาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษาสรุปดังตารางที่ 4.49 พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7510 ค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการดูดซับอันดับสองมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ อยู่ในช่วง 7×10^{-6} เมื่อเทียบกับจลนพลศาสตร์ดูดซับแบบอื่น ๆ แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับที่เกิดขึ้นในถ่านกัมมันต์ค่อนข้างช้า



รูปที่ 4.37 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.49 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

Zero Order		First Order		Second Order	
K	R ²	K	R ²	K	R ²
18.258	0.7439	0.0002	0.7474	7×10^{-6}	0.7510

2.1.3) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และค่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำฟอก ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัสและความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

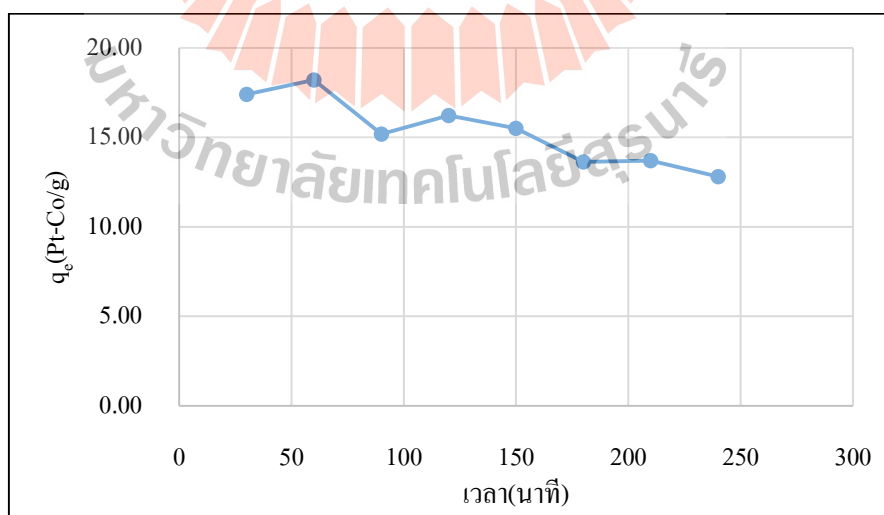
- ผลของระยะเวลาสัมผัส

การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ใช้น้ำฟอกที่ผ่านกระบวนการดูดซับ 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ 30 นาที

นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสกับค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.50 และรูปที่ 4.38 เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจะมีผลทำให้ค่า q_e ในการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 60 นาที หลังจากนั้นค่า q_e จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่ที่ระยะเวลามากกว่า 180 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในเท่ากับร้อยละ 57.76 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 57.69

ตารางที่ 4.50 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมผัส(นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
30	17.40	17.86	52.56
60	18.20	21.43	57.69
90	15.18	32.14	50.64
120	16.22	39.29	57.05
150	15.50	50.00	57.69
180	13.63	54.76	53.85
210	13.70	54.76	57.69
240	12.80	54.76	57.69



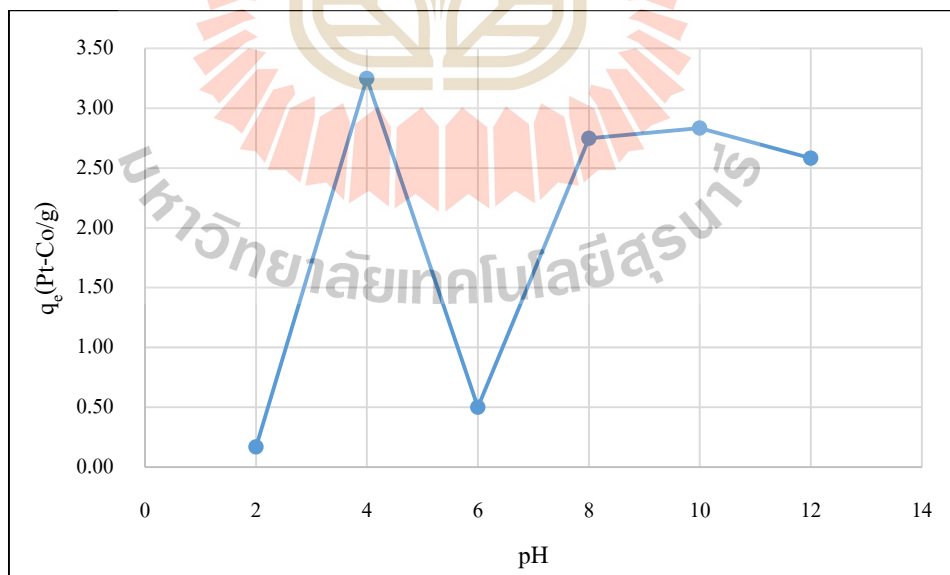
รูปที่ 4.38 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำฟอกที่ผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.51 และรูปที่ 4.39

ตารางที่ 4.51 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; q_c (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
2	0.17	1.79	3.85
4	3.25	57.91	75.00
6	0.50	13.01	11.54
8	2.75	1.79	63.46
10	2.83	15.82	65.38
12	2.58	7.40	59.62



รูปที่ 4.39 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากตารางที่ 4.51 และรูปที่ 4.39 พบว่า pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงอยู่ในช่วง pH 4 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับมีค่าเท่ากับ 3.25 Pt-Co/g และมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 57.91 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 75.00

2.1.4) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำฟอก มีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.52 พบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำฟอกหลังผ่านกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลาสัมผัส 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 12.80 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าที่ pH 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 3.25 Pt-Co/g โดยจากค่า pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมี pH เท่ากับ 3.85 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงเลือกใช้ค่า pH ของน้ำหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันในการทดลองสำหรับขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.52 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

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

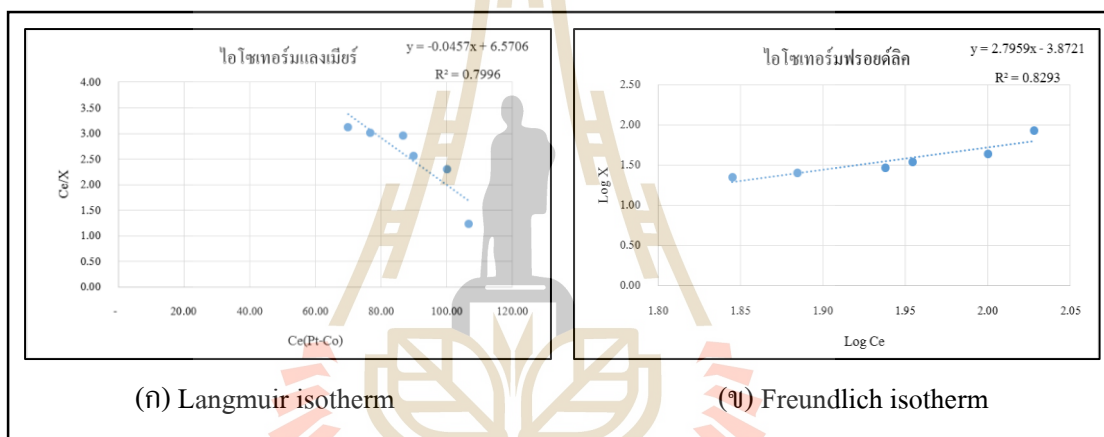
2.1.5) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.52 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 - 8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษามาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.53 และรูปที่ 4.40 จะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8293 ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7996 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม

Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al.,1998)

ตารางที่ 4.53 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

Langmuir constant			Freundlich constant		
q_{\max} (PtCo/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (Pt-Co/g)	n	R^2
-21.88	-0.00696	0.7996	0.000134	0.358	0.8293



รูปที่ 4.40 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์

2.1.6) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.54 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบรวมโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับโดยสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 450.00 และ 0.37 mg/l ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 และเวลาในการตกตะกอน 90 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 3.85 (pH ของน้ำเสียหลัง

ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน) โดยใช้ถ่าน 6 g ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกเท่ากับร้อยละ 34.18 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 99.12 (รายละเอียดผลการศึกษาระบุในภาคผนวก จ) ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกสูงกว่าการใช้ระบบโคแอกกูเลชันหรือระบบดูดซับเพียงระบบเดียว เนื่องจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจะช่วยลดสารแขวนลอยในน้ำฟอกได้เบื้องต้นได้ส่วนหนึ่ง และเมื่อนำน้ำเสียมาบำบัดต่อด้วยกระบวนการดูดซับถ่านกัมมันต์จึงดูดซับได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.54 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

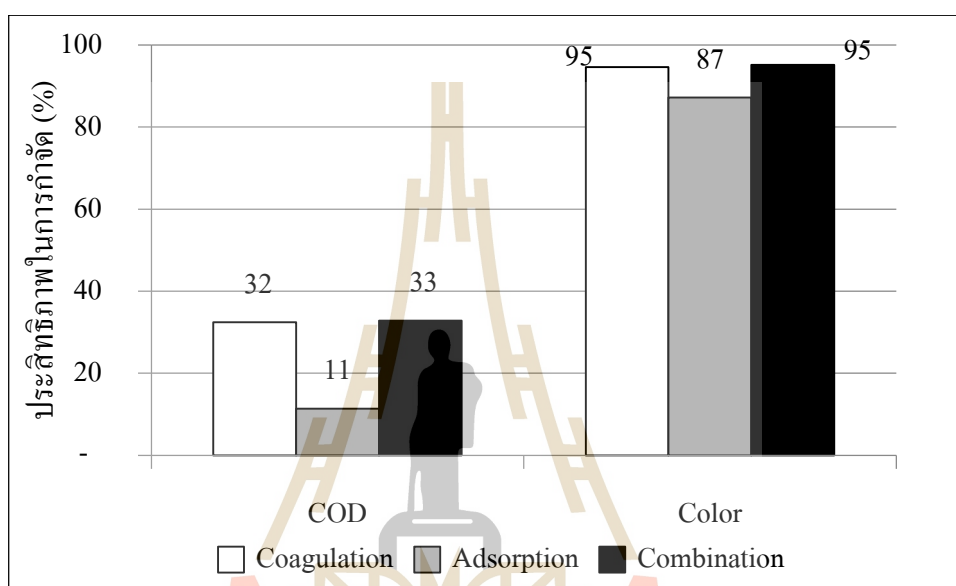
กระบวนการโคแอกกูเลชัน					กระบวนการดูดซับ			
ชนิดสาร Coagulant	ความเข้มข้นสาร Coagulant(mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH	เวลาตกตะกอน (นาที)	เวลาในการ สัมผัส (นาที)	pH	ปริมาณ ถ่าน (g)	ความเร็ว รอบ (rpm)
PAC	450	0.37	4	90	240	เท่ากับหลัง Coagulation	6	150

2.1.7) สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากสภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.54 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี 5 ครั้งดังแสดงในตารางที่ 4.55 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 22.71-46.91 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 93.76 -98.25 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกโดยใช้ระบบร่วมสูงกว่าการใช้ระบบโคแอกกูเลชันหรือระบบดูดซับเพียงระบบเดียว ซึ่งการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และสี ใกล้เคียงกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน แต่เมื่อเทียบกับกระบวนการดูดซับพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ สี เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และ 8 ดังแสดงในรูปที่ 4.41 และจากการนำข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีทั้ง 3 วิธี ไปทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Paired t-test พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของทั้ง 3 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\text{-value} > 0.05$) (รายละเอียดการศึกษาระบุในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4.55 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

น้ำตัวอย่าง	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
น้ำฟอก	22.71-46.91	32.80 \pm 9.55	93.76 -98.25	95.16 \pm 1.78



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ระบบ

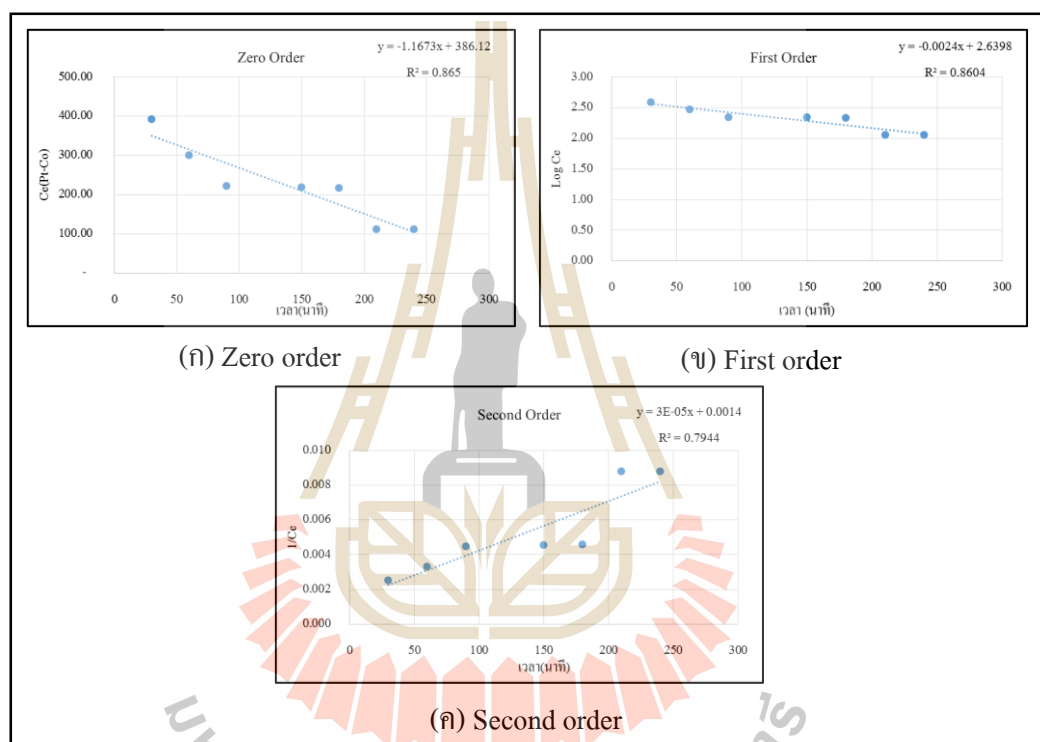
2.2) น้ำย้อม

จากการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันแล้ว พบว่าน้ำเสียยังคงมีค่า COD เหลืออยู่เท่ากับ 546.5 mg/l และมีค่าสีเหลืออยู่เท่ากับ 273.33 ในหน่วย Pt-Co และ 396.40 ในหน่วย ADMI และค่า pH เท่ากับ 4.62 หลังจากนั้นนำน้ำเสียดังกล่าวมาทำการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการดูดซับ ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

2.2.1) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์

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

ผลการศึกษ้อัตราเร็วปฏิกิริยาในการเข้าสู่สมดุลสำหรับการดูดซับน้ำย้อมด้วยถ่านกัมมันต์เทียบกับสมการอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการจลนพลศาสตร์การดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.42 (ก-ค) ตามลำดับ(รายละเอียดจัดแสดงในภาคผนวก จ.) ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และสองหาได้จากจุดตัดของเส้นตรง และผลการศึกษารูปดังตารางที่ 4.56 พบว่าจลนพลศาสตร์การดูดซับเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.865 โดยจากค่าคงที่จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเท่ากับ 1.673



รูปที่ 4.42 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.56 ค่าคงที่ของสมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

Zero Order		First Order		Second Order	
K	R^2	K	R^2	K	R^2
1.1673	0.8650	0.00024	0.8604	3×10^{-5}	0.7944

2.2.2) ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี ย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

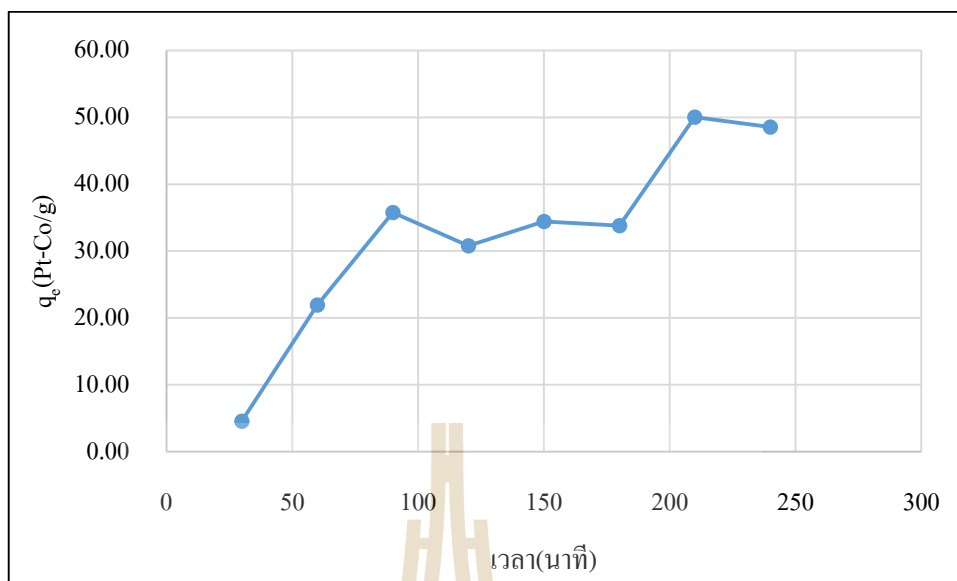
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการ
ดูดซับน้ำย้อม ได้แก่ ระยะเวลาสัมพัทธ์ และความเป็นกรด-ด่าง มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์

การศึกษาระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของระบบร่วมระหว่าง
กระบวนการ โทแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ใช้น้ำย้อมที่ผ่านกระบวนการ
ดูดซับ 1,000 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าสี และ COD ที่เหลือทุก ๆ
30 นาที จนเริ่มเข้าสู่สมดุลนำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมพัทธ์กับค่า
ความสามารถในการดูดซับน้ำย้อม (q_e , Pt-Co/g) ดังแสดงในตารางที่ 4.57 และรูปที่ 4.43 พบว่าเมื่อ
เพิ่มระยะเวลาสัมพัทธ์จะมีผลทำให้ค่า q_e ในการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 90 นาที หลังจากนั้น
นั้นค่า q_e จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่ง 180 นาที และค่า q_e จะเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ระยะเวลามากกว่า
210 นาที โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในเท่ากับร้อยละ 75.00 และมีประสิทธิภาพใน
การกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 72.80

ตารางที่ 4.57 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีโดยถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาสัมพัทธ์ (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
30	4.55	25.00	5.60
60	21.95	50.00	27.73
90	35.76	50.00	46.40
120	30.80	75.00	41.07
150	34.41	75.00	47.20
180	33.81	75.00	47.73
210	50.04	75.00	72.80
240	48.53	75.00	72.80



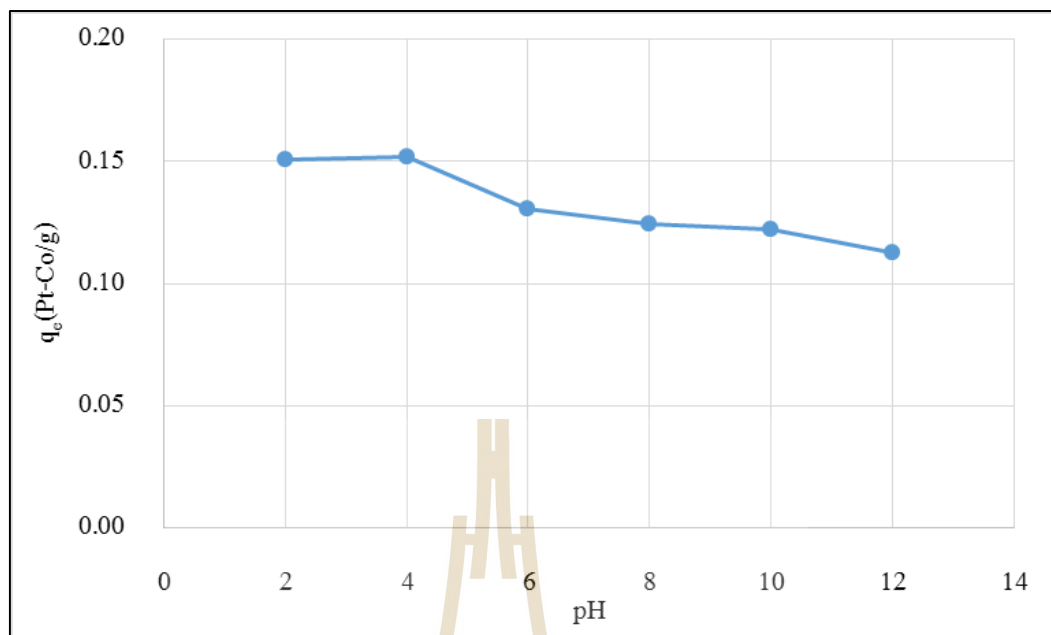
รูปที่ 4.43 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

- ผลของความเป็นกรด-ด่าง

ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำย้อมที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันปริมาตร 200 ml นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ระยะเวลา 240 นาที โดยศึกษาค่า pH ตั้งแต่ 2-12 นำผลการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความสามารถในการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.58 และรูปที่ 4.44

ตารางที่ 4.58 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ ; q_e (Pt-Co/g)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)	
		COD	สี
2	0.15	56.52	88.21
4	0.15	91.30	89.02
6	0.13	65.22	76.42
8	0.12	73.91	72.76
10	0.12	52.17	71.54
12	0.11	39.13	65.85



รูปที่ 4.44 ผลของ pH ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำขี้มของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากตารางที่ 4.58 และรูปที่ 4.44 พบว่า pH ที่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงอยู่ในช่วง pH 4 โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับมีค่าเท่ากับ 0.15 Pt-Co/g โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับร้อยละ 91.30 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี อยู่ในช่วงร้อยละ 89.02

2.2.3) สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำขี้มของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของน้ำขี้มมีรายละเอียดปัจจัยที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 4.59 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับน้ำขี้มหลังผ่านกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือ ที่ระยะเวลา 240 นาที มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 48.53 Pt-Co/g และจากการศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่า ที่ pH 4 มีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.15 Pt-Co/g โดยจากค่า pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันมี pH เท่ากับ 4.62 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปรับ pH จึงเลือกใช้ค่า pH ของน้ำหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันในการทดลองสำหรับขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.59 สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

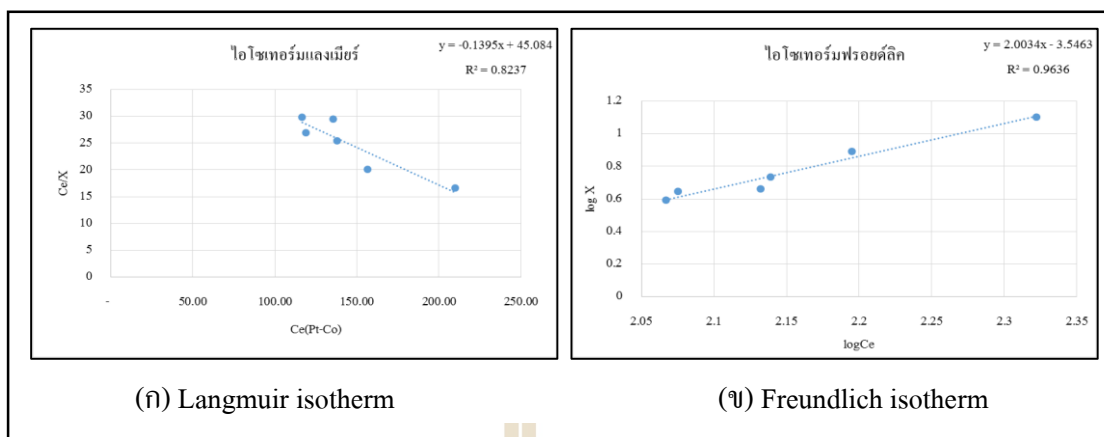
ปัจจัย	หน่วย	ค่า
ระยะเวลาสัมพัทธ์	นาที	240
ความเข้มข้น	Pt-Co	ตามความเข้มข้นของน้ำที่ผ่านกระบวนการ โคลแอกกูเลชัน
ความเร็วรอบ	รอบต่อนาที	150
pH	-	ตามค่า pH ของน้ำที่ผ่านกระบวนการ โคลแอกกูเลชัน
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง

2.2.4) ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์

ผลการศึกษาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำย้อมของถ่านกัมมันต์โดยมีสถานะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.59 โดยศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ตั้งแต่ 1 - 8 g เพื่อนำข้อมูลผลการศึกษา มาทดสอบสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ 2 ชนิด คือ สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich โดยจากสมการของ Langmuir ดังแสดงในตารางที่ 4.60 และรูปที่ 4.45 จะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์มของ Freundlich มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9636 ส่วนไอโซเทอร์มของ Langmuir มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8237 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า R^2 แล้วจะเห็นว่าการดูดซับแบบไอโซเทอร์ม Freundlich มีค่า R^2 ใกล้เคียง 1 มากกว่า ซึ่งมีสมมติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะเข้าไปยึดจับกันเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous surface) (Ho et al.,1998)

ตารางที่ 4.60 ค่าคงที่และความสามารถในการดูดซับน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโซเทอร์ม Langmuir และ Freundlich

Langmuir constant			Freundlich constant		
q_{\max} (PtCo/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (Pt-Co/g)	n	R^2
-7.17	$-3.09 \times$	0.8237	2.84×10^{-4}	0.499	0.9636



รูปที่ 4.45 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของถ่านกัมมันต์

2.2.5) สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 4.61 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบร่วมโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับโดยสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 537.50 และ 0.38 mg/l ที่สภาวะ pH เท่ากับ 8 และเวลาในการตกตะกอน 30 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะที่ pH เท่ากับ 4.69 (pH ของน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน) โดยใช้ถ่าน 8 g ซึ่งที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำย้อมเท่ากับร้อยละ 97.89 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 97.01 (รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก จ.)

ตารางที่ 4.61 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

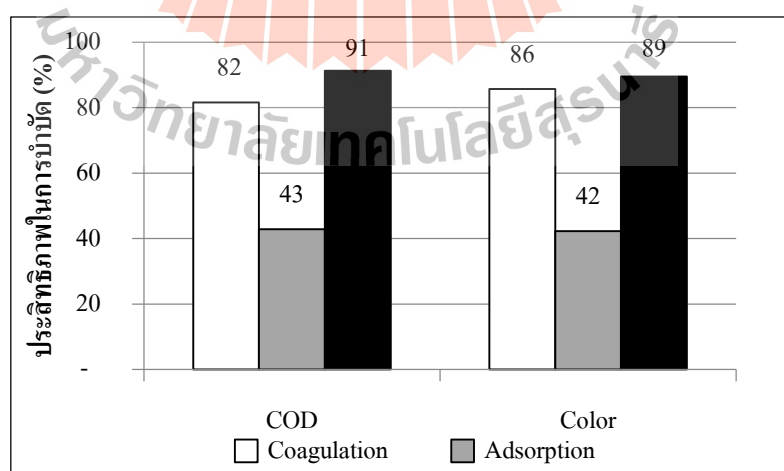
กระบวนการโคแอกกูเลชัน					กระบวนการดูดซับ			
ชนิดสาร Coagulant	ความเข้มข้นสาร Coagulant(mg/l)	ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	pH	เวลาดตกตะกอน (นาที)	เวลาในการ สัมผัส (นาที)	pH	ปริมาณ ถ่าน (g)	ความเร็ว รอบ (rpm)
PAC	537.50	0.38	8	30	240	เท่ากับหลัง Coagulation	8	150

2.2.6) สรุปผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

จากสภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับดังแสดงในตารางที่ 4.61 ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.62 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 87.65 -95.56 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 76.00-95.32 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมโดยใช้ระบบร่วมสูงกว่าการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันหรือกระบวนการดูดซับเพียงกระบวนการเดียว ซึ่งการใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และ 48 เมื่อเทียบกับกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น 3 และ 47 เมื่อเทียบกับโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 4.46

ตารางที่ 4.62 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

น้ำตัวอย่าง	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD (%)		ประสิทธิภาพในการกำจัดสี (%)	
	Min-Max	Mean \pm S.D.	Min-Max	Mean \pm S.D.
น้ำย้อม	87.65-95.56	91.30 \pm 2.99	76.00-95.32	89.45 \pm 7.69

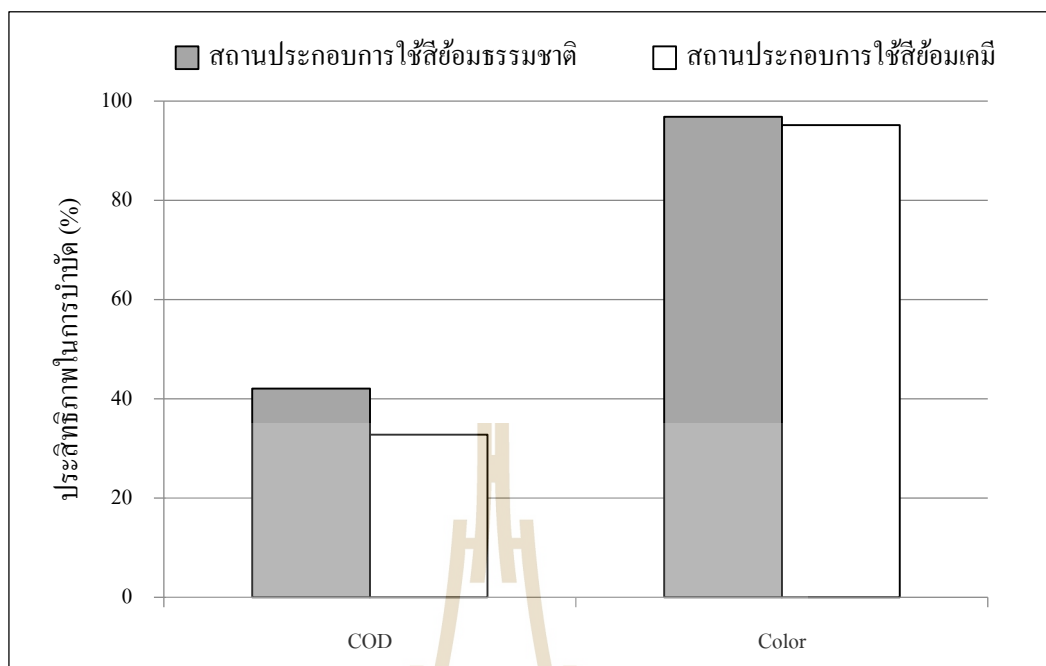


รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีของทั้ง 3 ระบบ

จากการนำข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีทั้ง 3 วิธี ไปทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Paired t-test พบว่าการกำจัด COD โดยใช้ระบบร่วมมีประสิทธิภาพสูงกว่าการบำบัดโดยใช้กระบวนการดูดซับเพียงกระบวนการเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (รายละเอียดผลการศึกษแสดงในภาคผนวก จ) เนื่องจากการใช้กระบวนการ โคแอกกูเลชันในการบำบัดน้ำย้อมก่อนจะช่วยลดอนุภาคสีย้อมที่แขวนลอยในน้ำเสียไปได้ส่วนหนึ่งซึ่งเป็นการลดค่า COD ในน้ำเสียได้บางส่วนด้วย และเมื่อนำมาบำบัดต่อด้วยกระบวนการดูดซับจะช่วยกำจัดอนุภาคสีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำได้

3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง พบว่าน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า COD โดยจากรูปที่ 4.47 จะเห็นว่าน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และ COD สูงกว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีเล็กน้อย เนื่องจากรูปร่างของสถานประกอบการทั้งสองแห่งมีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีค่า COD ประมาณ 40,000 mg/l (ตารางที่ 4.2 และ 4.3) ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติสูงกว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี อาจเกิดจากการที่น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่นทำให้มีค่าสีในน้ำสูงกว่า ซึ่งถ้าสีดังกล่าวเป็นสารแขวนลอยในน้ำเมื่อผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันจะสามารถตกตะกอนได้ดีทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงแต่น้ำที่ผ่านกระบวนการ โคแอกกูเลชันคงมีค่าสีในน้ำอยู่ค่อนข้างสูง และเมื่อนำน้ำดังกล่าวมาผ่านกระบวนการดูดซับจะสามารถทำการดูดซับได้ดีขึ้น แต่สำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ซึ่งเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำเช่นกันเมื่อผ่านกระบวนการคอกกูเลชันน้ำจะมีลักษณะเป็นสีใสและมีค่าสีเหลืออยู่น้อยมาก เมื่อนำไปบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับการดูดซับจะเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับ โดยหากความเข้มข้นของสารละลายสูงจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นสารบนตัวดูดซับกับสารละลาย (Tan et al., 2008 ; Aljeboree et al., 2017 ; Meziti and Boukerroui, 2012) ดังนั้นหากน้ำเสียมีค่าความเข้มข้นสีต่ำอัตราการถ่ายเทมวลจะต่ำทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้น้อยลง โดยน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติและสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 42.00 และ 32.80 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี เท่ากับ ร้อยละ 97.00 และ 95.16

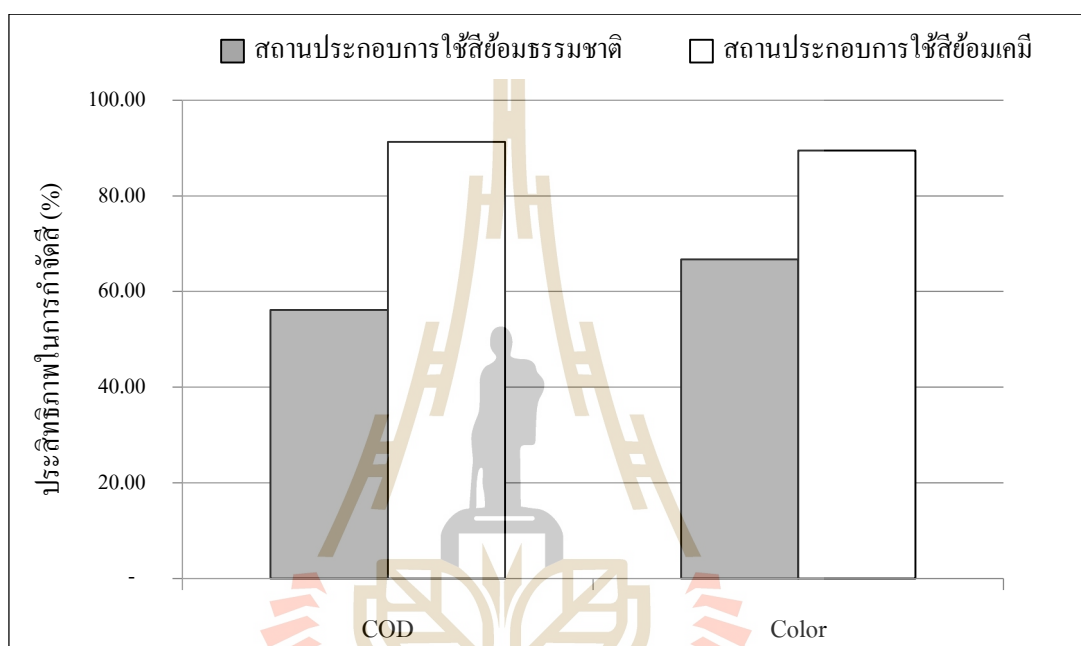


รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง

4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมเคมี

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง จากรูปที่ 4.48 จะเห็นว่าน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD สูงกว่าสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ เนื่องจากน้ำย้อมสีธรรมชาติมีค่า COD เริ่มต้นสูงกว่าน้ำย้อมเคมี โดยจากลักษณะของแข็งจะเห็นว่าสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปละลายน้ำซึ่งสามารถกำจัดได้ยากกว่าสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งแขวนลอยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติต่ำ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันจะสามารถกำจัดอนุภาคสีที่แขวนลอยในน้ำได้บางส่วน ซึ่งสีย้อมธรรมชาติมีค่าสีเริ่มต้นสูงกว่าสีย้อมเคมีแต่จากลักษณะของน้ำย้อมธรรมชาติที่สภาวะเหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันสีจะอยู่ในรูปตะกอนละเอียดทำให้สามารถตกตะกอนได้ดีค่าสีในน้ำจึงเหลือน้อย เมื่อนำไปบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับจึงทำให้การดูดซับจึงเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลจะต่ำ แต่สำหรับน้ำย้อมสีเคมีซึ่งอนุภาคสีอยู่ในรูปละลายน้ำเมื่อผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันจะสามารถกำจัดอนุภาคสีไปได้บางส่วนแต่ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากกว่า

