



รายงานการวิจัย

**การพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง
ภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา
(Development of Water Preparation Process for Treatment of
Treated Cassava Starch Factory Effluent to Obtain
Tap Water Quality)**

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรลักษณ์ รอดทอง
สาขาวิชาจุลชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ดร. มาโนชญ์ สุธีพัฒนานนท์
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพ
รัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว**

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย “การพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา” ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ข้อมูลปัญหาการหมุนเวียนใช้ประโยชน์น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ให้ความอนุเคราะห์น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดของโรงงาน และยินดีให้ความร่วมมือในการทดสอบกรรมวิธีเตรียมน้ำที่พัฒนาขึ้น โครงการวิจัยนี้มี นางสาวอังศุมาลี สุทธิภักดี เป็นผู้ช่วยนักวิจัย และยังมีนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและผู้ช่วยนักวิจัยประจำห้องปฏิบัติการ เชื้อพันธุ์จุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์จุลินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีส่วนช่วยให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังมีความต้องการใช้น้ำคุณภาพดีอย่างน้อยที่สุดเทียบเท่าน้ำประปา ในกระบวนการผลิตแบริ่ง ในปริมาณมากและมีน้ำเสียในปริมาณมาก บางโรงงานได้พยายามนำน้ำ ภายหลังการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งระบบทำน้ำประปา แต่ก็ยังไม่สามารถผลิตน้ำที่มี คุณภาพระดับน้ำประปาได้เนื่องจากปัญหาสีและความขุ่นของน้ำดิบ ซึ่งก็คือน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่ง มันสำปะหลังภายหลังการบำบัด จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะศึกษาพัฒนาเพื่อให้ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจาก โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา เพื่อนำน้ำที่มี คุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในโรงงาน จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิต แบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา จากบ่อกักน้ำทิ้งของ โรงงานฯ จำนวน 11 ครั้ง ในรอบ 1 ปี รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ทุกตัวอย่างมีสีเขียวและมีความขุ่นของตะกอนแขวนลอยแตกต่างกัน ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน มีกลิ่นคาว มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.0-30.0 องศาเซลเซียส ความขุ่นอยู่ในช่วง 44.29-220.95 NTU ความเข้มของสี 1.20-10.30 SU ปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 0.34-0.46% (340-460 มิลลิกรัม/ลิตร) ความกระด้าง 549.50-819.47 mg/L CaCO₃ ปริมาณแคลเซียมไอออนอยู่ในช่วง 116.05-272.28 mg/L CaCO₃ และคลอไรด์ไอออนมีค่า 568.83-1,828.03 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าการนำไฟฟ้า 4,513.50-7,226.67 μ S/cm ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.06-8.77 พบ Phytoplankton ทั้ง Cyanobacteria โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสกุล *Oscillatoria* และ *Spirulina* และ Eucaryotic algae หลากหลายชนิดในทุก ตัวอย่างน้ำในปริมาณ 1.50×10^4 - 4.80×10^5 cells/mL จุลินทรีย์ทั้งหมดจำนวน 2.07×10^5 - 9.85×10^5 CFU/mL ตรวจพบยีสต์ในปริมาณ $<30(2)$ - 1.57×10^3 CFU/mL ไม่พบรา ค่า Most probable number (MPN) ของ Coliform bacteria อยู่ในช่วง 14 - ≥ 1600 /น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และ MPN ของ *E. coli* ในช่วง 6.8-350/น้ำ 100 มิลลิลิตร ตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีทั้งตัวอย่างที่ ได้และไม่ได้มาตรฐานคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบที่ใช้เตรียมน้ำประปาดตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม และทุกตัวอย่างไม่ได้มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยา ของน้ำดิบ จากที่ได้ศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยใน น้ำทิ้งภายหลังการบำบัด พบว่าต้องใช้เวลา 3-5 วันในที่มืดเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton จึงจะสามารถตกตะกอนสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำได้โดยมีค่าความขุ่นลดลง 50% โดยเฉลี่ย และทิ้งให้ตกตะกอนนาน 14 วัน จึงสามารถลดความขุ่นได้ 75-80% การใช้สารช่วยตกตะกอนทั้งชนิดและ ความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้สามารถกำจัดทั้งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ และกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยไปพร้อมกัน สารช่วยตกตะกอนที่คัดเลือกได้จากการศึกษามี 2 ชนิด ตามที่มีจำหน่ายเป็นการค้า พบว่าควรใช้สารตกตะกอนชนิดที่ 1 ในความเข้มข้น 2% (น้ำหนักโดย ปริมาตร) ปริมาณ 0.857 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 และสารตกตะกอนชนิดที่ 2 ความเข้มข้น 1% (น้ำหนักโดยปริมาตร) ปริมาณ 0.188 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 เช่นกัน เมื่อพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ได้ กรรมวิธีที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การทำให้น้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งภายหลังการบำบัด) ใส่ด้วย สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 (2) การกำจัดสีและกลิ่นโดยใช้ถ่าน 0.5-1% Activated carbon

(Carbokarn, Thailand) (3) การกำจัดประจุบวกโดยใช้ Cation exchange resin (DOWEX HCR-S/S, Italy) (4) การกำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และ (5) การกำจัดประจุลบโดยใช้ระบบ Reverse osmosis (RO) (Kemflo, America) พร้อมทั้งได้ปรับขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสีที่เนื่องจาก Phytoplankton เป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การกำจัดสิ่งแขวนลอยและตะกอนในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด ด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 ในปริมาณเหมาะสมตามที่ได้ศึกษา จากนั้นผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออนด้วยระบบ RO และวิธีที่ 2 การกำจัดสิ่งแขวนลอยและตะกอนโดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดเท่ากับ 11 ด้วย 20% Sodium hydroxide เติมสารตกตะกอนชนิดที่ 1 ในปริมาณเหมาะสมตามที่ได้ศึกษา กวน 30 นาที เติมสารตกตะกอนชนิดที่ 2 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้ได้ 7.5 ด้วย 10% Sulphuric acid กวนผสม ทั้งให้ตกตะกอน 45 นาที นำน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออนด้วยระบบ RO จากน้ำเริ่มต้นที่มีที่มีความขุ่น 44.29 NTU มีสีเขียว กลิ่นคาว ความเข้มของสี 1.20 SU ความเป็นกรด-ด่าง 8.52 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.46% สภาพต่างคาร์บอนเนต ต่างไบคาร์บอนเนต และทั้งหมด เท่ากับ 117.72, 431.64 และ 549.36 mg/L CaCO₃ ตามลำดับ ความกระด้าง 723.51 mg/L CaCO₃ และปริมาณคลอไรด์ 1,828.03 mg/L เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 1 พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549 ซึ่งมีมาตรฐานสูงกว่าน้ำประปา มอก. 257-2521 โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความกระด้าง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมได้เป็นอย่างดี รวมทั้งค่าการนำไฟฟ้า คลอไรด์ สภาพต่าง ปริมาณมวลสาร และค่าสารละลายมีค่าลดลงจนอยู่ในระดับมาตรฐานน้ำประปาและน้ำบริโภค ส่วนน้ำทิ้งที่นำมาผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 2 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปา ยกเว้นสารละลายมีค่าค่อนข้างสูงแต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนไม่ได้มาตรฐานน้ำบริโภคตาม มอก. 257-2549 การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง เพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาด้วยวิธีที่ 1 จึงมีความเหมาะสมกว่าวิธีที่ 2 อย่างไรก็ตามน้ำที่เตรียมได้จากทั้ง 2 วิธี มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเทียบเท่าคุณภาพน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 และของกรมอนามัย พ.ศ. 2543 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549 จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำ พบว่า Activated carbon ปริมาณ 25 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพลดลงหลังจากที่ได้ใช้น้ำคุณภาพตามที่ปรับปรุงผ่านในปริมาณ 390 ลิตร เมื่อนำตัวอย่างน้ำที่มีค่าความกระด้างโดยเฉลี่ย 671.39 mg/L CaCO₃ ผ่าน Cation exchange resin จำนวน 25 ลิตร สามารถผ่านได้ปริมาณ 473.86 ลิตร และจากตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณคลอไรด์ไอออนโดยเฉลี่ย 1,428.93 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากผ่านการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นแล้ว ระบบ RO สามารถรองรับน้ำได้จำนวน 5,092.57 ลิตร โครงการวิจัยนี้มีผลสำเร็จที่ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแปงมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำดื่มที่มีมาตรฐานสูงกว่าน้ำประปา และสามารถปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งได้อย่างกว้างขวางผลสำเร็จที่ได้ยังเป็นพื้นฐานสำคัญที่ควรมีการศึกษาต่อเนื่องเกี่ยวกับการเพิ่มกำลังการผลิต พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบการผลิตและบลงทุน

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญภาพผนวก.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.4 แผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
1.6 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.7 ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องโดยสังเขป.....	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย.....	13
2.1.1 ครุภัณฑ์.....	13
2.1.2 วัสดุและอุปกรณ์.....	13
2.2 การจัดหาตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด จากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง.....	14
2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพ เคมี และจุลชีวิทยา.....	14
2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพและเคมี.....	14
2.3.1.1 อุณหภูมิ (Temperature).....	14
2.3.1.2 ความขุ่น (Turbidity).....	14
2.3.1.3 ความเข้มของสี (Colour).....	14
2.3.1.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids).....	16
2.3.1.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	16
2.3.1.6 การนำไฟฟ้า (Conductivity).....	16
2.3.1.7 ความกระด้าง (Hardness).....	16
2.3.1.8 แคลเซียมไอออน (Calcium ion).....	17
2.3.1.9 คลอไรด์ไอออน (Chloride ion).....	17
2.3.1.10 สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity).....	17
2.3.1.11 สภาพกรดทั้งหมด (Acidity).....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางจุลชีววิทยา.....	19
2.3.2.1 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำ.....	19
2.3.2.2 จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts).....	19
2.3.2.3 ยีสต์และรา (Yeasts and molds).....	19
2.3.2.4 Coliform bacteria (Coliforms).....	19
2.3.2.5 <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>).....	20
2.4 การศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและ สิ่งแขวนลอย.....	21
2.5 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่น ของน้ำ และวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ.....	21
2.5.1 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่น ของน้ำ.....	21
2.5.2 การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอยด้วยวิธี Jar test.....	22
2.5.2.1 การหาปริมาณสารช่วยตะกอนเบื้องต้น.....	22
2.5.2.2 การหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน.....	22
2.5.2.3 การหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม.....	22
2.6 การพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา.....	23
2.7 การทดลองเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนา ขึ้น.....	24
2.7.1 การเตรียมน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง.....	24
2.7.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี.....	24
2.7.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา.....	26
2.7.3.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด.....	26
2.7.3.2 Coliform bacteria และ <i>E. coli</i>	26
2.7.3.3 <i>Salmonella</i> spp.	26
2.7.3.4 <i>Staphylococcus aureus</i>	27
2.7.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเตรียมน้ำ.....	27
บทที่ 3 ผลการวิจัย	
3.1 การจัดหาตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง และ วิเคราะห์คุณภาพของน้ำเริ่มต้นทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา.....	28
3.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	28
3.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	33
3.2 การศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและ สิ่งแขวนลอย.....	44
3.3 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่น ของน้ำ และวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ...	48
3.3.1 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่น ของน้ำ.....	48
3.3.2 การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ในน้ำ.....	48
3.4 การพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา.....	55
3.4.1 กระบวนการบำบัดน้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อกำจัดความขุ่นและสีในน้ำ.....	55
3.4.2 การเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา..	59
3.5 การทดลองเตรียมน้ำโดยใช้กรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น	75
3.5.1 การเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น.....	75
3.5.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี.....	79
3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา.....	84
3.5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเตรียมน้ำ.....	90
บทที่ 4 บทสรุป	
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
บรรณานุกรม.....	100
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สารละลายและสีย้อม.....	103
ภาคผนวก ข อาหารเลี้ยงจุลินทรีย์.....	104
ภาคผนวก ค การเตรียมน้ำสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี.....	109
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดลอง.....	114
ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) กำหนดมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549.....	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนการดำเนินงานตามแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย..... 2
ตารางที่ 1.2	คุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ก่อนและหลังการบำบัดด้วย CIGAR..... 5
ตารางที่ 1.3	มาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อการประปา ตามมาตรฐานของการประปานครหลวง..... 10
ตารางที่ 1.4	มาตรฐานน้ำประปา ตามมาตรฐานของการประปานครหลวง..... 11
ตารางที่ 1.5	เกณฑ์คุณภาพน้ำประปาตามประกาศของกรมอนามัย พ.ศ. 2543..... 12
ตารางที่ 2.1	การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี..... 15
ตารางที่ 2.2	รายการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ส่งวิเคราะห์ ณ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำการประปานครหลวง..... 25
ตารางที่ 3.1	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำและปริมาตรน้ำที่เก็บจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด..... 29
ตารางที่ 3.2	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำทิ้ง ภายหลังจากการบำบัดที่เก็บจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 32
ตารางที่ 3.3	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำ บาดาลที่ใช้ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ..... 33
ตารางที่ 3.4	ผลการตรวจหาจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมัน สำปะหลังจำนวน 12 ตัวอย่าง..... 36
ตารางที่ 3.5	แบคทีเรียชนิดเด่นในกลุ่ม Coliforms และ <i>E. coli</i> ที่พบในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลัง การบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 40
ตารางที่ 3.6	การเปลี่ยนแปลงความขุ่นของตัวอย่างน้ำ SWI 7 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีด เป็นเวลา 14 วัน..... 44
ตารางที่ 3.7	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง SWI 7 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีดเป็น เวลา 14 วัน..... 46
ตารางที่ 3.8	การเปลี่ยนแปลงความขุ่นของตัวอย่างน้ำ SWI 8 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีด เป็นเวลา 14 วัน..... 47
ตารางที่ 3.9	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง SWI 8 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีดเป็น เวลา 14 วัน..... 47
ตารางที่ 3.10	ผลของการใช้ Coptrol ในการกำจัด Phytoplankton ในน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจาก โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 48
ตารางที่ 3.11	การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับสารตกตะกอน 3 ชนิด..... 51
ตารางที่ 3.12	คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนใน ปริมาณแตกต่างกัน..... 53
ตารางที่ 3.13	สรุปปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจาก โรงงานผลิตแป้งมันปะหลัง..... 55