ส่วนอนุภาคสีที่ละลายน้ำเหมาะสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำสีข้มเคมีสูงกว่าสีข้มธรรมชาติ โดยน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้มธรรมชาติและสถานประกอบการที่ใช้สีข้มเคมีมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 56.11 และ 91.30 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีของสถานประกอบการที่ใช้สีข้มธรรมชาติและสีข้มเคมี เท่ากับร้อยละ 66.73 และ 89.45



รูปที่ 4.48 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำข้อมของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ โดยได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือน

5.1.1.1 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ระบบร่วมที่เหมาะสม คือการใช้ระบบร่วมแบบที่ 1 โดยใช้ระบบโคแอกกูเลชันบำบัดก่อนและตามด้วยระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 383.33 และ 0.60 mg/l ตามลำดับ ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 และใช้เวลาในการตกตะกอนอย่างน้อย 90 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ pH เท่ากับ 3.89 โดยใช้ถ่าน 6 g ต่อปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 200 ml

2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ระบบร่วมที่เหมาะสม คือการใช้ระบบร่วมแบบที่ 1 โดยใช้ระบบโคแอกกูเลชันบำบัดก่อนและตามด้วยระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 337.50 และ 0.55 mg/l ตามลำดับ ที่สภาวะ pH เท่ากับ 5.20 และใช้เวลาในการตกตะกอนอย่างน้อย 30 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ pH เท่ากับ 4.95 โดยใช้ถ่าน 8 g ต่อปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 200 ml

5.1.1.2 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ระบบรวมที่เหมาะสม คือ การใช้ระบบรวมแบบที่ 1 โดยใช้ระบบโคแอกกูเลชันบำบัดก่อนและตามด้วยระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 450.00 และ 0.37 mg/l ตามลำดับ ที่สภาวะ pH เท่ากับ 4 และเวลาในการตกตะกอนอย่างน้อย 90 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 3 โดยใช้ถ่าน 6 g ต่อปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 200 ml

2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ระบบรวมที่เหมาะสม คือ การใช้ระบบรวมแบบที่ 1 โดยใช้ระบบโคแอกกูเลชันบำบัดก่อนและตามด้วยระบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ ใช้ PACI และ Polymer ความเข้มข้น 537.50 และ 0.38 mg/l ตามลำดับ ที่สภาวะ pH เท่ากับ 8 และเวลาในการตกตะกอน 30 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดูดซับ คือ ใช้ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 240 นาที เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และที่สภาวะ ที่ pH เท่ากับ 4.69 โดยใช้ถ่าน 8 g ต่อปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 200 ml

5.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนโดยระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ

5.2.1.1 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 42.03 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 96.82

2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 56.11 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 66.73

5.2.2.2 น้ำเสียจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

1) น้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 32.80 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 95.16

2) น้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ที่สภาวะที่เหมาะสมของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 91.30 และประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 89.45

5.1.3 ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่า ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ สามารถบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการสิ่งทอในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD อยู่ในช่วงร้อยละ 32.80-91.30 และ บำบัดสีอยู่ในช่วงร้อยละ 66.73-96.82

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชัน แม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันจะค่อนข้างสูง แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของน้ำเสียบางชนิดต่ำกว่าร้อยละ 50 ดังนั้น ในการนำไปใช้งานจริงสำหรับสถานประกอบการหากเพิ่มระยะเวลาในการตกตะกอนของกระบวนการโคแอกกูเลชัน หรือหากนำน้ำเสียไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการอื่นๆ เช่น ระบบบ่อแอโรบิก ระบบบ่อแอนแอโรบิก ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ อาจช่วยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้นได้ เพื่อให้ น้ำเสียดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม และสามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

รายการอ้างอิง

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. ได้จาก : www.diw.go.th/hawk/news/ประกาศ%20อก.น้ำทิ้ง.PDF
- กาญจนา ครองธรรมชาติ. (2535). การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ด้วยสารโพลลิอูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กุลธิดา สะอาด. (2557). ประสิทธิภาพการดูดติดผิวไอออนทองแดงของถ่านชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2556). คู่มือแนวทางการจัดการสีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กลุ่มสารสนเทศเฉพาะทาง สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศและเทคโนโลยี. (2560). การย้อมสิ่งทอด้วยสีธรรมชาติ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- กรมหม่อนไหม. (2553). รายละเอียดข้อมูลผู้ผลิตผ้าไหม และผลิตภัณฑ์ไหมไทย ปี 2553. [ออนไลน์]. ได้จาก : http://qsds.go.th/newqsds/file_upload/2014-03-14-SilkShopList53_2.pdf
- โกมล ศิวบรร, เขายุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมนุมศิริพันธ์. (2534). การปราบเบื้องต้น. หจก. ธารการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- จริยา ยิ้มรัตน์บวร (2560). รายงานวิจัยโครงการทางเลือกและโอกาส; การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จักรกฤษณ์ อัมพูช (2548). การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมผ้าในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- จักรกฤษณ์ อัมพช และ บุญส่ง จุฑารัตน์. (2555). พฤติกรรมการดูดซับสีของรีแอคทีฟแบล็ค 5 บน ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี. 5(2) : 10-21
- จารุทัศน์ มิลินทะเล. (2537). การบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จุฑามาศ ชุสกุล และ อังคณา ซาดิก้อน (2559). การศึกษาผลของพีเอชของสารช่วยติดสีธรรมชาติต่อ คุณภาพและเจดสีของไหมที่ย้อมสีจากครั้ง. **The national and international Graduate Research Conference 2016** : 227-282
- ชนกฤต พรหมทอง. (2552). การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำ หมักชีวภาพและเฟนตันรีเอเจนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะการจัดการ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประเสริฐ ตปนียางกุล. (2536). แนวทางการป้องกันและลดปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกย้อม. วารสาร TTIS Textile Digest. 12(3) : 12-17
- พิเชษฐ์ หนูหมื่น. (2557). การดูดซับสีในน้ำเสียจากกระบวนการทำผ้าบาติกด้วยอิฐมอญอบ. วิชา ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พลกฤษณ์ จิตรโต, ธัญญาดา ชัยกระทาง และวรรณันต์ นาคบรรพต. (2559). การบำบัดน้ำเสียสีย้อม ใหมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 7(2) : 288-239
- พรอนงค์ อร่ามวิทย์ และคณะ. (2559). ความมหัศจรรย์ของวัสดุ. นนทบุรี.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. (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. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพาฯ. 17(1) : 181-191

- วัชรพันธ์ ศิริพันธ์, ทองดี เล็กโสภี, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, ญัฐกานต์ นิตยพันธ์ และอมรรัตน์ พรหมบุญ. (2550). การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีธรรมชาติของผ้าไหมและการกำจัดสีจากน้ำเสียโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิรักรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 7(7) : 98-110
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2558). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สันศักดิ์ ศิริอนันต์ไพบุตย์, อัญจอรจ ชาวชน และนพรัตน์ ชัยเรือง. (2559). ประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 34(1) : 1-25
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และ วิระนุช บุญรุ่ง. (2553). การกำจัดสารอินทรีย์และสี ด้วยกระบวนการเฟนตัน และกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 72 : 10-16
- สุรีย์ พุตระกูล. (2543). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- เสาวณีย์ ชูยิ่งสกุลทิพย์. (2556). การกำจัดสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝางในน้ำทิ้งของกระบวนการย้อมผ้าไหมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศิริมา ปัญญาเมธิกุล (2552). วิศวกรรมการประปาทั่วไป ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศิริพร คำแน่น. (2554). การใช้ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์ในการบำบัดสีย้อมเอโซจากน้ำเสียฟอกย้อม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม, อัจฉรา บุญมาหล้า และ อรวรรณ ชัยสิทธิ์. (2558). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากของเสียประเภทโฟมพอลิยูรีเทนโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตสำหรับการดูดซับสีย้อม. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 3(1) : 8-18

- ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และกลุ่มทอผ้ายกอ
อยุธยา. (2550). **คู่มือการทอผ้าไหมทอมือ(ฝ้ายก)**.มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.
- อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มั่นเจริญ. (2557). การกำจัดสีข้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วย
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุ. 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.
- Berthouex, P.M. and Brown, L.C. (2002). **Statistic for Environmental Engineers**. 2nd ed. Lewis
Publishers
- Bahorun, T., Neergheen, V.S. and Aruoma, O. I. (2005). Phytochemical constituents of Cassia
fistula. **African Journal of Biotechnology** . 4 (13), 1530-1540
- Meziti, C. and Boukerroui, A. (2012). Removal of a basic textile dye from aqueous solution by
adsorption on regenerated clay. **Procedia Engineering**. 33: 303 – 312
- Chen, T., Gao, B. and Yue, Q. (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**. 355 : 121-129
- 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

- Daud, Z., Awang, H., Latif, A.A.A., Nasir, N., Ridzuan, M.B. and Ahmad, Z., (2015). Suspended solid, color, COD and oil and grease removal from biodiesel wastewater by coagulation and flocculation processes. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. 195 : 2407 – 2411
- Deowan, S.A., Galiano, F., Hoinkis, J., Figoli, A. and Driolic, E. (2013). Submerged membrane bioreactor (SMBR) for treatment of textile dye wastewater towards developing novel MBR process. **APCBEE Procedia**. 5 : 259 – 264
- 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
- Eslami, A., Moradi, M., Ghanbari, F. and Mehdipour, F. (2013). Decolorization and COD removal from real textile wastewater by chemical and electrochemical Fenton processes: a comparative study. **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering** 2103. 11:13. 1-8
- Francis, A. and Sosamony K J. (2016). Treatment of pre-treated textile wastewater using moving bed bio-film reactor. **Procedia Technology**. 24 : 248 – 255
- Franco, M.S. and Azevedo, E.B. (2013). Colour removal of Remazol dye baths wastewater by UV=H₂O₂ 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
- Gercel, O., Ozcan, A., Ozcan, A.S. and Gercel, H.F. (2007). Preparation of activated carbon from a renewable bio-plant of *Euphorbia rigida* by H₂SO₄ activation and its adsorption behavior in aqueous solutions. **Journal of Applied Surface Science**. 253 : 4843-4852
- 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

- 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.
- Ho, Y.S. and Chiang, C.C. (2001). Sorption studies of acid dye by mixed sorbents. **Adsorption** 7(2) :139-147
- Ho, Y.S., McKay, G. (1998) Sorption of dye from aqueous solution by peat. **Chemical Engineering Journal.** 70 : 115-124
- Irfan, M., Butt, T., Abba, N.I.N., Khan, R.A. and Shafique, A. (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
- 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
- Kumar, K., Singh, G.K., Dastidar, M.G. and Sreekrishnan, T.R. (2014). Effect of mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) and hydraulic retention time (HRT) on the performance of activated sludge process during the biotreatment of real textile wastewater. **Water Resources and Industry.** 5 : 1–8
- 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 attapulgite/rice hull-based activated carbon nanocomposites. **Environmental Progress & Sustainable Energy** . 32(3):655–62.
- Luonga, T.V., Schmidtb, S., Deowanb, S.A., Hoinkisb, J., Figoli, A. and Galiano, F. (2016). Membrane bioreactor and promising application for textile industry in Vietnam. **Procedia CIRP**. 40 : 419 – 424
- 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., Božic, 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
- Pirkarami, A. and Olya M.E. (2017). Removal of dye from industrial wastewater with an emphasis on improving economic efficiency and degradation mechanism. **Journal of Saudi Chemical Society**. 21 : S179–S186
- 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 Wat. Sci. Tech**. 27(11) : 1-20

- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. and Nigam, P., (2001). Remediation of dyes in textile effluent : a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**. 77 : 247-255
- Priya, E.S. and Selvan, P.S. (2017). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. **Arabian Journal of Chemistry**. 10 : S3548–S3558
- Sanghi, R., Bhattacharya, B., Dixit, A. and Singh, V. (2006) Ipomoea dasisperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. **Journal of Environmental Management**. 81 : 36-41
- Santos, S.C.R., Vilar, V.J.P. and Boaventura, R.A.R. (2008). Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye. **Journal of Hazardous Materials**. 153 : 999-1008
- 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
- 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
- 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

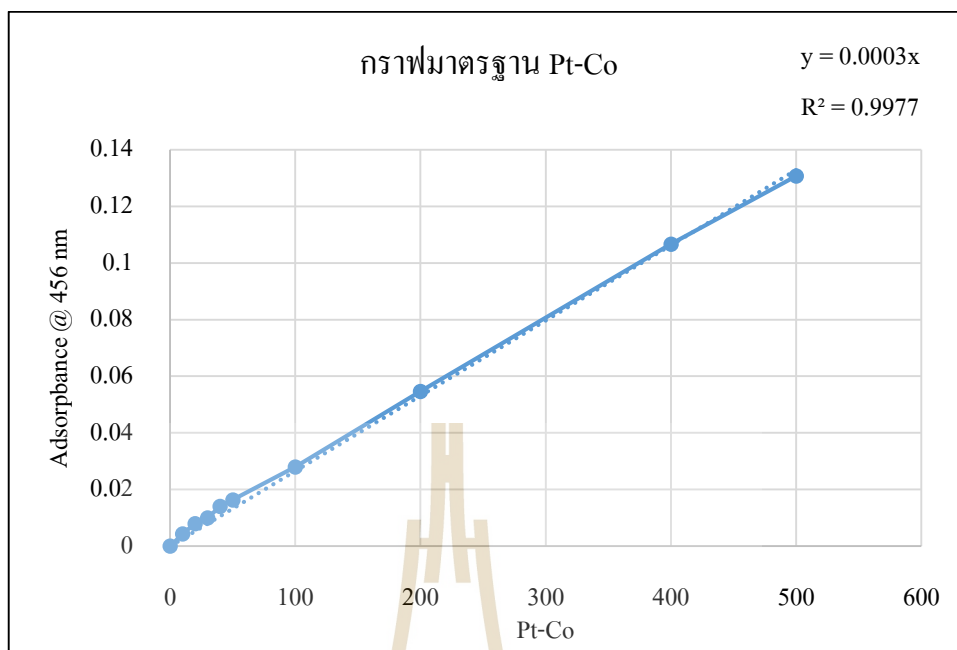




ภาคผนวก ก

ลักษณะน้ำเสียจากสถานประกอบการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน Pt-Co ที่ความยาวคลื่น 456 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 ลักษณะสมบัติของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(Pt-Co)	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	51,867.00	-
2	9.15	38,712.00	41,018.67	28,213.33	37,664.00	25,356.00	3,354.67	2,857.33	18,377.78	-
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	8,653.33	-
5	9.10	48,000.00	27,205.00	18,195.00	24,555.00	16,601.67	2,650.00	1,593.33	15,593.33	-
6	9.82	42,461.54	46,125.00	25,220.00	40,450.00	22,180.00	5,675.00	3,040.00	24,733.33	-
7	9.92	48,712.87	53,655.00	27,060.00	30,695.00	22,856.67	22,960.00	4,203.33	23,055.56	-
8	9.56	50,914.29	32,860.00	2,725.00	30,600.00	2,445.00	2,260.00	280.00	41,200.00	-
9	9.97	35,382.86	37,466.67	19,260.00	28,370.00	14,063.33	9,096.67	5,196.67	27,266.67	-
10	8.14	15,942.86	18,694.67	9,535.33	17,634.67	8,542.00	1,060.00	993.33	9,811.11	-
11	9.83	15,942.86	48,072.50	25,590.00	38,410.00	19,780.00	9,662.50	5,810.00	35,333.33	-
Max	9.97	84,614.40	72,043.33	47,256.67	61,463.33	37,520.00	22,960.00	9,736.67	51,867.00	
Min	8.14	15,942.86	18,694.67	2,725.00	17,634.67	2,445.00	916.67	245.00	8,653.33	
Average	9.40	42,066.51	39,914.04	21,819.02	33,493.99	18,631.64	6,420.05	3,187.38	25,589.14	
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	13,851.70	

ตารางที่ ก.2 ลักษณะสมบัติของน้ำขุ่นจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(Pt-Co)	หมายเหตุ
1*	4.1	10,707.84	6,733.33	6,671.11	6,382.22	5,895.56	351.11	775.56	-	ครั่ง
2	4.7	4,664.00	2,413.33	1,922.67	1,741.33	1,244	672.00	678.67	3,487.78	ครั่ง
3*	6.2	16,547.56	11746.67	6313.33	10336.67	5236.67	1410.00	1076.66	-	ฝักกูด
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	8,801.11	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	9,056.67	ฝักกูด
7	3.8	14,168.00	9,442.67	8,440.00	9,304.00	8,222.67	138.67	217.33	2,105.56	ครั่ง
8	6.9	4,500.00	3,350.00	2,140.00	3,140.00	1,950.00	210.00	190.00	3,576.67	เข
9	3.4	7,836.73	6,002.67	5,508.00	5,749.33	5,221.33	253.33	286.67	645.56	ครั่ง
10	3.8	14,278.40	6,180.00	5,620.00	4,354.67	3,874.67	1,825.33	1,745.33	5,088.89	ครั่ง
11	5.06	24,065.93	8,390.00	3,120.00	6,960.83	2,255.83	1,429.17	864.17	1,260.00	-
12	5.21	15,824.18	5,287.33	3,042.00	3,884.00	1,954.00	1,403.33	1,088.00	1,335.56	-
13	5.01	21,758.24	5,416.00	3,493.33	4,784.00	2,956.00	632.00	537.33	1,786.67	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	9,056.67	
Min	3.40	3,712.00	1,560.00	1,212.00	1,513.33	1,133.33	46.67	78.67	645.56	
Average	5.10	13,420.84	7,901.80	5,873.78	6,762.29	4,856.16	1,139.51	1,017.62	3,714.45	
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	3,051.03	

หมายเหตุ * อ้างอิงจากข้อมูลโครงการทางเลือกและโอกาส การจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมในชุมชนขนาดเล็ก โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน (2560)

ตารางที่ ก.3 ลักษณะสมบัติของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(Pt-Co)	หมายเหตุ
1	9.04	46,067.28	45,860	27,336	44,568	25,678.67	1,808	1,657.33	6,257.78	
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	2,928.89	
4	9.15	44,680.85	53,982.50	28,210.00	50,337.50	27,242.50	3,645.00	967.50	2,758.89	
5	9.70	22,217.14	22,166.67	14,111.33	21,000.00	13,198.00	1,166.67	913.33	1,380.00	
6	9.60	50,228.57	54,055.00	31,170.00	32,508.33	28,160.00	29,792.50	3,010.00	2,643.33	
7	9.71	17,272.73	11,272.50	6,640.00	10,037.50	5,801.67	1,235.00	838.33	9,833.33	
8	9.63	62,811.43	71,440.00	42,317.50	59,442.50	34,243.33	11,997.50	8,074.17	2,984.44	
9	9.76	57,325.71	54,725.00	31,217.50	46,762.50	25,815.00	7,962.50	5,402.50	2,546.67	
Max	9.76	62,811.43	71,440.00	42,317.50	59,442.50	34,243.33	29,792.50	8,074.17	9,833.33	
Min	8.97	17,272.73	11,272.50	6,640.00	10,037.50	5,801.67	358.30	276.66	1,380.00	
Average	9.43	40,222.90	42,915.55	24,478.96	36,930.15	21,846.57	7,009.50	2,632.39	3,916.67	
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	2,767.31	

ตารางที่ ก.4 ลักษณะสมบัติของน้ำขุ่นจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

ครั้งที่	pH	COD(mg/l)	TS(mg/l)	TVS(mg/l)	TDS(mg/l)	VDS(mg/l)	TSS(mg/l)	VSS(mg/l)	Color(Pt-Co)	หมายเหตุ
1*	6.10	2,871.65	11,826.67	2,301.11	11,640.00	2,184.44	186.67	116.67	543	สีฟ้า
2	6.78	2,790.00	7,700.00	1,261.33	7,569.33	1,142.67	130.67	118.67	10,315.56	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	1,157.78	สีแดง
5	6.72	2,666.67	4,615.00	640.00	3,960.00	490.00	655.00	150.00	2,103.33	สีแดง
6	7.48	1,442.62	6,477.50	851.67	6,227.50	851.67	250.00	-	1,542.22	สีฟ้า
7	7.69	2,257.43	17,282.00	1,264.00	16,704.00	1,206.00	578.00	58.00	1,033.33	สีเขียวไฟร
8	6.27	2,365.71	11,477.33	1,204.00	10,696.00	1,114.00	781.33	90.00	1,138.89	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	3,131.11	สีส้มฟาง+เขียวไฟร
10	7.19	3,805.71	17,490.67	649.33	16,172.00	388.00	1,318.67	261.33	5,188.89	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	10,315.56	
Min	6.10	1,442.62	4,615.00	640.00	3,960.00	388.00	130.67	0.00	543.00	
Average	6.87	2,681.99	12,578.85	2,253.01	11,338.50	1,868.41	1,240.35	384.60	2,906.01	
S.D.	0.52	632.66	5,039.73	2,893.67	4,259.83	2,385.46	2,054.82	599.74	3,121.25	

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 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

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 ลักษณะสัดส่วนของแข็งของน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้สีขี้มเคมี

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



ตารางที่ ข.1 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACl ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้
น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACl (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
150	38,712.00	18,377.78	38,195.84	18,066.67	1.33	1.69
175			34,840.80	16,488.89	10.00	10.28
200			34,066.56	17,200.00	12.00	6.41
225			33,550.40	16,377.78	13.33	10.88
250			36,131.20	16,466.67	6.67	10.40
275			35,615.04	16,411.11	8.00	10.70

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

ตารางที่ ข.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่
ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

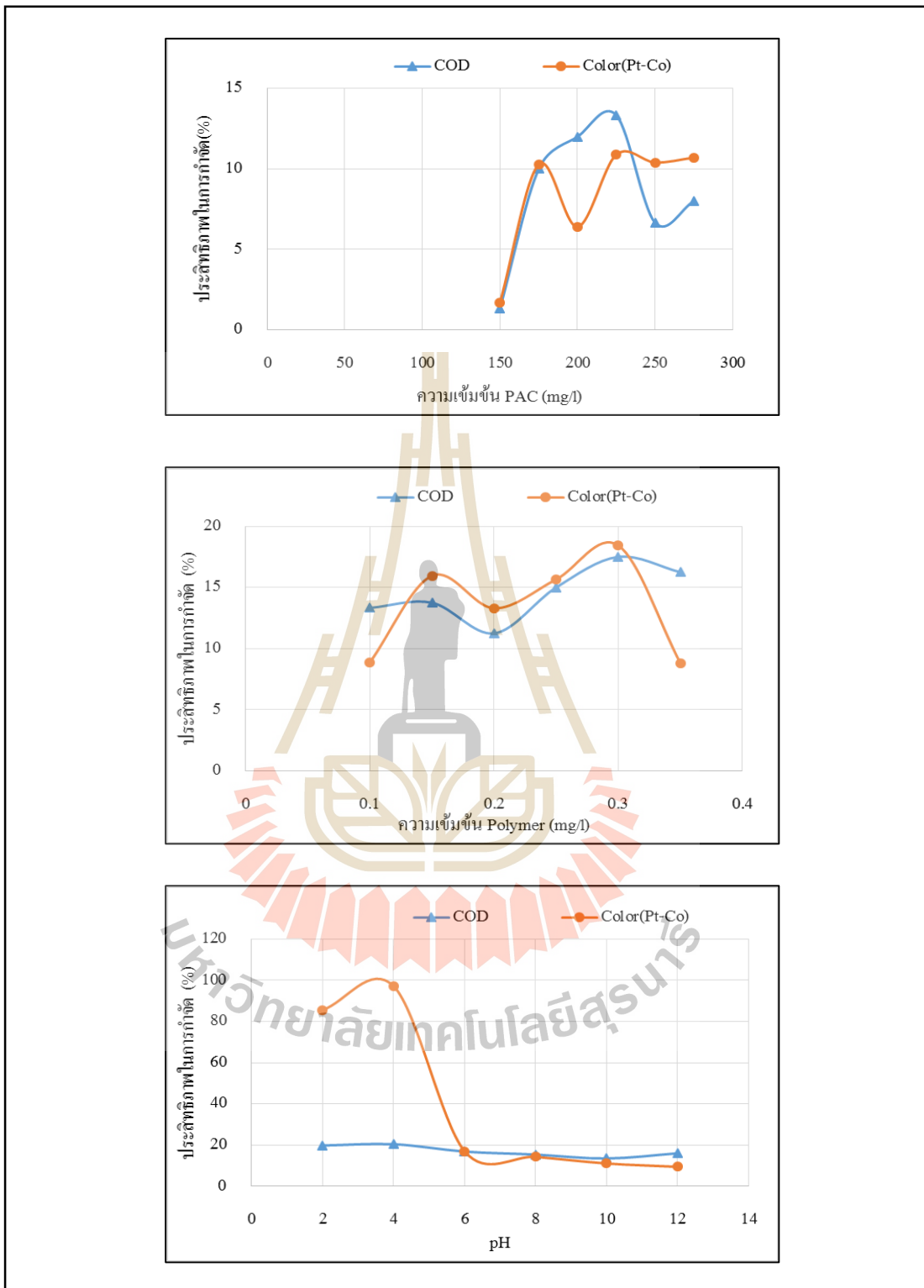
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.1	38,712.00	18,377.78	38,712.00	16,744.44	13.33	8.89
0.15			33,550.40	15,444.44	13.75	15.96
0.2			33,389.10	15,933.33	11.25	13.30
0.25			34,356.90	15,500.00	15.00	15.66
0.3			32,905.20	14,988.89	17.50	18.44
0.35			31,937.40	16,900.00	16.25	8.83

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

ตารางที่ ข.3 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสี
ธรรมชาติครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	38,712.00	18,377.78	31,056.60	2,644.44	19.78	85.61
4			30,812.70	522.22	20.41	97.16
6			32,194.80	15,255.56	16.84	16.99
8			32,763.90	15,755.56	15.37	14.27
10			33,495.60	16,344.44	13.47	11.06
12			32,520.00	16,644.44	16.00	9.43

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



รูปที่ ข.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.4 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้
น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
20	38,712.00	18,377.78	36,422.40	23,666.67	5.91	0.00
40			36,666.30	22,833.33	5.28	0.00
60			34,308.60	21,500.00	11.37	0.00
80			34,633.80	24,000.00	10.53	0.00
100			35,121.60	25,833.33	9.27	0.00
120			35,934.60	26,166.67	7.17	0.00

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

ตารางที่ ข.5 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่
ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

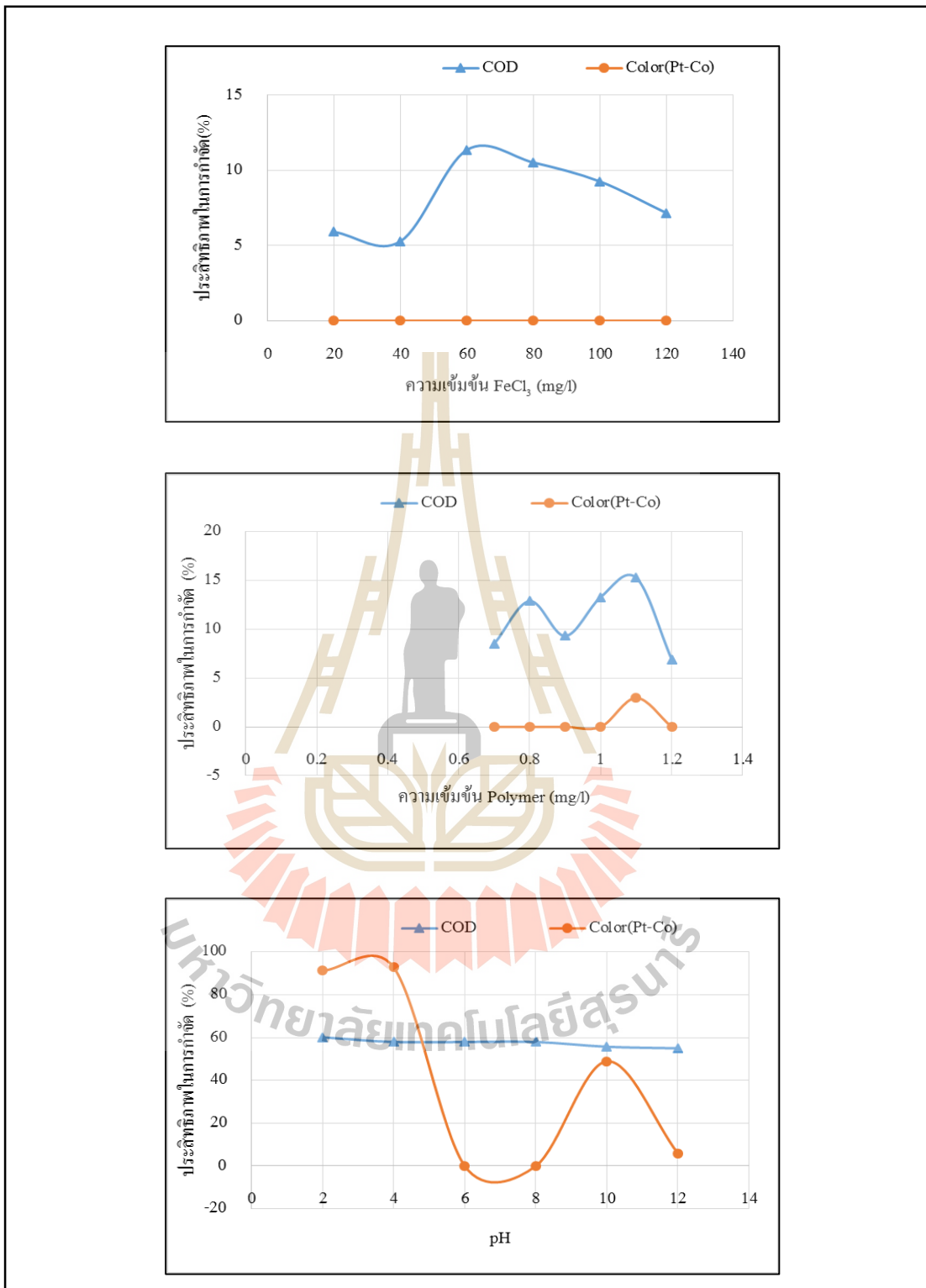
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.7	38,712.00	18,377.78	35,420.00	21722.22	8.50	0.00
0.8			33,726.00	20111.11	12.88	0.00
0.9			35,112.00	19555.56	9.30	0.00
1			33,572.00	20166.67	13.28	0.00
1.1			32,802.00	17833.33	15.27	2.96
1.2			36,036.00	20111.11	6.91	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 60 mg/l pH เท่ากับ 9.17

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสี
ธรรมชาติครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	38,712.00	18,377.78	15,426.00	1,611.11	60.15	91.23
4			16,283.00	1,333.33	57.94	92.74
6			16,283.00	32,555.56	57.94	0.00
8			16,283.00	29,111.11	57.94	0.00
10			17,140.00	9,388.89	55.72	48.91
12			17,425.67	17,277.78	54.99	5.99

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 60 mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.1 mg/l



รูปที่ ข.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.7 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACl ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้
น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACl (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
150	43,462.67	8,653.33	40,832.00	8,622.22	6.05	0.36
175			38,048.00	8,582.22	12.46	0.82
200			41,141.33	8,538.89	5.34	1.32
225			40,832.00	8,565.56	6.05	1.01
250			39,732.00	8,597.78	8.58	0.64
275			39,904.00	8,637.78	8.19	0.18

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

ตารางที่ ข.8 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่
ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

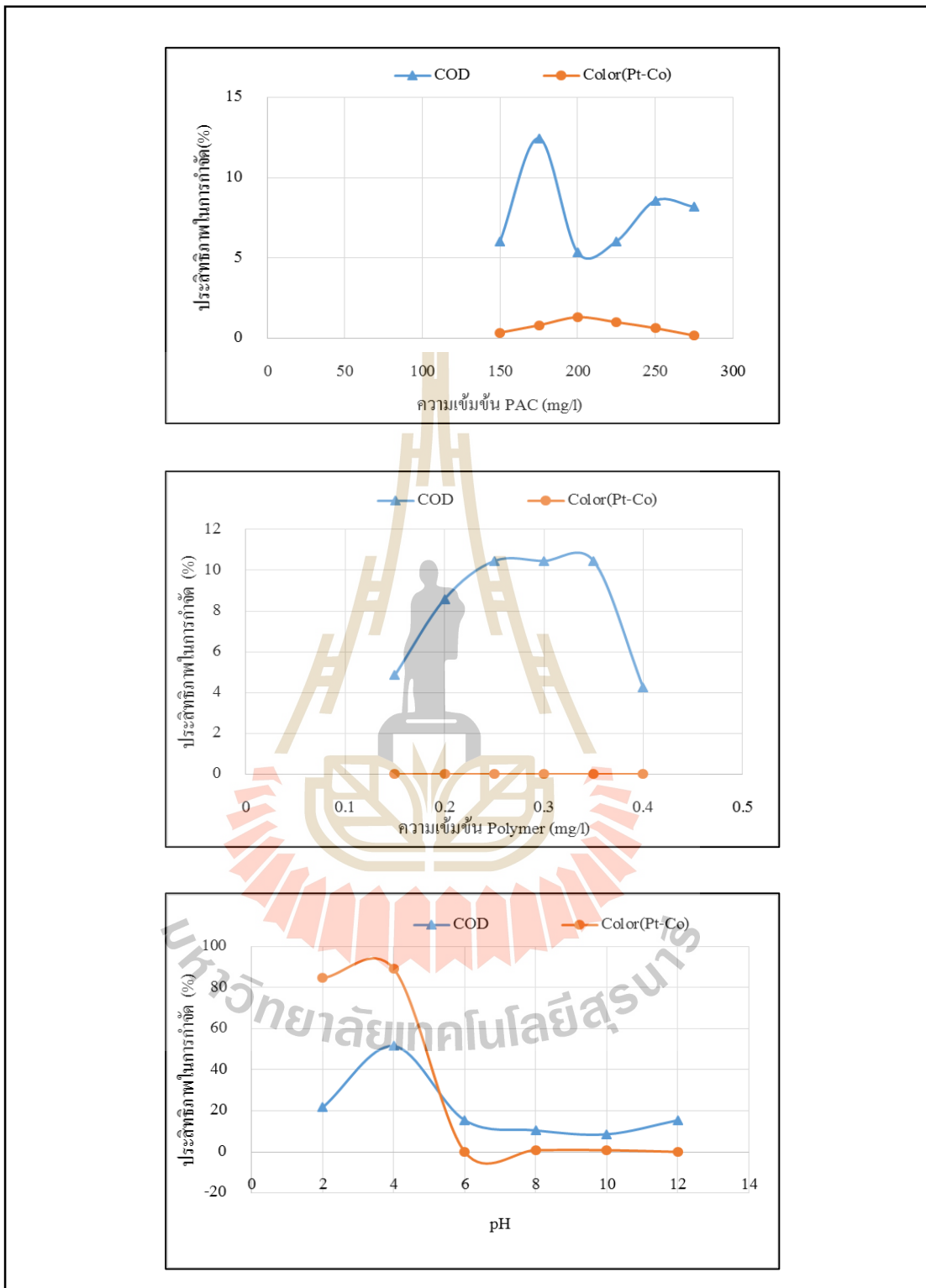
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.15	43,462.67	8,653.33	41,350.80	9,801.11	4.86	0.00
0.2			39,729.20	9,215.56	8.59	0.00
0.25			38,918.40	8,954.44	10.46	0.00
0.3			38,918.40	9,017.78	10.46	0.00
0.35			38,918.40	8,910.00	10.46	0.00
0.4			41,621.07	8,936.67	4.24	0.00

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

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสี
ธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	43,462.67	8,653.33	34,053.60	1,334.44	21.65	84.58
4			21,080.80	941.11	51.50	89.12
6			36,756.27	8,726.67	15.43	0.00
8			38,918.40	8,576.67	10.46	0.89
10			39,729.20	8,576.67	8.59	0.89
12			36,756.27	8,780.00	15.43	0.00

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



รูปที่ ข.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
40	43,462.67	8,653.33	8,646.67	40,993.33	0.08	5.68
60			8,834.44	42,713.33	0.00	1.72
80			8,942.22	42,426.67	0.00	2.38
100			8,971.11	42,713.33	0.00	1.72
120			8,993.33	40,993.33	0.00	5.68
140			9,017.78	43,000.00	0.00	1.06

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

ตารางที่ ข.11 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

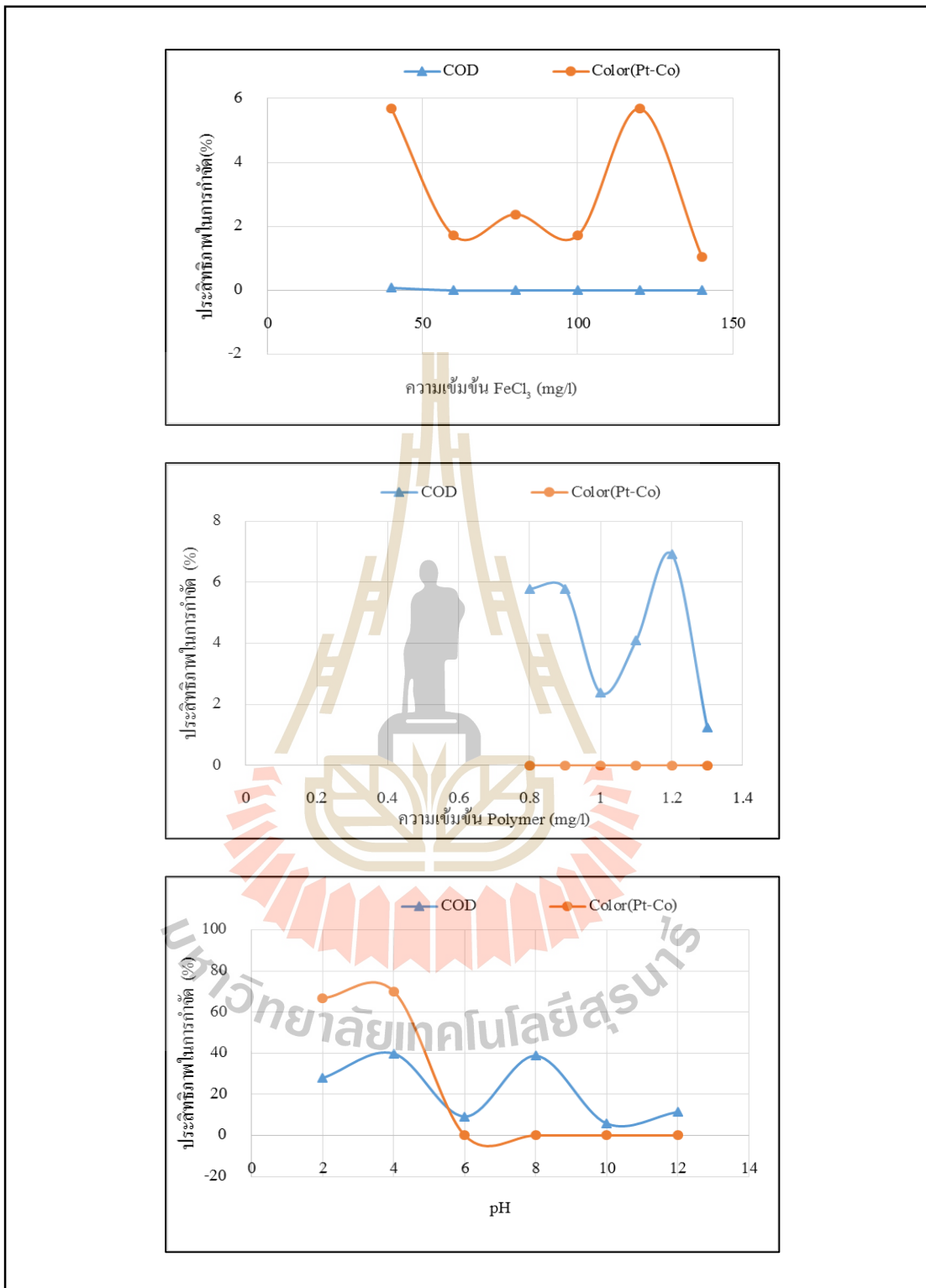
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.8	43,462.67	8,653.33	40,946.67	11,063.33	5.79	0.00
0.9			40,946.67	10,818.89	5.79	0.00
1			42,426.67	9,297.78	2.38	0.00
1.1			41,686.67	9,181.11	4.09	0.00
1.2			40,453.33	9,096.67	6.92	0.00
1.3			42,920.00	9,164.44	1.25	0.00

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

ตารางที่ ข.12 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	43,462.67	8,653.33	31,326.67	2,875.56	27.92	66.77
4			26,146.67	2,586.67	39.84	70.11
6			39,466.67	9,472.22	9.19	0.00
8			26,640.00	9,286.67	38.71	0.00
10			40,946.67	9,358.89	5.79	0.00
12			38,480.00	9,424.44	11.46	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 40 mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.2 mg/l



รูปที่ ข.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 2 โดยใช้ $FeCl_3$ เป็นสาร โคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.13 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI(mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
150	43,956.00	15,593.33	46,778.67	10,162.22	0.00	34.83
175			42,336.00	10,097.78	3.69	35.24
200			43,904.00	10,917.78	0.12	29.98
225			43,512.00	12,156.67	1.01	22.04
250			43,904.00	11,110.00	0.12	28.75
275			43,120.00	10,791.11	1.90	30.80

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

ตารางที่ ข.14 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

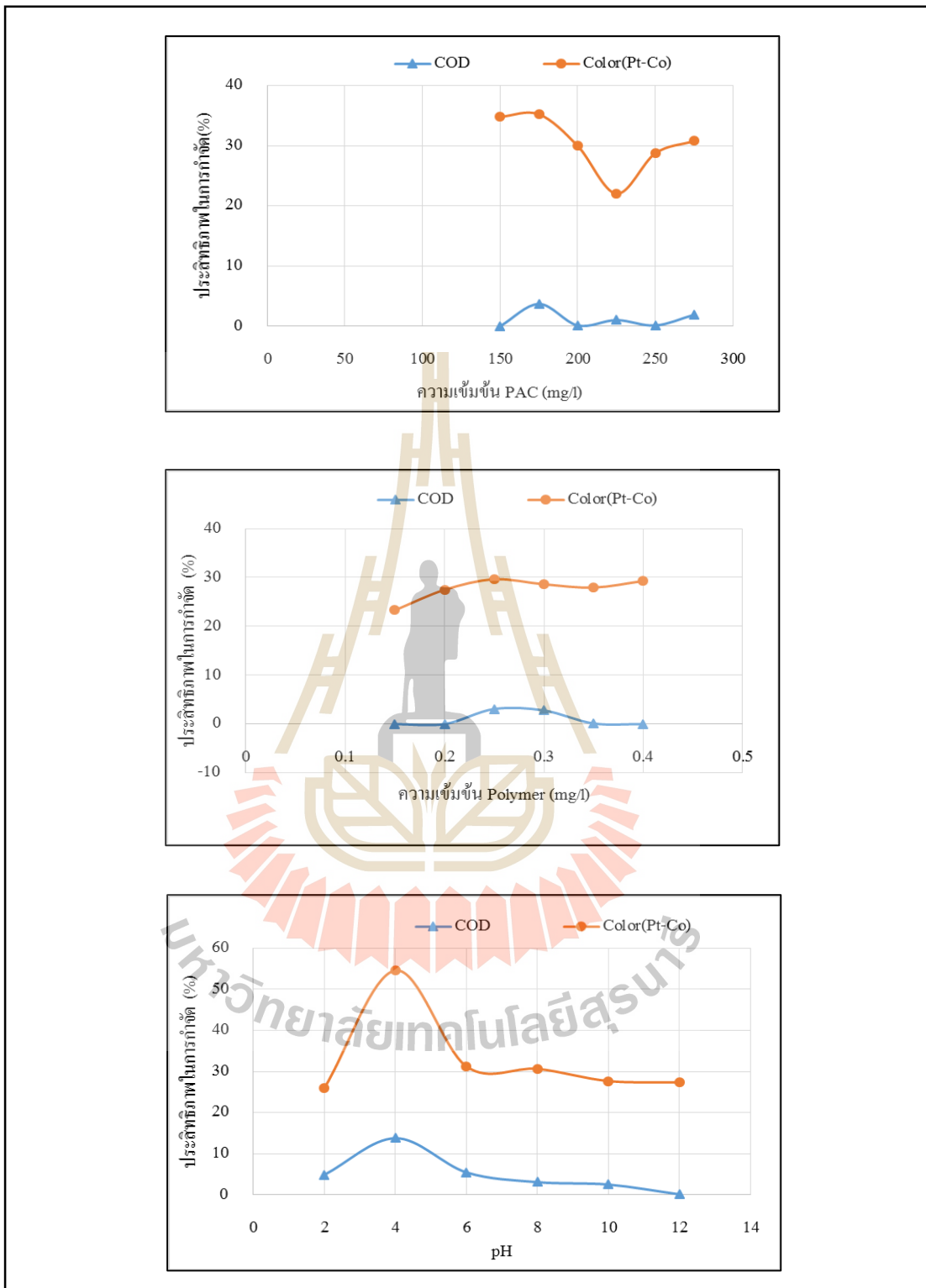
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.15	43,956.00	15,593.33	48,346.67	11,958.89	0.00	23.31
0.2			47,824.00	11,306.67	0.00	27.49
0.25			42,597.33	10,971.11	3.09	29.64
0.3			42,728.00	11,130.00	2.79	28.62
0.35			43,904.00	11,235.56	0.12	27.95
0.4			44,688.00	11,025.56	0.00	29.29

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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	43,956.00	15,593.33	41,813.33	11,541.11	4.87	25.99
4			37,893.33	7,077.78	13.79	54.61
6			41,552.00	10,721.11	5.47	31.25
8			42,597.33	10,811.11	3.09	30.67
10			42,858.67	11,275.56	2.50	27.69
12			43,904.00	11,323.33	0.12	27.38

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



รูปที่ ข.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 3 โดยใช้ PAC1 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.16 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
20	43,956.00	15,593.33	43,680.00	4,035.56	0.63	74.12
40			43,920.00	4,154.44	0.08	73.36
60			43,680.00	4,268.89	0.63	72.62
80			38,880.00	3,656.67	11.55	76.55
100			40,800.00	4,090.00	7.18	73.77
120			43,680.00	4,017.78	0.63	74.23

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

ตารางที่ ข.17 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 3

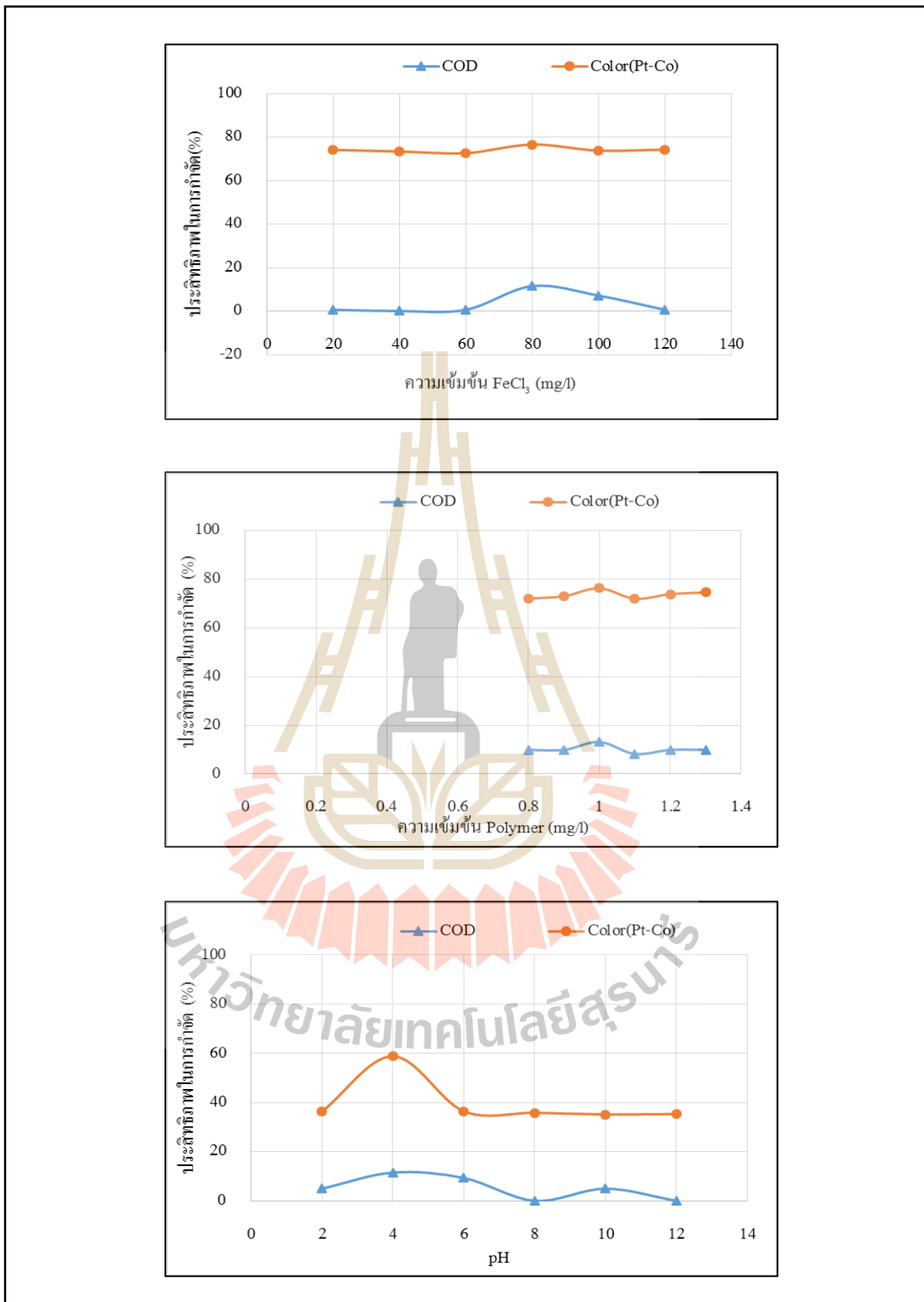
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.8	43,956.00	15,593.33	39,600.00	4,357.78	9.91	72.05
0.9			39,600.00	4,208.89	9.91	73.01
1.0			38,160.00	3,703.33	13.19	76.25
1.1			40,320.00	4,368.89	8.27	71.98
1.2			39,600.00	4,081.11	9.91	73.83
1.3			39,600.00	3,968.89	9.91	74.55

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	43,956.00	15,593.33	41,760.00	9,923.33	5.00	36.36
4			38,880.00	6,415.56	11.55	58.86
6			39,840.00	9,902.22	9.36	36.50
8			43,920.00	10,002.22	0.08	35.86
10			41,760.00	10,105.56	5.00	35.19
12			43,920.00	10,083.33	0.08	35.34

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 80 mg/l Polymer ความเข้มข้น 1.0 mg/l



รูปที่ ข.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สี้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.19 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
75	4,664.00	3,487.78	3,109.33	880.00	33.33	74.77
100			3,392.00	436.67	27.27	87.48
125			2,862.00	336.67	38.64	90.35
150			3,109.33	332.22	33.33	90.47
175			3,286.00	371.11	29.55	89.36
200			2,968.00	436.67	36.36	87.48

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

ตารางที่ ข.20 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 1

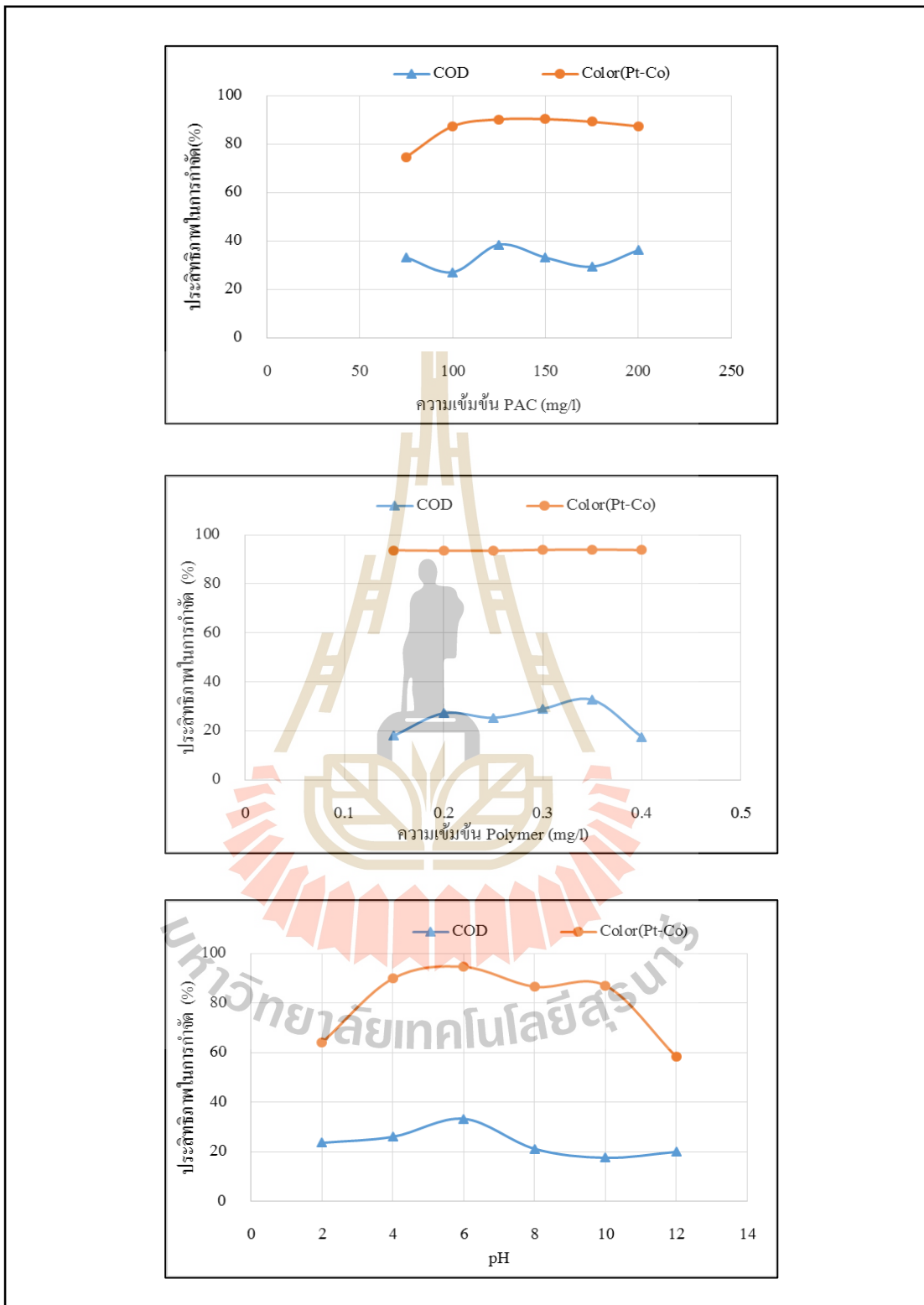
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.15	4,664.00	3,487.78	3,816.00	220.00	18.18	93.69
0.2			3,392.00	226.67	27.27	93.50
0.25			3,476.80	226.67	25.45	93.50
0.3			3,307.20	213.33	29.09	93.88
0.35			3,137.60	210.00	32.73	93.98
0.4			3,844.27	216.67	17.58	93.79

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

ตารางที่ ข.21 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	4,664.00	3,487.78	3,561.60	1,253.33	23.64	64.06
4			3,448.53	351.11	26.06	89.93
6			3,109.33	186.67	33.33	94.65
8			3,674.67	466.67	21.21	86.62
10			3,844.27	451.11	17.58	87.07
12			3,731.20	1,454.44	20.00	58.30

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



รูปที่ ข.7 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขุ่นของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.22 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

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

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

ตารางที่ ข.23 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

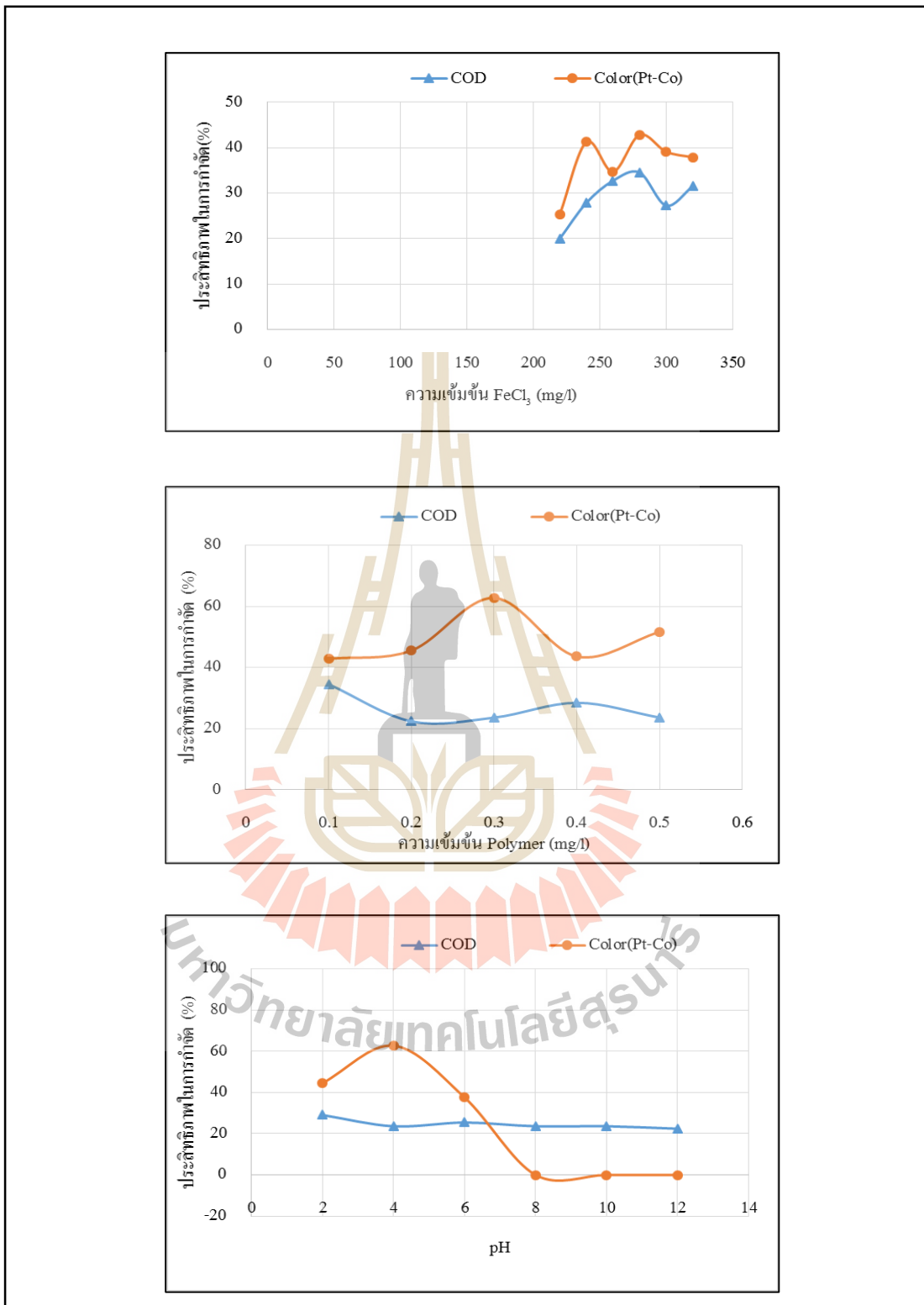
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.1	4,664.00	3,487.78	3,052.80	1,993.33	34.55	42.85
0.2			3,618.13	1,898.89	22.42	45.56
0.3			3,561.60	1,298.89	23.64	62.76
0.4			3,335.47	1,966.67	28.48	43.61
0.5			3,561.60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

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

ตารางที่ ข.24 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้อมสีธรรมชาติครั้งที่ 1

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

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 280 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.3 mg/l



รูปที่ ข.8 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.25 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
75	3,712.00	8,801.11	3,588.27	2,402.22	3.33	72.71
100			2,598.40	1,951.11	30.00	77.83
125			3,340.80	2,274.44	10.00	74.16
150			3,340.80	2,707.78	10.00	69.23
175			3,340.80	3,523.33	10.00	59.97
200			3,835.73	4,193.33	0.00	52.35

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

ตารางที่ ข.26 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 2

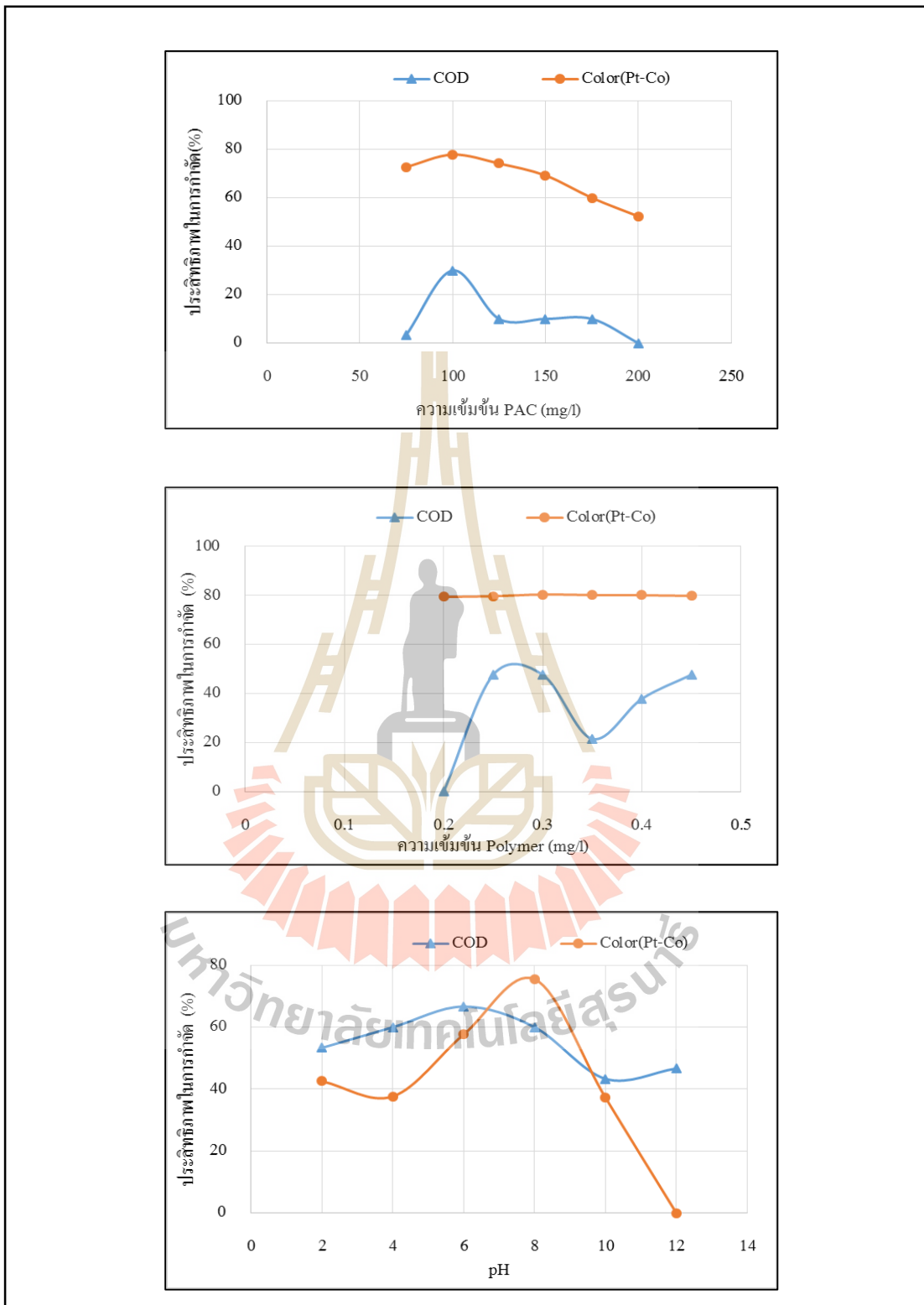
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.2	3,712.00	8,801.11	4,125.33	1,807.78	0.00	79.46
0.25			1,941.33	1,785.56	47.70	79.71
0.3			1,941.33	1,723.33	47.70	80.42
0.35			2,912.00	1,745.56	21.55	80.17
0.4			2,305.33	1,750.00	37.90	80.12
0.45			1,941.33	1,772.22	47.70	79.86

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

ตารางที่ ข.27 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	3,712.00	8,801.11	1,732.27	5,056.67	53.33	42.55
4			1,484.80	5,486.67	60.00	37.66
6			1,237.33	3,723.33	66.67	57.69
8			1,484.80	2,156.67	60.00	75.50
10			2,103.47	5,523.33	43.33	37.24
12			1,979.73	9,022.22	46.67	0.00

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



รูปที่ ข.9 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.28 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 2

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
160	3,712.00	8,801.11	2,312.80	3,793.33	37.69	56.90
180			1,321.60	2,390.00	64.40	72.84
200			1,321.60	1,787.78	64.40	79.69
220			1,762.13	2,013.33	52.53	77.12
240			3,304.00	2,078.89	10.99	76.38
260			3,083.73	2,380.00	16.93	72.96

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

ตารางที่ ข.29 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 2

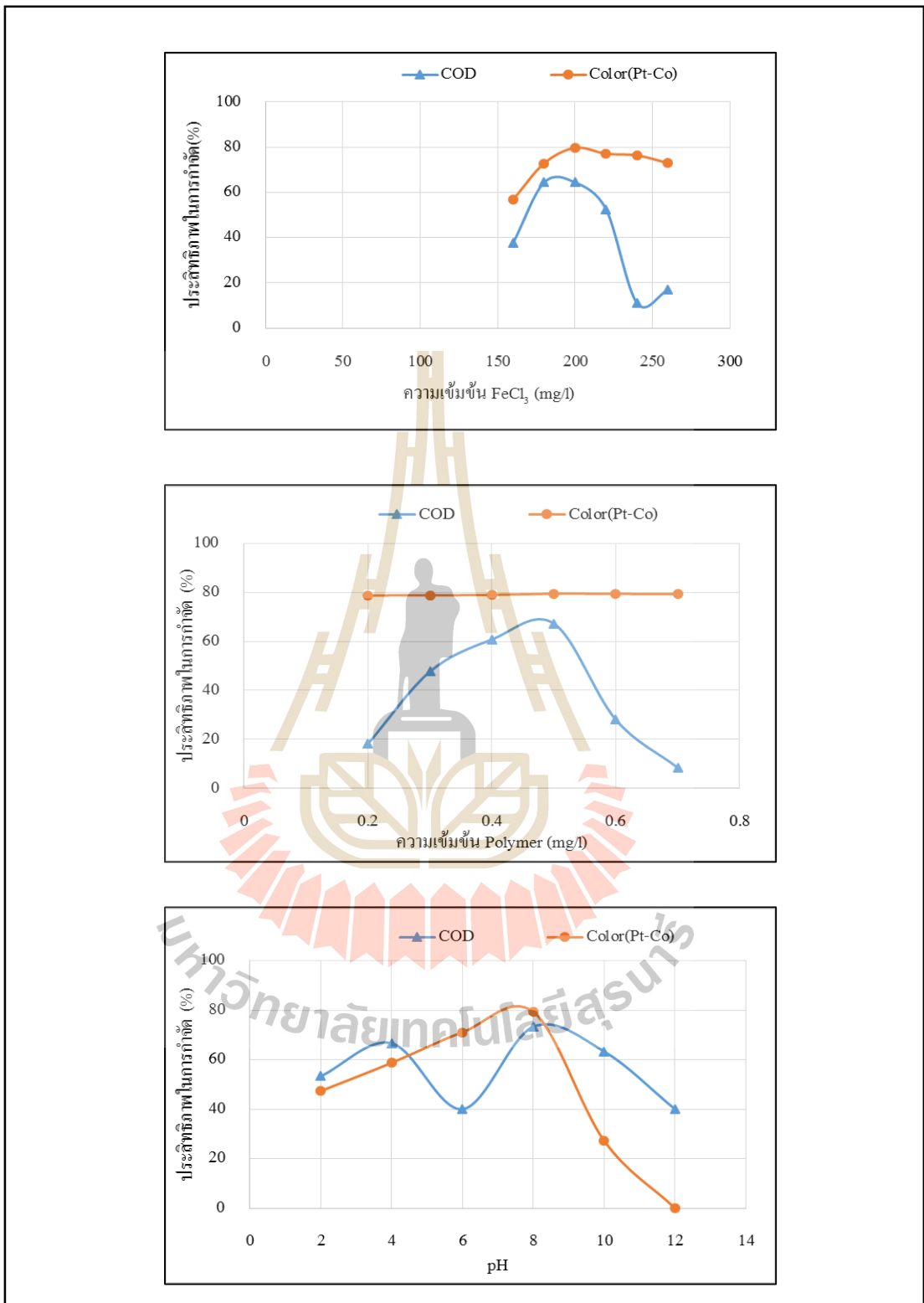
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.2	3,712.00	8,801.11	3,033.33	1,867.78	18.28	78.78
0.3			1,941.33	1,862.22	47.70	78.84
0.4			1,456.00	1,848.89	60.78	78.99
0.5			1,213.33	1,806.67	67.31	79.47
0.6			2,669.33	1,812.22	28.09	79.41
0.7			3,397.33	1,820.00	8.48	79.32

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

ตารางที่ ข.30 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	3,712.00	8,801.11	1,732.27	4,634.44	53.33	47.34
4			1,237.33	3,633.33	66.67	58.72
6			2,227.20	2,544.44	40.00	71.09
8			989.87	1,822.22	73.33	79.30
10			1,361.07	6,404.44	63.33	27.23
12			2,227.20	9,293.33	40.00	0.00

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50 mg/l



รูปที่ ข.10 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.31 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
100	24,576.00	9,056.67	24,449.60	9,511.11	0.51	0.00
125			27,753.60	9,292.22	0.00	0.00
150			27,092.80	8,480.00	0.00	6.37
175			39,648.00	8,508.89	0.00	6.05
200			31,718.40	8,734.44	0.00	3.56
225			25,110.40	8,958.89	0.00	1.08

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

ตารางที่ ข.32 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 3

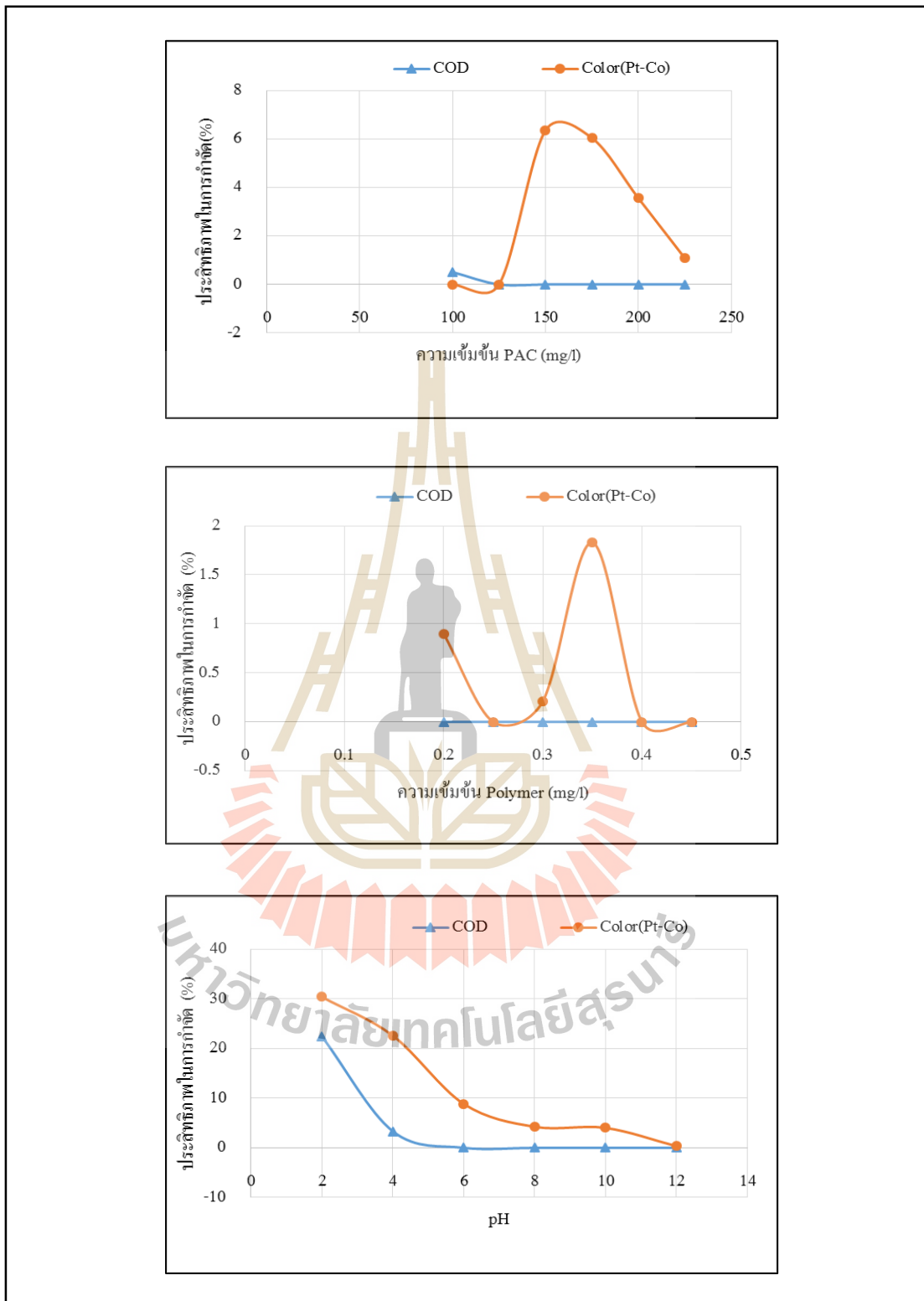
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.2	24,576.00	9,056.67	28,634.67	8,975.56	0.00	0.90
0.25			28,634.67	9,956.67	0.00	0.00
0.3			28,149.33	9,037.78	0.00	0.21
0.35			25,722.67	8,891.11	0.00	1.83
0.4			25,237.33	9,281.11	0.00	0.00
0.45			26,208.00	9,174.44	0.00	0.00