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.14 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง) และน้ำภายหลังจากกำจัดความขุ่นในขั้นตอนที่ 1 และกำจัดสีในขั้นตอนที่ 2.....	57
ตารางที่ 3.15 ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำเริ่มต้น และน้ำภายหลังจากกำจัดความขุ่นในขั้นตอนที่ 1 และกำจัดสีในขั้นตอนที่ 2.....	57
ตารางที่ 3.16 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสี.....	59
ตารางที่ 3.17 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นกับมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา..	64
ตารางที่ 3.18 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา.....	67
ตารางที่ 3.19 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา.....	70
ตารางที่ 3.20 คุณภาพทางกายภาพและเคมีโดยเฉลี่ยของน้ำประปาของ มทส. น้ำดื่มที่ผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นการค้า และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย.....	75
ตารางที่ 3.21 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง และน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพที่ตรวจวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการของโครงการวิจัย.....	80
ตารางที่ 3.22 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำเริ่มต้นและน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ที่วิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ การประปานครหลวง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	81
ตารางที่ 3.23 เปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินเพื่อการประปาและน้ำประปา.....	83
ตารางที่ 3.24 จุลินทรีย์ที่พบในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัด.....	84
ตารางที่ 3.25 ผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำเริ่มต้นและน้ำสุดท้ายที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เทียบเท่าน้ำประปา.....	87
ตารางที่ 3.26 ความเข้มของสีของน้ำก่อนและหลังผ่าน Activated carbon ความกระด้างของน้ำก่อนและหลังผ่าน Cation exchange resin และปริมาณคลอไรด์ไอออนก่อนและหลังผ่านระบบ Reverse osmosis (RO).....	91

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	การบำบัดน้ำทิ้งด้วย Anaerobic baffle reactor (ABR) ของโรงงานผลิตแอมโมเนีย สำหรับบริษัท สวทววงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา.....	4
รูปที่ 1.2	ระบบ ABR แบบ Covered in-ground anaerobic reactor (CIGAR) ที่ใช้บำบัดน้ำทิ้ง ของโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สวทววงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด.....	4
รูปที่ 1.3	Pre-treatment balancing pond ของระบบบำบัด CIGAR โรงงานผลิตแอมโมเนีย สำหรับบริษัท สวทววงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด.....	5
รูปที่ 1.4	กรรมวิธีการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง.....	7
รูปที่ 1.5	ปรากฏการณ์ออสโมซิส ความดันออสโมติก และรีเวอร์สออสโมซิส.....	8
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สวทววงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ใช้เป็นน้ำเริ่มต้นในการศึกษากรรมวิธีเตรียมน้ำให้มีคุณภาพ เทียบเท่าน้ำประปา.....	29
รูปที่ 3.2	ลักษณะของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดที่เก็บจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับ จำนวน 12 ตัวอย่าง ที่ใช้เป็นน้ำเริ่มต้นในการศึกษากรรมวิธีเตรียมน้ำให้มีคุณภาพ เทียบเท่าน้ำประปา.....	30
รูปที่ 3.3	ตัวอย่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่พบในน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจาก โรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สวทววงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อศึกษา โดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสง.....	34
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างที่เก็บจำนวน 12 ตัวอย่าง เมื่อ ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar.....	37
รูปที่ 3.5	ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของยีสต์เมื่อตรวจหาโดยใช้อาหาร MY agar.....	39
รูปที่ 3.6	ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) ที่เจริญบนอาหาร L-EMB agar ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนีย สำหรับ.....	41
รูปที่ 3.7	ตัวอย่างรูปร่างของเซลล์ของแบคทีเรีย <i>E. coli</i> ที่แยกได้จากตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจาก บำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับ.....	42
รูปที่ 3.8	ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร MacConkey agar จากการ ตรวจหา <i>E. coli</i>	43
รูปที่ 3.9	ลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดที่นำมาศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตาม ธรรมชาติในที่มืดเป็นเวลา 14 วัน.....	45
รูปที่ 3.10	ตัวอย่างลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับ เมื่อทิ้ง ให้ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มืดเป็นเวลา 2 สัปดาห์.....	46
รูปที่ 3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับค่าความขุ่นของน้ำ เมื่อใช้สารช่วย ตกตะกอนต่างกัน 3 ชนิด.....	52

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 ผลของการใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ต่อค่าความขุ่นของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง.....	54
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่.....	56
รูปที่ 3.14 ลักษณะของตัวอย่างน้ำ SWI 3 ที่เป็นน้ำเริ่มต้น (Raw water) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอน 2 ชนิด (Pre-treated water) ผ่านการเติมถ่าน (1.0% Activated charcoal) และกรอง น้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการ Reverse osmosis (RO) น้ำดื่มที่จำหน่ายเป็นการค้า และตะกอนจากน้ำที่ผ่านขั้นตอนที่ 1.....	58
รูปที่ 3.15 ลักษณะของตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่เป็นน้ำเริ่มต้นที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากโรงงาน ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการตกตะกอน ผ่านการเติมถ่าน (0.5% Activated charcoal) และการกรอง และลักษณะของตะกอนจากตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่ผ่าน Pre-treated step.....	60
รูปที่ 3.16 ความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนกำจัดความขุ่น สี และกลิ่น.....	61
รูปที่ 3.17 ระบบ Reverse osmosis ที่ใช้ในการบำบัดน้ำ.....	62
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการเตรียมน้ำภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังให้มีคุณภาพน้ำเทียบเท่าน้ำประปา ที่พัฒนาขึ้นจากวิธีการจากแหล่งอ้างอิงและผลการศึกษาลักษณะของน้ำเริ่มต้น.....	63
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างลักษณะของน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามขั้นตอนของกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น และลักษณะของตะกอนเปียกของตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Pre-treated step.....	71
รูปที่ 3.20 สรุปกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา.....	76
รูปที่ 3.21 ลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง และน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเป็นลำดับขั้นด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2.....	77
รูปที่ 3.22 ความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด (SWI 12) ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2.....	78
รูปที่ 3.23 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของ <i>Escherichia coli</i> ที่เจริญบนอาหาร EMB agar ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างน้ำเริ่มต้น.....	85
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียในกลุ่ม Coliforms และ <i>E. coli</i> ที่ตรวจหาโดย 3M Petrifilm™ <i>E. coli</i> /Coliform Count Plate (3M, Minneapolis).....	86
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างโคโลนีของ <i>Staphylococcus aureus</i> ที่ตรวจนับได้จากตัวอย่างน้ำเริ่มต้น โดยใช้ 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate (3M, Minneapolis).....	88
รูปที่ 3.26 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของ <i>Staphylococcus aureus</i> เจริญบนอาหาร Trypticase soy agar และคัดเลือกจากลักษณะโคโลนีของ Staphylococci ที่แยกจากน้ำเริ่มต้น ด้วยวิธี 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate.....	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างรูปร่างและการเรียงตัวของเซลล์ของ Staphylococci ที่แยกได้จากน้ำเริ่มต้น.....	90
รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกระด้างกับปริมาณน้ำที่ผ่าน Cation exchange resin เพื่อการหาประสิทธิภาพของ Resin.....	91
รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอไรด์ไอออนกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ Reverse osmosis เพื่อการหาประสิทธิภาพของระบบ.....	92

สารบัญภาพผนวก

	หน้า
รูปผนวกที่ 1 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่ง มันสำปะหลัง (น้ำเริ่มต้นหรือน้ำดิบ) ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์ คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	114
รูปผนวกที่ 2 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมัน สำปะหลัง โดยฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	115
รูปผนวกที่ 3 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 1 ทาง กายภาพและเคมี จากฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	117
รูปผนวกที่ 4 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 1 ทางกายภาพ และเคมี จาก ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	119
รูปผนวกที่ 5 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 ทางกายภาพ และเคมี จากฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	120
รูปผนวกที่ 6 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 ทางกายภาพ และเคมี จากฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง.....	121
รูปผนวกที่ 7 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิต แบริ่งมันสำปะหลัง โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	123

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเกษตรหลักของประเทศไทย ผลผลิตมันสำปะหลังรวมของประเทศจากรายงานผลผลิตปี 2550 และ 2551 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร มีจำนวนทั้งสิ้น 26,915,541 และ 25,565,363 ตัน ตามลำดับ ได้จากการผลิตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 14,577,925 และ 13,714,647 ตัน ภาคกลางจำนวน 8,443,182 และ 8,035,721 ตัน และภาคเหนือจำนวน 3,894,434 และ 3,815,268 ตัน ซึ่งเฉพาะในเขตจังหวัดนครราชสีมา มีผลผลิตจำนวน 7,017,931 และ 6,516,532 ตัน ตามลำดับ โรงงานที่ผลิตแบริ่งมันสำปะหลังตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่ จากแหล่งข้อมูลของสมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือระบุว่า มีโรงงานแบริ่งมันสำปะหลังจำนวน 15 โรง ซึ่งโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังมีกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณใกล้ชุมชนของพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลัง มีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ของนิคมอุตสาหกรรมและมักมีพื้นที่กว้างสำหรับการบำบัดน้ำทิ้ง โรงงานเหล่านี้ต้องการใช้น้ำคุณภาพดีอย่างน้อยที่สุดเทียบเท่าน้ำประปาในกระบวนการผลิตแบริ่ง ในปริมาณมากและมีน้ำเสีย (น้ำทิ้ง) ในปริมาณมากเช่นกัน ตัวอย่างเช่นโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังของบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณน้ำทิ้งโดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 500 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จากน้ำทิ้งในปริมาณมากนี้จะผ่านเข้าระบบบำบัดของโรงงาน ซึ่งทางโรงงานได้พยายามนำน้ำภายหลังจากบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งระบบทำน้ำประปาที่นำเข้าเทคโนโลยีจากประเทศฝรั่งเศส ทางโรงงานมีอัตราการความต้องการน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ปริมาณ 700 ลูกบาศก์เมตร/วัน แต่ก็ยังไม่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพระดับน้ำประปาที่สามารถใช้ในขั้นตอนสำคัญของการผลิตแบริ่งได้เนื่องจากปัญหาสีและความขุ่นของน้ำ คณะผู้วิจัยได้ตรวจสอบถึงปัญหาการเตรียมน้ำและประเมินคุณลักษณะของน้ำในเบื้องต้นแล้ว พบว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะพัฒนาระบบวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังจากการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาเพื่อนำน้ำนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในโรงงานอีก ผลสำเร็จที่ได้สามารถปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมแบริ่งได้อย่างกว้างขวาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังจากการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา เพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ในโรงงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังจากการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาเพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในโรงงานนี้ มีขอบเขตของการดำเนินงานโดยสรุปคือ ศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการศึกษาเพื่อพัฒนา

กรรมวิธีเตรียมน้ำในขั้นตอนต่อไป ศึกษาระยะเวลาการตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำทั้งภายหลังการบำบัด พัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ พัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ พัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา และทดลองเตรียมน้ำโดยใช้กรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

1.4 แผนการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัยเป็นไปตามขั้นตอนดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานตามแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. การจัดหาตัวอย่างน้ำภายหลังการบำบัด จากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับ และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา	←→												
2. การศึกษาระยะเวลาการตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอย	←→												
3. การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ		←→											
4. การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ		←→											
5. การพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา						←→							
6. การทดลองเตรียมน้ำโดยใช้กรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น								←→					
7. การรวบรวมและสรุปผลงานการวิจัย										←→			

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

1) กรรมวิธีเตรียมน้ำทั้งจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา เพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในโรงงาน กรรมวิธีที่พัฒนาได้นี้

สามารถปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งได้อย่างกว้างขวาง หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่จะสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ คือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตแป้งมันสำปะหลัง และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2) ผลงานวิจัยที่ช่วยเพิ่มความเข้มแข็งทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ส่วนหนึ่ง

1.6 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังต้องการใช้น้ำคุณภาพดีเทียบเท่าน้ำประปาในกระบวนการผลิตแป้งในปริมาณมากและมีน้ำเสีย (น้ำทิ้ง) ในปริมาณมาก มีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังบางโรงงานได้ลงทุนติดตั้งระบบเตรียมน้ำภายหลังการบำบัดเพื่อนำน้ำนั้นกลับมาใช้ใหม่เพื่อผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่น้ำที่เตรียมได้ยังมีสีและความขุ่นถึงแม้จะใช้ระบบและเครื่องกรองที่มีประสิทธิภาพสูงแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะของสิ่งแขวนลอยในน้ำที่พบซึ่งเทคโนโลยีบำบัดน้ำที่มีอยู่ไม่ได้เตรียมพร้อมเพื่อรองรับปัญหานี้ ซึ่งถ้ามีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องเฉพาะกรณีในเชิงลึกจะสามารถพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำที่มีคุณภาพตามความต้องการได้ โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาเพื่อให้ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทั้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาเพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในโรงงาน

1.7 ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องโดยสังเขป

แป้งมันสำปะหลังนอกจากจะใช้เพื่อบริโภคเป็นหลักแล้ว ยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นอีก เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมกระดาษ ประเทศไทยสามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ไม่ต่ำกว่า 2 ล้านตันปี กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นได้น้ำเสียประมาณ 15-20 ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้งซึ่งน้ำทิ้ง (น้ำเสีย) ที่เกิดขึ้นนี้ต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม