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

ตารางที่ ข.33 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีธรรมชาติครั้งที่ 3

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

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



รูปที่ ข.11 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.34 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 3

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

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

ตารางที่ ข.35 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 3

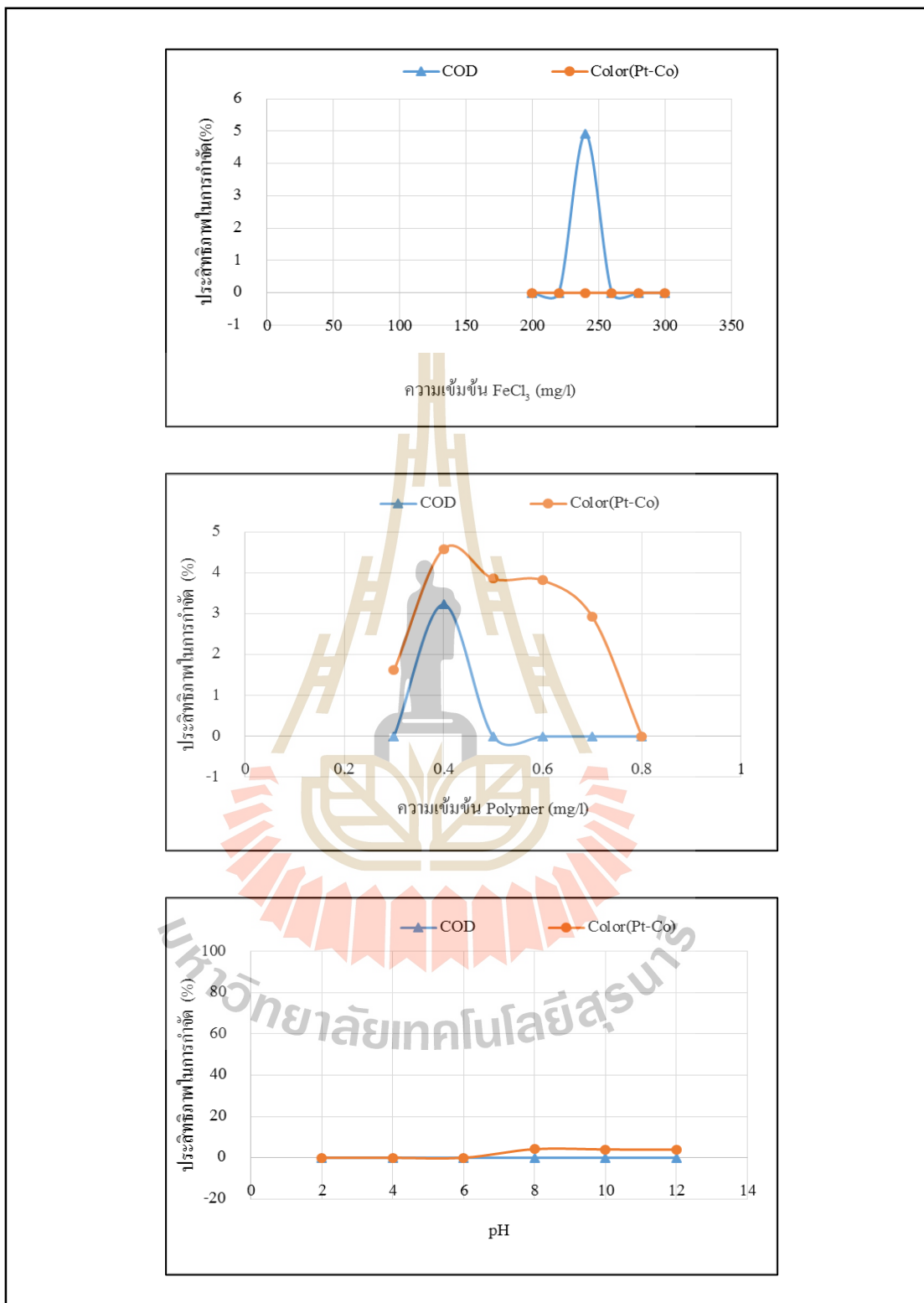
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.3	24,576.00	9,056.67	30,090.67	8,910.00	0.00	1.62
0.4			23,781.33	8,641.11	3.23	4.59
0.5			27,664.00	8,706.67	0.00	3.86
0.6			27,664.00	8,710.78	0.00	3.82
0.7			25,722.67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

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

ตารางที่ ข.36 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่ธรรมชาติครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	24,576.00	9,056.67	26,478.93	9,104.44	0.00	0.00
4			24,746.67	9,152.22	0.00	0.00
6			25,241.60	9,143.33	0.00	0.00
8			24,746.67	8,676.67	0.00	4.20
10			27,221.33	8,693.33	0.00	4.01
12			25,241.60	8,703.33	0.00	3.90

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.40 mg/l



รูปที่ ข.12 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขุ่นของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติ ครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.37 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
125	46,067.28	6,257.78	36,518.32	6,252.22	20.73	0.09
150			37,808.72	5,747.78	17.93	8.15
175			36,002.16	4,430.00	21.85	29.21
200			38,953.95	4,962.22	15.44	20.70
225			37,986.15	5,193.33	17.54	17.01
250			37,260.30	5,374.44	19.12	14.12

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

ตารางที่ ข.38 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

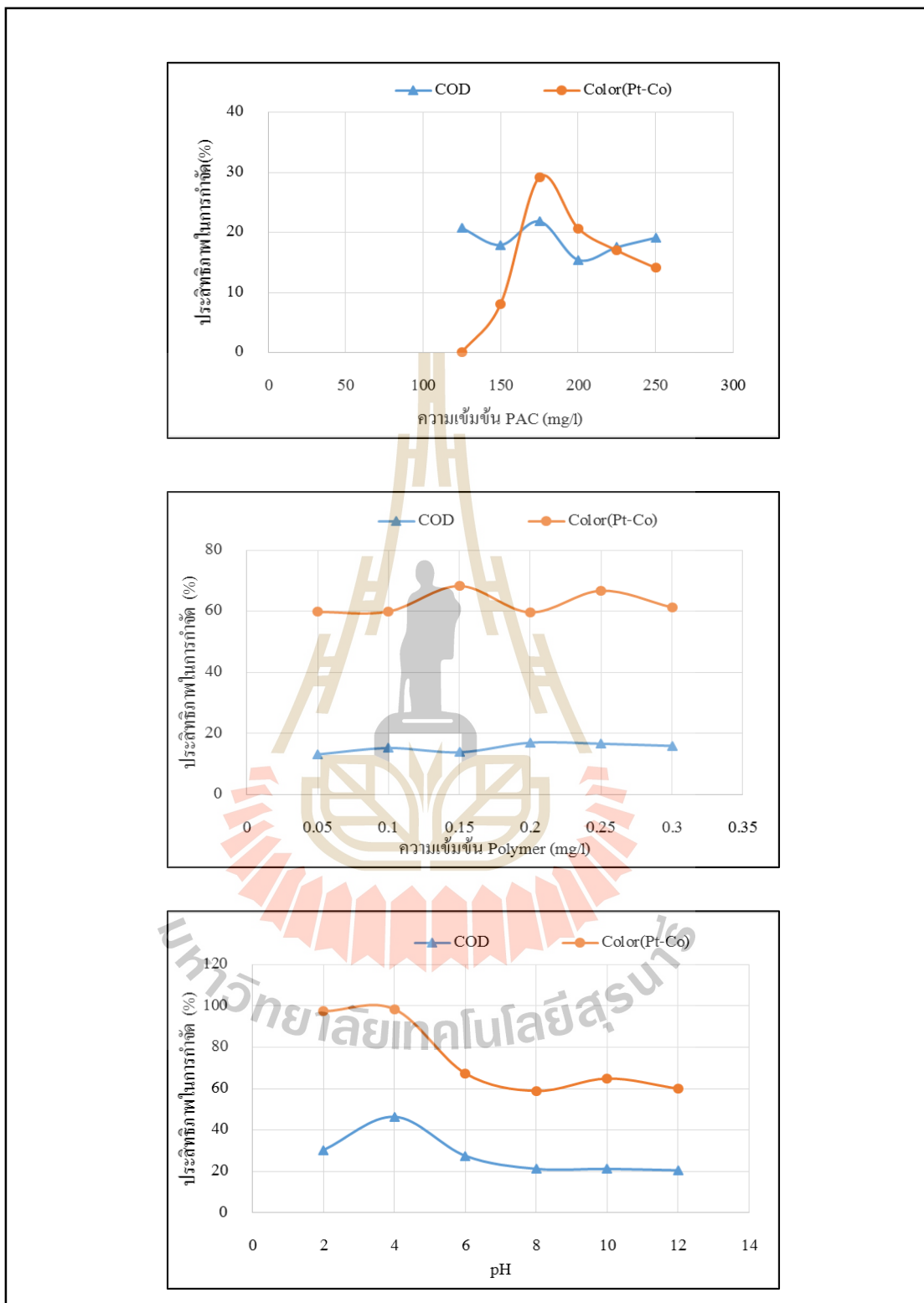
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.05	46,067.28	6,257.78	40,002.40	2,516.67	13.17	59.78
0.1			39,034.60	2,506.67	15.27	59.94
0.15			39,679.80	1,985.56	13.87	68.27
0.2			38,228.10	2,524.44	17.02	59.66
0.25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

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

ตารางที่ ข.39 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	46,067.28	6,257.78	32,098.70	163.33	30.32	97.39
4			24,678.90	97.78	46.43	98.44
6			33,389.10	2,042.22	27.52	67.37
8			36,292.50	2,570.00	21.22	58.93
10			36,292.50	2,194.44	21.22	64.93
12			36,615.10	2,502.22	20.52	60.01

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



รูปที่ ข.13 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
40	46,067.28	6,257.78	38,861.40	8,734.00	15.64	0.00
80			36,097.20	8,563.00	21.64	0.00
120			34,715.10	7,251.00	24.64	0.00
160			34,959.00	7,381.00	24.11	0.00
200			37,398.00	8,379.00	18.82	0.00
240			36,097.20	8,575.00	21.64	0.00

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

ตารางที่ ข.41 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 1

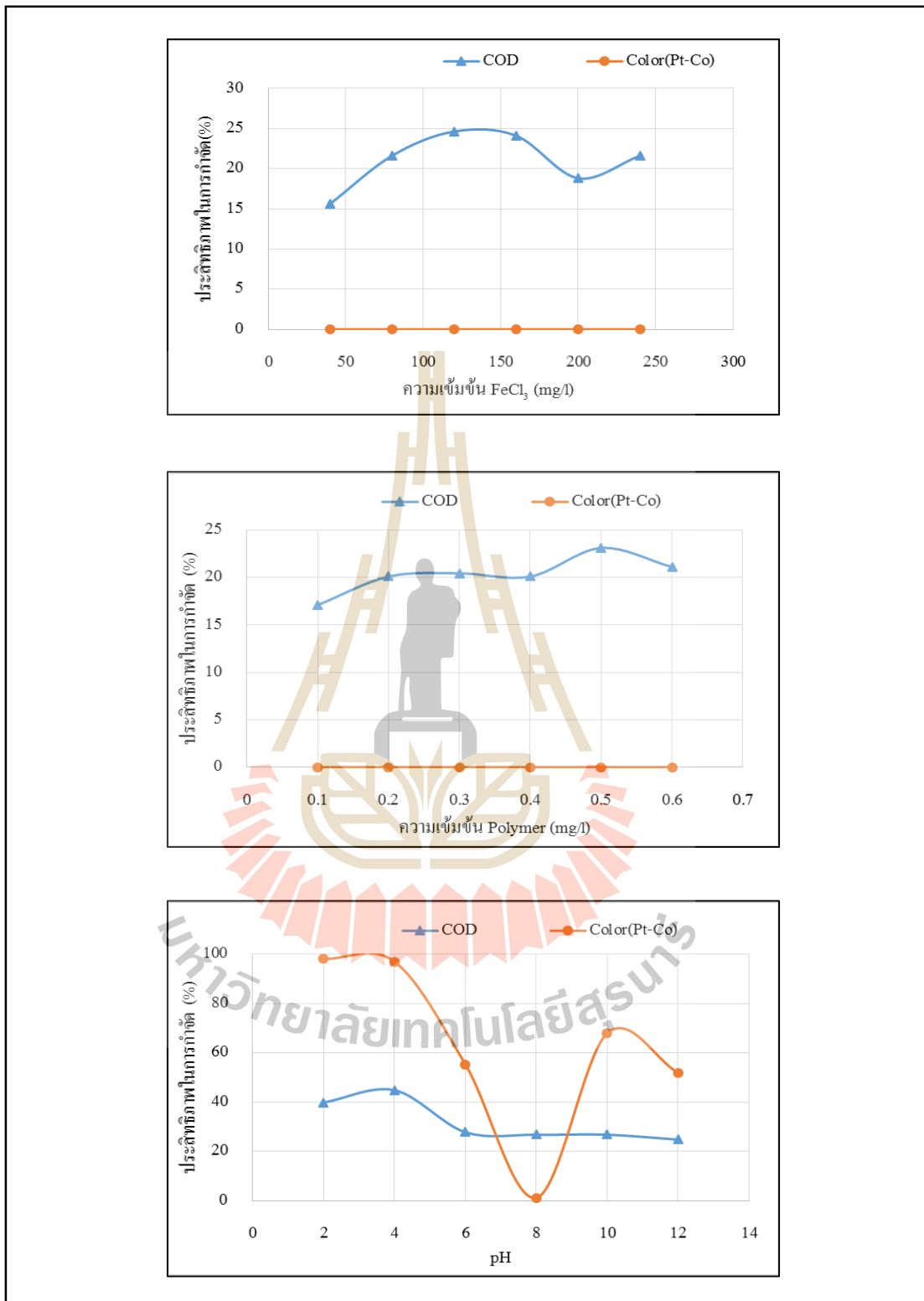
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.1	46,067.28	6,257.78	38,192.00	7,351.00	17.10	0.00
0.2			36,806.00	7,281.30	20.10	0.00
0.3			36,652.00	7,051.00	20.44	0.00
0.4			36,806.00	6,994.64	20.10	0.00
0.5			35,420.00	6,452.55	23.11	0.00
0.6			36,344.00	6,847.54	21.11	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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	46,067.28	6,257.78	27,720.00	116.67	39.83	98.14
4			25,410.00	185.56	44.84	97.03
6			33,264.00	2,795.56	27.79	55.33
8			33,726.00	6,185.00	26.79	1.16
10			33,726.00	2,007.78	26.79	67.92
12			34,650.00	3,008.89	24.78	51.92

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 120 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50 mg/l



รูปที่ ข.14 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.43 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

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

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

ตารางที่ ข.44 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

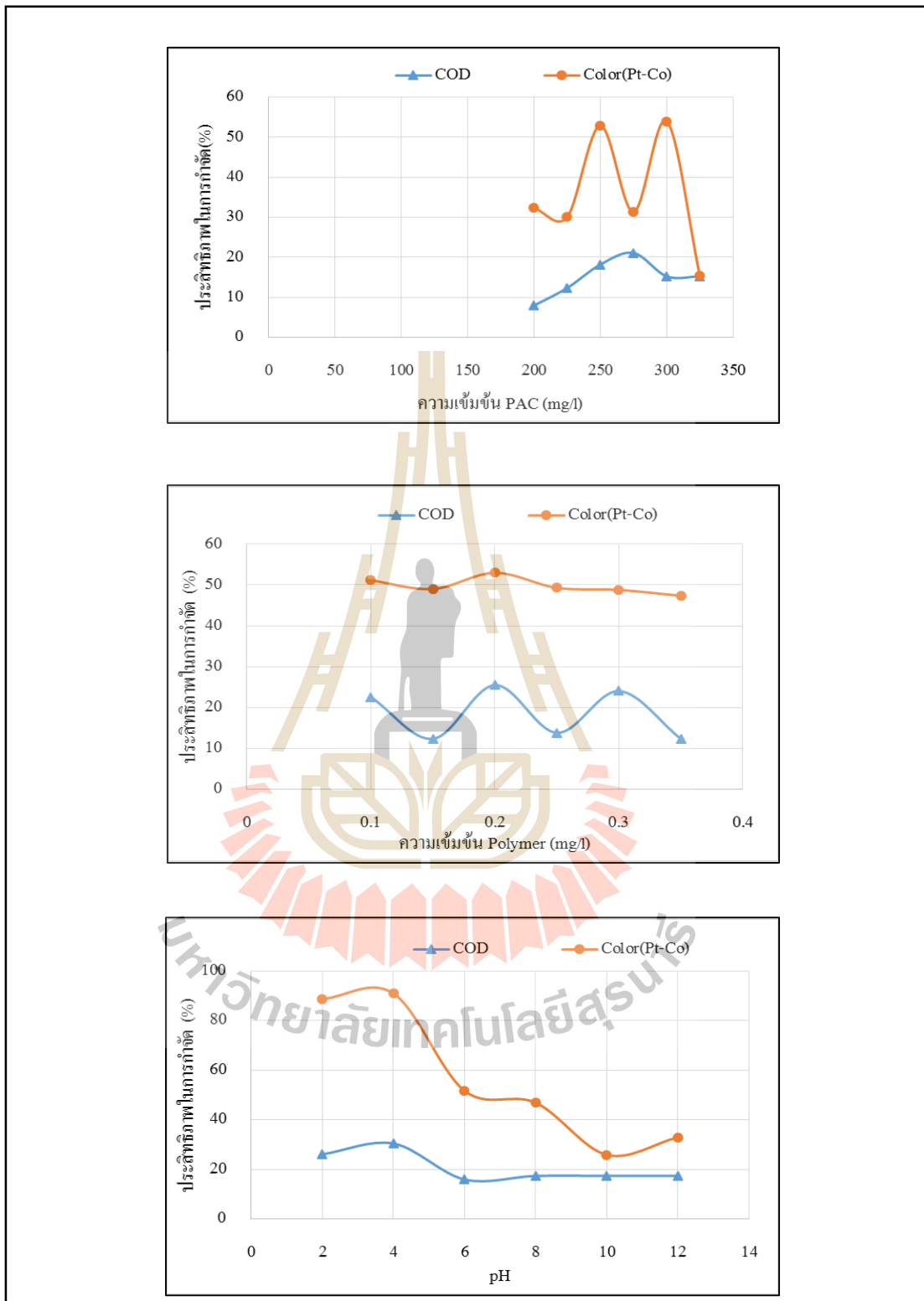
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.10	33,120.00	1,992.22	25,645.16	973.33	22.57	51.14
0.15			29,032.26	1,015.56	12.34	49.02
0.20			24,677.42	936.67	25.49	52.98
0.25			28,548.39	1,010.00	13.80	49.30
0.30			25,161.29	1,020.00	24.03	48.80
0.35			29,032.26	1,048.89	12.34	47.35

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

ตารางที่ ข.45 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

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

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



รูปที่ ข.15 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 2 โดยใช้ PACl เป็นสาร โคลเอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.46 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
40	33,120.00	1,992.22	28,407.64	2,113.33	14.23	0.00
80			30,700.64	2,256.67	7.30	0.00
120			29,681.53	2,103.33	10.38	0.00
160			26,878.98	3,050.00	18.84	0.00
200			30,191.08	3,184.44	8.84	0.00
240			49,299.36	3,422.22	0.00	0.00

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

ตารางที่ ข.47 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 2

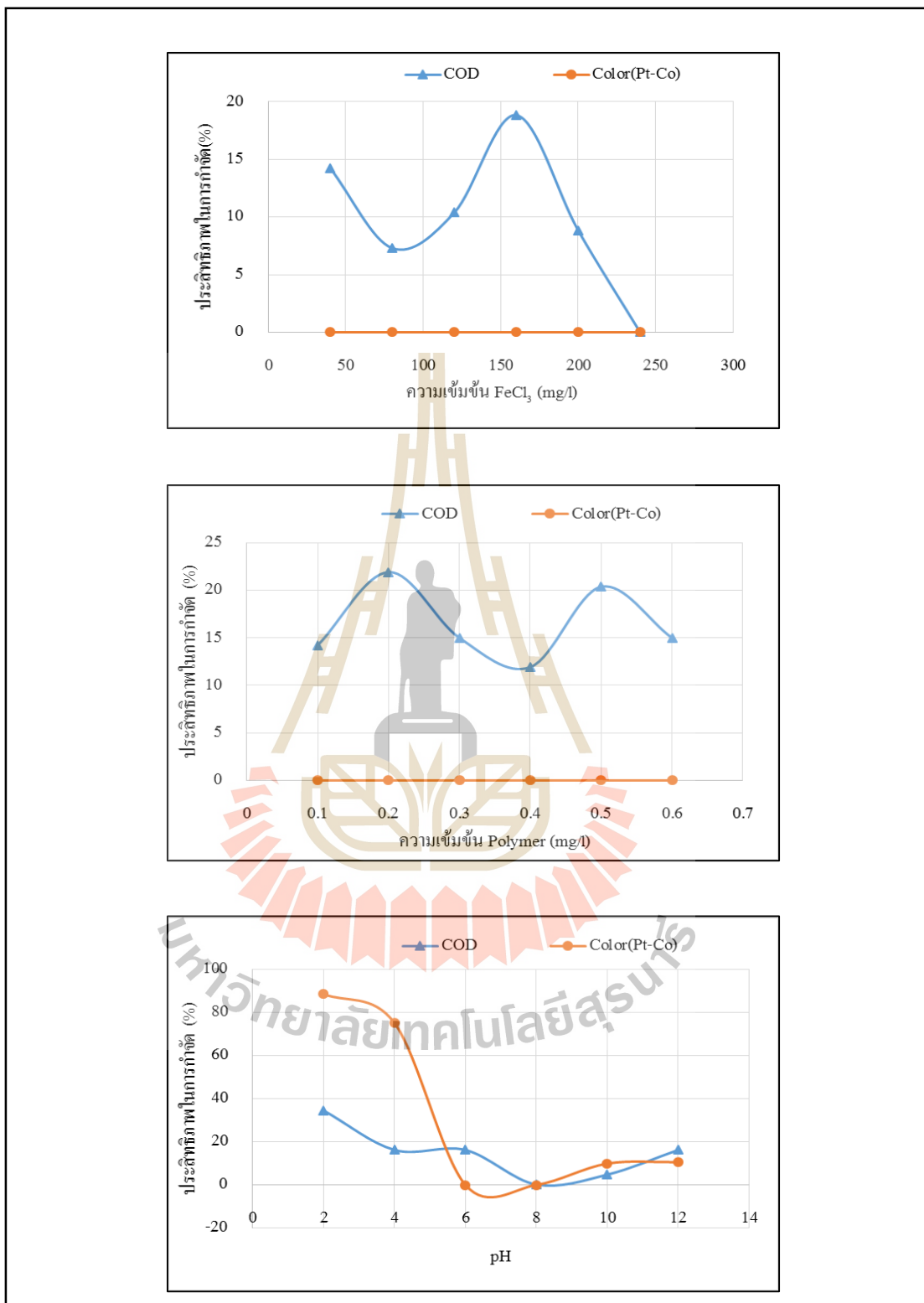
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.1	33,120.00	1,992.22	28,407.64	2,406.67	14.23	0.00
0.2			25,859.87	2,113.33	21.92	0.00
0.3			28,152.87	2,641.11	15.00	0.00
0.4			29,171.97	2,448.89	11.92	0.00
0.5			26,369.43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

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	33,120.00	1,992.22	21,660.00	226.67	34.60	88.62
4			27,740.00	494.44	16.24	75.18
6			27,740.00	2,096.67	16.24	0.00
8			33,060.00	2,420.00	0.18	0.00
10			31,540.00	1,794.44	4.77	9.93
12			27,740.00	1,781.11	16.24	10.60

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 120 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.20 mg/l



รูปที่ ข.16 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี ครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.49 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACl ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACl (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
150	44,800.00	2,758.89	43,520.00	2,565.56	2.86	7.01
175			41,600.00	2,353.33	7.14	14.70
200			43,520.00	2,222.22	2.86	19.45
225			44,800.00	2,733.33	0.00	0.93
250			44,160.00	2,560.00	1.43	7.21
275			44,160.00	2,653.33	1.43	3.83

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

ตารางที่ ข.50 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

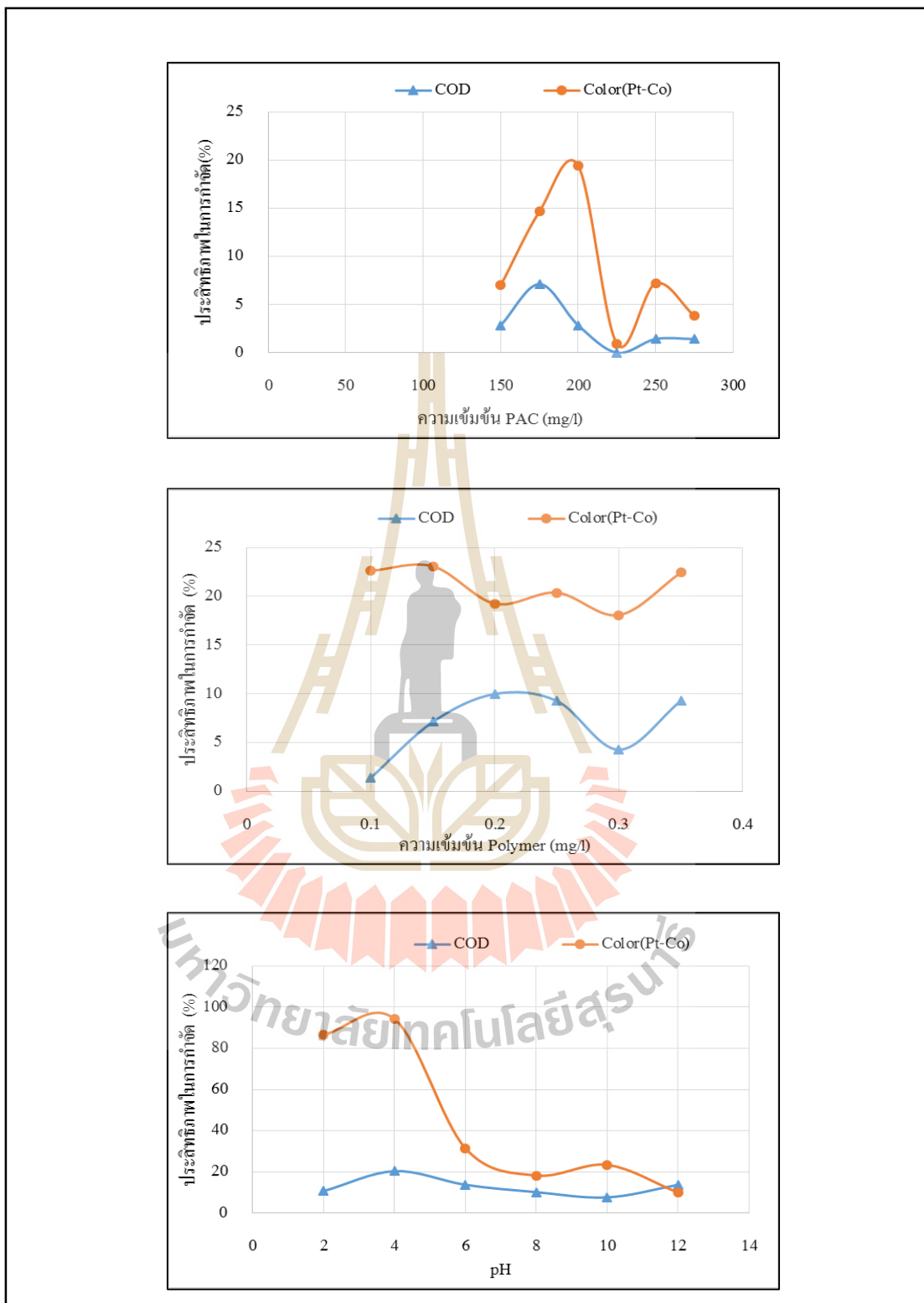
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.10	44,800.00	2,758.89	44,160.00	2,134.44	1.43	22.63
0.15			41,600.00	2,122.22	7.14	23.08
0.20			40,320.00	2,227.78	10.00	19.25
0.25			40,640.00	2,196.67	9.29	20.38
0.30			42,880.00	2,260.00	4.29	18.08
0.35			40,640.00	2,140.00	9.29	22.43

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml PACl 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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	44,800.00	2,758.89	43,216.00	367.78	10.70	86.67
4			38,529.33	156.67	20.39	94.32
6			41,736.00	1,890.00	13.76	31.49
8			43,462.67	2,254.44	10.19	18.28
10			44,696.00	2,112.22	7.65	23.44
12			41,736.00	2,483.33	13.76	9.99

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



รูปที่ ข.17 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสาร โคลเอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.52 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

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

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

ตารางที่ ข.53 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีเคมีครั้งที่ 3

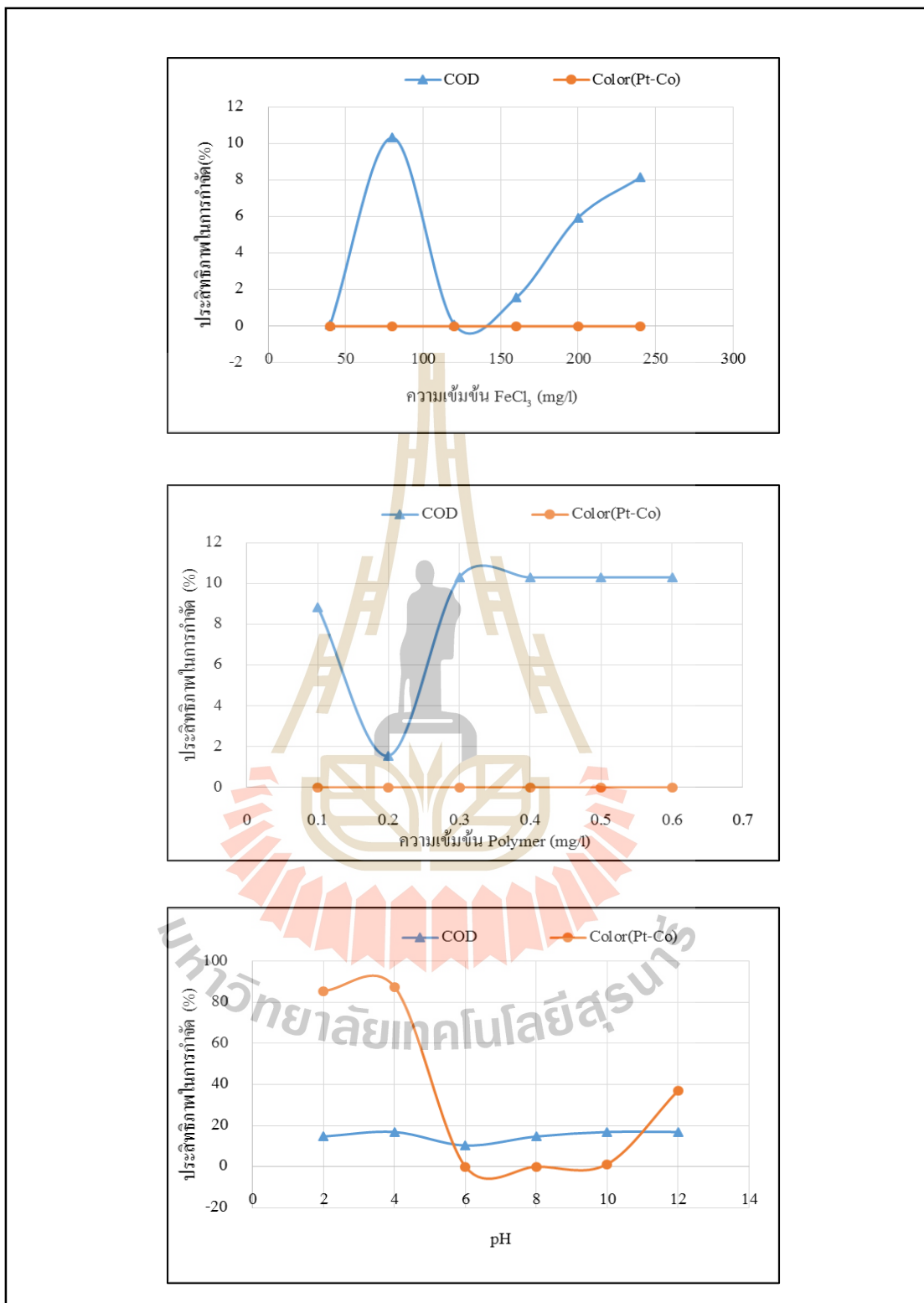
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.1	44,800.00	2,758.89	40,833.33	3,610.00	8.85	0.00
0.2			44,100.00	4,203.33	1.56	0.00
0.3			40,180.00	3,316.67	10.31	0.00
0.4			40,180.00	3,401.11	10.31	0.00
0.5			40,180.00	3,165.56	10.31	0.00
0.6			40,180.00	3,440.00	10.31	0.00

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)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	44,800.00	2,758.89	38,220.00	397.78	14.69	85.58
4			37,240.00	343.33	16.88	87.56
6			40,180.00	2,772.22	10.31	0.00
8			38,220.00	2,994.44	14.69	0.00
10			37,240.00	2,724.44	16.88	1.25
12			37,240.00	1,735.56	16.88	37.09

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 80 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.50 mg/l



รูปที่ ข.18 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
 ครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.55 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น PACI(mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
225	2,790.00	10,315.56	930.00	1,481.11	66.67	85.64
250			744.00	1,434.44	73.33	86.09
275			837.00	1,380.00	70.00	86.62
300			160.00	1,330.00	94.27	87.11
325			187.49	1,356.67	93.28	86.85
350			166.66	1,363.33	94.03	86.78

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

ตารางที่ ข.56 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

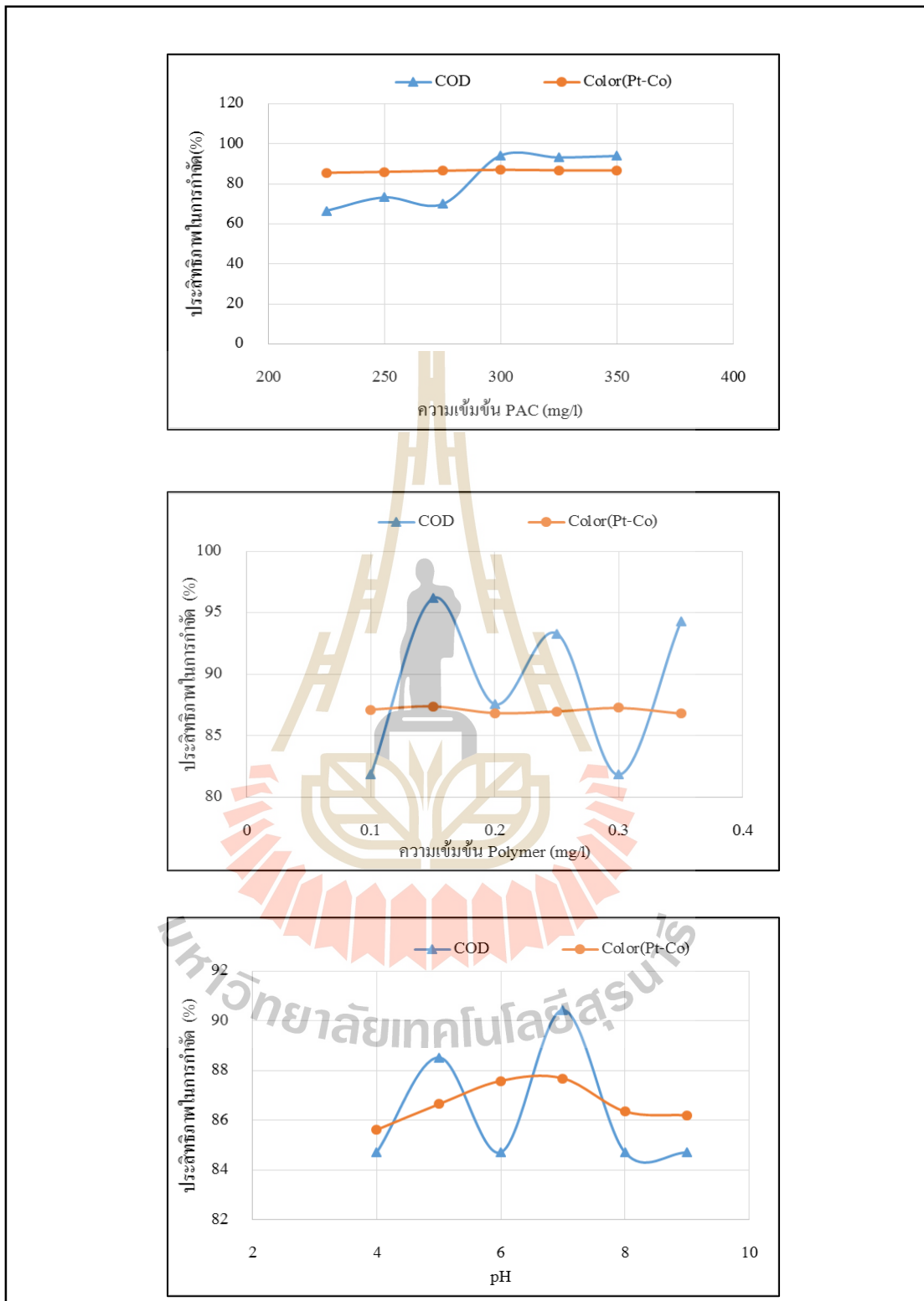
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.10	2,790.00	10,315.56	506.67	1,327.78	81.84	87.13
0.15			106.67	1,300.00	96.18	87.40
0.20			346.67	1,356.67	87.57	86.85
0.25			186.67	1,343.33	93.31	86.98
0.30			506.67	1,313.33	81.84	87.27
0.35			160.00	1,361.11	94.27	86.81

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

ตารางที่ ข.57 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
4	2,790.00	10,315.56	426.67	1,483.33	84.71	85.62
5			320.00	1,376.67	88.53	86.65
6			426.67	1,280.00	84.71	87.59
7			266.67	1,270.00	90.44	87.69
8			426.67	1,406.67	84.71	86.36
9			426.67	1,423.33	84.71	86.20

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



รูปที่ ข.19 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 1 โดยใช้ PACI เป็นสาร โคลเอกกูแลนท์

ตารางที่ ข.58 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
10	2,790.00	10,315.56	2,159.33	10,375.00	22.60	0.00
20			2,081.28	13,001.00	25.40	0.00
30			2,081.28	12,960.00	25.40	0.00
40			1,977.22	10,268.00	29.13	0.46
50			1,769.09	10,014.00	36.59	2.92
60			2,341.44	12,736.67	16.08	0.00

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

ตารางที่ ข.59 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

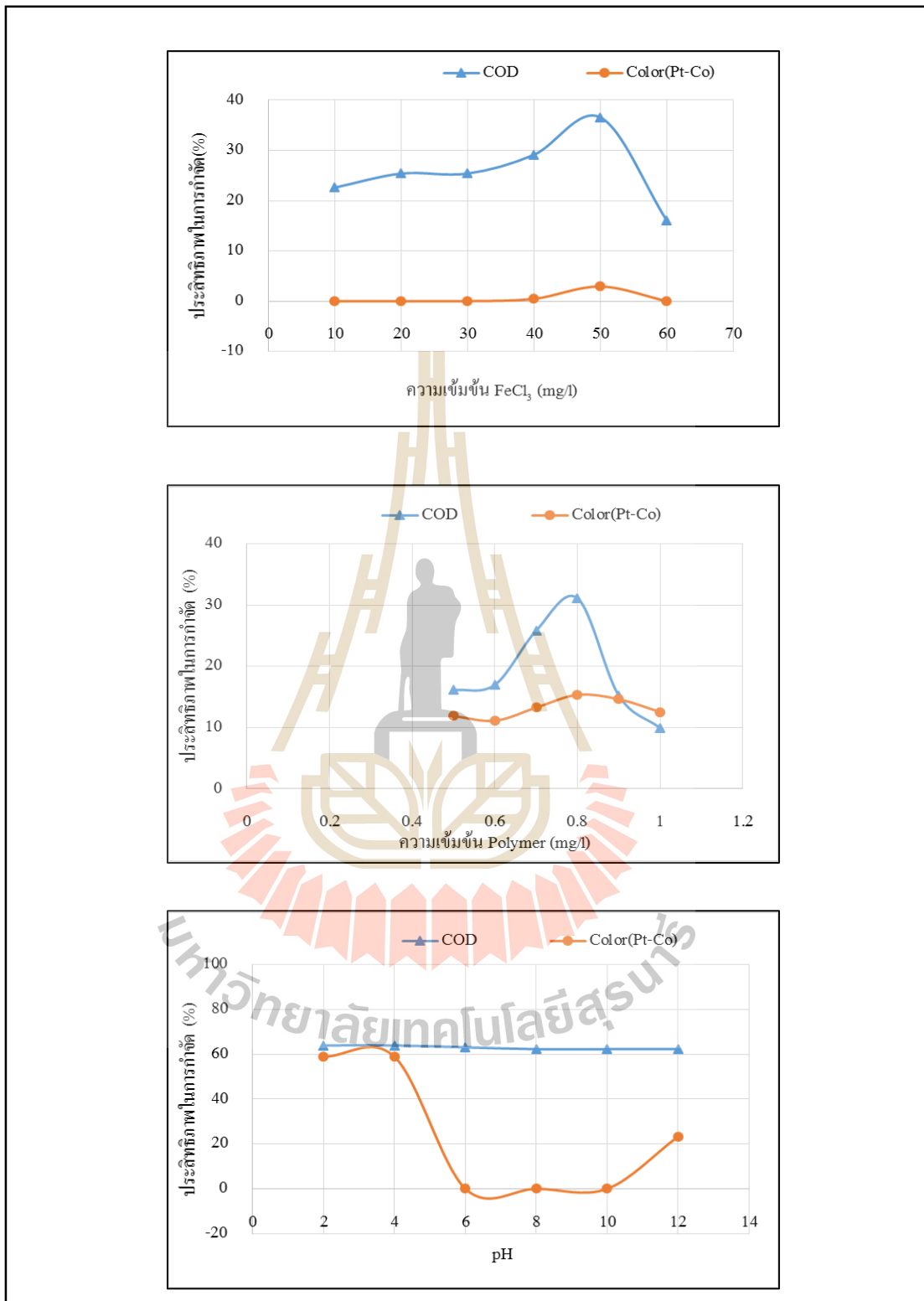
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.5	2,790.00	10,315.56	2,340.80	9,088.89	16.10	11.89
0.6			2,316.16	9,170.00	16.98	11.11
0.7			2,069.76	8,947.78	25.82	13.26
0.8			1,921.92	8,733.33	31.11	15.34
0.9			2,365.44	8,806.67	15.22	14.63
1			2,513.28	9,022.22	9.92	12.54

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

ตารางที่ ข.60 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 1

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	2,790.00	10,315.56	1,005.55	4,238.89	63.96	58.91
4			1,005.55	4,238.89	63.96	58.91
6			1,028.40	11,271.11	63.14	0.00
8			1,051.25	10,922.22	62.32	0.00
10			1,051.25	10,863.33	62.32	0.00
12			1,051.25	7,910.00	62.32	23.32

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 50 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.80 mg/l



รูปที่ ข.20 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
 ครั้งที่ 1 โดยใช้ FeCl₃ เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.61 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
200	3,340.80	1,157.78	1,856.00	323.33	44.44	72.07
250			1,299.20	278.89	61.11	75.91
300			928.00	333.33	72.22	71.21
350			928.00	307.78	72.22	73.42
400			2,227.20	337.78	33.33	70.83
450			1,670.40	303.33	50.00	73.80

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

ตารางที่ ข.62 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 2

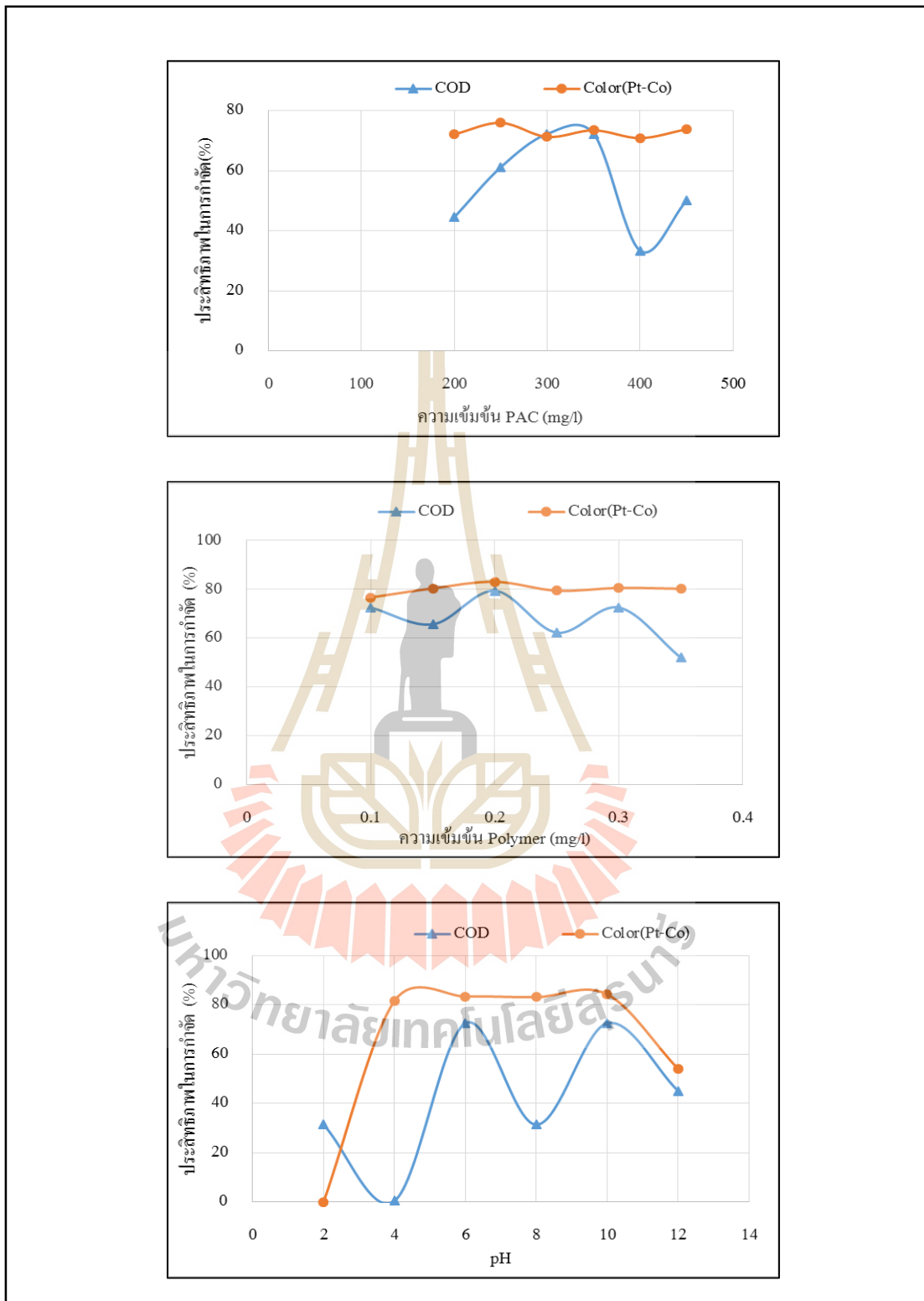
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.10	3,340.80	1,157.78	917.33	270.00	72.54	76.68
0.15			1,146.67	226.67	65.68	80.42
0.20			688.00	195.56	79.41	83.11
0.25			1,261.33	237.78	62.24	79.46
0.30			917.33	224.44	72.54	80.61
0.35			1,605.33	228.89	51.95	80.23

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

ตารางที่ ข.63 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	3,340.80	1,157.78	2,293.33	1,530.00	31.35	0.00
4			3,325.33	213.33	0.46	81.57
6			917.33	192.22	72.54	83.40
8			2,293.33	195.56	31.35	83.11
10			917.33	182.22	72.54	84.26
12			1,834.67	533.33	45.08	53.93

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



รูปที่ ข.21 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 2 โดยใช้ PACI เป็นสาร โคลเอกกูแลนท์

ตารางที่ ข.64 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่
ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 2

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
10	3,340.80	1,157.78	1,945.92	910.00	41.75	21.40
20			1,297.28	886.67	61.17	23.42
30			2,162.13	923.33	35.28	20.25
40			2,594.56	1,063.33	22.34	8.16
50			2,594.56	1,136.67	22.34	1.82
60			1,945.92	973.33	41.75	15.93

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

ตารางที่ ข.65 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการ
ที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 2

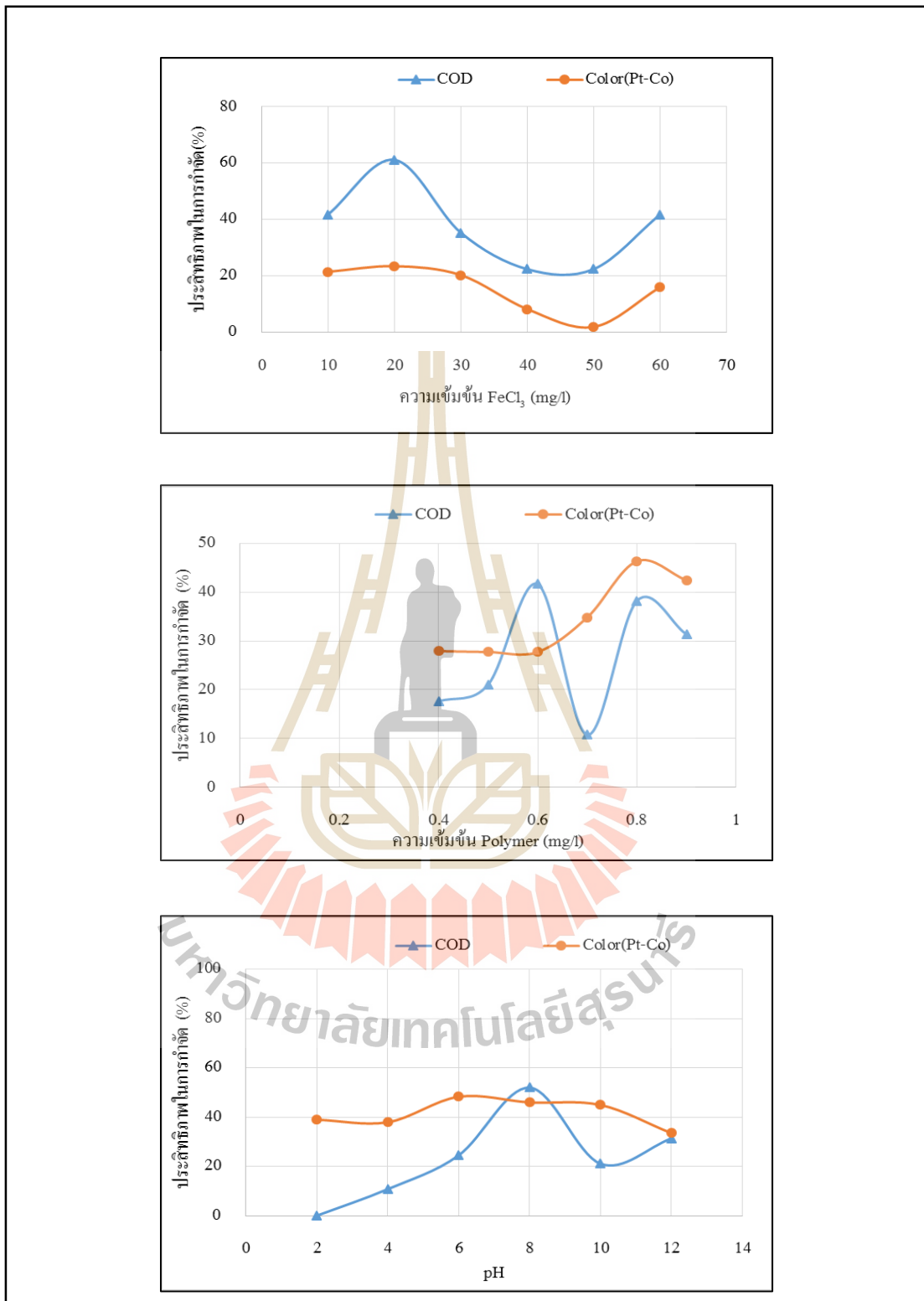
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.4	3,340.80	1,157.78	2,752.00	834.44	17.62	27.93
0.5			2,637.33	836.67	21.06	27.74
0.6			1,949.33	836.67	41.65	27.74
0.7			2,981.33	754.44	10.76	34.84
0.8			2,064.00	621.11	38.22	46.35
0.9			2,293.33	666.67	31.35	42.42

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

ตารางที่ ข.66 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมี
ครั้งที่ 2

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	3,340.80	1,157.78	3,440.00	706.67	0.00	38.96
4			2,981.33	718.89	10.76	37.91
6			2,522.67	598.89	24.49	48.27
8			1,605.33	625.56	51.95	45.97
10			2,637.33	637.78	21.06	44.91
12			2,293.33	770.00	31.35	33.49

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 20 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.80 mg/l



รูปที่ ข.22 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 2 โดยใช้ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.67 ผลการศึกษาความเข้มข้น PACI ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีเคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น PACI (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
200	2,688.00	2,103.33	1,792.00	326.67	33.33	84.47
250			1,941.33	296.67	27.78	85.90
300			1,344.00	300.00	50.00	85.74
350			1,642.67	293.33	38.89	86.05
400			1,642.67	296.67	38.89	85.90
450			1,941.33	300.00	27.78	85.74

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

ตารางที่ ข.68 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีเคมีครั้งที่ 3

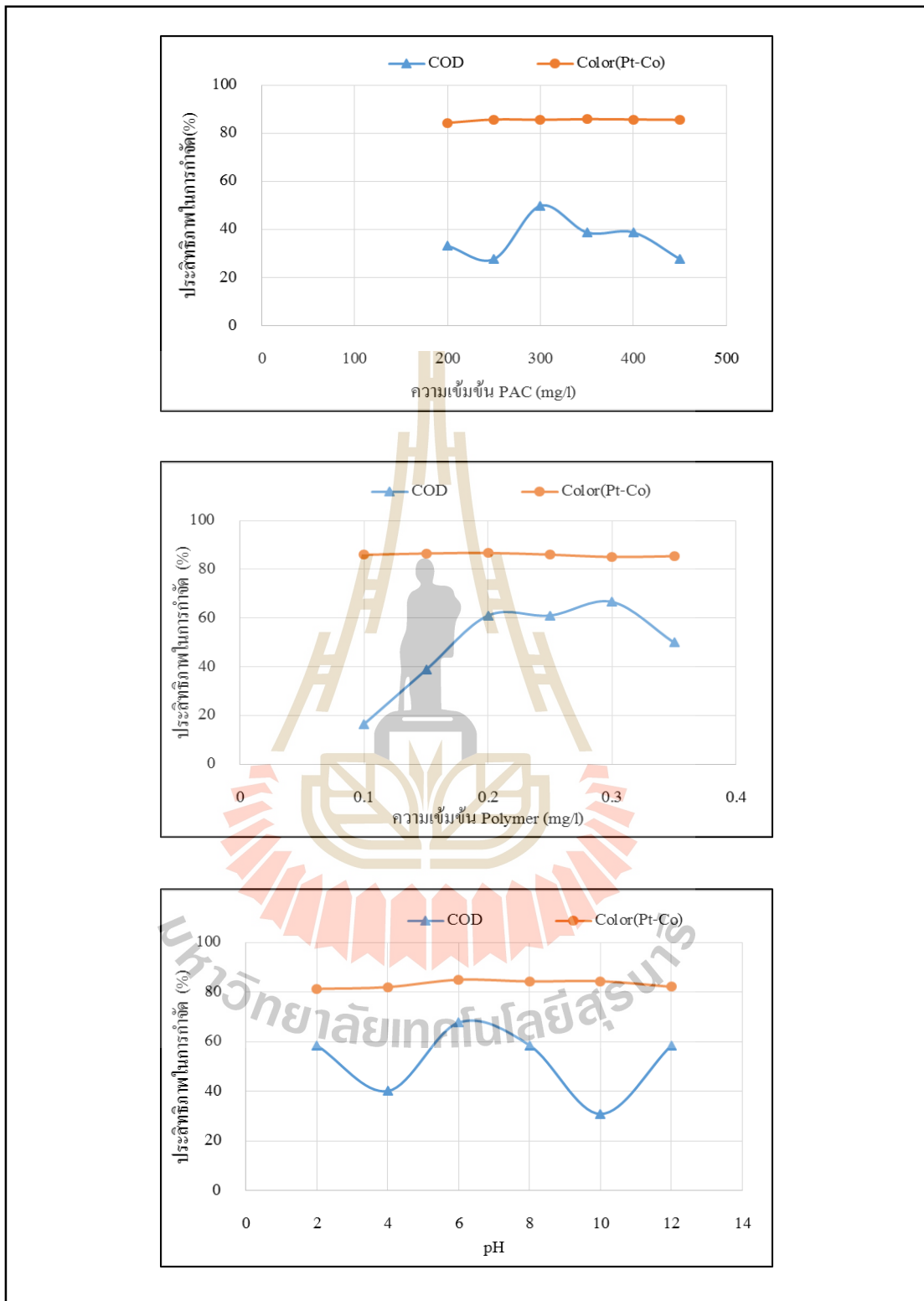
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.10	2,688.00	2,103.33	2,240.00	294.44	16.67	86.00
0.15			1,642.67	283.33	38.89	86.53
0.20			1,045.33	278.89	61.11	86.74
0.25			1,045.33	293.33	61.11	86.05
0.30			896.00	313.33	66.67	85.10
0.35			1,344.00	306.67	50.00	85.42

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

ตารางที่ ข.69 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้มจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำขี้มสีเคมีครั้งที่ 3

pH	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
2	2,688.00	2,103.33	1,113.60	392.22	58.57	81.35
4			1,608.53	376.67	40.16	82.09
6			866.13	314.44	67.78	85.05
8			1,113.60	328.89	58.57	84.36
10			1,856.00	326.67	30.95	84.47
12			1,113.60	374.44	58.57	82.20

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



รูปที่ ข.23 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
 ครั้งที่ 3 โดยใช้ PACI เป็นสาร โคลเอกกูแลนท์

ตารางที่ ข.64 ผลการศึกษาความเข้มข้น FeCl_3 ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 3

ความเข้มข้น FeCl_3 (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
100	2,688.00	2,103.33	2,240.00	2,070.00	16.67	1.58
120			2,240.00	1,056.67	16.67	49.76
140			2,240.00	1,871.11	16.67	11.04
160			1,792.00	1,057.78	33.33	49.71
180			2,538.67	1,494.44	5.56	28.95
200			1,642.67	527.78	38.89	74.91

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

ตารางที่ ข.65 ผลการศึกษาความเข้มข้น Polymer ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 3

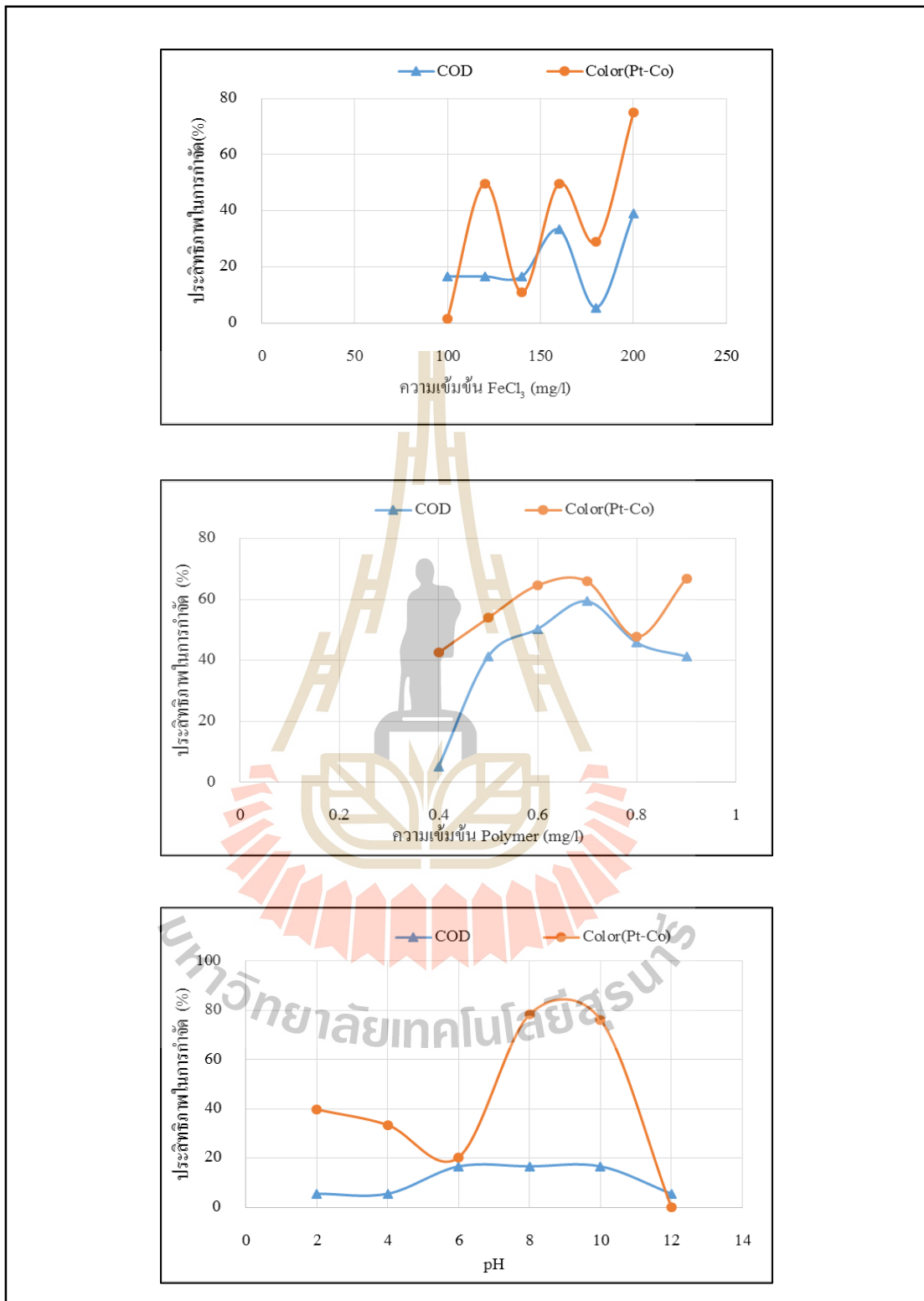
ความเข้มข้น Polymer (mg/l)	น้ำเข้า		น้ำออก		ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD (mg/l)	Color (Pt-Co)	COD	Color
0.4	2,688.00	2,103.33	2,548.00	1,207.78	5.21	42.58
0.5			1,577.33	968.89	41.32	53.94
0.6			1,334.67	743.33	50.35	64.66
0.7			1,092.00	717.78	59.37	65.87
0.8			1,456.00	1,100.00	45.83	47.70
0.9			1,577.33	695.56	41.32	66.93

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

ตารางที่ ข.66 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสี่เคมีครั้งที่ 3

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

หมายเหตุ ใช้น้ำตัวอย่าง 500 ml FeCl_3 ความเข้มข้น 200 mg/l Polymer ความเข้มข้น 0.90 mg/l



รูปที่ ข.24 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 3 โดยใช้ FeCl_3 เป็นสารโคแอกกูแลนต์

ตารางที่ ข.67 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACl และ FeCl₃

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	PACl - FeCl ₃	-8.983	27.996	16.164	-78.530	60.564	-0.556	2	0.634	ไม่พบความแตกต่าง
Color	PACl - FeCl ₃	4.430	8.685	5.014	-17.145	26.005	0.883	2	0.470	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.68 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยใช้ PACl และ FeCl₃

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	PACl - FeCl ₃	2.710	6.408	3.700	-13.209	18.629	0.732	2	0.540	ไม่พบความแตกต่าง
Color	PACl - FeCl ₃	18.037	51.972	30.006	-111.069	147.143	0.601	2	0.609	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.69 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้ PACl และ FeCl₃

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	PACl - FeCl ₃	0.310	3.997	2.308	-9.619	10.239	0.134	2	0.905	ไม่พบความแตกต่าง
Color	PACl - FeCl ₃	3.503	2.858	1.650	-3.597	10.604	2.123	2	0.168	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ข.70 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยใช้ PACl และ FeCl₃

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	PACl - FeCl ₃	42.757	11.917	6.880	13.153	72.360	6.214	2	0.025	พบความแตกต่าง
Color	PACl - FeCl ₃	24.593	16.201	9.354	-15.652	64.839	2.629	2	0.119	ไม่พบความแตกต่าง



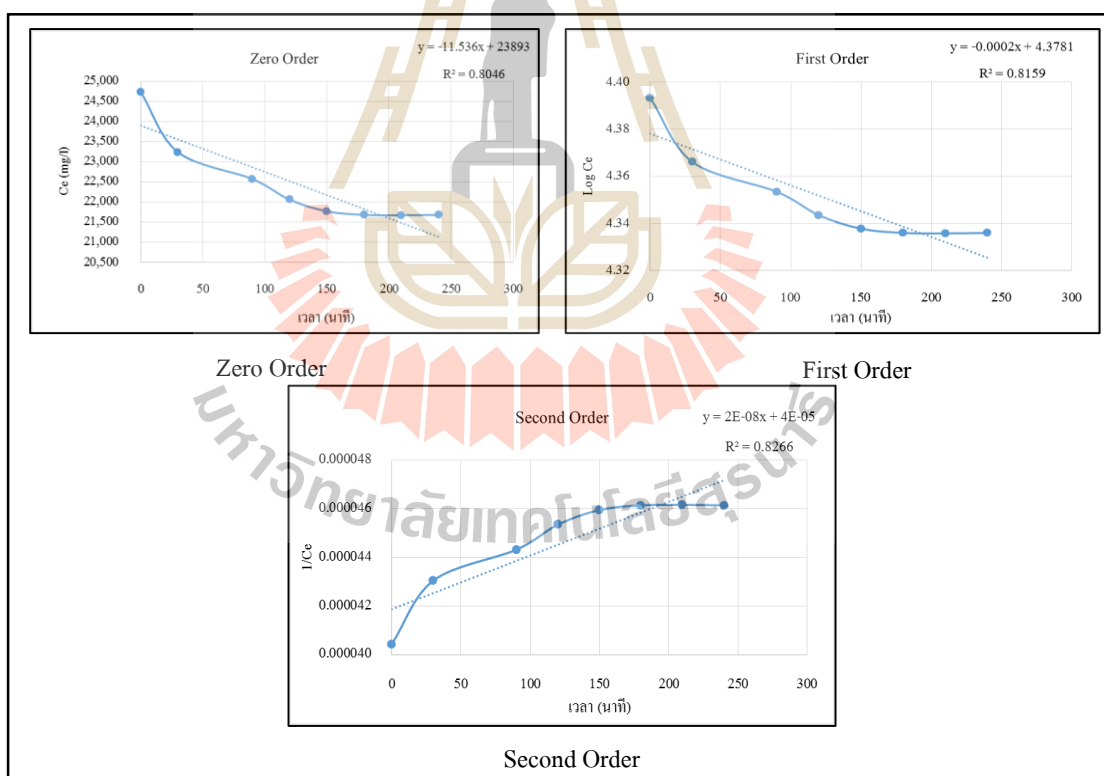
ตารางที่ ค.1 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการศึกษา

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



ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 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



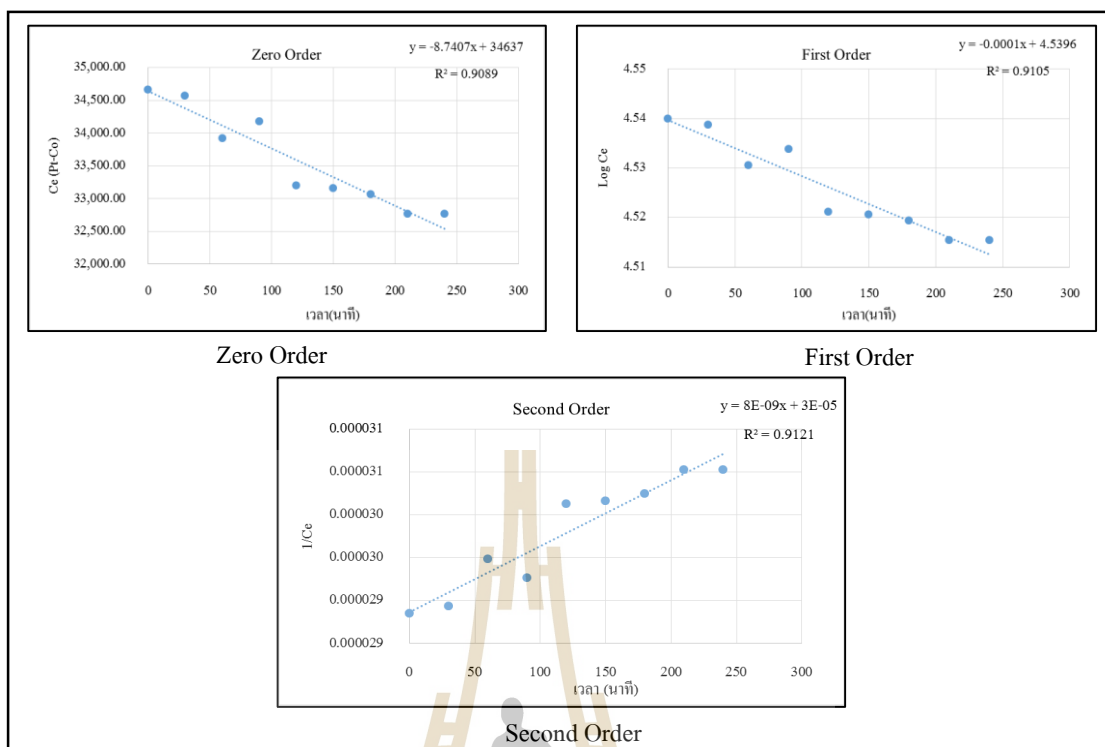
รูปที่ ค.1 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย
ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	38,709.68	24,733.33	-	-
30	36,129.03	23,233.33	6.67	6.06
90	29,032.26	22,566.67	25.00	8.76
120	35,483.87	22,055.56	40.00	10.83
150	23,225.81	21,766.67	37.50	11.99
180	24,193.55	21,677.78	43.33	12.35
210	21,935.48	21,667.78	41.67	12.39
240	22,580.65	21,677.78	45.00	12.35

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	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