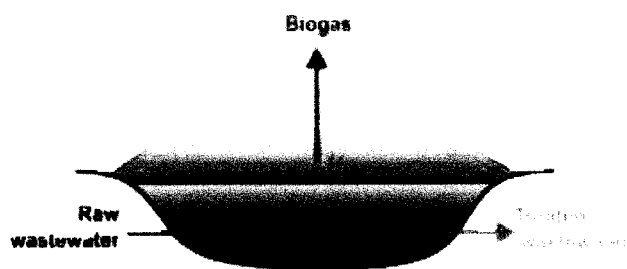
1.7.1 การบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นมีทั้งเทคโนโลยีแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ปัจจุบันมีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังหลายโรงงานที่นำระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาใช้ เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบริษัท สวทวิสาหกิจ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา เป็นโรงงานผลิตและส่งออกแป้งมันรายใหญ่ของประเทศไทย ใช้ระบบไร้ออกซิเจนแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffle reactor, ABR) โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบริษัท ชลเจริญ จำกัด จังหวัดชลบุรี และ บริษัท ชัยภูมิพีชผล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ใช้ระบบไร้ออกซิเจนบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film reactor, AFFR) และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบริษัท แป้งมันเยี่ยมเอง อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ใช้ระบบถังไร้ออกซิเจนแบบชั้นสลัดจ์ (Upflow anaerobic sludge blanket, UASB) เป็นต้น ผลพลอยได้ที่ได้จากการจัดการน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนคือแก๊สชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนแก๊สเชื้อเพลิงหรือใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ภายในโรงงานได้

บริษัท สวทวิสาหกิจ จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ที่มีผลิตภัณฑ์ทั้งแป้งมันสำปะหลัง (Native tapioca starch) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified starch) คุณภาพสูง มีกำลังการผลิตราว 750 ตัน/วัน บริษัทฯมีพื้นที่เพื่อรองรับและบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นของโรงงาน 600 ไร่ สามารถรองรับน้ำเสียของโรงงานได้ประมาณ 80,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน จาก

กำลังการผลิตที่สูงและมีการผลิตตลอดทั้งปี ทำให้ต้องการใช้น้ำในกระบวนการผลิตสูงถึง 4,000-6,500 ลูกบาศก์เมตร/วัน (ขึ้นอยู่กับฤดูกาล) และมีน้ำเสียออกมามีปริมาณมาก เดิมบริษัทฯ ใช้วิธีบำบัดน้ำเสียโดยปล่อยน้ำไหลเข้าสู่ระบบบำบัดแบบบ่อฝักรวมชาติ (Oxidation pond) ที่ให้น้ำไหลบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ปัจจุบันบริษัทฯ ใช้เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียระบบ ABR สามารถผลิตแก๊สชีวภาพทดแทนการใช้น้ำมันเตาในการผลิตความร้อนได้ทั้งหมด และยังคงติดตั้งโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพส่วนที่เหลือจากการใช้งานภายในโรงงานในรูปความร้อน ขนาด 3 MW ด้วย

ถังรีดอกซิเจนแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffler reactor, ABR) มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง มีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2-0.4 เมตร/ชั่วโมง ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องที่ออกแบบไว้ภายในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสกับจุลินทรีย์จนความสกปรกตกลงตามลำดับก่อนจะออกจากระบบ แก๊สชีวภาพที่ถูกจุลินทรีย์ผลิตขึ้นจากการย่อยสลายจะลอยขึ้นสู่ด้านบนของถัง (รูปที่ 1.1) การก่อสร้างระบบ ABR ณ โรงผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา เป็นแบบ Covered in-ground anaerobic reactor (CIGAR) (รูปที่ 1.2) โดยมีบ่อเตรียมน้ำทิ้งก่อนเข้า CIGAR ที่เรียกว่า Pre-treatment balancing pond (รูปที่ 1.3) การบำบัดน้ำทิ้งด้วย CIGAR สามารถลดค่า Chemical oxygen demand (COD), Biochemical oxygen demand (BOD) และ Total suspended solids (TSS) ได้ถึง 99% (ตารางที่ 1.2) อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการล้างพื้น รดน้ำต้นไม้ เท่านั้น



รูปที่ 1.1 การบำบัดน้ำทิ้งด้วย Anaerobic baffler reactor (ABR) ของโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
ที่มา: Cohen (2004)



รูปที่ 1.2 ระบบ ABR แบบ Covered in-ground anaerobic reactor (CIGAR) ที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
ที่มา: Cohen (2004)



รูปที่ 1.3 Pre-treatment balancing pond ของระบบบำบัด CIGAR โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา
ที่มา: Plevin and Donnelly (2004)

ตารางที่ 1.2 คุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ก่อนและหลังการบำบัดด้วย CIGAR

รายการที่ตรวจวิเคราะห์	น้ำทิ้งก่อนการบำบัดใน CIGAR	น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดใน CIGAR*
Chemical oxygen demand (COD)	> 32,000 mg/L	99% reduction
Five-day biochemical oxygen demand (BOD5)	> 16,000 mg/L	99% reduction
Total suspended solids (TSS)	> 15,000 mg/L	99% reduction
Total dissolved solids (TDS)	> 14,500 mg/L	76% reduction
pH	3.8 - 4.2	7.1
Sulphates	< 300 mg/L	-

* Measured at digester outlet

ที่มา: Plevin and Donnelly (2004)

1.7.2 การผลิตน้ำประปา

น้ำประปาเป็นน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ตามคู่มือการให้บริการของการประปาส่วนภูมิภาคและข้อมูลเผยแพร่ของการประปานครหลวง (รูปที่ 1.4) สามารถสรุปขั้นตอนการผลิตน้ำประปาได้ดังต่อไปนี้

1) การจัดหาน้ำดิบ

น้ำดิบอาจหาได้จากการสร้างอ่างเก็บน้ำจัดธรรมชาติขึ้นเพื่อใช้กักเก็บน้ำฝนที่ตกในบริเวณอ่างเก็บน้ำ และจากลำน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งการสร้างเขื่อนกั้นปิดทางไหลของน้ำในแม่น้ำลำคลอง

ทำให้เกิดอ่างเก็บน้ำขึ้นหน้าเขื่อน น้ำที่อยู่ในอ่างเก็บน้ำนี้เรียกว่า น้ำดิบ ซึ่งยังใช้บริโภคไม่ได้

2) การสูบน้ำดิบ

สูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำจืดธรรมชาติเพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต น้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ตามที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำประปาได้ (ตารางที่ 1.3) และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

3) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบโดยผสมน้ำดิบที่สูบเข้ามาด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว ในถังกวน สารละลายสารส้มจะช่วยให้การตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยปรับความเป็นกรดและยับยั้งการเจริญของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

4) การตกตะกอน

เป็นการหมุนวนเวียนน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว เพื่อให้เข้ากับสารเคมีรวมตัวกัน ช่วยให้การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และนำน้ำเข้าสู่ถังตกตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะตกลงสู่ก้นถังและดูดทิ้ง น้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนการกรอง

5) การกรอง

ใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ ทำให้น้ำมีความใสสะอาดมากขึ้น อาจมีการกรองด้วยถ่านหิน แอนทราไซต์ (ถ้าจำเป็น) ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสและอาจมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น

6) การฆ่าเชื้อโรค

น้ำที่ผ่านการกรองแล้วใส แต่อาจมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ จึงต้องฆ่าเชื้อโรคโดยใช้คลอรีน น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้วเรียกว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อการบริการต่อไป

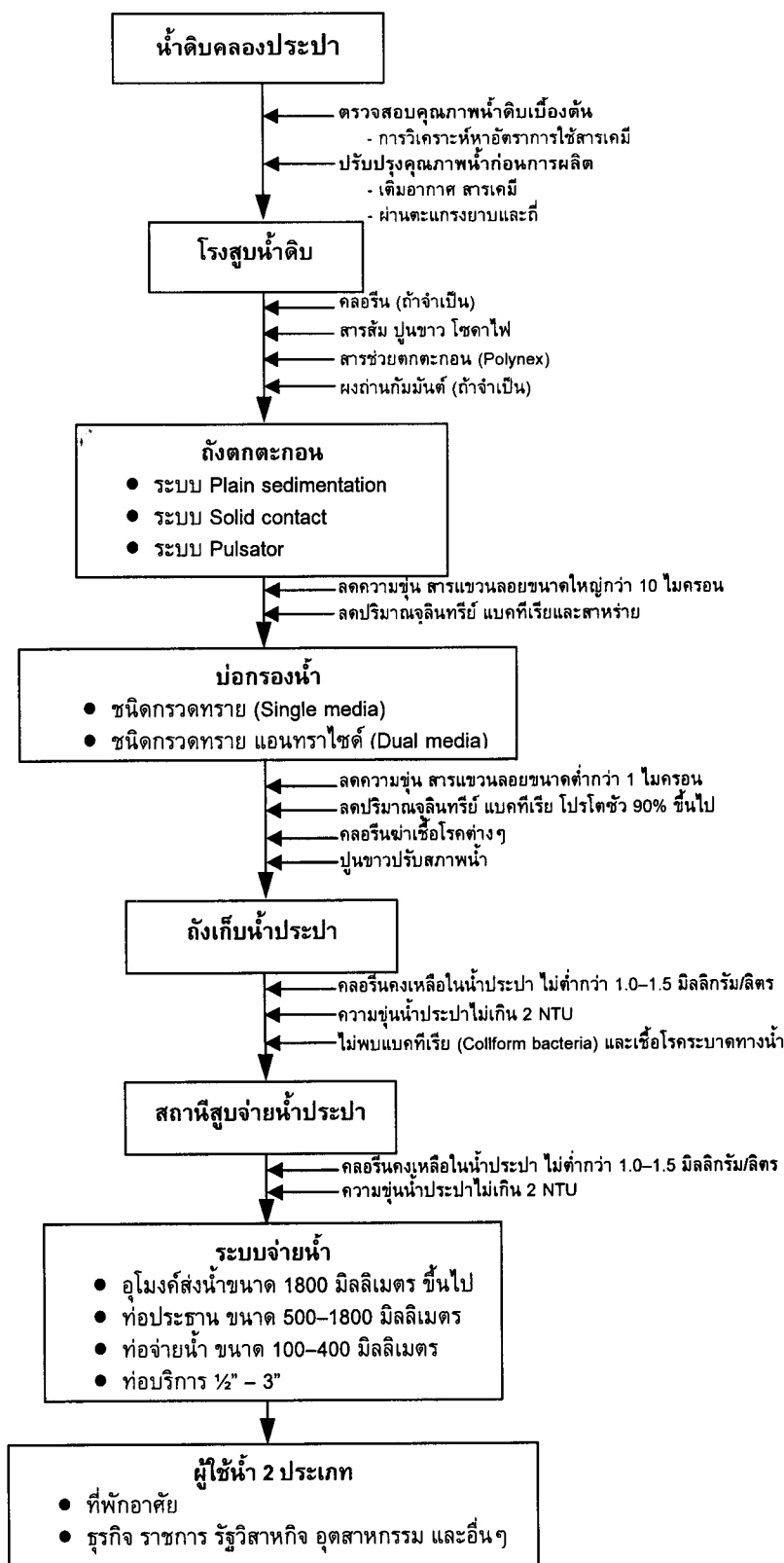
7) การควบคุมคุณภาพน้ำประปา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ผลิตแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

8) การสูบน้ำจ่าย

น้ำประปาที่ผลิตนั้น จะให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นทางท่อ ด้วยการสูบน้ำจ่าย

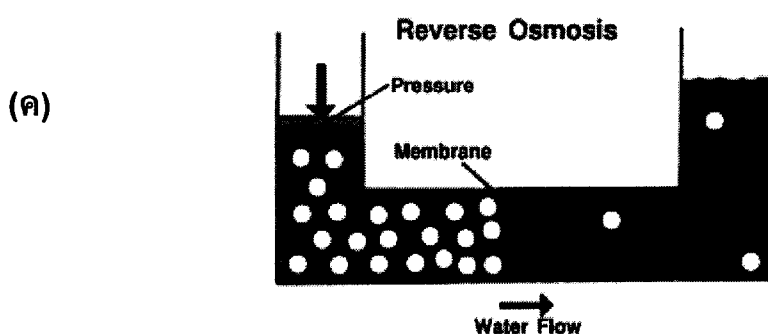
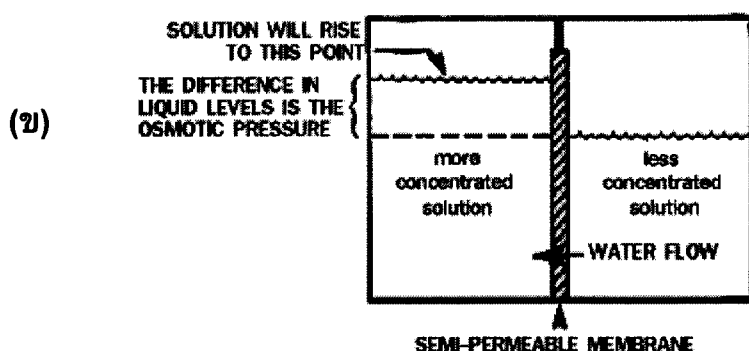
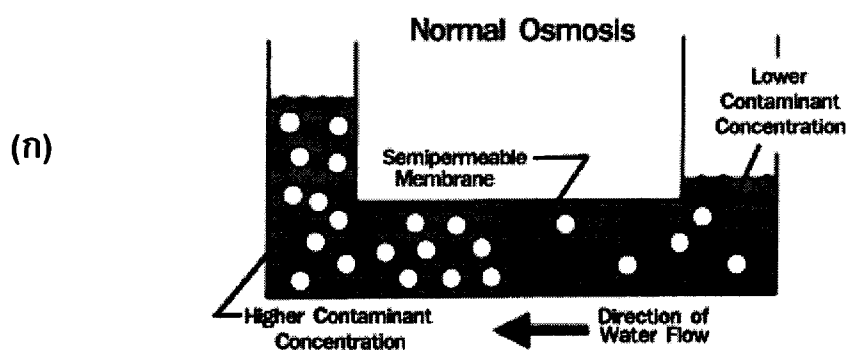
ในขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคนั้น ทุกขั้นตอนต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เริ่มจากการสูบน้ำดิบที่จะใช้ทั้งกระแสไฟฟ้า หรือน้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมี เช่น สารส้ม ปูนขาว และคลอรีน ที่จัดซื้อมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา รวมถึงการจัดเก็บและสูบน้ำจ่ายมายังบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำ



รูปที่ 1.4 กรรมวิธีการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวง
ที่มา: ข้อมูลเผยแพร่ของการประปานครหลวง

1.7.3 การบำบัดน้ำโดยวิธีการรีเวอร์สออสโมซิส

ออสโมซิส (Osmosis) เป็นปรากฏการณ์ที่ของเหลวซึมผ่าน Semipermeable membrane ซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ มีรูพรุน เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.0001 ถึง 0.1 ไมโครเมตร โดยที่โมเลกุลของตัวทำละลาย (solvent) ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำซึมผ่าน Membrane ไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง (รูปที่ 1.5ก) ความสามารถในการออสโมซิสของสารละลายขึ้นอยู่กับความดันออสโมติก (Osmotic pressure) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารละลายมีหน่วยเป็นบรรยากาศ โดยความดันออสโมติกจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ (กิริติ พัฒนสารินทร์, 2546) (รูปที่ 1.5ข)



รูปที่ 1.5 ปรากฏการณ์ออสโมซิส (ก) ความดันออสโมติก (ข) และรีเวอร์สออสโมซิส (ค)
ที่มา: กิริติ พัฒนสารินทร์ (2546)

รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO) เป็นการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยการให้ความดันไฮดรอลิก (Hydraulic pressure) แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิสจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งความดันไฮดรอลิกที่ใส่เข้าไปต้องมีค่ามากกว่าความดันออสโมติกจึงจะเกิดการ RO ได้ (รูปที่ 1.5ค)

การบำบัดน้ำแบบ RO นี้เกี่ยวข้องกับการแยกไอออนโดยเทคนิค Ion exclusion โดยสมบัติของน้ำจะผ่าน Semipermeable RO membrane ได้ แต่พวกโมเลกุลของตัวถูกละลาย เช่น เกลือ น้ำตาล จะถูกกักไว้ Semipermeable membrane จะขจัดโมเลกุลของเกลือ (ไอออน) โดยใช้หลักการของประจุ ถ้ายังมีประจุมากจะยิ่งถูกขจัดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นพวกไอออนที่มีพันธะยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง (มีประจุมาก) หรือ Strong polyvalent ions จะถูกขจัดได้ง่ายคือ ประมาณ 98% แต่พวกไอออนที่มีพันธะยึดเหนี่ยวอย่างอ่อน (ประจุน้อย) หรือ Weakly ionized monovalent ions เช่น โซเดียมจะถูกขจัดเพียง 93% เท่านั้น

จากหลักการดังกล่าวจึงมีการนำ RO มาใช้ในการบำบัดน้ำอย่างแพร่หลาย เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีและมีขนาดโมเลกุลเล็กมาก จึงสามารถแพร่กระจายผ่าน membrane ได้ง่าย แต่ข้อจำกัดที่การบำบัดน้ำแบบ RO จะให้ผลผลิตน้ำมีอัตราการไหลต่ำ ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ผิวของ membrane มากเพื่อให้ได้น้ำปริมาณมากภายในเวลาที่เหมาะสม น้ำที่นำมาบำบัดจะนำไปผ่าน filter เพื่อขจัดสารแขวนลอยที่มีโมเลกุลใหญ่และขจัดสารประกอบคลอไรด์ที่จะทำให้เกิดการเสียหายของ membrane และหากต้องการนำน้ำจากการบำบัดแบบ RO ไปใช้ในการอุปโภค บริโภค ต้องนำน้ำที่ผ่าน membrane มาแล้วไปผ่าน filter อีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการขจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกไป

เทคโนโลยีของการบำบัดน้ำแบบ RO สามารถนำมาใช้งานได้ทั้งด้านการอุปโภค บริโภค และในอุตสาหกรรมต่างๆ ให้ผลคุ้มค่ากับการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำป้อนหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตปริมณฑลที่มีการใช้หม้อไอน้ำและมีปัญหาจากน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่มีค่า Total dissolved solids (TDS) สูง ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาในระบบหม้อไอน้ำ ระบบ RO นี้จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำ โดยการลดความร้อนสูญเสียจากการไบล์คววน้ำทำให้ประหยัดทั้งทางด้านพลังงานความร้อน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

1.7.4 มาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อการประปาและคุณภาพของน้ำประปา

แหล่งน้ำเพื่อการประปานั้นมีมาตรฐานคุณภาพของน้ำทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เช่น ตามมาตรฐานของการประปานครหลวง (ตารางที่ 1.3) จากนั้นเมื่อผลิตน้ำประปาแล้วต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานเช่นกัน ดังเช่น มาตรฐานของการประปานครหลวง (ตารางที่ 1.4) หรือคุณภาพน้ำที่ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2543 (ตารางที่ 1.5)

ตารางที่ 1.3 มาตรฐานแหล่งน้ำเพื่อการประปา ตามมาตรฐานของการประปานครหลวง

รายการที่ตรวจวิเคราะห์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเพื่อการประปา
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-9
สี (Colour)	แพลตตินัมโคบอลต์	300
ความกระด้าง (Hardness)	mg/L	500
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (DS)	mg/L	1,500
เหล็ก (Fe)	mg/L	50
แมงกานีส (Mn)	mg/L	5
ทองแดง (Cu)	mg/L	1.5
สังกะสี (Zn)	mg/L	1.5
ตะกั่ว (Pb)	mg/L	0.05
โครเมียม (Cr)	mg/L	0.05*
แคดเมียม (Cd)	mg/L	0.005*, 0.05
ฟลูออไรด์ (F)	mg/L	1.5
ไนเตรต (NO ₃)	mg/L	10
บีโอดี (BOD)	mg/L	6
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total coliform bacteria)	MPN/100 mL	-
ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Faecal coliform bacteria)	MPN/100 mL	-

หมายเหตุ * น้ำที่มีความกระด้างไม่เกิน 100 mg/L ในรูป CaCO₃

** น้ำที่มีความกระด้างเกิน 100 mg/L ในรูป CaCO₃

*** โครเมียม (Cr hexavalent) ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีไม่เกิน 0.05 mg/L

ตารางที่ 1.4 มาตรฐานน้ำประปา ตามมาตรฐานของการประปานครหลวง

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด	เกณฑ์ที่กำหนดอนุโลมให้สูงสุด
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Colour) หน่วยแพลตตินัมโคบอลต์	5.0	15.0
รส (Taste)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
กลิ่น (Odour)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
ความขุ่น (Turbidity) หน่วยซีลิกา	5.0	20.0
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.5-8.5	ไม่เกิน 9.2
คุณลักษณะทางเคมี (หน่วย mg/L)		
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total solids)	500	1,500
เหล็ก (Fe)	0.5	1.0
แมงกานีส (Mn)	0.3	0.5
เหล็กและแมงกานีส (Fe & Mn)	0.3	1.0
ทองแดง (Cu)	1.0	1.5
สังกะสี (Zn)	5.0	15.0
แคลเซียม (Ca)	75	200
แมกเนเซียม (Mg)	50	150
ซัลเฟต (SO ₄)	200	250
คลอไรด์ (Cl)	250	600
ฟลูออไรด์ (F)	0.7	1.0
ไนเตรต (NO ₃)	45	45
อัลคินเบนซิลโฟเนต (ABS)	0.5	1.0
ฟีนอลิกซบสแตนท์ (Phenol)	0.001	0.002
คุณลักษณะทางด้านสารเป็นพิษ (หน่วย mg/L)		
ปรอท (Hg)	0.001	
ตะกั่ว (Pb)	0.05	
อาร์เซนิก (As)	0.05	
เซเลเนียม (Se)	0.01	
โครเมียม (Cr)	0.05	
ไซยาไนด์ (Cn)	0.2	
แคดเมียม (Cd)	0.01	
บาเรียม (Ba)	1.0	
คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา		
แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/mL)	500	
เอ็มพีเอ็น (โคลิฟอร์มมอร์แกนนิซัม/100 mL)	น้อยกว่า 2.2	
อีโคไล (<i>E. coli</i>)	ไม่มี	

ตารางที่ 1.5 เกณฑ์คุณภาพน้ำประปาตามประกาศของกรมอนามัย พ.ศ. 2543

รายการที่ตรวจวิเคราะห์	ค่ามาตรฐานที่กำหนด	หน่วยวัด
คุณภาพน้ำทางกายภาพ		
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.5-8.5 (Field Test)	
ความขุ่น (Turbidity)	ไม่เกิน 10	NTU
สี (Colour)	ไม่เกิน 15	แพลตตินัมโคบอลท์
คุณภาพน้ำทางเคมีทั่วไป		
สารละลายทั้งหมดที่เหลือจากการระเหย (TDS)	ไม่เกิน 1,000	mg/L
ความกระด้าง (Hardness)	ไม่เกิน 500	mg/L
ซัลเฟต (SO_4)	ไม่เกิน 250	mg/L
คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 250	mg/L
ไนเตรท (NO_3)	ไม่เกิน 50	mg/L
ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 0.7	mg/L
คุณภาพน้ำทางโลหะหนักทั่วไป		
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5	mg/L
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3	mg/L
ทองแดง (Co)	ไม่เกิน 1.0	mg/L
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 3.0	mg/L
คุณภาพน้ำทางโลหะหนัก สารเป็นพิษ		
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.03	mg/L
โครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 0.05	mg/L
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.003	mg/L
สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.01	mg/L
ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.001	mg/L
คุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย		
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria)	0	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 mL
ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Faecal coliform bacteria)	0	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 mL

- หมายเหตุ 1. คลอรีนอิสระคงเหลือ (Residual free chlorine) กำหนดให้มีที่ปลายเส้นท่อ 0.2–0.5 mg/L ใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำประปา
2. วิธีการตรวจวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีการในหนังสือ Standard Method for The Examination of Water and Wastewater, 20th edition
3. ประกาศกรมอนามัย (29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543)

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาใช้สถานที่ปฏิบัติงานคือ ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา (อาคารเครื่องมือ 2) และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหาร (อาคารเครื่องมือ 3) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และใช้เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์หลัก เพื่อดำเนินการตามขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

2.1. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

2.1.1 ครุภัณฑ์

ครุภัณฑ์หลักที่ใช้มีดังนี้ หม้อหนึ่งความดันไอ (Autoclave; Hirayama, Hirayama Manufacturing Corp., Japan) ตู้อบไอร้อน (Hot air oven; 1375FX Shel Lab, Sheldon Manufacturing, Inc., U.S.A.) ตู้เขี่ยจุลินทรีย์ (Laminar flow hood, Caireb Glen Air, The Netherlands) ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส (Shel Lab, Sheldon Manufacturing, Inc., U.S.A.) ตู้ควบคุมอุณหภูมิตู้ 4-12 องศาเซลเซียส (FOC225I Velp[®] Scientific, Progen Scientific Ltd., U.K.) ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส (HLL-370 Heto, Heto-Holten, Denmark) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance, TC-205, Denver Instrument Company, Japan) เครื่องชั่งหยาบ (Pan balance, LB3200D Sartorius, Sartorius AG Göttingen, Germany) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, S47 SevenMulti™ dual meter pH/conductivity, Mettler Toledo International Inc, Switzerland) เครื่องนับโคโลนี (Colony counter, Colony-Star, Germany) กล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสง (Light microscope, Olympus BX51, Olympus Optical Co., Ltd., Japan) กล้องถ่ายภาพภาคสนาม (Olympus, Camedia, Olympus Optical Co., Ltd., Japan) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, 1245PC Shel Lab, Sheldon Manufacturing Inc., U.S.A.), เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ระบบกรองน้ำ เครื่อง Jar test และเครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter) Microcentrifuge (Strip-Fuge™, Clover Labs, Taiwan), Micropipette sets (Nichipet EX, Nichiryo, Japan), Refrigerated centrifuge (Labofuge 400R, Heraeus Instruments, Germany), Spectrophotometer UV/VISIBLE GBC 916, Scientific Equipment Ltd., Australia), Vortex mixer (Finevortex, FinePCR[®], Korea)

2.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้ เครื่องแก้วพื้นฐานและเครื่องพลาสติกสำหรับปฏิบัติการจุลชีววิทยาและปฏิบัติการเคมี อาหารเลี้ยง จุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางจุลชีววิทยาและวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรีย เตรียมอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ วิเคราะห์ชนิดของจุลินทรีย์ สารเคมี (Analytical grade) ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพและเคมี และพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ถึงเก็บตัวอย่างน้ำขนาดบรรจุ 10-150 ลิตร Buret ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร ปิเปตขนาด 1-25 มิลลิลิตร Erlenmeyer flask ขนาดบรรจุ

250 และ 500 มิลลิลิตร Beaker ขนาดบรรจุ 50, 100, 250 และ 1,000 มิลลิลิตร Syringe กระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 และ 4 เยื่อกรอง (Membrane filter) กรวยกรอง โถดูดความชื้น ถ้วยระเหย เทอร์โมมิเตอร์ชนิด Red spirit-filled thermometer สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่าง 4, 7 และ 9 สารละลายมาตรฐานที่มีค่านำไฟฟ้า 1,413 microSiemens/เซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Centrifuge tubes, Microcentrifuge tubes และ Micropipette tips

2.2 การจัดหาตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด จากโรงงานผลิตแอมโมเนีย

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนีย ปริมาตร 20-500 ลิตร และ เก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี (ตารางที่ 2.1) ตามวิธีการที่ระบุใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton *et al.*, 2005) สำหรับตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์คุณภาพจุลชีววิทยา ดำเนินการตรวจวิเคราะห์ทันทีเมื่อนำตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังนำตัวอย่างน้ำบริโภคและอุปโภคมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ได้แก่ น้ำบาดาลจากโรงงานผลิตแอมโมเนีย น้ำประปาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) น้ำดื่มที่มีจำหน่ายเป็นการค้าในท้องตลาดปัจจุบัน

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางกายภาพและเคมี

วิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างน้ำทางกายภาพและเคมีตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton *et al.*, 2005), Official Methods of Analysis of AOAC International (AOAC International, 1997 และ 2000), American Public Health Association (APHA, 1995) และ Water Environment Federation (WEF, 1980) ดังนี้

2.3.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

วัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของตัวอย่างน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิด Red spirit-filled thermometer

2.3.1.2 ความขุ่น (Turbidity)

วัดความขุ่นจากการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของน้ำที่ผสมให้เข้ากันดีและไม่มีฟองอากาศ ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากที่ระบุใน APHA (1995) ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer (UV/VISIBLE GBC 916) ที่ความยาวคลื่นแสง 860 นาโนเมตร ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็น Blank เทียบค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำจากกราฟมาตรฐานของค่าความขุ่นของสารละลายมาตรฐาน Formazin solution (ภาคผนวก 6) ที่มีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

2.3.1.3 ความเข้มของสี (Colour)

กรองน้ำตัวอย่างผ่าน Syringe filter cellulose acetate ขนาดช่องกรอง 0.45 ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตร ด้วย UV-VIS Spectrophotometer (UV/VISIBLE GBC 916) ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็น Blank วัดสี (SU = Space Unit) ที่การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (400-700 นาโนเมตร)

โดยวัดช่วงละ 100 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกนตั้งและความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นแกนนอน คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ พื้นที่ที่ได้เท่ากับหน่วย SU

ตารางที่ 2.1 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีตาม Eaton *et al.* (2005)

คุณภาพที่วัด	ปริมาตร (mL)	ภาชนะบรรจุ*	การเก็บรักษา**	ระยะเวลาที่เก็บ
ทางกายภาพ				
Colour	500	P, G	Refrigerate	48 h
Odour	500	G only	Analyze as soon as possible, refrigerate	6 h
Turbidity	100	P, G	Store in dark up to 24 h, refrigerate	48 h
Total Solids	100	P, G	Refrigerate	7 d
ทางเคมี				
Acidity	100	P, G(B)	Refrigerate	14 d
Alkalinity	200	P, G	Refrigerate	14 d
pH	50	P, G	Analyze immediately	0.25 h
Conductivity	500	P, G	Refrigerate	28 d
Hardness	100	P, G	Add HNO ₃ or H ₂ SO ₄ to pH <2	6 m
Chlorine residual	500	P, G	Analyze immediately	0.25 h
Ammonia	500	P, G	Add H ₂ SO ₄ to pH<2, refrigerate	28 d
Nitrate	100	P, G	Analyze as soon as possible, refrigerate	48 h
Nitrite	100	P, G	Analyze as soon as possible, refrigerate	48 h
Biochemical oxygen demand (BOD)	1,000	P, G	Refrigerate	48 h
Biochemical oxygen demand (COD)	100	P, G	Add H ₂ SO ₄ to pH<2, refrigerate	28 d
Dissolved oxygen (DO)	300	G only	Analyze immediately	0.25 h

* P, plastic (polyethylene or equivalent); G, glass; G(B), glass, borosilicate.