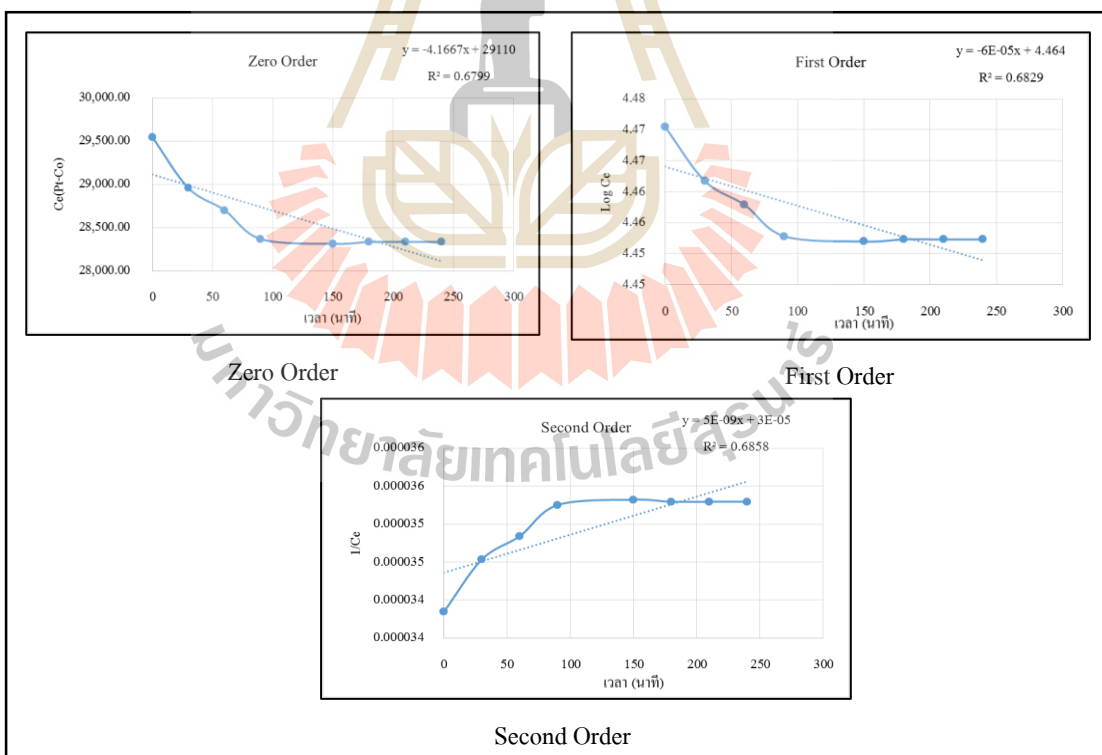
รูปที่ ค.2 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	57,130.43	34,666.67	-	
30	57,702.40	34,566.67	0.00	0.29
60	46,368.00	33,922.22	18.84	2.15
90	55,641.60	34,177.78	2.61	1.41
120	38,124.80	33,200.00	33.27	4.23
150	38,640.00	33,155.56	32.37	4.36
180	30,912.00	33,066.67	45.89	4.62
210	35,033.60	32,766.67	38.68	5.48
240	34,003.20	32,766.67	40.48	5.48

ตารางที่ ค.6 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 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



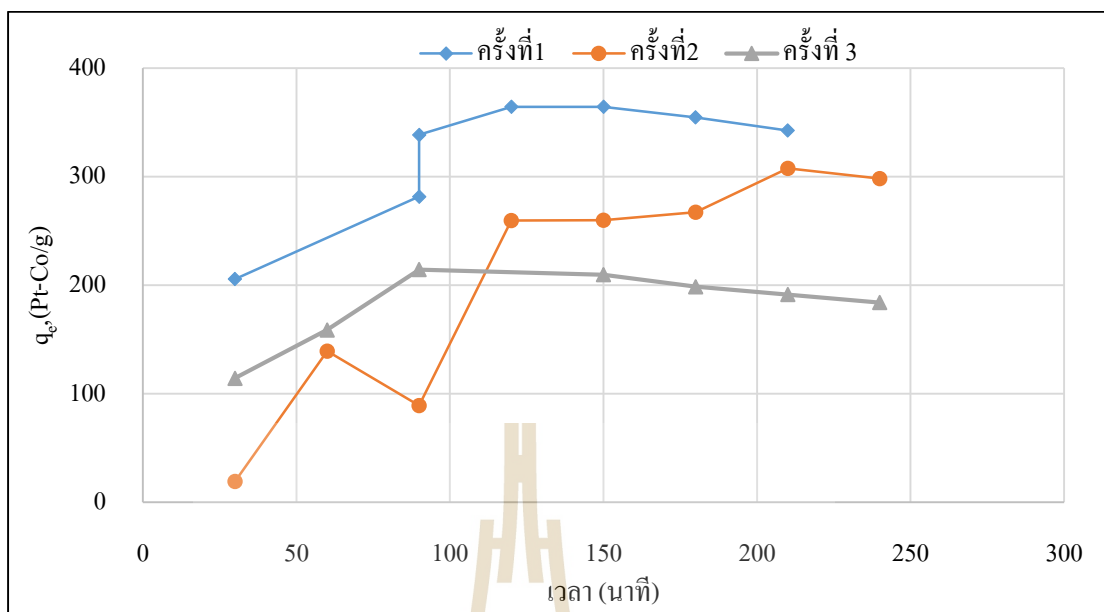
รูปที่ ค.3 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย
ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 3 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	50,272.19	29,544.44	-	-
30	46,011.83	28,955.56	8.47	1.99
60	39,195.27	28,700.00	22.03	2.86
90	39,195.27	28,366.67	22.03	3.99
120	37,491.12	29,522.22	25.42	0.08
150	41,751.48	28,311.11	16.95	4.17
180	37,491.12	28,333.33	25.42	4.10
210	37,491.12	28,333.33	25.42	4.10
240	37,491.12	28,333.33	25.42	4.10

ตารางที่ ค.8 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติ โดยถ่านกัมมันต์

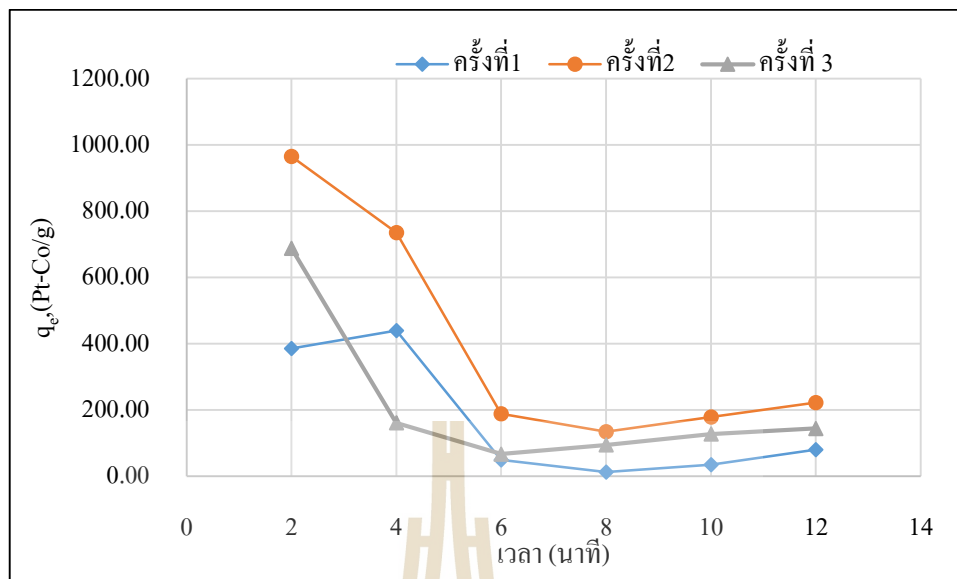
เวลา (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ q_c (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	205.70	19.20	114.24	19.20	205.70	113.04	93.25
60	357.64	139.21	158.75	139.21	357.64	218.53	120.87
90	281.64	88.97	214.34	88.97	281.64	194.99	97.78
120	338.52	259.59	3.91	3.91	338.52	200.67	174.91
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 ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติ ด้วยถ่านกัมมันต์

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

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

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

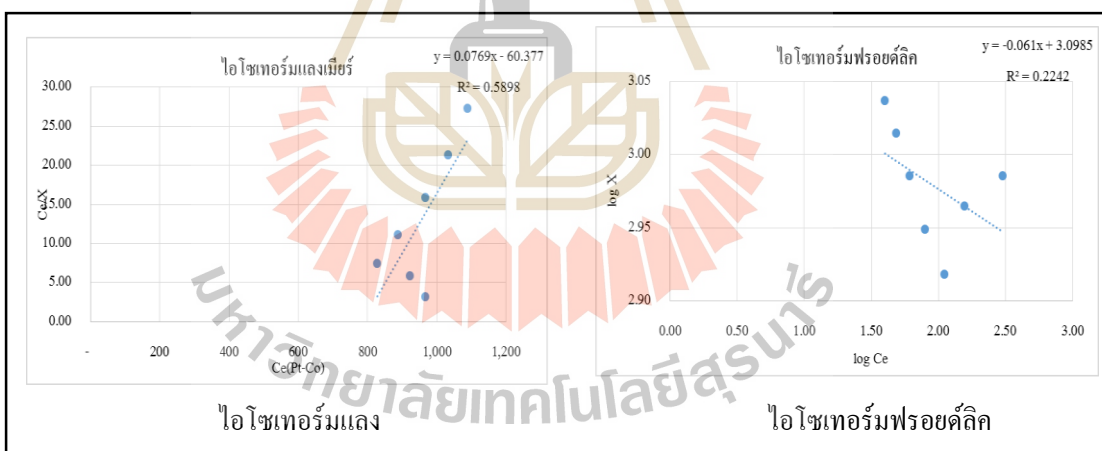
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	2.3	50,000.00	44,544.44		
2	4.29	40,000.00	5,911.11	20.00	86.73
4	6.35	37,719.30	15,133.33	24.56	66.03
6	8.29	40,175.44	37,011.11	19.65	16.91
8	9.99	39,473.68	39,166.67	21.05	12.07
10	11.59	41,929.82	37,388.89	16.14	16.06
12	2.3	43,684.21	35,633.33	12.63	20.00

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

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	9.97	43,707.32	26,894.44	-	-
2	2.79	30,681.82	622.22	29.80	97.69
4	5.35	34,431.82	23,100.00	21.22	14.11
6	7.43	35,795.45	25,933.33	18.10	3.57
8	8.82	31,704.55	25,766.67	27.46	4.19
10	10.54	33,068.18	24,455.56	24.34	9.07
12	12.39	33,750.00	23,766.67	22.78	11.63

ตารางที่ ค.13 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 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



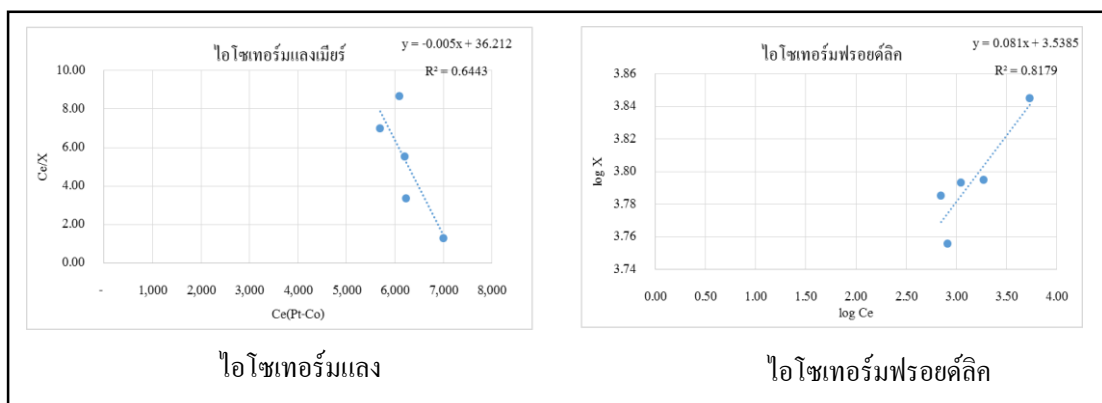
รูปที่ ค.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	9.97	34,239.13	21,550.00		
0.0000	4.17	27,880.43	1,244.44	18.57	94.23
1.0009	4.27	29,836.96	967	12.86	95.51
2.0006	4.3	27,880.43	922	18.57	95.72
3.0002	4.35	25,597.83	828	25.24	96.16
4.0016	4.43	26,413.04	889	22.86	95.88
5.0012	4.46	26,902.17	967	21.43	95.51
6.0001	4.53	27,880.43	1,033	18.57	95.20
7.0014	4.55	26,902.17	1,089	21.43	94.95
8.0006	4.6	27,880.43	983	18.57	95.44

ตารางที่ ค.15 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 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



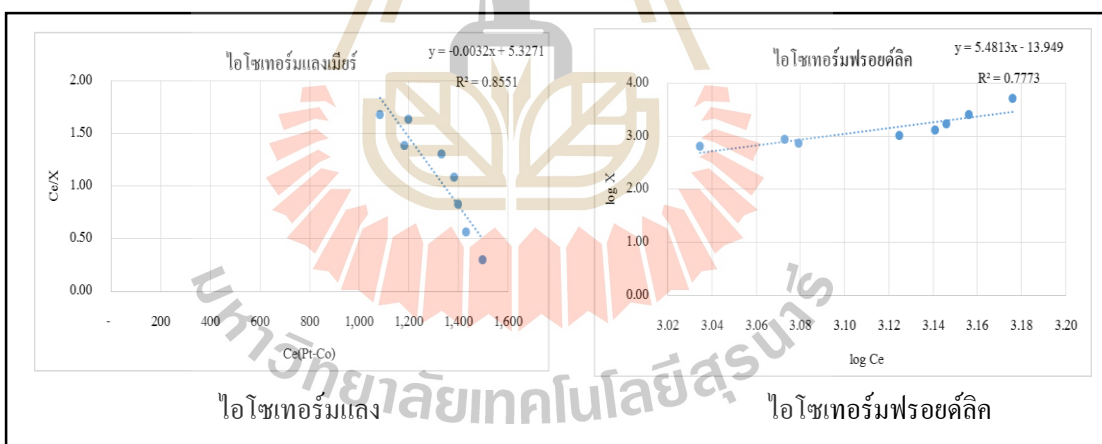
รูปที่ ค.7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

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

ตารางที่ ค.17 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 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



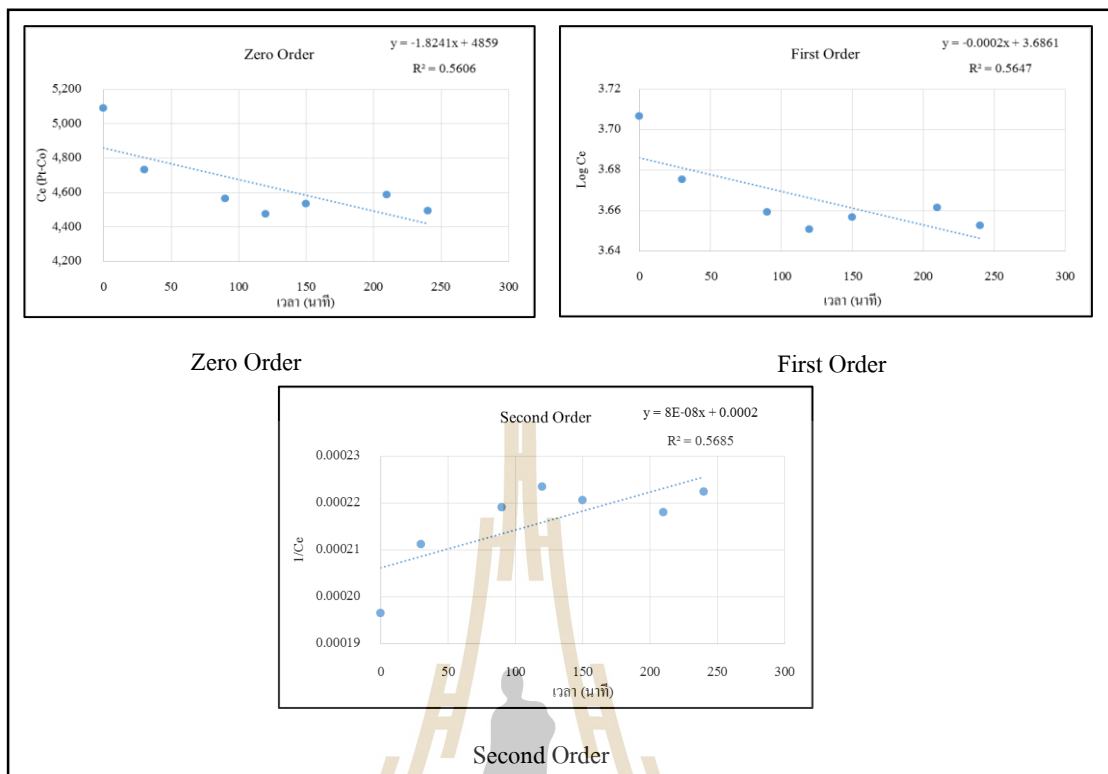
รูปที่ ค.8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	9.52	43,707.32	26,894.44		
0.0000	2.09	41,626.02	1,516.67	4.76	94.36
1.0012	2.11	41,105.69	1,500.00	5.95	94.42
2.0012	2.14	39,024.39	1,433.33	10.71	94.67
3.0008	2.17	37,983.74	1,400.00	13.10	94.79
4.0004	2.22	41,626.02	1,383.33	4.76	94.86
5.0014	2.23	42,146.34	1,333.33	3.57	95.04
6.0015	2.25	39,024.39	1,183.33	10.71	95.60
7.0001	2.28	42,146.34	1,200.00	3.57	95.54
8.0006	2.29	37,463.41	1,083.33	14.29	95.97

ตารางที่ ค.18 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 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



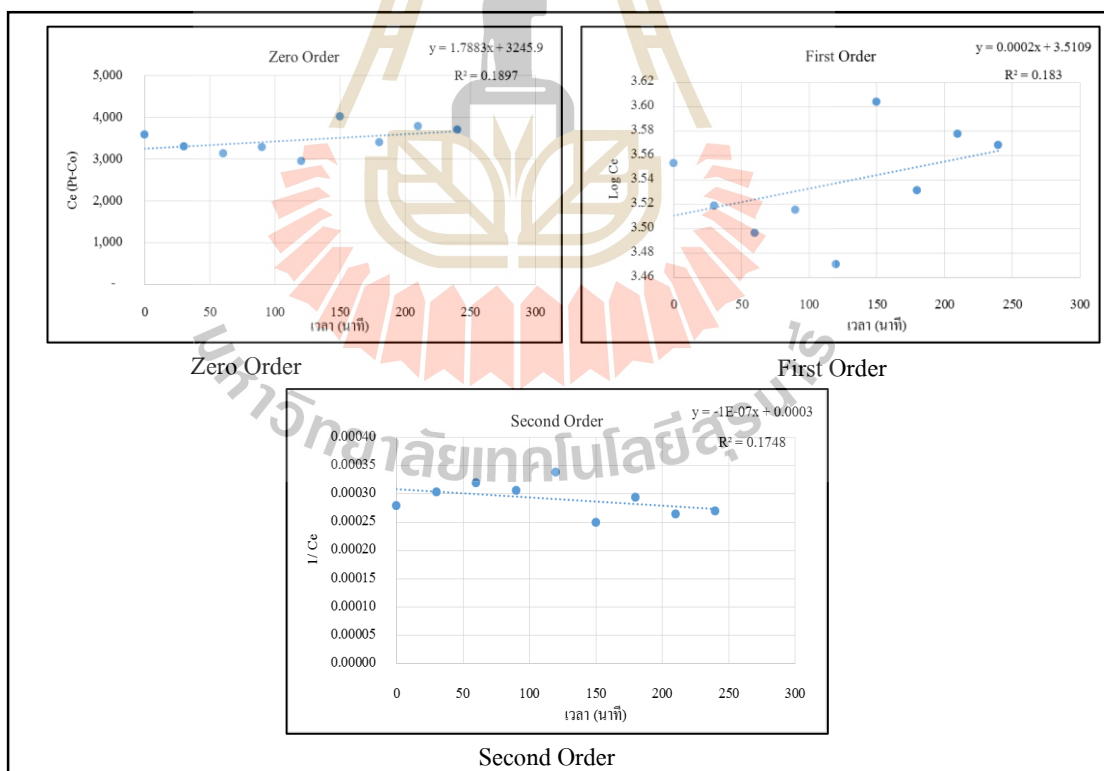
รูปที่ ค.9 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	14,278.40	5,089		
30	14,278.40	4,734	0.00	6.97
90	14,071.47	4,564	1.45	10.31
120	14,485.33	4,476	0.00	12.05
150	14,692.27	4,536	0.00	10.87
210	14,692.27	4,587	0.00	9.87
240	14,485.33	4,496	0.00	11.66

ตารางที่ ค.20 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำเชื่อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 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



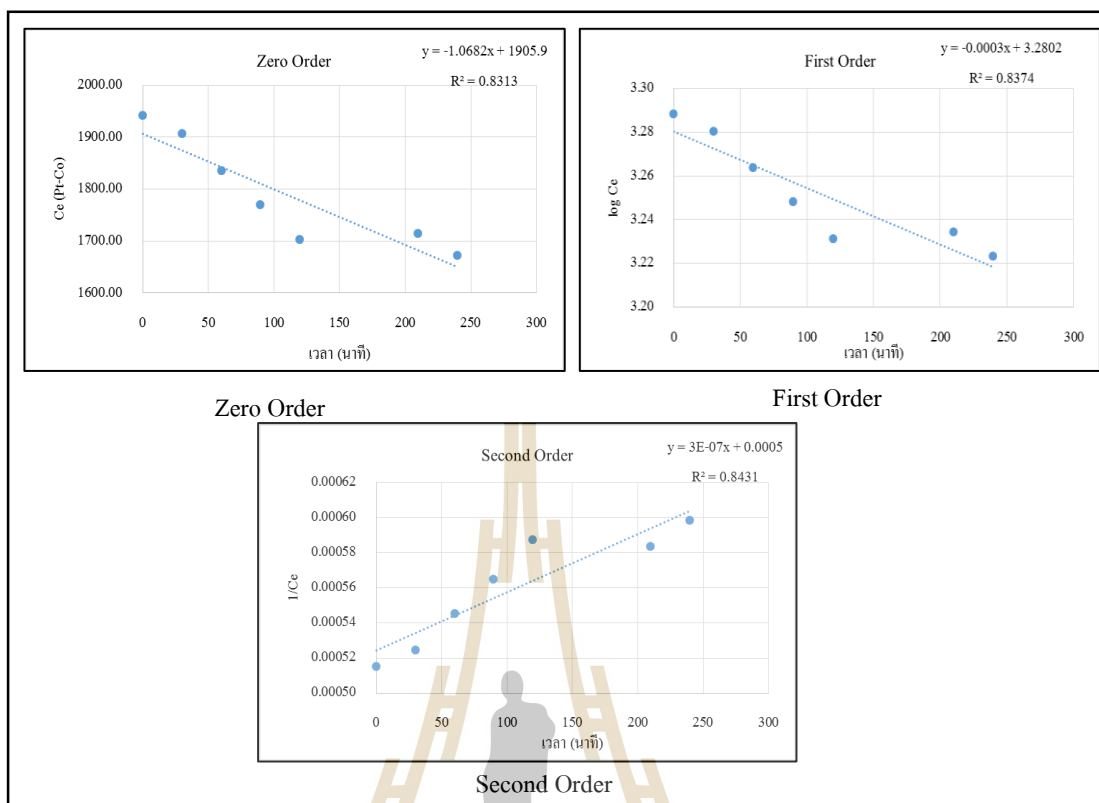
รูปที่ ค.10 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเชื่อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมธรรมชาติด้วย
ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.19 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	4,500.00	3,576.67		
30	3,900.00	3,298.89	0.00	7.77
60	3,300.00	3,136.67	13.33	12.30
90	4,500.00	3,276.67	26.67	8.39
120	4,200.00	2,954.44	0.00	17.40
150	3,600.00	4,017.78	6.67	0.00
180	3,300.00	3,398.89	20.00	4.97
210	3,300.00	3,781.11	26.67	0.00
240	3,300.00	3,703.33	26.67	0.00

ตารางที่ ค.20 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ
ครั้งที่ 3

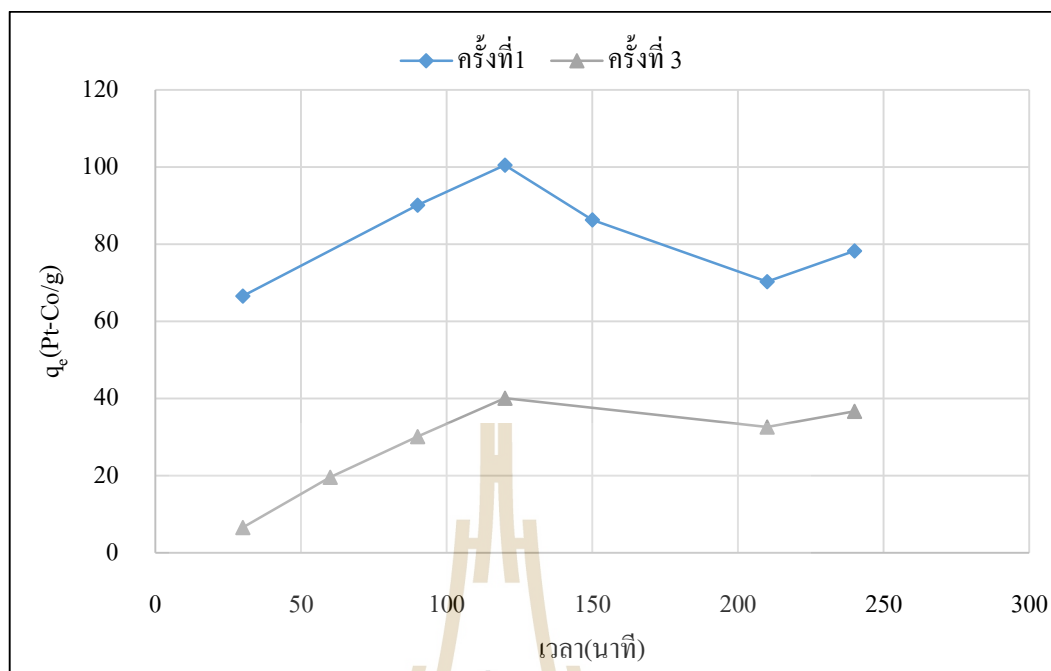
เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	1941.11	3.29	0.00052
30	1906.67	3.28	0.00052
60	1834.44	3.26	0.00055
90	1770.00	3.25	0.00056
120	1702.22	3.23	0.00059
210	1714.44	3.23	0.00058
240	1671.11	3.22	0.00060



รูปที่ ค.11 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.21 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

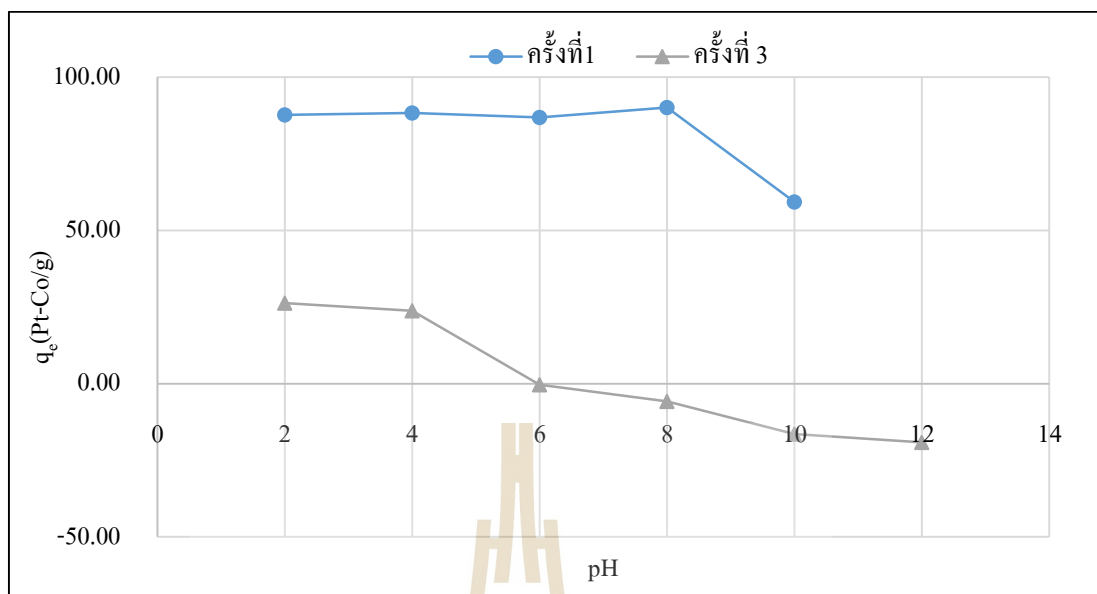
เวลา (นาที)	ความสามารถในการดูดซับ q_c (Pt-Co/g)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	66.59	6.61	6.61	66.59	36.60	42.41
60	156.29	19.62	19.62	156.29	87.95	96.64
90	90.14	30.11	30.11	90.14	60.12	42.45
120	100.51	40.12	40.12	100.51	70.32	42.70
150	86.26	18.13	18.13	86.26	52.19	48.17
180	202.94	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 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.22 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการที่
ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

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 ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ ด้วยถ่านกัมมันต์

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

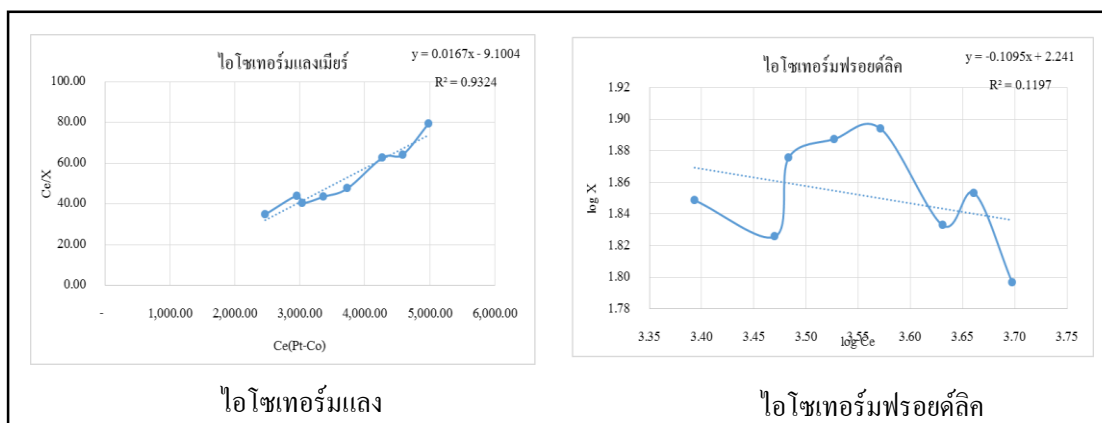
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	3.82	14,557.38	5,401.11		
2	2.36	10,426.23	1,891.11	28.38	64.99
4	5.12	10,426.23	2,213.33	28.38	59.02
6	7.25	11,016.39	1,868.89	24.32	65.40
8	8.45	10,426.23	1,925.56	28.38	64.35
10	9.27	11,901.64	1,797.78	18.24	66.71
12	11.02	11,016.39	3,030.00	24.32	43.90

ตารางที่ ค.24 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	3.80	11,803.28	1,743.33		
2	2.54	7,606.56	693.33	35.56	60.23
4	5.03	6,688.52	792.22	43.33	54.56
6	7.45	7,868.85	1,758.89	33.33	0.00
8	8.17	9,180.33	1,976.67	22.22	0.00
10	9.31	8,262.30	2,401.11	30.00	0.00
12	11.17	6,819.67	2,508.89	42.22	0.00

ตารางที่ ค.25 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 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



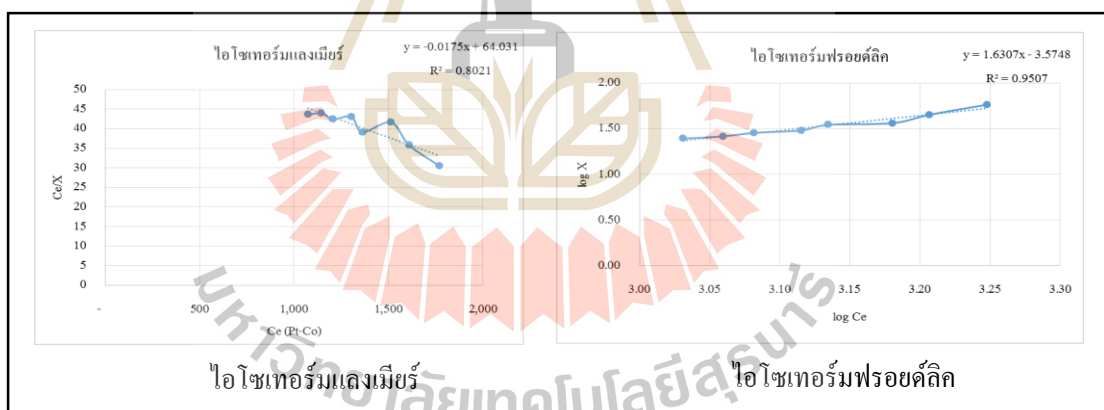
รูปที่ ค.24 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.26 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	17,400.00	5,573.33		
0.0000	16,800.00	5,296.67		
1.0007	16,200.00	4,983.33	3.57	5.92
2.0000	15,200.00	4,583.33	9.52	13.47
3.0015	14,600.00	4,275.56	13.10	19.28
4.0010	13,500.00	3,730.00	19.64	29.58
5.0018	14,400.00	3,366.67	14.29	36.44
6.0007	12,200.00	3,043.33	27.38	42.54
7.0017	12,000.00	2,953.33	28.57	44.24
8.0003	12,900.00	2,473.33	23.21	53.30

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



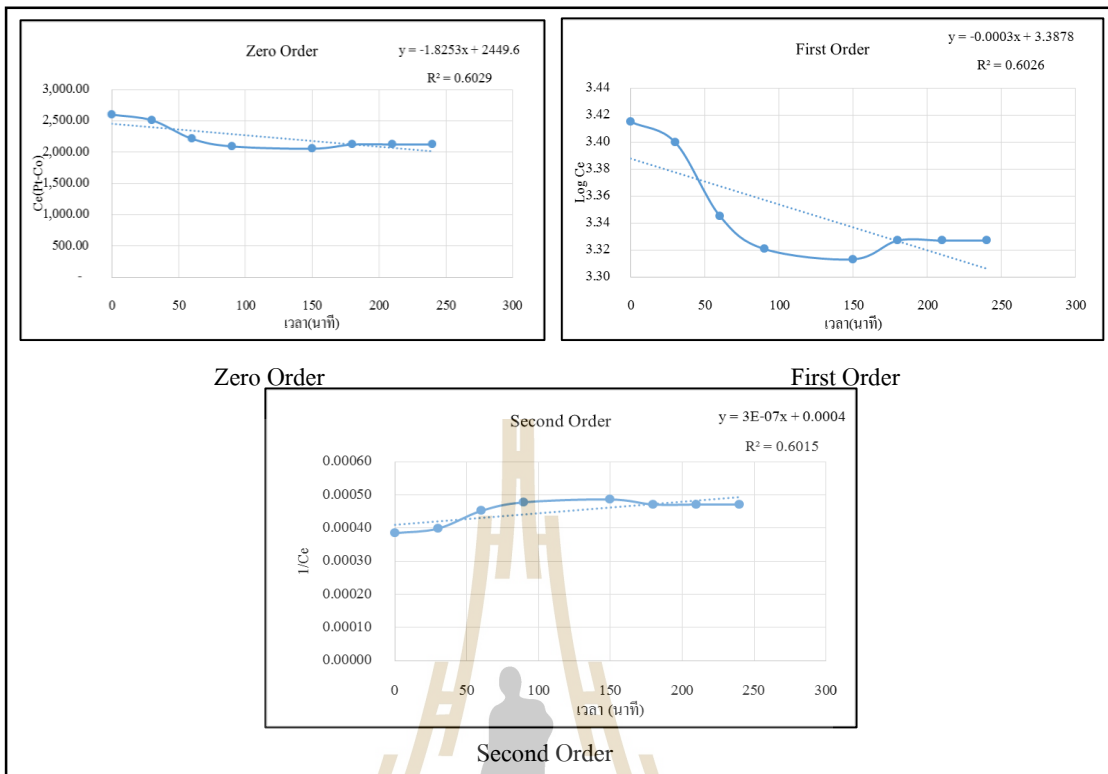
รูปที่ ค.25 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.28 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อม
ธรรมชาติครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	11,934.43	2,060		
0.0000	11,147.54	1,807		
1.0001	9,836.07	1,770	17.58	14.08
2.0007	9,049.18	1,610	24.18	21.84
3.0001	8,524.59	1,514	28.57	26.48
4.0006	8,262.30	1,363	30.77	33.82
5.0012	8,655.74	1,303	27.47	36.73
6.0015	8,262.30	1,207	30.77	41.42
7.0000	8,262.30	1,147	30.77	44.34
8.0011	8,262.30	1,074	30.77	47.84