** Refrigerate, storage at 4°C ± 2°C; in the dark; analyze immediately, analyze usually within 15 min of sample collection.

2.3.1.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids)

วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด ตามวิธีที่ระบุใน APHA (1995) โดยอบด้วยระเหยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยระเหย จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่เขย่าเข้ากันดีแล้วและทราบปริมาตรแน่นอนบรรจุลงในถ้วยระเหยแล้วนำเข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมดจากสูตร

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (\%)} = \frac{(A - B) \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยระเหย (กรัม)

2.3.1.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter; S20 SevenEasy™) ที่ผ่าน Calibration ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มี pH 4, 7 และ 9

2.3.1.6 การนำไฟฟ้า (Conductivity)

เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยวิธี APHA (1995) ด้วย pH/Conductivity (pH meter) (S47 SevenMulti™ dual meter pH/conductivity) ที่ปรับการวัดสภาพนำไฟฟ้าให้มีหน่วยเป็น $\mu\text{S/cm}$ และ Calibration เครื่องวัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่าการนำไฟฟ้า $1,413 \mu\text{S/cm}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.3.1.7 ความกระด้าง (Hardness)

วิเคราะห์ค่าความกระด้างของน้ำตัวอย่างด้วยวิธี EDTA Titrimetric method ตาม APHA (1995) โดยเจือจางตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (หรือปริมาตรที่เหมาะสมที่ใช้ไทเทรตไม่เกิน 15 มิลลิลิตร) ใน Erlenmeyer flask แล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์ (ภาคผนวก ค2) 2 มิลลิลิตร (สารละลายควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 10 ± 0.1) และผง Indicator (ภาคผนวก ค7) 200 มิลลิกรัม ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (ภาคผนวก ค5) อย่างช้าๆ เขย่าหรือกวนตลอดเวลา จนกระทั่งสีแดงเรื่อหายไป แล้วจึงค่อยไทเทรตต่อด้วยสารละลาย EDTA อีก 2-3 หยด ในช่วง 3-5 วินาที จนสีของสารละลายที่จุดสุดท้ายเป็นสีน้ำเงินภายใต้ไฟ Daylight fluorescence บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตหาค่าปริมาณของ Calcium carbonate solution (CaCO_3) (ภาคผนวก ค3) โดยใช้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตตามวิธีข้างต้นเพื่อหาค่า B ที่ใช้คำนวณความกระด้างจากสูตร

$$\text{ความกระด้าง (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO}_3\text{)} = \frac{T \times B \times 1,000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ T = ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน EDTA (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของ CaCO_3 (มิลลิกรัม) เทียบเท่ากับ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายมาตรฐาน EDTA

2.3.1.8 แคลเซียมไอออน (Calcium ion)

วิเคราะห์แคลเซียมไอออนด้วยวิธี EDTA Titrimetric method ตาม APHA (1995) โดยเจือจางตัวอย่างน้ำ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (หรือปริมาตรที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้ไทเทรตไม่เกิน 15 มิลลิลิตร) ใน Erlenmeyer flask เติม 1.0M Sodium hydroxide solution (NaOH) (ภาคผนวก ค18) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และเติมผง Indicator (ภาคผนวก ค8) ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA อย่างช้าๆ เขย่าหรือกวนตลอดเวลา จนกระทั่งสีชมพูเปลี่ยนไปเป็นสีม่วง และหาค่า B โดยใช้ Calcium carbonate solution (1,000 มิลลิกรัม/ลิตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไทเทรตตามวิธีข้างต้น คำนวณแคลเซียมไอออนจากสูตร

$$\text{แคลเซียมไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO}_3\text{)} = \frac{T \times B \times 1,000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ T = ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน EDTA (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของ CaCO₃ (มิลลิกรัม) เทียบเท่ากับ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายมาตรฐาน EDTA

2.3.1.9 คลอไรด์ไอออน (Chloride ion)

วิเคราะห์หาคลอไรด์ไอออนด้วยวิธีของ Mohr method ตาม AOAC International (2000) นำตัวอย่างน้ำมา 10-100 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Potassium chromate solution (K₂CrO₄) (ภาคผนวก ค11) 1 มิลลิลิตร จากนั้นไทเทรตกับ Silver nitrate (AgNO₃) (ภาคผนวก ค13) จะได้ตะกอนสีขาวของ Silver chloride (AgCl) เมื่อไทเทรตต่อไปเรื่อยๆ จนถึงจุดสุดท้ายจะได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงจางๆ ของ Silver dichromate (Ag₂CrO₄) บันทึกปริมาตร คำนวณคลอไรด์ไอออนจากสูตร

$$\text{คลอไรด์ไอออน (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{ปริมาณ AgNO}_3\text{ ที่ใช้} \times \text{Normality AgNO}_3 \times 35,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

2.3.1.10 สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)

วัดค่าความเป็นด่างด้วยวิธี Titration method ตาม APHA (1995) ใช้ตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร หรือเลือกปริมาตรที่ใช้ปริมาณกรดไทเทรตไม่เกิน 25 มิลลิลิตร และเลือกความเข้มข้นของ Sulphuric acid solution 0.02N (ภาคผนวก ค21) สำหรับสภาพด่างที่น้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ถ้ามากกว่าควรใช้ 0.1N หยด Phenolphthalein indicator solution (ภาคผนวก ค10) ลงไป 3 หยด ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีชมพู ไทเทรตด้วย 0.01N Sulphuric acid solution จนกระทั่งสีชมพูหายไป (อ่านค่าที่ได้ = P) หยด Methyl orange indicator solution (ภาคผนวก ค9) 3 หยด ถ้าตัวอย่างมีสีเหลืองอ่อน ไทเทรตต่อด้วย 0.01N Sulphuric acid solution กระทั่งสังเกตเห็นสีเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้ม โดยเทียบสีกับขวดน้ำที่มีน้ำกลั่น แสดงว่าถึงจุดสมมูล บันทึกปริมาตร Sulphuric acid solution ทั้งหมดที่ใช้ (อ่านค่าที่ได้ = T) คำนวณสภาพด่างทั้งหมดจากสูตร

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO}_3\text{)} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของกรดทั้งหมดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต

ถ้า $P = T$,	สภาพต่างไฮดรอกไซด์	=	$\frac{P \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$
ถ้า $P > \frac{T}{2}$,	สภาพต่างไฮดรอกไซด์	=	$\frac{(2P - T) \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$
ถ้า $P = \frac{T}{2}$,	สภาพต่างคาร์บอเนต	=	$\frac{2P \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$
ถ้า $P < \frac{T}{2}$,	สภาพต่างคาร์บอเนต	=	$\frac{2P \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$
	สภาพต่างไบคาร์บอเนต	=	$\frac{(T - 2P) \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$
ถ้า $P = 0$,	สภาพต่างคาร์บอเนต	=	$\frac{T \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$

2.3.1.11 สภาพกรดทั้งหมด (Acidity)

วัดค่าของสภาพกรดทั้งหมดด้วยวิธี Titration method ตาม APHA (1995) โดยใช้ตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 50-100 มิลลิลิตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ ประจุใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำก่อน หากตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 4.0 เติม 0.02N Sulphuric acid solution ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างลง บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ จากนั้นเติม Phenolphthalein indicator solution ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เป็น Indicator แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Sodium hydroxide จนถึงจุดเปลี่ยนที่ได้เป็นสีชมพู คำนวณสภาพกรดทั้งหมดจากสูตร

$$\text{สภาพกรดทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO}_3\text{)} = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] \times 50,000}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

B = ความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต

C = ปริมาณของ H₂SO₄ ที่ใช้เติม (มิลลิลิตร)

D = ความเข้มข้นของ H₂SO₄ ที่ใช้เติม

2.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์หาจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำและจุลินทรีย์ปนเปื้อนที่พบทั่วไป คือ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts หรือ Aerobic plate counts) และยีสต์และรา (Yeasts และ Molds) และจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่ง (Indicator) คุณภาพของน้ำ กลุ่ม Coliform bacteria (Coliforms) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ตามวิธีที่ระบุใน AOAC (1990) และ AOAC International (1998 และ 2000) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.3.2.1 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำ

จากผลการศึกษาปัญหาในเบื้องต้นก่อนการดำเนินงานของโครงการนี้พบว่าน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เมื่อกักไว้ในบ่อพักเพื่อรอน้ำกลับมาใช้ใหม่นั้นมีสีเขียวของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton ในน้ำ จึงมุ่งศึกษาจุลินทรีย์ในกลุ่ม Plankton โดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสง (Light microscope, Olympus BX51) ที่ตรวจนับโดยใช้ Haemocytometer (Haemocytometer counting chambers, Heinz Herenz Medizinalbedarf GmbH, Germany)

2.3.2.2 จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts)

นำตัวอย่างน้ำที่ได้มาเจือจางแบบ Serial dilution ด้วย Bufferfield's buffered phosphate diluent (ภาคผนวก ก2) ตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี Standard plate count และใช้เทคนิค Spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA; ภาคผนวก ข14) ทำการทดลองสองซ้ำ บ่มให้จุลินทรีย์เจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาพมีออกซิเจน ตรวจนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายใน 24-48 ชั่วโมง บันทึกผล หาค่าเฉลี่ยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/กรัม)

2.3.2.3 ยีสต์และรา (Yeasts and molds)

เจือจางตัวอย่างน้ำและใช้วิธีการตรวจหายีสต์และราเช่นเดียวกับการตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด แต่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Malt yeast extract agar (MYA; ภาคผนวก ข9) ทำการทดลองสองซ้ำ และบ่มให้ยีสต์และราเจริญที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาพมีออกซิเจน เป็นเวลา 3-5 วัน นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นทั้งหมด และแยกนับราและยีสต์ตามลักษณะโคโลนี บันทึกผลหาค่าเฉลี่ยและค่าจำนวนยีสต์และรา (CFU/กรัม)

2.3.2.4 Coliform bacteria (Coliforms)

ใช้วิธี Most probable number (MPN) ตาม AOAC Official Method 996.24 (AOAC, 1990) และปฏิบัติตาม AOAC International (1998 และ 2000) โดยเจือจางตัวอย่างน้ำแบบ Serial dilution ด้วย Bufferfield's buffered phosphate diluent ปลอดเชื้อ ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulphate tryptose broth (ภาคผนวก ข6) ที่มีหลอดดักแก๊ส (Durham tube) บรรจุอยู่ บ่มให้แบคทีเรียเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนหลอดที่เกิดแก๊ส และบ่มต่อถึง 48 ชั่วโมง จึงตรวจผลอีกครั้ง นำค่าจำนวนหลอดที่เกิดแก๊ส คือผลบวกไปเทียบค่า MPN จากตารางอ่านค่ามาตรฐาน และนำหลอดที่ให้ผลบวกนี้ไปทดสอบต่อในขั้น Confirmed test โดย Cross-streak บนอาหาร LEVINE Eosine methylene blue (EMB) agar (ภาคผนวก ข7) ตรวจดูลักษณะโคโลนีที่เกิดขึ้นซึ่งจะได้สองรูปแบบ คือ Coli-type colony ซึ่งเป็น Greenish metallic sheen colony ใน reflected light หรือเป็น Dark หรือ Black centered colony ใน transmitted light และ Aerogenes-type colony ที่กลางโคโลนีทึบแสง มีสีอ่อนหรือสี

ชมพู เป็นเมือกเยิ้ม จากนั้นทดสอบในขั้น Complete test ด้วยอาหาร Brilliant green lactose bile (BGLB) broth ที่มีหลอดดักแก๊สบรรจุอยู่

2.3.2.5 *Escherichia coli* (*E. coli*)

ใช้วิธี Most probable number (MPN) ระบบ 5 หลอด ตาม AOAC (1990) ข้อ 978.23 และปรับตาม AOAC International (1995 และ 2000) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ EC broth (ภาคผนวก ข5) ที่มีหลอดดักแก๊สบรรจุอยู่ บ่มให้แบคทีเรียเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 44.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนหลอดที่เกิดแก๊สและเทียบค่า MPN จากตารางอ่านค่ามาตรฐาน นำหลอดที่ให้ผลบวกคือหลอดที่เกิดแก๊สไป Cross-streak บนอาหาร L-EMB agar บ่มให้แบคทีเรียเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจดูลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร L-EMB agar ที่มีลักษณะ Coli-type colony (เป็น Greenish metallic sheen colony ใน Reflected light หรือเป็น Dark หรือ Black centered colony ใน Transmitted light) เลือกเก็บโคโลนีและแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ (Pure culture) ด้วยวิธี Cross streak โดยใช้อาหาร Trypticase soy agar (TSA, ภาคผนวก ข17) ศึกษาสมบัติของเชื้อเพื่อวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรียที่เป็น *E. coli* ดังนี้

1) การศึกษาสัณฐานวิทยาของเซลล์ด้วยการย้อมสีเซลล์แบบแกรม (Gram stain)

ศึกษาสัณฐานวิทยาของเซลล์แบคทีเรียด้วยการย้อมสีเซลล์แบบแกรม จากการเตรียมรอย Smear ของแบคทีเรียอายุ 18-24 ชั่วโมง ที่เจริญบนอาหาร TSA บนแผ่นแก้วสไลด์ที่สะอาด ตรึงเซลล์ให้ติดแผ่นแก้วสไลด์ด้วยความร้อน หยดสี Crystal violet (ภาคผนวก ก3) ให้ทั่วรอย Smear เป็นเวลา 1 นาที ล้างสีออกด้วยน้ำเบาๆ และหยด Gram's iodine (ภาคผนวก ก5) ให้ทั่วรอย Smear เป็นเวลา 1 นาที ล้างรอย Smear ด้วย 95% Ethyl alcohol หรือ Acetone alcohol (ภาคผนวก ก1) จนไม่มีสีม่วงของ Crystal violet ออกมา แต่ไม่ควรเกิน 20 วินาที ล้างด้วยน้ำทันที ย้อมทับรอย Smear ด้วยสี Safranin (ภาคผนวก ก7) เป็นเวลา 1 นาที ล้างด้วยน้ำ ทิ้งให้แห้ง แล้วตรวจดูรูปร่าง โครงสร้าง และการเรียงตัวของเซลล์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope, Olympus BX51)

2) การศึกษาการเจริญของแบคทีเรียบนอาหาร MacConkey agar

ศึกษาลักษณะการเจริญของแบคทีเรียบนอาหาร MacConkey agar (ภาคผนวก ข8) โดยวิธี Cross streak เชื้อบริสุทธิ์อายุ 18-24 ชั่วโมง บนผิวหน้าอาหาร MacConkey agar ที่บรรจุในจานเลี้ยงเชื้อ บ่มให้เชื้อเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบคทีเรียแกรมลบสามารถเจริญบน MacConkey agar ซึ่งถ้าเป็นพวกที่เฟอร์เมนที่น้ำตาลแล็กโทสจะมีโคโลนีที่มีสีชมพู แต่ถ้าเป็นพวกที่ไม่สามารถเฟอร์เมนที่น้ำตาลแล็กโทสจะมีโคโลนีที่ไม่มีสี และแบคทีเรียแกรมบวกไม่สามารถเจริญบน MacConkey agar เนื่องจากถูกยับยั้งด้วย Bile salts และ Crystal violet

3) การสร้างเอนไซม์ Oxidase

วางแผ่นกระดาษกรอง Whatman No. 4 ลงในจานเลี้ยงเชื้อเปล่าที่สะอาด หยดสารละลาย Tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride (1%) (ภาคผนวก ก8) ลงบนกระดาษกรอง ใช้ Loop เขี่ยแบคทีเรียบริสุทธิ์ป้ายลงบนกระดาษกรองที่เปียกสารละลายสำหรับทดสอบ ตรวจดูการเปลี่ยนสีของเชื้อที่ป้ายบนกระดาษกรอง ซึ่งถ้าเป็นผลบวกของการสร้างเอนไซม์ Oxidase เชื้อที่ป้ายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มภายใน 1 นาที

4) การสร้างเอนไซม์ Catalase

ใช้ Loop เขี่ยแบคทีเรียบริสุทธิ์ป้ายบนแผ่นแก้วสไลด์ที่สะอาด หยดสารละลาย Hydrogen peroxide (3%) (ภาคผนวก ก4) ลงบนเชื้อที่ป้ายไว้บนแผ่นแก้วสไลด์ ตรวจสอบการเกิดฟองแก๊ส ซึ่งเป็นผลบวกของการสร้างเอนไซม์ Catalase

5) การทดสอบ Oxidation-Fermentation (O-F test)

ทดสอบ Oxidation-Fermentation (O-F test) โดยใช้ O-F test medium (ภาคผนวก ข13) บรรจุในหลอดทดสอบ และทดลองควบคุมทั้งหลอดที่ปิดทับผิวหน้าอาหารด้วย Mineral oil ปลอดภัย และไม่ปิดทับผิวหน้าอาหาร ภายหลังการใส่เชื้อโดยใช้เข็มเขี่ยปลายตรงเขี่ยเชื้อบริสุทธิ์ที่เตรียมไว้ใส่ลงในอาหาร ทำการทดลองสองซ้ำ บ่มให้เชื้อเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจสอบการเปลี่ยนสีของอาหารและการเกิดแก๊สภายหลังการเจริญ ผลบวกคือสีของอาหารเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและอาจเกิดแก๊ส

6) การทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ (Motility test)

ทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ของแบคทีเรียโดยใช้ Motility test medium (ภาคผนวก ข10) ใช้เข็มเขี่ยปลายตรงเขี่ยเชื้อบริสุทธิ์อายุ 18-24 ชั่วโมง ที่เจริญบนอาหาร TSA แล้วแทงลงในอาหาร บ่มให้เชื้อเจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบการกระจายของเชื้อจากรอยที่ใส่เชื้อเข้าไปในอาหาร

7) การทดสอบสมบัติทางชีวเคมีด้วยชุดทดสอบ (Detection kit)

ทดสอบสมบัติทางชีวเคมีด้วยชุดทดสอบ API 20E (bioMérieux, Inc.) โดยเตรียมเชื้อบริสุทธิ์อายุ 18-24 ชั่วโมง ที่เจริญบนอาหาร TSA จำนวน 1 โคลนในน้ำเกลือ (0.85% NaCl) ปลอดภัย 5 มิลลิลิตร ใส่ Suspension ของเชื้อที่เตรียมได้นั้นลงในแต่ละ Microtube ของ API 20E strip ซึ่งมี 20 Microtubes และดำเนินการตามข้อแนะนำของผู้ผลิตชุดทดสอบ

2.4 การศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและ สิ่งแขวนลอย

จากปัญหา Phytoplankton หลายชนิด ที่ตรวจพบจากการศึกษาในเบื้องต้น จึงทดลองหาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้ โดยนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังบรรจุในภาชนะ คลายเกลียวฝาเพื่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ นำตัวอย่างน้ำไว้ในที่มีดเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 14 วัน เก็บตัวอย่างน้ำ ทุกวันเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและความเป็นกรด-ด่าง (ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.3.1)

2.5 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของ น้ำ และวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ

2.5.1 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ

กำจัดความขุ่นของน้ำโดยนำตัวอย่างน้ำภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังมากำจัดความขุ่นโดยตกตะกอนลอยและสิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นตามวิธีการเตรียมน้ำประปาของการประปานครหลวงและการประปาส่วนภูมิภาค ด้วยการเติมปูนขาว

จนกระทั่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำประมาณ 11.0 จากนั้นกวนนาน 30 นาที แล้วเติมสารส้ม (Aluminum sulphate) จนกระทั่งค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.5 กวนผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อเกิดการแยกชั้นระหว่างตะกอนและน้ำส่วนใส เก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี และจุลชีววิทยา ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 2.3.1 และ 2.3.2 ตามลำดับ

2.5.2 การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอยด้วยวิธี Jar test

ศึกษาการทดสอบการตกตะกอนด้วยวิธี Jar test เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน เริ่มจากการการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนเบื้องต้นก่อน จากนั้นศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนสิ่งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ โดยเลือกใช้สารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ซึ่งสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 เป็นสารที่มีจำหน่ายเป็นการค้า และสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 3 เป็นสารช่วยตกตะกอนที่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนเบื้องต้น

นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 15 ลิตร วัดค่าความเป็นกรด-ด่างและความขุ่น แบ่งบรรจุลงใน Beaker ปริมาณ Beaker ละ 800 มิลลิลิตร เติมสารช่วยตกตะกอนที่คัดเลือกมาศึกษาทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวข้างต้น ในความเข้มข้นและปริมาณเริ่มต้นตามข้อมูลจากผู้จำหน่ายสาร กวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เวลา 3 นาที ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการเกิดตะกอน ถ้าไม่มีตะกอนเกิดขึ้นให้เติมสารช่วยตกตะกอนลงไปอีก 2 มิลลิลิตร สังเกตการเกิดตะกอนต่อ ทำซ้ำจนกระทั่งเห็นตะกอนเกิดขึ้น นำปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมไปทดลองต่อเพื่อหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.5.2.2 การหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน

เติมน้ำตัวอย่างลงใน Beaker 5 Beaker ละ 800 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างในแต่ละ Beaker ให้ได้ 5 ค่าเป็นลำดับตามสมบัติของสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดใน 3 ชนิดดังระบุข้างต้น เติมปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 2.5.2.1 ลงไปในแต่ละ Beaker กวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนที่ความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 30 นาที วัดค่าความขุ่นของสารละลายที่อยู่ส่วนบนของแต่ละ Beaker นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความขุ่นกับ pH แล้วหา pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.5.2.3 การหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

เติมน้ำตัวอย่างลงใน Beaker 5 Beaker ละประมาณ 800 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างให้มีค่าเท่ากับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5.2.2 เติมสารช่วยตกตะกอนลงในแต่ละ Beaker ในปริมาณที่แตกต่างกัน บันทึกปริมาตรของสารช่วยตกตะกอนที่เติมลงไป กวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนที่ความเร็ว 40 รอบ/นาที ประมาณ 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาที วัดค่าความขุ่นของสารละลายส่วนบนของแต่ละ Beaker นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับปริมาณของสารช่วยตกตะกอน แล้วทำการหาปริมาณของสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนเพื่อใช้ในการทดลองข้อ 2.6

2.6 การพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา

กำจัดตะกอนลอยและสิ่งแขวนลอยในน้ำตามข้อ 2.5 ทดลองระบบกรองน้ำโดยนำตัวอย่างน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรองที่มีชั้นกำจัดสีและกลิ่น โดยพัฒนาการกำจัดสีในน้ำด้วยการนำน้ำส่วนใสที่ได้มาเติมถ่าน Activated charcoal ที่ระดับ 1% ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 นำน้ำใสที่ได้ไปกำจัดความกระด้าง และระบบกำจัดปริมาณไอออน นำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี และทางจุลชีววิทยา ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.3.1 และ 2.3.2

สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางจุลชีววิทยานั้นตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด Coliform bacteria และ *E. coli* กรณี Coliform bacteria และ *E. coli* ตรวจนับทั้งด้วยวิธี Most probable number (MPN) ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 2.3.2.4 และ 2.3.2.5 และนับจำนวนโดยใช้ 3M Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count Plate (3M, Minneapolis, U.S.A.) ซึ่งเป็นระบบเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Violet red bile (VRB) เจลที่ละลายได้ด้วยน้ำเย็น สีย้อมเพื่อบ่งชี้ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ β -Glucuronidase และสีย้อมเพื่อช่วยในการนับจำนวนโคโลนี *Escherichia coli* ส่วนมากผลิตเอนไซม์ β -Glucuronidase ทำให้เกิดตะกอนสีน้ำเงินที่โคโลนี แผ่นฟิล์มแผ่นบนดักฟองแก๊สที่ผลิตโดย Coliforms และ *E. coli* จากปฏิกิริยาการหมักน้ำตาลแล็กโทส 95% ของ *E. coli* ผลิตฟองแก๊ส ซึ่งบ่งชี้ได้จากโคโลนีสีน้ำเงินหรือน้ำเงินอมแดงที่มีฟองแก๊สอยู่ด้วย (ฟองแก๊สอยู่ภายในระยะ 1 ช่วงโคโลนี)

จากนั้นหาปริมาณความต้องการคลอรีน (Chlorine demand) โดยนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทำให้ใส แบ่งบรรจุ 10 ชุดๆ ละ 200 มิลลิลิตร ทำการทดลองสองซ้ำ เติมน้ำคลอรีนในชุดที่ 1 หาเวลาสัมผัส (Contact time) ให้ไม่มีคลอรีนเหลือ หลังจากได้เวลาสัมผัส (Contact time) ตามต้องการแล้ว เพิ่มปริมาณคลอรีนขึ้นตามลำดับในชุดน้ำตัวอย่างต่อไป ช่วงการเพิ่มปริมาณคลอรีนใช้ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำที่มีความต้องการคลอรีนต่ำ และอาจถึง 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำที่มีความต้องการคลอรีนสูง ให้เวลาที่ทิ้งให้คลอรีนสัมผัสกับน้ำ 15 นาที (หรือช่วงเวลาที่ต้องการ) เมื่อครบ 15 นาที นำน้ำตัวอย่างไปตรวจหา Total available residual chlorine ด้วยวิธี Iodometric method I ตามที่ระบุไว้ใน APHA (1995) ใช้ตัวอย่างที่มีคลอรีนน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm) ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร ตัวอย่างที่มีคลอรีน 1-10 มิลลิกรัม/ลิตร ใช้ 500 มิลลิลิตร และปริมาณของตัวอย่างจะลดลงตามส่วนของคลอรีนที่คาดว่าจะมี เติม Acetic acid solution (CH_3COOH) 5 มิลลิลิตร ลงใน Flask เพื่อลดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 3-4 เติม Potassium iodide (KI) 1 กรัม เติมน้ำตัวอย่างเขย่าให้ละลาย ไทเทรตตัวอย่างด้วย 0.01N Sodium thiosulphate solution ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, ภาคผนวก ค19) จนกระทั่งสีเหลืองของไอโอดีนเกือบหายหมด จึงเติมน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไป ใช้น้ำกลั่นเป็น Blank ปริมาตรเท่ากับน้ำตัวอย่างเติม Acetic acid solution 5 มิลลิลิตร พร้อมกับ Potassium iodide 1 กรัม และน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตร ไทเทรตกับ 0.01N Sodium thiosulphate solution จนสีน้ำเงินหายไป คำนวณปริมาณ Total available residual chlorine ในน้ำ ดังนี้

$$\text{Total available residual chlorine (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A - B) \times N \times 35,000}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ}}$$