ตารางที่ ค.29 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



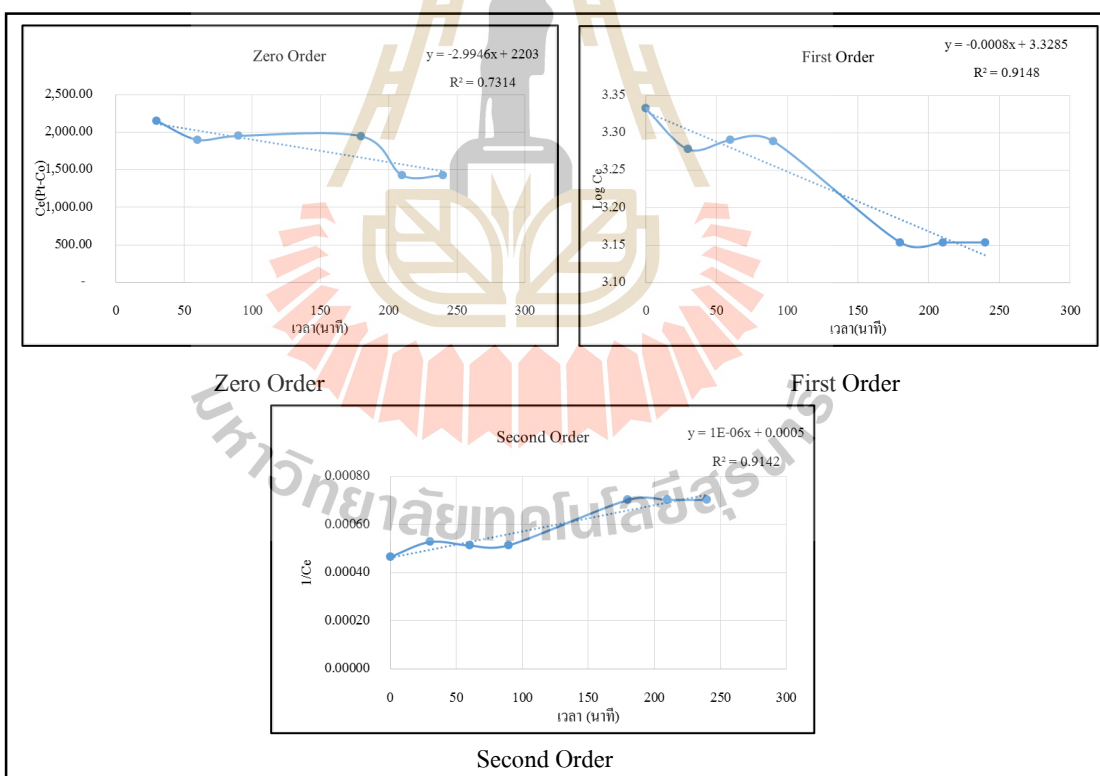
รูปที่ ค.26 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.30 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	45,483.87	2,600.00		
30	32,903.23	2,510.00	27.66	3.46
60	36,774.19	2,214.44	19.15	14.83
90	33,548.39	2,093.33	26.24	19.49
120	30,967.74	2,340.00	31.91	10.00
150	33,870.97	2,056.67	25.53	20.90
180	33,548.39	2,123.33	26.24	18.33
210	34,838.71	2,123.33	23.40	18.33
240	32,903.23	2,123.33	27.66	18.33

ตารางที่ ค.31 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	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



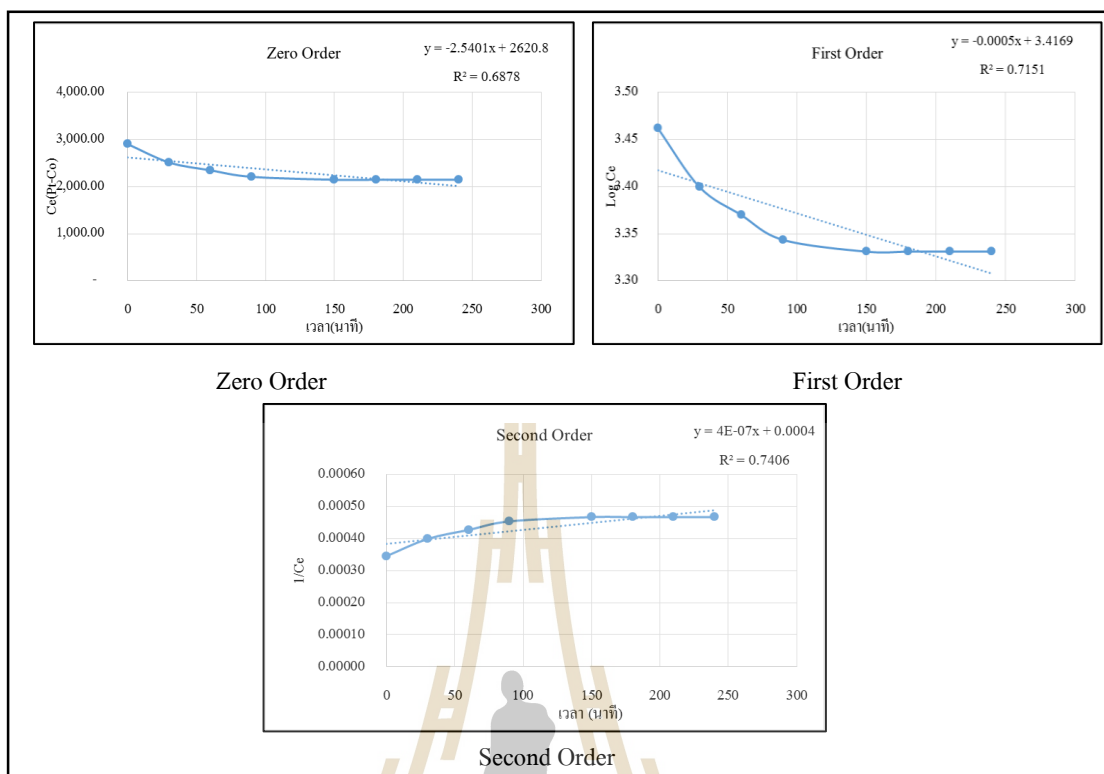
รูปที่ ค.27 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.32 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	64,396.80	2,150.00		
30	64,396.80	1,896.67	28.00	11.78
60	46,363.64	1,951.11	28.71	9.25
90	45,909.09	1,945.56	28.71	9.51
120	45,909.09	2,044.44	29.41	4.91
150	45,454.55	2,055.56	28.00	4.39
180	46,363.64	1,424.44	28.00	33.75
210	46,363.64	1,424.44	28.00	33.75
240	46,363.64	1,424.44	28.00	33.75

ตารางที่ ค.33 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



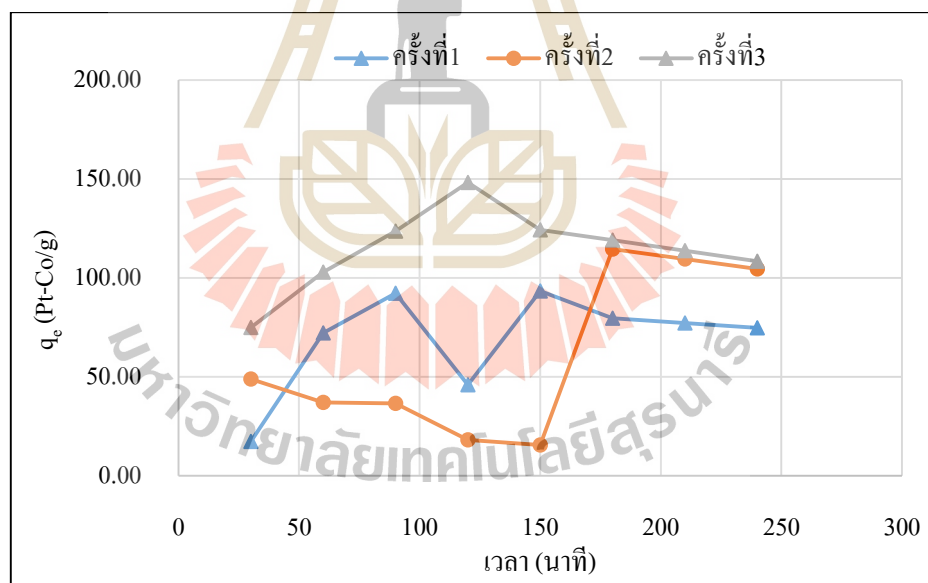
รูปที่ ค.28 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.34 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	63,648.00	2,896.67		
30	55,161.60	2,508.89	13.33	13.39
60	59,828.47	2,343.33	6.00	19.10
90	53,241.85	2,205.56	16.35	23.86
120	53,241.85	2,034.44	16.35	29.77
150	53,241.85	2,143.33	16.35	26.01
180	51,046.31	2,143.33	19.80	26.01
210	51,046.31	2,143.33	19.80	26.01
240	51,046.31	2,143.33	19.80	26.01

ตารางที่ ค. 35 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สี
ย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

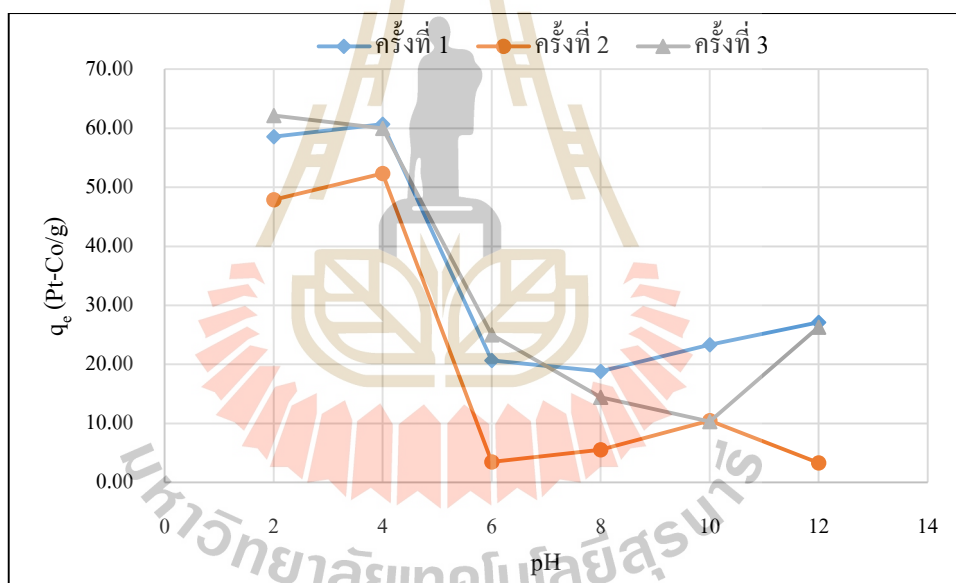
เวลา (นาทีก)	ความสามารถในการดูดซับ q_c (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	17.28	48.89	74.84	17.28	74.84	47.00	28.83
60	72.09	36.99	102.91	36.99	102.91	70.67	32.98
90	92.20	36.59	123.70	36.59	123.70	84.17	44.11
120	46.01	18.15	148.29	18.15	148.29	70.82	68.52
150	93.44	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 ผลของระยะเวลาสัมพัทธ์ที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้
สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.36 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์

pH	ความสามารถในการดูดซับ q_c (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 ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อม
เคมีครั้งที่ 1 ที่ pH ต่าง ๆ

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

ตารางที่ ค.38 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อม
เคมีครั้งที่ 2 ที่ pH ต่าง ๆ

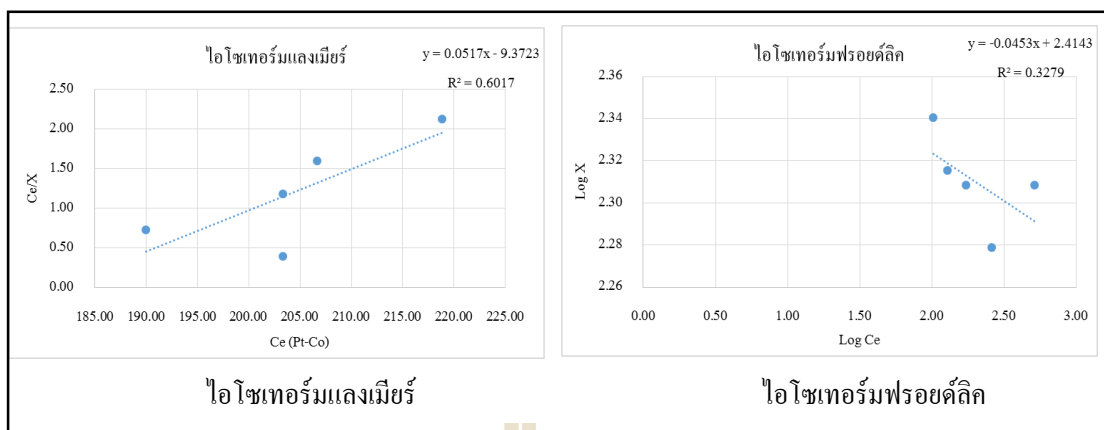
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	9.65	49,420.12	2,273.33		
2	2.12	46,011.83	356.67	6.90	84.31
4	4.13	46,863.91	180.00	5.17	92.08
6	6.4	46,011.83	2,133.33	6.90	6.16
8	7.98	48,852.07	2,051.11	1.15	9.78
10	11.25	46,863.91	1,853.33	5.17	18.48
12	9.96	46,011.83	2,140.00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

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

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	9.76	63,648.00	2,896.67		
2	2.23	55,636.36	410.00	12.59	85.85
4	4.42	57,272.73	496.67	10.02	82.85
6	6.51	53,454.55	1,895.56	16.02	34.56
8	8.17	57,818.18	2,318.89	9.16	19.95
10	10.15	62,181.82	2,484.44	2.30	14.23
12	11.51	56,727.27	1,844.44	10.87	36.33

ตารางที่ ค.40 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



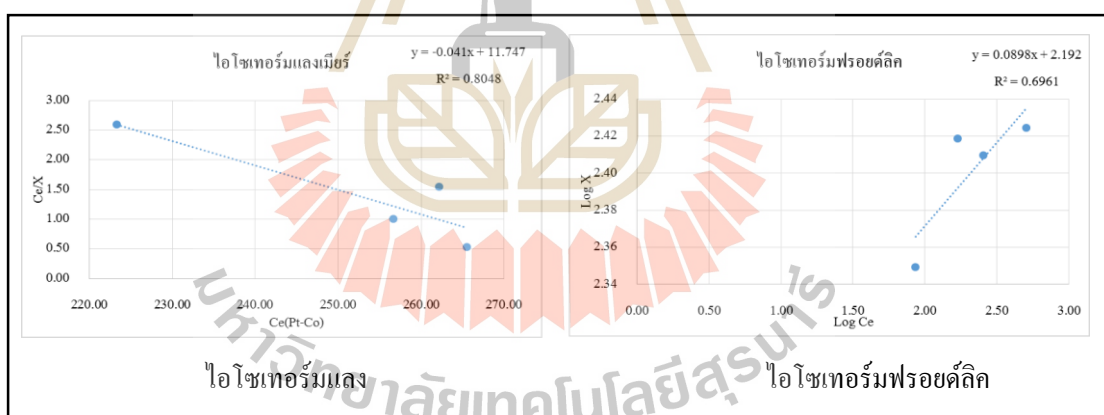
รูปที่ ค.31 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.41 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	34,239.13	2,793.33		
0.0000	31,141.30	273.33		
1.0004	31,304.35	203.33	8.57	92.72
2.0005	30,489.13	190.00	10.95	93.20
3.0010	32,282.61	203.33	5.71	92.72
4.0001	33,260.87	206.67	2.86	92.60
5.0013	32,282.61	218.89	5.71	92.16
6.0001	31,141.30	213.33	9.05	92.36
7.0012	31,141.30	215.56	9.05	92.28
8.0000	32,771.74	233.33	4.29	91.65

ตารางที่ ค.42 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี
ครั้งที่ 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



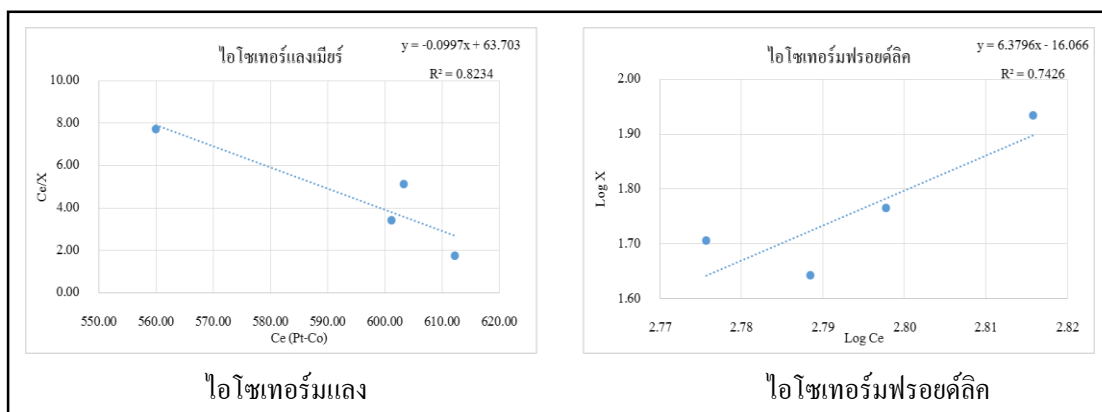
รูปที่ ค.32 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของ
สถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.43 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	50,869.57	2,810.00		
0.0000	50,086.96	293.33		
1.0002	50,347.83	265.56	1.03	90.55
2.0006	49,304.35	256.67	3.08	90.87
3.0001	50,086.96	262.22	1.54	90.67
4.0006	49,304.35	286.67	3.08	89.80
5.0014	46,956.52	273.33	7.69	90.27
6.0017	46,173.91	223.33	9.23	92.05
7.0011	43,826.09	255.56	13.85	90.91
8.0006	44,608.70	253.33	12.31	90.98

ตารางที่ ค.44 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



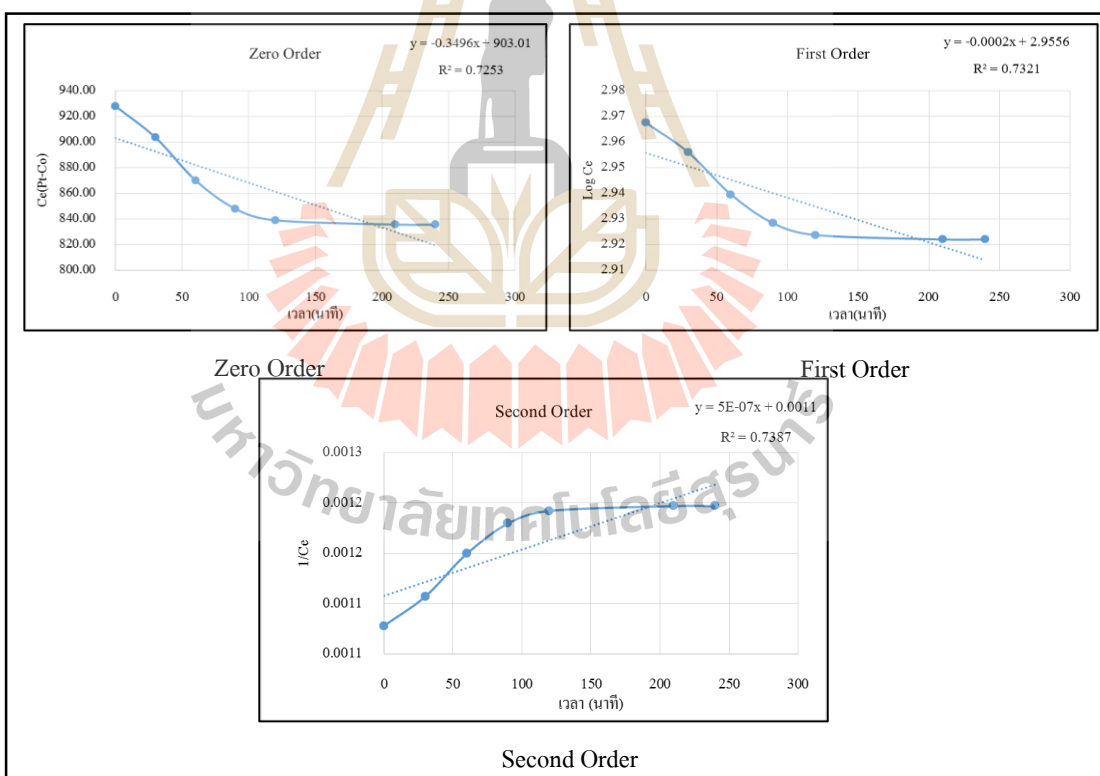
รูปที่ ค.33 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำฟอกของ
สถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.45 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	70,032.79	2,373.33		
0.0000	60,590.16	633.33		
1.0000	59,016.39	612.22	15.73	74.20
2.0017	69,245.90	601.11	1.12	74.67
3.0002	64,524.59	603.33	7.87	74.58
4.0016	59,803.28	654.44	14.61	72.43
5.0008	60,327.87	560.00	13.86	76.40
6.0006	62,163.93	627.78	11.24	73.55
7.0009	55,081.97	596.67	21.35	74.86
8.0005	57,442.62	614.44	17.98	74.11

ตารางที่ ค.46 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้ขี้อมเคมีครั้งที่ 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



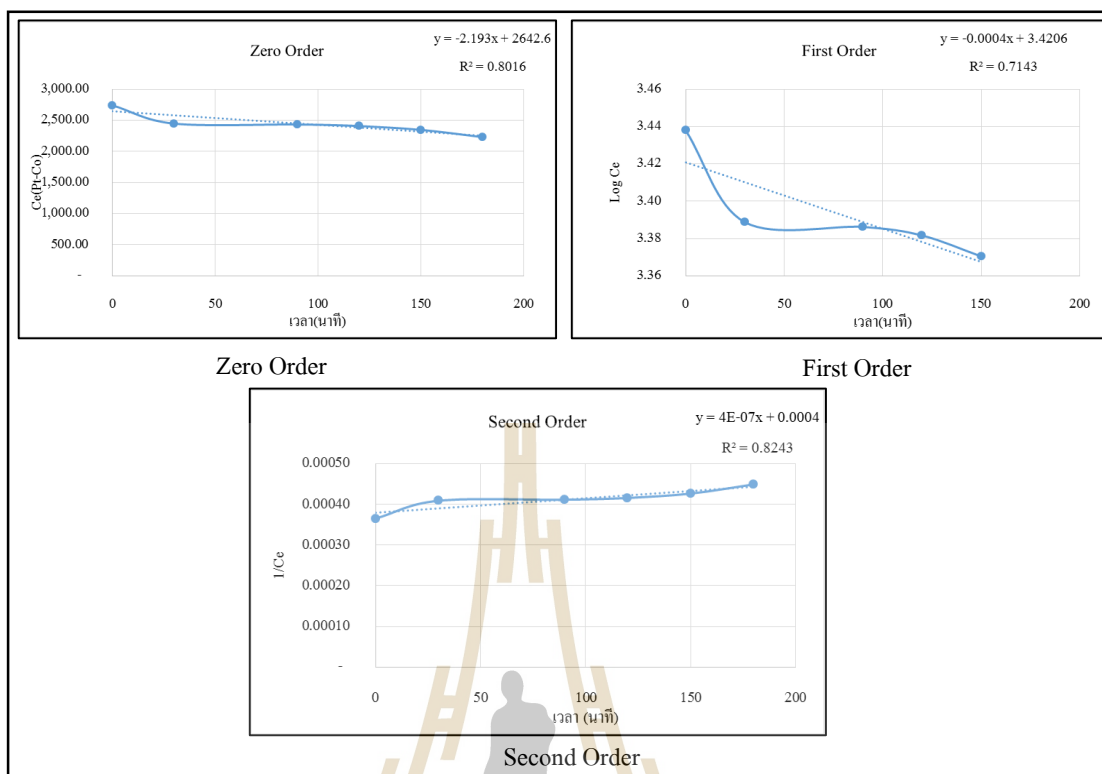
รูปที่ ค.34 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำขี้อมของสถานประกอบการที่ใช้ขี้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.47 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 1 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	2,640.00	927.78		
30	2,160.00	903.33	18.18	2.63
60	2,460.00	870.00	6.82	6.23
90	2,520.00	847.78	4.55	8.62
120	2,280.00	838.89	13.64	9.58
150	1,920.00	822.22	27.27	11.38
180	2,040.00	854.44	22.73	7.90
210	2,160.00	835.56	18.18	9.94
240	2,040.00	835.56	22.73	9.94

ตารางที่ ค.48 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



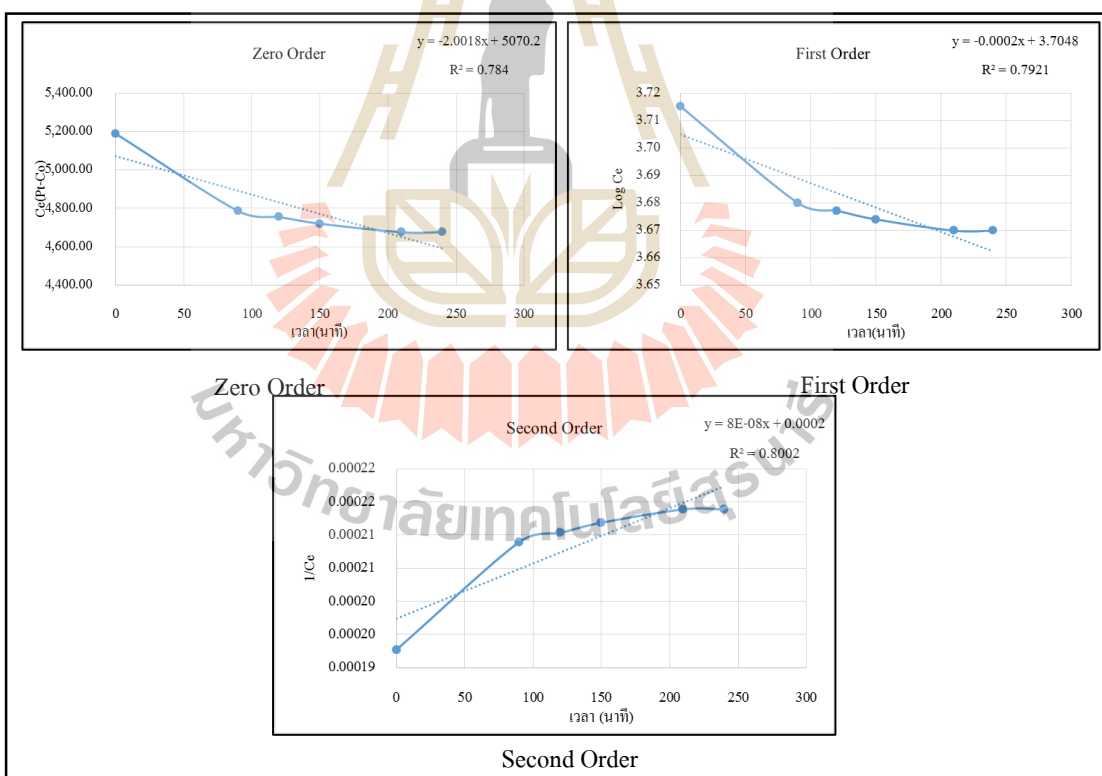
รูปที่ ค.35 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.49 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีครั้งที่ 2 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาที)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	3,909.09	2,741.11		
30	3,545.45	2,447.78	10.70	9.30
60	3,181.82	2,285.56	16.62	18.60
90	2,454.55	2,433.33	11.23	37.21
120	2,909.09	2,407.78	12.16	25.58
150	2,909.09	2,346.67	14.39	25.58
180	2,787.88	2,228.89	18.69	28.68
210	3,469.12	2,366.67	13.66	11.26
240	3,187.84	2,236.67	18.40	18.45

ตารางที่ ค.50 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำเชื่อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีครั้งที่ 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



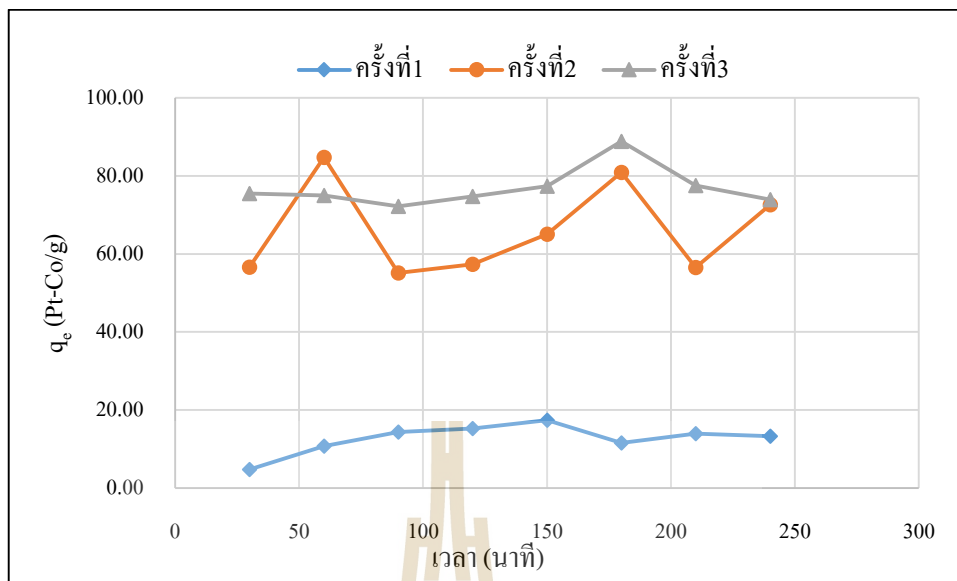
รูปที่ ค.36 กราฟจลนพลศาสตร์การดูดซับน้ำเชื่อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.51 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 3 ที่ระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลา (นาท)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
0	3,085.71	5,188.89		
30	2,537.14	4,797.78	17.78	7.54
60	2,605.71	4,785.56	15.56	7.77
90	2,537.14	4,785.56	17.78	7.77
120	2,537.14	4,754.44	17.78	8.37
150	2,640.00	4,720.00	14.44	9.04
180	2,468.57	4,626.67	20.00	10.84
210	2,468.57	4,675.56	20.00	9.89
240	2,468.57	4,675.56	20.00	9.89

ตารางที่ ค.52 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับน้ำย้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

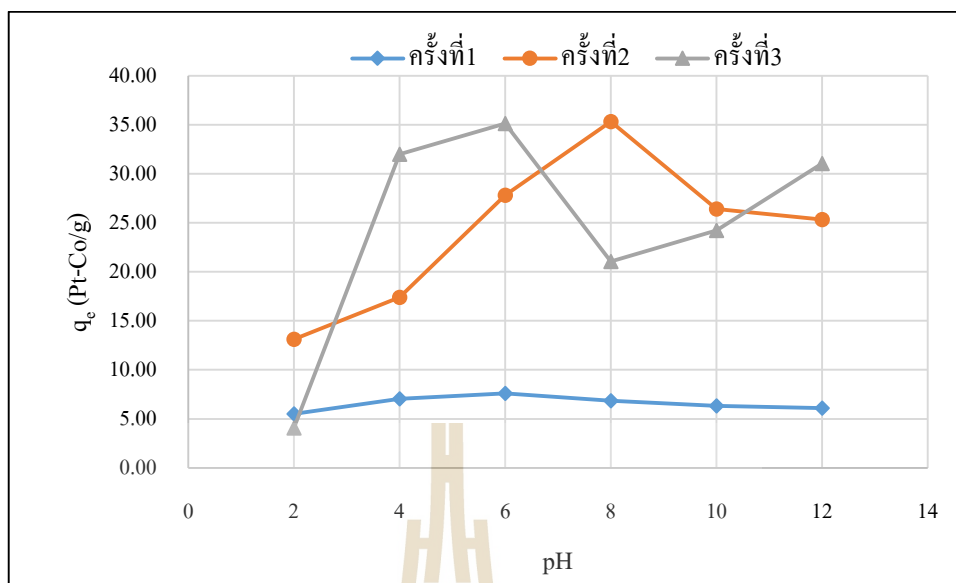
เวลา (นาท)	ความสามารถในการดูดซับ q_c (Pt-Co/g)						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Min	Max	Mean	S.D.
30	4.72	56.61	75.47	4.72	75.47	45.60	36.64
60	10.75	84.72	75.01	10.75	84.72	56.83	40.20
90	14.32	55.09	72.19	14.32	72.19	47.20	29.73
120	15.29	57.33	74.71	15.29	74.71	49.11	30.55
150	17.42	65.08	77.35	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 ผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ค.53 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำข้อมของสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีโดยถ่านกัมมันต์

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 ที่มีต่อค่าการดูดซับสีในน้ำฟอกของของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

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

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

ตารางที่ ค.55 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีครั้งที่ 2 ที่ pH ต่าง ๆ

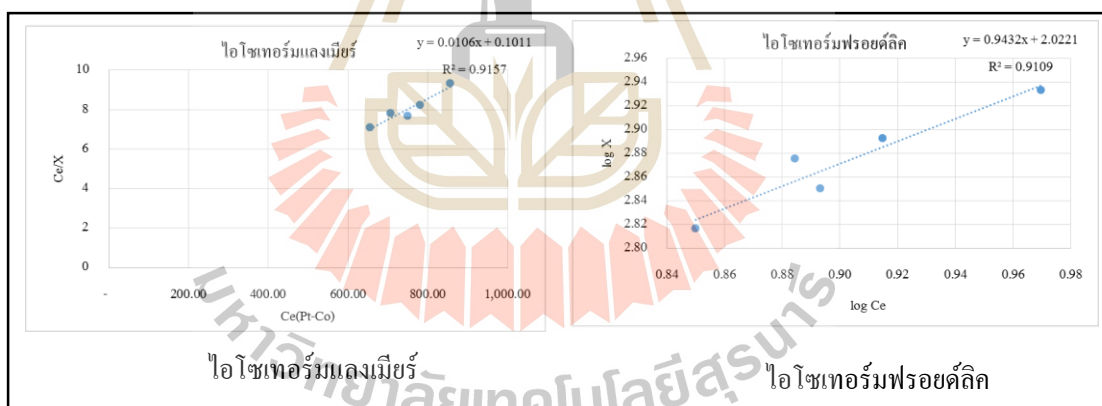
pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	7.01	1,862.07	2,823.33		
2	2.56	1,034.48	2,298.89	44.44	18.58
4	6.64	1,241.38	2,126.67	33.33	24.68
6	7.12	1,241.38	1,710.00	33.33	39.43
8	7.7	1,034.48	1,410.00	44.44	50.06
10	9.25	1,379.31	1,766.67	25.93	37.43
12	11.28	1,448.28	1,810.00	22.22	35.89

ตารางที่ ค.56 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีครั้งที่ 3 ที่ pH ต่าง ๆ

pH	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	2.53	3,085.71	5,188.89		
2	6.94	2,659.09	5,026.67	13.83	3.13
4	7.33	2,386.36	3,908.89	22.66	24.67
6	7.61	1,840.91	3,783.33	40.34	27.09
8	9.66	2,522.73	4,346.67	18.24	16.23
10	11.77	2,045.45	4,220.00	33.71	18.67
12	2.53	2,386.36	3,946.67	22.66	23.94

ตารางที่ ค.57 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 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



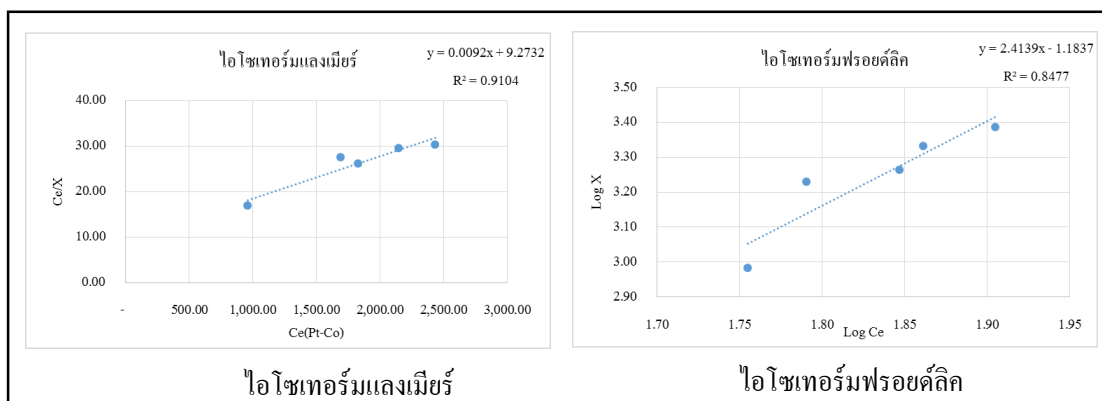
รูปที่ ค.39 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อม
ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.58 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีครั้งที่ 1 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	2,640.00	903.33		
0.0000	4,063.49	924.44		
1.0007	3,238.10	856.67	0.00	5.17
2.001	3,238.10	842.22	0.00	6.77
3.0004	4,000.00	780.00	0.00	13.65
4.001	3,174.60	750.00	0.00	16.97
5.0012	2,793.65	707.78	0.00	21.65
6.0008	3,047.62	714.44	0.00	20.91
7.0002	1,904.76	655.56	27.85	27.43
8.0013	2,285.71	673.33	13.42	25.46