เมื่อ A = ปริมาณ (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

B = ปริมาณ (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างกับ Blank

N = จำนวนนอร์มอล (N) ของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
เขียนกราฟระหว่างปริมาณคลอรีนที่ใส่กับปริมาณคลอรีนที่หายไป

2.7 การทดลองเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับใช้ด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

2.7.1 การเตรียมน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับใช้

นำตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับใช้ปริมาณ 500 ลิตร มาผ่านกรรมวิธีการเตรียมน้ำ 2 วิธี คือ

ก. กรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีที่ 1

นำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด 250 ลิตร มาเตรียมให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาตามที่ระบุไว้ในข้อ 2.5.1 และ 2.6 โดยตกตะกอนด้วยสารตกตะกอนต่างชนิดที่ศึกษา (ไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง ด้วยต่าง Sodium hydroxide และกรด Sulphuric acid) จากนั้นนำไปผ่านระบบกรองซึ่งประกอบด้วย การผ่านถ่าน Activated carbon และ Cation exchange resin ฆ่าเชื้อในน้ำด้วยคลอรีน และผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) ล้างระบบกรองน้ำก่อนทำการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 2.3

ข. กรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีที่ 2

นำตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับใช้ตามที่ระบุไว้ในข้อ 2.1 จำนวน 250 ลิตร มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 11 โดยใช้ 20% Sodium hydroxide จากนั้นเติมสารช่วยตกตะกอนตามชนิด ความเข้มข้น และปริมาณที่ได้จากการทดลองข้อ 2.5 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เหมาะกับการทำงานของสารช่วยตกตะกอนด้วย 10% Sulphuric acid กวนผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน โดยเกิดการแยกชั้นระหว่างตะกอนและน้ำส่วนใส นำน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรองซึ่งประกอบด้วย การผ่านถ่าน Activated carbon, Cation exchange resin ฆ่าเชื้อในน้ำด้วยคลอรีน และการผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) แล้วนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

2.7.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

เพื่อให้ได้น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพเทียบเท่ามาตรฐานน้ำประปา จึงส่งตัวอย่างน้ำที่ผ่านการเตรียมให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาไปตรวจวิเคราะห์ ยังคงวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง โดยมีรายการที่วิเคราะห์ 32 รายการ (ตารางที่ 2.2) พร้อมทั้งส่งวิเคราะห์น้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับใช้ที่ผ่านการบำบัด) ที่ใช้เตรียมน้ำประปา และส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์บางรายการ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 รายการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ส่งวิเคราะห์ ณ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ
การประปานครหลวง

รายการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์*
คุณลักษณะทางกายภาพ	
1) Color	APHA, AWWA, WEF 2120 B
2) Conductivity	APHA, AWWA, WEF 2510 B
3) pH	APHA, AWWA, WEF 4500-H ⁺ B
4) Turbidity	APHA, AWWA, WEF 2130 B
5) Temperature	APHA, AWWA, WEF 2550 B
คุณลักษณะทางเคมี	
1) Alkalinity (P)	APHA, AWWA, WEF 2320 B
2) Alkalinity (Total)	APHA, AWWA, WEF 2320 B
3) Hardness (Total)	APHA, AWWA, WEF 2340 C
4) Hardness (Carbonate)	APHA, AWWA, WEF 2340 C
5) Hardness (non-Carbonate)	APHA, AWWA, WEF 2340 C
6) Chloride (Cl ⁻)	APHA, AWWA, WEF 4500-Cl-B
7) Sulphate (SO ₄ ⁻²)	APHA, AWWA, WEF 4500-SO ₄ ⁻² E
8) Nitrate	APHA, AWWA, WEF 4500-NO ₃ ⁻ E
9) Nitrite	APHA, AWWA, WEF 4500-NO ₂ ⁻ B
10) Fluoride (F)	Spectrophotometer
11) Calcium (Ca) as hardness	APHA, AWWA, WEF 3500-Ca B
12) Magnesium (Mg) as hardness	APHA, AWWA, WEF 3500-Mg B
13) Iron (Fe)	APHA, AWWA, WEF 3500-Fe B
14) Manganese (Mn)	APHA, AWWA, WEF 3500-Mn B
15) Total Solids TS	APHA, AWWA, WEF 2540 B
16) Total dissolved Solids TDS	APHA, AWWA, WEF 2540 C
17) Suspended Solids SS	APHA, AWWA, WEF 2540 D
18) Ammonia nitrogen	APHA, AWWA, WEF 4500-NH ₃ B
19) Albuminoid nitrogen	AWWA 12 th edition (1965)
20) Dissolved oxygen (DO)	APHA, AWWA, WEF 4500-O C
21) Biochemical oxygen demand (BOD)	APHA, AWWA, WEF 5210 B
22) Oxygen consume (OC)	Permanganate Method

* APHA , American Public Health Association (APHA, 1995)

AWWA, American Water Works Association (Eaton *et al.*, 2005)

WEF, Water Environment Federation (1980)

ASS, Atomic absorption spectroscopy

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) รายการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ส่งวิเคราะห์ ณ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
น้ำการประปานครหลวง

รายการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์*
คุณลักษณะทางโลหะหนัก	
1) Copper (Cu)	AAS (Flame)
2) Zinc (Zn)	AAS (Flame)
3) Cadmium (Cd)	AAS (Non-Flame)
4) Chromium (Cr) Total	AAS (Non-Flame)
5) Lead (Pb)	AAS (Non-Flame)

* APHA , American Public Health Association (APHA, 1995)

AWWA, American Water Works Association (Eaton *et al.*, 2005)

WEF, Water Environment Federation (1980)

ASS, Atomic absorption spectroscopy

2.7.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts หรือ Aerobic plate counts) จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่ง (Indicator) คุณภาพของน้ำ ในกลุ่ม Coliform bacteria (Coliforms) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) และเพิ่มการตรวจหาจุลินทรีย์ก่อโรคคือ *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งน้ำประปาได้มาตรฐานได้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ที่กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549 (ภาคผนวก จ) ว่าต้องไม่พบแบคทีเรียเหล่านี้ในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร วิเคราะห์หาจุลินทรีย์ตามวิธีที่ระบุใน AOAC (1990) และ AOAC International (1998 และ 2000) ตามขั้นตอนดังนี้

2.7.3.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts)

ตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี Standard plate count และใช้เทคนิค Spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 2.3.2.2

2.7.3.2 Coliform bacteria และ *E. coli*

ตรวจนับ Coliform bacteria และ *E. coli* ด้วยวิธี Most probable number (MPN) ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 2.3.2.4 และตรวจนับโดยใช้ 3M Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count Plate (3M, Minneapolis, U.S.A.) *Escherichia coli* ส่วนมากผลิตเอนไซม์ β -Glucuronidase ซึ่งทำให้เกิดตะกอนสีน้ำเงินที่โคโลนีแผ่นฟิล์มแผ่นบนดักฟองแก๊สที่ผลิตโดย Coliforms และ *E. coli* จากปฏิกิริยาการหมักน้ำตาลแล็กโทสโคโลนีของ *E. coli* มีสีน้ำเงินหรือน้ำเงินอมแดงที่มีฟองแก๊สอยู่ด้วย กรณี *E. coli* เลือกเก็บโคโลนีและแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์และศึกษาสมบัติของเชื้อเพื่อวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรียตามข้อ 2.3.2.5 ดำเนินการตามข้อแนะนำของผู้ผลิตชุดทดสอบ

2.7.3.3 *Salmonella* spp.

ใช้วิธีตรวจหาเชื้อตาม AOAC 1990 ข้อ 967.26 และปรับตาม AOAC International (2000)

ปิเปตตัวอย่างน้ำ 25 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase soy broth (TSB; ภาคผนวก ข16) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ย้ายเชื้อ 1 มิลลิลิตร ลงใน Selenite cystine broth (ภาคผนวก ข15) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น Cross-streak บนผิวหน้าอาหาร Xylose lysine desoxycholate (XLD) agar (ภาคผนวก ข18) บ่มให้แบคทีเรียเจริญที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะโคโลนีสีชมพูที่อาจมีหรือไม่มีสีดำที่กลางโคโลนีที่เกิดขึ้น และอาจวิเคราะห์ชนิดที่แน่นอนของแบคทีเรียต่อไปตาม AOAC (1990) ข้อ 978.24 ทดสอบสมบัติทางชีวเคมีด้วยชุดทดสอบ API 20E (bioMérieux, Inc.)

2.7.3.4 *Staphylococcus aureus*

ตรวจหา *Staphylococcus aureus* โดยใช้ 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate (3M, Minneapolis, U.S.A.) ซึ่งเป็นระบบเพาะเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปที่ประกอบด้วยเจลที่ละลายได้ในน้ำเย็น อาหารเลี้ยงเชื้อดัดแปลง Baird-Parker ซึ่งเป็นอาหารที่ทำให้เกิดสีที่มีความจำเพาะต่อ *Staphylococcus aureus* ที่มีโคโลนีสีแดง-ม่วง กรณีที่พบเฉพาะโคโลนีสีแดง-ม่วงบนแผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อถือว่าการทดสอบเสร็จสมบูรณ์สามารถรายงานผลได้ทันที กรณีที่พบโคโลนีสีอื่นๆ เช่น โคโลนีสีดำหรือสีน้ำเงิน-เขียวขึ้นปนอยู่กับโคโลนีสีแดง-ม่วงบนแผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อ ตรวจสอบโคโลนีที่สงสัยได้โดยการใช้แผ่นปฏิบัติการ 3M Petrifilm™ Staph Express disk ที่ประกอบด้วยสีย้อมและ deoxyribonucleic acid (DNA) *S. aureus* จะสร้างเอนไซม์ Deoxyribonuclease (DNase) ซึ่งทำปฏิกิริยากับสีย้อมทำให้เกิดวงสีชมพูล้อมรอบโคโลนี โดย *S. aureus* (บางครั้งรวมไปถึง *Staphylococcus hyicus* และ *Staphylococcus intermedius*) เชื้อกลุ่มที่สร้าง Coagulase-positive *Staphylococci* เท่านั้นที่จะทำให้เกิดวงสีชมพู แบคทีเรียชนิดอื่นๆ จะไม่สร้างวงสีชมพูดังกล่าว

เลือกเก็บโคโลนีสีแดง-ม่วงมาทดสอบยืนยันผล โดยแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์บนอาหาร TSA ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานของเซลล์ การสร้างเอนไซม์ Oxidase ทดสอบ Oxidation-Fermentation และทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ ตามวิธีการเดียวกับที่ระบุในขั้นตอนการวิเคราะห์ชนิดของ Coliforms อาจทดสอบสมบัติทางชีวเคมีด้วยชุดทดสอบ API STAPH (bioMérieux, Inc.) โดยเตรียมเซลล์ของเชื้อบริสุทธิ์อายุ 18-24 ชั่วโมง ที่เจริญบนอาหาร TSA ใน API STAPH medium ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ให้มีความขุ่นของ Suspension ของเซลล์เท่ากับ McFarland Standard Scale 0.5 (ภาคผนวก ก9) แล้วใส่ Suspension ของเชื้อนั้นลงในแต่ละ Microtube ใน API STAPH strip ซึ่งมี 20 Microtubes และดำเนินการตามข้อแนะนำของผู้ผลิตชุดทดสอบ

2.7.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเตรียมน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบเตรียมน้ำ 3 ส่วนหลักคือ Activated carbon, Cation exchange resin และระบบ Reverse osmosis (RO) โดยวิเคราะห์คุณภาพที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการของน้ำที่ผ่านการปรับปรุง โดยทดสอบประสิทธิภาพของสาร Activated carbon จากคุณภาพด้านค่าความเข้มของสี ทดสอบประสิทธิภาพของ Cation exchange resin จากคุณภาพด้านค่าความกระด้าง และทดสอบประสิทธิภาพของระบบเมมเบรน Reverse osmosis (RO) จากปริมาณคลอไรด์ ไอออน ค่าอนประสิทธิภาพจากค่าความสัมพันธ์ของค่าคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ และปริมาณน้ำที่ผ่านแต่ละขั้นตอน

บทที่ 3

ผลการวิจัย

การศึกษาเพื่อพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้
ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ได้ผลดังนี้

3.1 การจัดหาตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง และ วิเคราะห์คุณภาพของน้ำเริ่มต้นทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา

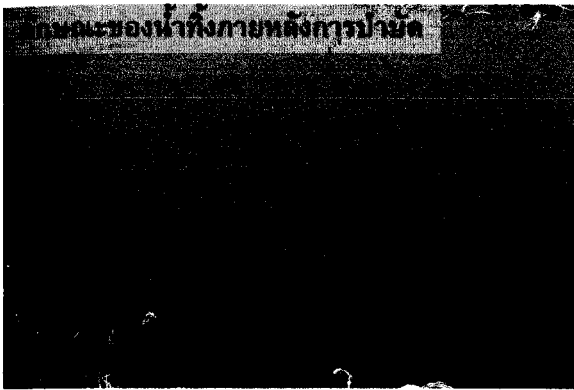
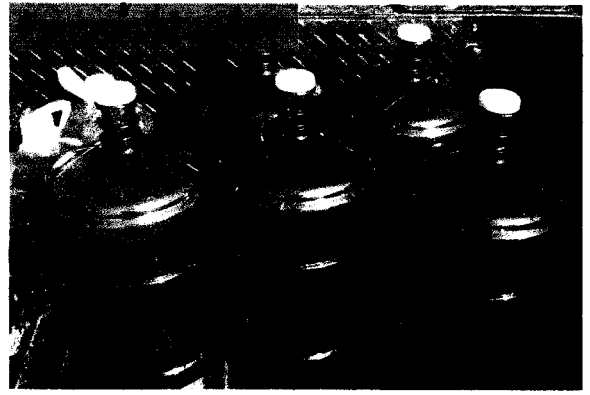
ได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวงษ์
อุตสาหกรรม จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 120 หมู่ 4 ถนนราชสีมา-โชคชัย ตำบลหนองบัวศาลา อำเภอเมือง จังหวัด
นครราชสีมา เก็บรักษาตัวอย่างน้ำ และวิเคราะห์คุณภาพตามวิธีการที่ระบุใน Standard Methods for the
Examination of Water and Wastewater (Eaton et al., 2005) ดังนี้