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



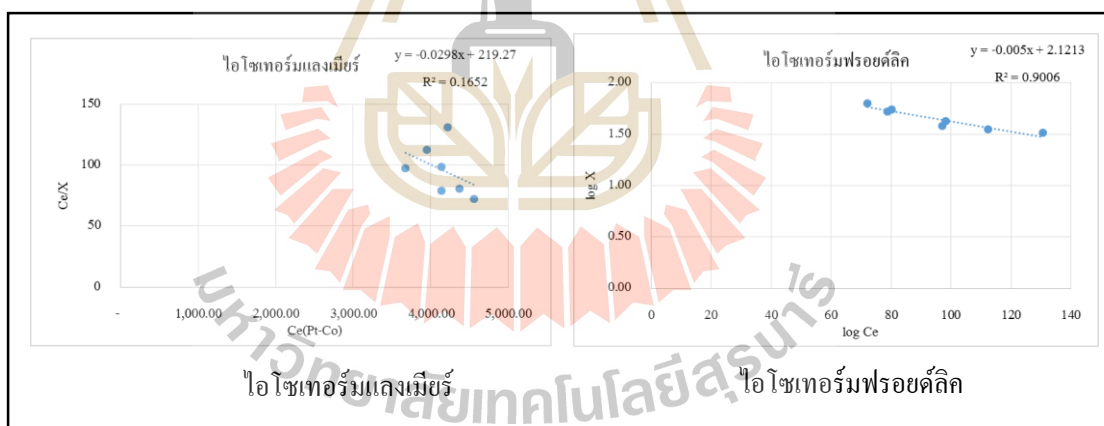
รูปที่ ค.40 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ของการดูดซับน้ำย้อม
ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.60 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
เคมีครั้งที่ 2 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	1,862.07	2,823.33		
0.0000	4,063.49	3,236.67		
1.0000	4,000.00	2,894.44	1.56	10.57
2.0008	3,809.52	2,432.22	6.25	24.85
3.0003	3,428.57	2,146.67	15.63	33.68
4.0007	3,047.62	1,830.00	25.00	43.46
5.0003	3,555.56	1,693.33	12.50	47.68
6.0006	3,428.57	975.56	15.63	69.86
7.0004	3,047.62	1,483.33	25.00	54.17
8.0004	2,285.71	960.00	43.75	70.34

ตารางที่ ค.61 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี
ครั้งที่ 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 ของการดูดซับน้ำย้อม
ของสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีด้วยถ่านกัมมันต์ ครั้งที่ 3

ตารางที่ ค.62 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อม
เคมีครั้งที่ 3 เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	น้ำออก		%การกำจัด	
	COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	4,500.00	5,188.89		
0.0000	4,500.00	4,665.56		
1.0002	3,272.73	4,463.33	27.27	13.98
2.0002	4,431.82	4,557.78	1.52	12.16
3.0015	2,795.45	4,372.22	37.88	15.74
4.0000	3,068.18	4,138.89	31.82	20.24
5.0005	3,340.91	4,137.78	25.76	20.26
6.0012	2,931.82	4,220.00	34.85	18.67
7.0003	2,931.82	3,956.67	34.85	23.75
8.0012	3,068.18	3,676.67	31.82	29.14



ภาคผนวก ง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างกระบวนการ
โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับโดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคเอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

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	CF - Ad	14.023	28.986	16.735	-57.982	86.029	0.838	2	0.490	ไม่พบความแตกต่าง
Color	CF - Ad	-13.050	24.517	14.155	-73.955	47.855	-0.922	2	0.454	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ง.2 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคเอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

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	CF - Ad	19.685	13.527	9.565	-101.850	141.220	2.058	1	0.288	ไม่พบความแตกต่าง
Color	CF - Ad	34.505	17.402	12.305	-121.845	190.855	2.804	1	0.218	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ง.3 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน และกระบวนการดูดซับ

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	CF - Ad	21.070	14.475	8.357	-14.889	57.029	2.521	2	0.128	ไม่พบความแตกต่าง
Color	CF - Ad	7.357	9.680	5.589	-16.690	31.403	1.316	2	0.319	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ ง.4 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชันและ กระบวนการดูดซับ

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	CF - Ad	34.020	4.579	2.644	22.644	45.396	12.867	2	0.006	พบความแตกต่าง
Color	CF - Ad	43.363	25.591	14.775	-20.209	106.936	2.935	2	0.099	ไม่พบความแตกต่าง



ภาคผนวก จ

สถานะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบร่วมระหว่างกระบวนการ
โคเอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.1 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	966.67	2.99	0.0010
30	922.22	2.96	0.0011
60	916.67	2.96	0.0011
90	905.56	2.96	0.0011
120	866.67	2.94	0.0012
150	861.11	2.94	0.0012
180	861.11	2.94	0.0012
210	861.11	2.94	0.0012
240	861.11	2.94	0.0012

ตารางที่ จ.2 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	966.67			
0.0000	750.00			
1.0008	743.33	557.95	0.12	2.87
2.0006	722.22	260.08	0.44	2.86
3.0006	690.00	172.53	0.60	2.84
4.0007	673.33	175.68	0.58	2.83
5.0007	666.67	200.03	0.52	2.82
6.0007	652.22	200.14	0.51	2.81
7.0009	667.78	284.29	0.37	2.82
8.0008	662.22	301.80	0.34	2.82

ตารางที่ จ.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	3.98	28,228.23	966.67		
0.0000	4.04	21,157.89	750.00	25.05	22.41
1.0008	4.06	18,631.58	743.33	34.00	23.10
2.0006	4.10	22,736.84	722.22	19.45	25.29
3.0006	4.16	18,947.37	690.00	32.88	28.62
4.0007	4.23	18,631.58	673.33	34.00	30.34
5.0007	4.35	17,368.42	666.67	38.47	31.03
6.0007	4.33	17,368.42	652.22	38.47	32.53
7.0009	4.45	19,263.16	667.78	31.76	30.92
8.0008	4.45	18,000.00	662.22	36.23	31.49

ตารางที่ จ.4 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	350.00	2.54	0.0029
30	328.89	2.52	0.0030
60	324.44	2.51	0.0031
90	310.00	2.49	0.0032
120	308.89	2.49	0.0032
150	326.67	2.51	0.0031
180	316.67	2.50	0.0032
210	316.67	2.50	0.0032
240	316.67	2.50	0.0032

ตารางที่ จ.5 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติ

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	394.44			
0.0000	340.00			
1.0005	336.67	29.15	1.06	2.53
2.0006	303.33	33.30	0.96	2.48
3.0005	293.33	43.52	0.83	2.47
4.0002	261.11	39.17	0.82	2.42
5.0002	266.67	52.18	0.71	2.43
6.001	230.00	41.97	0.74	2.36
7.0005	220.00	44.14	0.70	2.34
8.0009	216.67	48.76	0.65	2.34

ตารางที่ จ.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อม
ธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	4.59	5,901.64	394.44		
0.0000	4.60	5,901.64	340.00	0.00	13.80
1.0005	4.62	5,377.05	336.67	8.89	14.65
2.0006	4.65	4,852.46	303.33	17.78	23.10
3.0005	4.67	5,114.75	293.33	13.33	25.63
4.0002	4.70	3,803.28	261.11	35.56	33.80
5.0002	4.72	3,540.98	266.67	40.00	32.39
6.0010	4.75	5,114.75	230.00	13.33	41.69
7.0005	4.80	4,327.87	220.00	26.67	44.23
8.0009	4.83	3,147.54	216.67	46.67	45.07

ตารางที่ จ.7 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	173.33	2.24	0.0058
30	82.22	1.91	0.0122
60	73.33	1.87	0.0136
90	85.56	1.93	0.0117
120	74.44	1.87	0.0134
150	73.33	1.87	0.0136
180	80.00	1.90	0.0125
210	73.33	1.87	0.0136
240	73.33	1.87	0.0136

ตารางที่ จ.8 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำฟอก 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	173.33			
0.0000	105.56			
1.0008	83.33	0.47	2.25	1.92
2.0006	106.67	1.24	1.93	2.03
3.0006	80.00	1.35	1.77	1.90
4.0007	100.00	2.31	1.64	2.00
5.0007	90.00	2.57	1.54	1.95
6.0007	86.67	2.95	1.47	1.94
7.0009	76.67	3.02	1.41	1.88
8.0008	70.00	3.12	1.35	1.85

ตารางที่ จ.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมีเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	3.85	12,727.27	173.33		
0.0000	3.89	12,315.79	105.56	3.23	89.08
1.0008	3.93	10,421.05	83.33	18.12	91.38
2.0006	3.92	11,368.42	106.67	10.68	88.97
3.0006	3.94	5,684.21	80.00	55.34	91.72
4.0007	4.01	11,368.42	100.00	10.68	89.66
5.0007	4.11	10,421.05	90.00	18.12	90.69
6.0007	4.05	11,368.42	86.67	10.68	91.03
7.0009	4.15	11,368.42	76.67	10.68	92.07
8.0008	3.89	9,473.68	70.00	25.56	92.76

ตารางที่ จ.10 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

เวลา (นาที)	Ce (Pt-Co)	Log Ce	1/Ce
0	416.67	2.62	0.0024
30	393.33	2.59	0.0025
60	301.11	2.48	0.0033
90	223.33	2.35	0.0045
120	245.56	2.39	0.0041
150	220.00	2.34	0.0045
180	217.78	2.34	0.0046
210	113.33	2.05	0.0088
240	113.33	2.05	0.0088

ตารางที่ จ.11 ผลการศึกษาค่าคงที่การดูดซับน้ำย้อม 200 ml จากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี

AC (g)	Ce(Pt-Co)	Ce/X	Log X	Log Ce
เริ่มต้น	273.33			
0.0000	211.11			
1.0002	210.00	16.58	1.10	2.32
2.0002	150.00	12.16	1.09	2.18
3.0000	156.67	20.14	0.89	2.19
4.0001	163.33	29.70	0.74	2.21
5.0006	137.78	25.41	0.73	2.14
6.0001	135.56	29.52	0.66	2.13
7.0002	118.89	26.94	0.64	2.08
8.0000	116.67	29.79	0.59	2.07

ตารางที่ จ.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีและ COD ของน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่างกัน

AC (g)	pH หลังดูดซับ	น้ำออก		%การกำจัด	
		COD (mg/l)	สี (Pt-Co)	COD	สี
เริ่มต้น	4.62	546.53	273.33		
0.0000	4.57	475.25	211.11	13.04	22.76
1.0002	4.58	332.67	210.00	39.13	23.17
2.0002	4.6	190.10	150.00	65.22	45.12
3.0000	4.66	237.62	156.67	56.52	42.68
4.0001	4.65	190.10	163.33	65.22	40.24
5.0006	4.67	142.57	137.78	73.91	49.59
6.0001	4.69	237.62	135.56	56.52	50.41
7.0002	4.75	95.05	118.89	82.61	56.50
8.0000	4.76	95.05	116.67	82.61	57.32

ตารางที่ จ.13 ประสิทธิภาพของระบบรวมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Coagulation			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
9.92	48,712.87	23,055.56	3.98	28,228.23	966.67	42.05	95.81
หลังกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
3.98	8,228.23	966.67	4.33	17,368.42	652.22	38.47	32.53
ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
9.92	48,712.87	23,055.56	4.33	17368.42	652.22	64.35	97.17

ตารางที่ จ.14 ประสิทธิภาพของระบบรวมสำหรับน้ำย้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติ

ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Coagulation			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
3.38	7,836.73	645.56	4.59	6,857.14	327.78	12.50	49.23
หลังกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
4.59	6,857.14	327.78	5.11	3,147.54	216.67	54.10	33.90
ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
3.38	7,836.73	645.56	5.11	3,147.54	216.67	59.84	66.44

ตารางที่ จ.15 ประสิทธิภาพของระบบรวมสำหรับน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการCoagulation			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
9.71	17,272.73	9,833.33	3.85	12,727.27	173.33	26.32	98.24
หลังกระบวนการCoagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
3.85	12,727.27	173.33	3.85	11,368.42	86.67	10.68	50.00
ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
9.71	17,272.73	9,833.33	3.98	11,368.42	86.67	34.18	99.12

ตารางที่ จ.16 ประสิทธิภาพของระบบรวมสำหรับน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีข้อมเคมี

ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการCoagulation			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
7.69	2,257.43	1,033.33	4.62	546.50	273.33	75.79	73.55
หลังกระบวนการCoagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
4.62	546.50	273.33	4.69	47.52	30.00	91.30	89.02
ก่อนกระบวนการ Coagulation			หลังกระบวนการ Adsorption			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
7.69	2,257.43	1,033.33	4.69	47.52	30.00	97.89	97.10

ตารางที่ จ.17 ประสิทธิภาพของระบบรวมในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมสีธรรมชาติ

ครั้งที่	ก่อนการบำบัด			หลังการบำบัด			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
1	9.88	44,742.86	22,133.33	4.89	30,342.86	1,094.44	32.18	95.06
2	9.56	50,914.29	41,200.00	4.56	29,828.7	1,686.67	41.41	95.91
3	9.97	35,382.86	27,266.67	4.88	17,280.00	770.00	51.16	97.18
4	9.83	58,422.86	35,333.33	4.81	29,897.14	778.89	48.83	97.80
5	8.14	15,942.86	9,811.11	5.26	10,114.29	180.00	36.56	98.17
Min	8.14	15,942.86	9,811.11	4.56	10,114.29	180.00	32.18	95.06
Max	9.97	58,422.86	41,200.00	5.26	30,342.86	1,686.67	51.16	98.17
Mean	9.48	41,081.14	27,148.89	4.88	23,492.57	902.00	42.03	96.82
S.D.	0.76	16,395.41	12,146.88	0.25	9,296.03	549.23	8.01	1.31

ตารางที่ จ.18 ประสิทธิภาพของระบบร่วมในการบำบัดน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมสีธรรมชาติ

ครั้งที่	ก่อนการบำบัด			หลังการบำบัด			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
1	5.06	24,065.93	1,260.00	4.63	10,549.45	606.67	56.16	51.85
2	5.21	15,824.18	1,335.56	4.91	7,252.75	422.22	54.17	68.39
3	5.01	21,758.24	1,786.67	4.86	10,549.45	858.89	51.52	51.93
4	6.90	17,802.20	12,640.00	5.53	7,912.09	1,126.67	55.56	91.09
5	4.81	6,263.74	1,381.11	5.84	2,307.69	408.89	63.16	70.39
Min	4.81	6,263.74	1,260.00	4.63	2,307.69	408.89	51.52	51.85
Max	6.90	24,065.93	12,640.00	5.84	10,549.45	1,126.67	63.16	91.09
Mean	5.40	17,142.86	3,680.67	5.15	7,714.29	684.67	56.11	66.73
S.D.	0.85	6,887.66	5,012.58	0.51	3,374.90	306.89	4.33	16.20

ตารางที่ จ.19 ประสิทธิภาพของระบบรวมในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำย้อมเคมี

ครั้งที่	ก่อนการบำบัด			หลังการบำบัด			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
1	9.60	50,228.57	2,643.33	4.38	36,171.43	147.78	27.99	94.41
2	9.71	11,828.57	762.22	4.43	7,371.43	13.33	37.68	98.25
3	9.63	62,811.43	2,984.44	4.38	48,548.57	153.33	22.71	94.86
4	9.76	57,325.71	2,546.67	4.60	40,868.57	158.89	28.71	93.76
5	9.70	22,217.14	1,380.00	4.70	11,794.29	75.56	46.91	94.52
Min	9.60	11,828.57	762.22	4.38	7,371.43	13.33	22.71	93.76
Max	9.76	62,811.43	2,984.44	4.70	48,548.57	158.89	46.91	98.25
Mean	9.68	40,882.29	2,063.33	4.50	28,950.86	109.78	32.80	95.16
S.D.	0.06	22,534.04	945.82	0.14	18,291.11	63.69	9.55	1.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.20 ประสิทธิภาพของระบบร่วมในการบำบัดน้ำข้อมจากสถานประกอบการที่ใช้น้ำข้อมเคมี

ครั้งที่	ก่อนการบำบัด			หลังการบำบัด			ประสิทธิภาพในการบำบัด(%)	
	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	pH	COD (mg/l)	สี(Pt-Co)	COD	สี
1	7.32	308.57	472.22	4.17	13.71	113.33	95.56	76.00
2	7.19	3,805.71	5,188.89	4.49	288.00	406.67	92.43	92.16
3	6.40	2,777.14	3,131.11	4.42	342.86	284.44	87.65	90.92
4	7.48	1,442.62	1,542.22	4.36	150.86	72.22	89.54	95.32
5	6.27	2,365.71	1,138.89	4.53	205.71	81.11	91.30	92.88
Min	6.27	308.57	472.22	4.17	13.71	72.22	87.65	76.00
Max	7.48	3,805.71	5,188.89	4.53	342.86	406.67	95.56	95.32
Mean	6.93	2,139.95	2,294.67	4.39	200.23	191.56	91.30	89.45
S.D.	0.56	1,329.66	1,890.73	0.14	127.77	147.87	2.99	7.69

ตารางที่ จ.21 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันกระบวนการดูดซับ และระบบร่วมระหว่างกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

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	Com-CF	-14.985	21.890	12.638	-69.363	39.392	-1.186	2	0.358	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-29.007	17.338	10.010	-72.077	14.064	-2.898	2	0.101	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	14.022	28.985	16.735	-57.981	86.024	0.838	2	0.490	ไม่พบความแตกต่าง
Color	Com-CF	-16.753	23.752	13.713	-75.756	42.249	-1.222	2	0.346	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-3.703	5.288	3.053	-16.839	9.432	-1.213	2	0.349	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	-13.050	24.517	14.155	-73.955	47.855	-0.922	2	0.454	ไม่พบความแตกต่าง



ตารางที่ จ.22 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สื่อชุมชนชาติโดยกระบวนการ โคนอกกุล
 ้นกระบวนการคูดซ้บ และระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคนอกกุลซ้นและกระบวนการคูดซ้บ

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	Com-CF	-14.795	16.483	11.655	-162.886	133.296	-1.269	1	0.425	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-31.765	0.884	0.625	-39.706	-23.824	-50.824	1	0.013	พบความแตกต่าง
	CF-Ad	16.970	17.367	12.280	-139.062	173.002	1.382	1	0.399	ไม่พบความแตกต่าง
Color	Com-CF	-13.385	66.885	47.295	-614.325	587.555	-.283	1	0.824	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-25.345	25.321	17.905	-252.850	202.160	-1.416	1	0.392	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	11.960	41.564	29.390	-361.475	385.395	.407	1	0.754	ไม่พบความแตกต่าง



ตารางที่ จ.23 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำฟอกจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมีโดยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน กระบวนการดูดซับ และระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับ

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	Com-CF	-4.603	21.276	12.284	-57.457	48.250	-0.375	2	0.744	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-25.673	11.196	6.464	-53.485	2.138	-3.972	2	0.058	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	21.070	14.475	8.357	-14.889	57.029	2.521	2	0.128	ไม่พบความแตกต่าง
Color	Com-CF	-0.963	5.719	3.302	-15.171	13.244	-0.292	2	0.798	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-8.320	8.188	4.72762	-28.661	12.021	-1.760	2	0.220	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	7.357	9.680	5.589	-16.690	31.403	1.316	2	0.319	ไม่พบความแตกต่าง

ตารางที่ จ.24 ผลทดสอบความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำขี้อมจากสถานประกอบการที่ใช้สีย้อมเคมี โดยกระบวนการ โคนอกกุเลชัน
กระบวนการดูดซับ และระบบร่วมระหว่างกระบวนการ โคนอกกุเลชันและกระบวนการดูดซับ

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	Com-CF	-15.087	11.879	6.858	-44.595	14.421	-2.200	2	0.159	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-49.107	9.314	5.377	-72.244	-25.969	-9.132	2	0.012	พบความแตกต่าง
	CF-Ad	34.020	4.579	2.644	22.644	45.396	12.867	2	0.006	พบความแตกต่าง
Color	Com-CF	-2.153	12.048	6.956	-32.082	27.776	-0.310	2	0.786	ไม่พบความแตกต่าง
	Com-Ad	-45.517	22.347	12.902	-101.030	9.996	-3.528	2	0.072	ไม่พบความแตกต่าง
	CF-Ad	43.363	25.591	14.775	-20.209	106.936	2.935	2	0.099	ไม่พบความแตกต่าง





ภาคผนวก จ

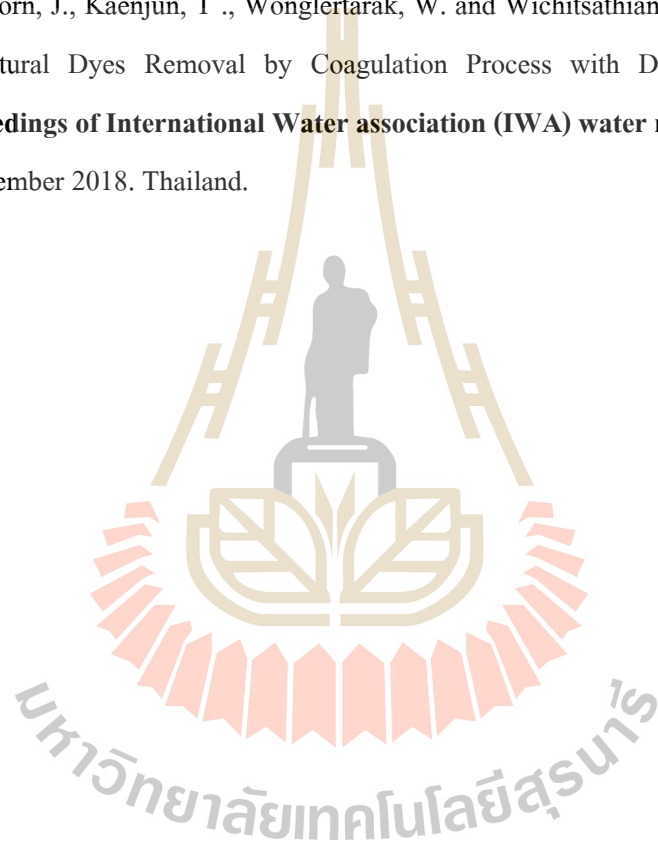
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Yimrattanabavorn, J., Kaenjun, T., Wonglertarak, W. and Wichitsathian, B. (2018). Combination Coagulation and Adsorption Processes for Treating Textile Wastewater in Household Industry. **International Journal of GEOMATE**, Vol.15(51), pp.16-21.

Yimrattanabovorn, J., Kaenjun, T., Wonglertarak, W. and Wichitsathian, B. (2018). Comparison of Natural Dyes Removal by Coagulation Process with Different Coagulants. **In proceedings of International Water association (IWA) water reuse 2018**. 30 October - 2 November 2018. Thailand.



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

*Jareeya Yimrattanabavorn¹, Tharika Kaenjun², Watcharapol Wonglerarak³ and Boonchai Wichitsathian⁴

^{1,2,3,4}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.

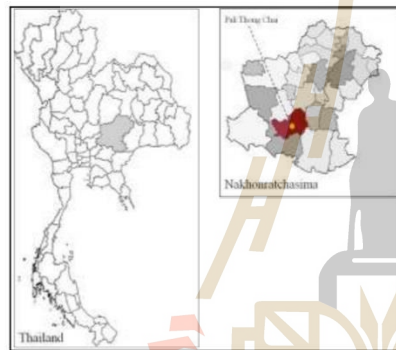


Fig. 1 The scope of this study namely Pak Thong Chai in the southern part of Nakhon Ratchasima Province

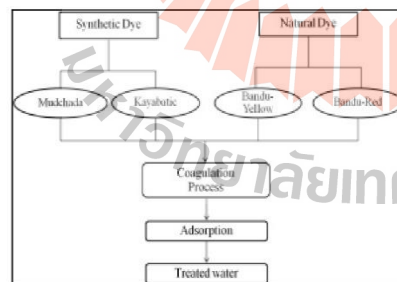


Fig. 2 The procedure of the study

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 ($Al_2(OH)_3Cl_3$) 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

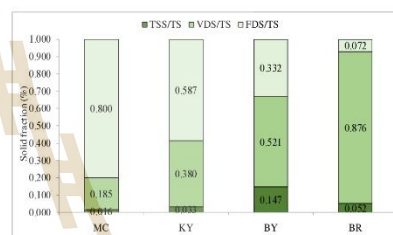


Fig. 3 The solid fraction of raw textile wastewater

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.

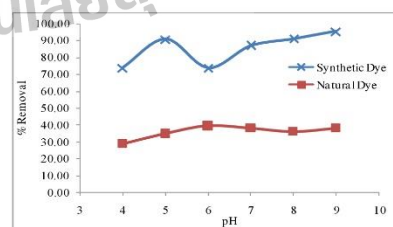


Fig. 4 The Results of coagulation studies to determine the optimum pH

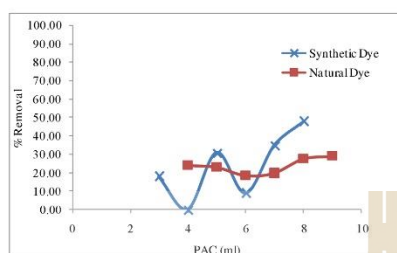


Fig. 5 The Results of coagulation studies to determine the optimum PAC

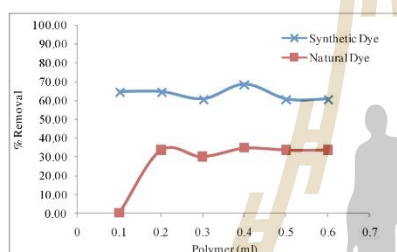


Fig. 6 The Results of coagulation studies to determine the optimum polymer

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) ^a	Polymer (mL) ^b	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

^a: dosages PAC is 50 g/L

^b: dosages Polymer is 1 g/L

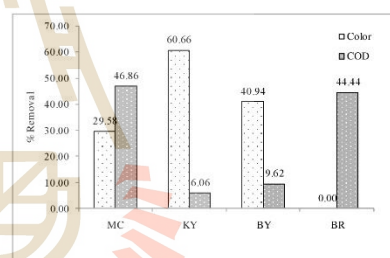


Fig. 7 The results of COD and color removal efficiency of the coagulation process

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-1) and maximum monolayer adsorption capacity (mg g-1), 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, R² of Freundlich isotherm were in the range of 0.8583-0.9973 and R² 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.

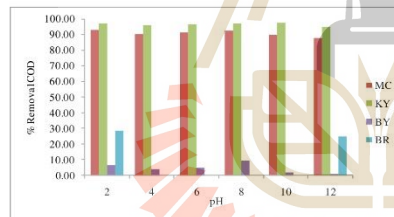


Fig.8 The performance of adsorption process in COD removal

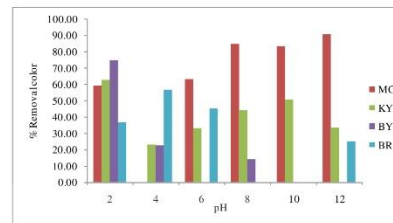


Fig. 9 The performance of adsorption process in color removal

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 x 10 ⁻³	0.9994	1.39	1.49	0.9973
KY	-31.95	-3.77 x 10 ⁻⁴	0.9980	2.92 x 10 ⁻¹⁴	0.21	0.9354
BY	-212.77	-8.10 x 10 ⁻⁵	0.6791	3.39 x 10 ⁻²²	0.16	0.8583
BR	294.11	6.78 x 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., Vilar 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*, 22nd 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] Elmoubarki 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 ^{a*}, T. Kaenjun ^b, W. Wonglertarak ^c and B. Wichitsathian ^d

^a Assistant Professor, ^b Master student, ^c Doctoral student, ^d 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.

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 (FeCl₃) 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 FeCl₃ 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 FeCl₃ 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_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*).

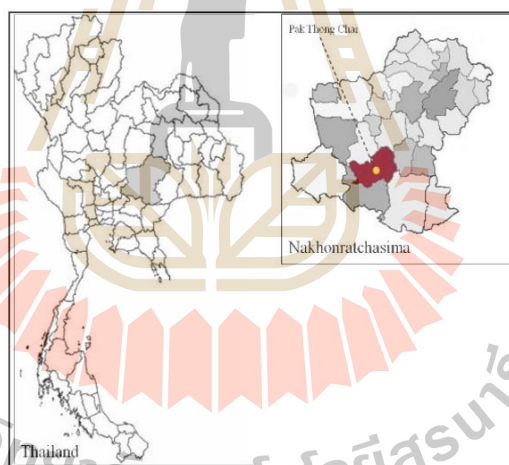


Fig. 1. The scope of this study namely Pak Thong Chai in the southern part of Nakhon Ratchasima Province.

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)
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 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.

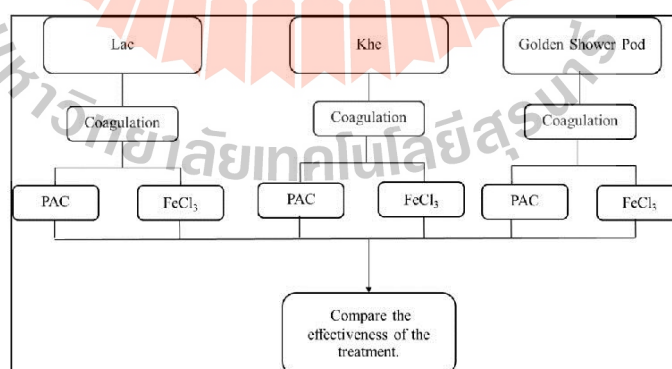
The chemicals of coagulation-flocculation

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

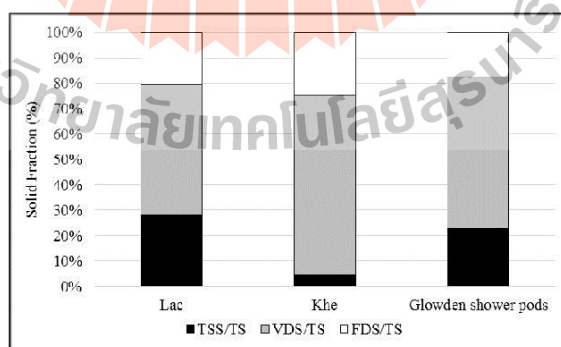


Fig. 3 The solid fraction of raw textile wastewater.

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 FeCl₃, 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 Yimrattabavorn et al. (2018). The results showed FeCl₃ 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 FeCl₃ generates ferric hydroxide particles. These particles agglomerate forming macroscopic flocs and are apparently readily adsorbed onto colloids (Kim et al., 2004).

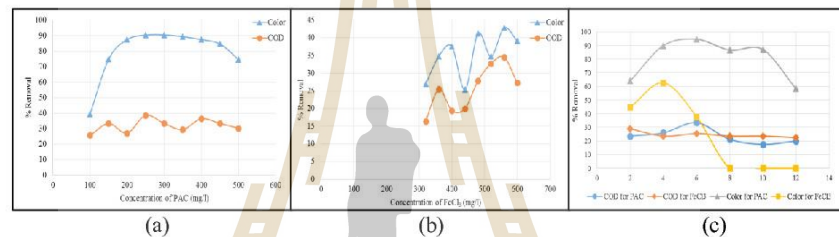


Fig. 4 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and FeCl₃ (b) and pH (c) for lac

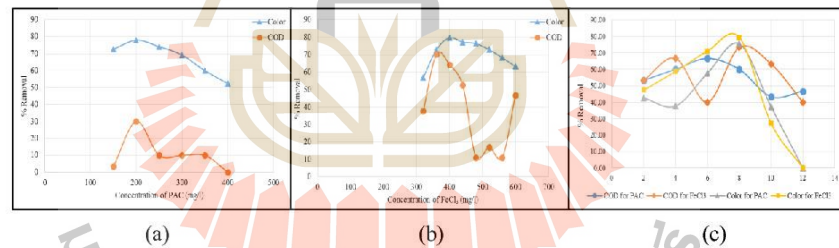


Fig. 5 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and FeCl₃ (b) and pH (c) for khe

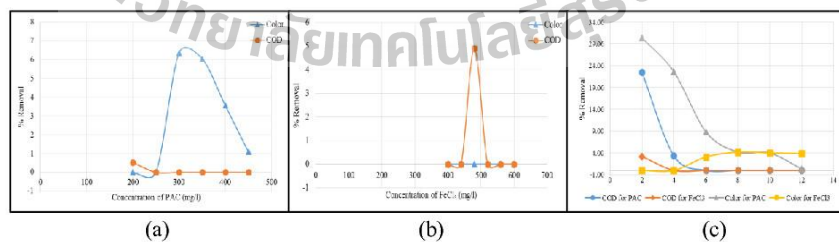


Fig. 6 The Results of coagulation studies to determine the optimum concentration of PAC (a) and FeCl₃ (b) and pH (c) for golden shower pods

Table 3 The conclusion of optimum conditions for coagulation process with PAC and FeCl₃ as coagulants.

Natural dyes	PAC			FeCl ₃		
	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 FeCl₃ 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 FeCl₃ 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 FeCl₃ 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 FeCl₃ 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 ₃ as Coagulant		% Removal for PAC		% Removal for FeCl ₃	
	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

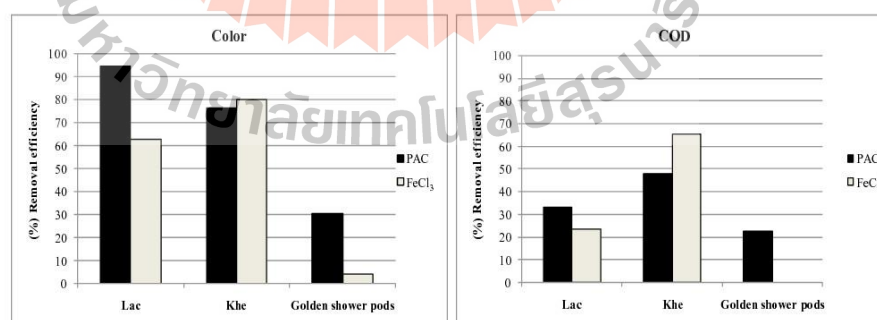


Fig. 7 The results of COD and color removal efficiencies for coagulation process of PAC and FeCl₃ as coagulants.

CONCLUSION

In conclusion, the results showed using ferric chloride as coagulant is suitable for treating natural dyes from lac 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 indicates that the 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.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Suranaree University of Technology, Thailand and received scholarships from the talent mobility project.

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 ERECTA 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. Mater.* Vol. 153, 999-1008.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวธาริกา แก่นจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ.2536 ณ จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเทศบาลวัดกลาง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในปีการศึกษา 2554 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558 และได้เข้าศึกษาต่อ ระดับปริญญาโทในปีการศึกษา 2559 โดยได้รับทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา (ทุนกิตติบัณฑิต) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการพัฒนาศักยภาพ บุคลากร STEM เพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรมประจำปี 2561จากสำนักงาน พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และโครงการ Talent mobility จากสำนักงาน คณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ

เมื่อเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทได้ศึกษาและวิจัยในหัวข้อ “การใช้ระบบร่วมระหว่าง กระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการดูดซับเพื่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอใน ครั้วเรือน” ในระหว่างกำลังศึกษาได้เผยแพร่และนำเสนอผลงานวิจัย ในหัวข้อเรื่อง “Combination coagulation and adsorption processes for treating textile wastewater in household industry” ในงาน สัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ GEOMATE 2017 (Seventh International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment) ระหว่างวันที่ 21-23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ประเทศญี่ปุ่น และนำเสนอผลงานวิจัย ในชื่อเรื่อง “Comparison of Natural Dyes Removal by Coagulation Process with Different Coagulants” ในงานสัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ IWA Water Reuse 2018 (IWA Regional Conference on Opportunities for Water Reuse in Southeast Asia) ระหว่างวันที่ 30 ตุลาคม - 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ประเทศไทย โดยมีรายละเอียดปรากฏดัง ภาคนว ก ฉ