3.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากบ่อกักน้ำทิ้ง (รูปที่ 3.1) ของโรงงานผลิตแบริ่งมัน
สำปะหลัง บริษัท สวงวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จำนวน 11 ครั้ง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึง
เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง (ตารางที่ 3.1) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี
และจุลชีววิทยา การพัฒนาวิธีการกำจัดสีและความขุ่น พัฒนาการเตรียมน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดให้มี
คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา และทดลองเตรียมน้ำให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ตัวอย่างน้ำที่เก็บทุก
ตัวอย่างในรอบ 1 ปีมีสีเขียวและมีความขุ่นของตะกอนแขวนลอยแตกต่างกันในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (รูป
ที่ 3.2) ตัวอย่างน้ำที่เก็บในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 มีลักษณะปรากฏคล้ายกับที่เก็บในช่วงกลางเดือน
ตุลาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 และมีสีเขียวจางกว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บในเดือน
พฤษภาคมถึงต้นเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550

3.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิต แบริ่งมันสำปะหลัง

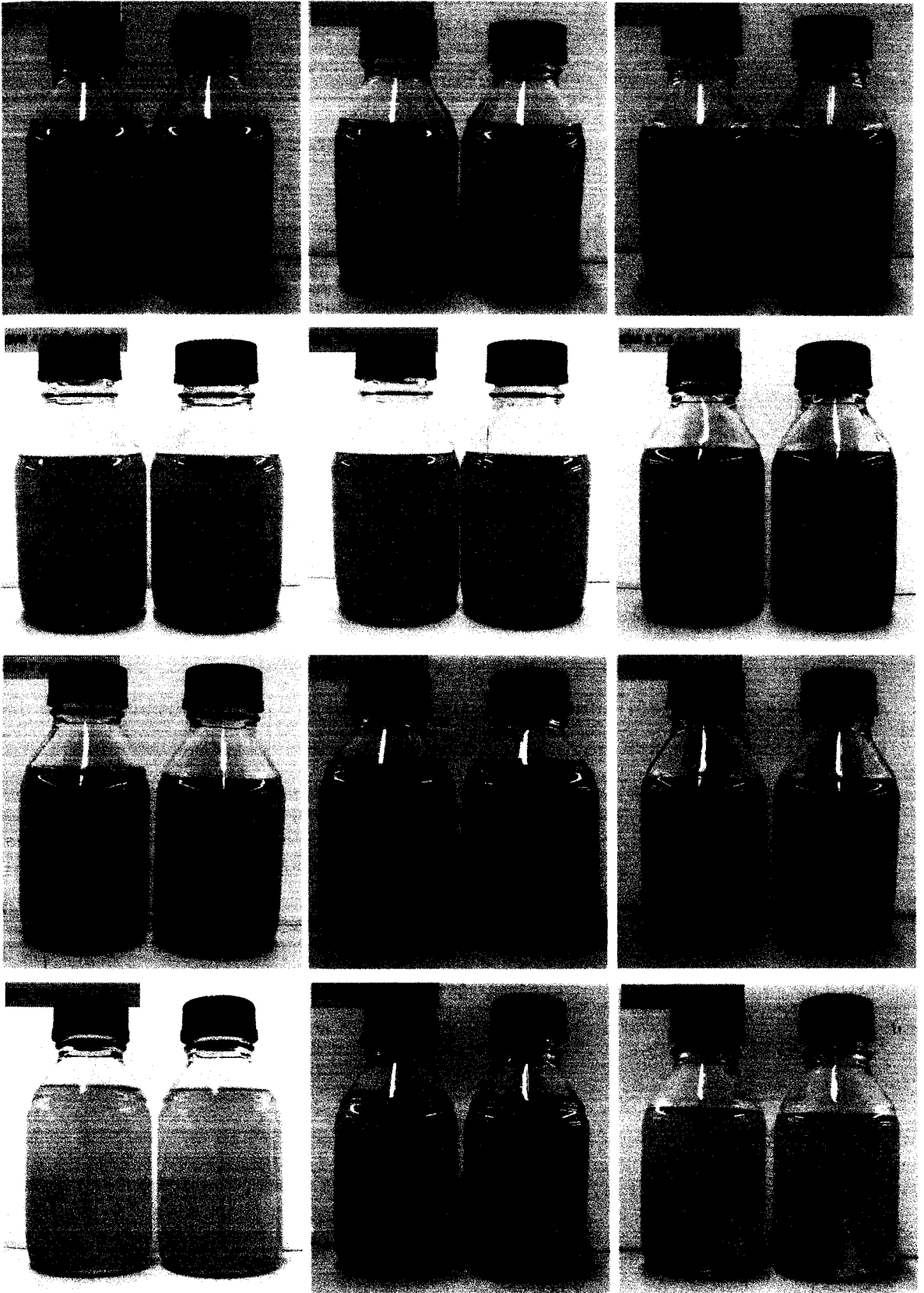
คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ใช้เป็นน้ำเริ่มต้นศึกษา ที่ได้
วิเคราะห์ คือ อุณหภูมิ ความขุ่น ความเข้มของสี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า
ความกระด้าง แคลเซียมไอออน คลอไรด์ไอออน สภาพต่างในรูปคาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนต และสภาพ
ต่างทั้งหมดหรือสภาพกรดทั้งหมดแล้วแต่ผลจากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าตัวอย่างน้ำทิ้ง
ภายหลังการบำบัดจากโรงงานแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 12 ตัวอย่าง ในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีคุณภาพทาง
กายภาพและเคมีค่อนข้างแตกต่างกัน (ตารางที่ 3.2) คือน้ำมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.0-30.0 องศาเซลเซียส
ซึ่งแปรผันตามสภาพอากาศในช่วงเก็บตัวอย่างน้ำ ค่าความขุ่นอยู่ช่วงระหว่าง 44.29-220.95 NTU ที่เกิด
จากสารแขวนลอย เช่น ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ เป็นต้น ความขุ่น
ของน้ำมีความสำคัญในการผลิตน้ำประปาในด้านความนำใช้ อายุของระบบกรอง และการฆ่าเชื้อโรค
(กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544) ค่าความเข้มของสีในตัวอย่างน้ำมีค่าช่วงระหว่าง 1.20-10.35 SU ตัวอย่างน้ำ
ส่วนใหญ่มีลักษณะที่เห็นเป็นสีเขียว



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สวงนวนษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ที่ใช้เป็นน้ำเริ่มต้นในการศึกษาระบบวิธีเตรียมน้ำให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำและปริมาณน้ำที่เก็บจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สวงนวนษ์อุตสาหกรรม จำกัด จำนวน 12 ตัวอย่าง

ครั้งที่	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ	รหัสตัวอย่าง	ปริมาณ (ลิตร)
1	ท่อน้ำ L1 และ ท่อน้ำ L2 ที่เข้าระบบทำน้ำประปาของโรงงาน	SWI 1 และ SWI 2	20 และ 20
2	บ่อกักน้ำทิ้งหลังการบำบัด	SWI 3	70
3	ท่อน้ำที่สูบจากบ่อกักทิ้งหลังการบำบัด	SWI 4	60
4	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 5	120
5	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 6	120
6	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 7	150
7	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 8	150
8	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 9	150
9	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 10	150
10	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 11	150
11	บ่อกักน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด	SWI 12	550



รูปที่ 3.2 ลักษณะของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่เก็บจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 12 ตัวอย่าง ที่เก็บในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 และใช้เป็นน้ำเริ่มต้นในการศึกษากรรมวิธีเตรียมน้ำให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา

สอดคล้องกับช่วงสีที่วัดได้ สีที่เกิดขึ้นในน้ำตามที่มีรายงานเกิดจาก 2 สาเหตุ คือที่เกิดจากการมีสารแขวนลอยซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยการกรอง และสีที่เกิดจากสารละลายในน้ำซึ่งต้องกำจัดโดยการดูดซึมด้วยถ่านกัมมันต์และวิธีอื่นๆ เช่น การกรองด้วยเยื่อกรอง (Membrane filter) (ไพศาล วีรกิจ, 2545) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.34-0.46% หรือ 340-460 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งทั้งหมดแสดงถึงสารต่างๆ ทุกชนิดที่มีอยู่ในน้ำทั้งที่เป็นของแข็งแขวนลอยในน้ำที่มองเห็นและของแข็งละลายน้ำที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (มันรัช ทัศนกุลเวศม์, 2545) ความกระด้างของน้ำทั้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าระหว่าง 549.50-819.47 mg/L CaCO₃ ซึ่งจัดว่าเป็นน้ำที่มีความกระด้างมาก เนื่องจากมีค่าความกระด้างมากกว่า 300 mg/L CaCO₃ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544; ไพศาล วีรกิจ, 2545; มันรัช ทัศนกุลเวศม์, 2545) ความกระด้างของน้ำเกิดได้จากแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออน (มันรัช ทัศนกุลเวศม์, 2545) ชนิดของความกระด้างจึงแบ่งได้ตามชนิดไอออน ซึ่งส่วนใหญ่คือ แคลเซียมไอออน (Ca²⁺) และแมกนีเซียมไอออน (Mg²⁺) และไอออนลบที่ก่อให้เกิดความกระด้างในน้ำ เป็นชนิดความกระด้างชั่วคราว (Carbonate hardness) และความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness) (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)

ค่าแคลเซียมไอออนของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดที่ศึกษามีค่าระหว่าง 116.05-272.28 mg/L CaCO₃ และคลอไรด์ไอออนมีค่า 568.83-1,828.03 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจัดว่าเป็นน้ำที่มีคลอไรด์ไอออนในปริมาณสูง โดยปกติน้ำประปาไม่ควรให้มีคลอไรด์อยู่มากเกินกว่า 250 มิลลิกรัม/ลิตร (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 4,513.50-7,226.67 µS/cm ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าแสดงถึงความเข้มข้นของไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย น้ำที่มีไอออนมากจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำที่มีไอออนน้อย (มันรัช ทัศนกุลเวศม์, 2545) ด้านความเป็นกรด-ด่างของน้ำทั้งมีค่าระหว่าง 8.06-8.77 ยกเว้นตัวอย่างน้ำ SWI 9 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.35 เนื่องจากในช่วง 2 วันก่อนเก็บตัวอย่างมีฝนตกหนักและน้ำท่วมบริเวณบ่อกักน้ำของโรงงาน และเกิดการเน่าเสีย ทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง นอกจากตัวอย่าง SWI 9 มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเป็นศูนย์ ตัวอย่างน้ำที่เหลือทั้งหมดมีสภาพต่างสูง กล่าวคือมีค่าระหว่าง 959.18-1,483.76 mg/L CaCO₃ ซึ่งน้ำที่มีค่าสภาพต่างสูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตน้ำประปา น้ำที่เหมาะสมที่จะมาทำน้ำประปาควรมีค่าความเป็นต่างระหว่าง 30-500 มิลลิกรัม/ลิตร (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)

นอกจากนี้ยังได้เก็บน้ำบาดาลของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเดียวกันนั้นมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ซึ่งพบความกระด้างสูงเช่นกัน (436.48-582.73 mg/L CaCO₃) (ตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำทั้งภายหลังการบำบัดที่เก็บจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

คุณภาพ	ครั้งที่เก็บตัวอย่างน้ำ/ วันที่เก็บ											
	SWI 1 / 2 ก.พ. 2550 22 ก.พ. 2550 30 พ.ค. 2550 20 มิ.ย. 2550 20 ก.ย. 2550 2 ต.ค. 2550 9 ต.ค. 2550 16 ต.ค. 2550 13 พ.ย. 2550 13 ธ.ค. 2550 9 ม.ค. 2551	SWI 2/	SWI 3/	SWI 4/	SWI 5/	SWI 6/	SWI 7/	SWI 8/	SWI 9*/	SWI 10/	SWI 11/	SWI 12/
อุณหภูมิของน้ำขณะเก็บ (°C)	ND	30.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.0	26.0	25.0	26.5	27.0	
ความขุ่น (NTU)	ND	ND	ND	138.57	154.29	155.71	220.95	205.74	146.19	99.33	44.29	
ความขุ่นของสี (SU)	ND	ND	8.10	10.35	9.90	7.95	7.50	5.80	4.99	2.69	1.20	
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	ND	ND	0.39	ND	0.36	0.34	0.35	0.43	0.37	0.45	0.46	
เคมี												
ความเป็นกรด-ด่าง	8.69	8.46	8.54	8.69	8.77	8.32	8.38	6.35	8.27	8.41	8.52	
การนำไฟฟ้า (µS/cm)	ND	ND	ND	5,533.33	5,706.67	5,143.33	4,860.00	4,513.30	6,283.33	6,800.00	7226.67	
ความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)	794.83	781.41	558.42	549.50	587.93	658.79	649.61	606.30	662.90	819.47	723.51	
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO ₃)	ND	ND	169.54	116.05	127.06	138.61	136.96	272.28	168.30	147.06	156.86	
คลอไรด์ไอออน (ppm)	1,596.86	1,567.20	1,382.61	1,775.00	1,396.82	1,326.27	1,326.27	568.83	1,446.15	1,620.84	1,828.03	
สภาพต่าง (mg/L CaCO ₃)	315.60	206.02	255.23	240.12	148.87	104.88	110.97	0.00	173.23	207.06	117.72	
คาร์บอนเนต												
ไบคาร์บอนเนต	1,113.37	1,277.67	829.49	1,159.20	826.75	854.29	913.50	0.00	998.08	1039.36	431.64	
ทั้งหมด	1,425.97	1,483.76	1,054.72	1,399.32	1,011.62	959.18	1,024.47	0.00	1,171.31	1,246.42	549.36	
จุลชีววิทยา												
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/mL)	5.95x10 ⁵	3.10x10 ⁵	4.10x10 ⁵	2.07x10 ⁵	9.40x10 ⁵	9.75x10 ⁵	1.39x10 ⁶	9.85x10 ⁵	2.43x10 ⁶	2.20x10 ⁵	2.29x10 ⁵	
Coliform bacteria (MPN/100 mL)**	ND	ND	ND	>1600	>1600	>1600	1600	>1600	1600	14	14	

ND = Not determined ไม่ได้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่เก็บในครั้งที่ 1 และ 2 เนื่องจากไม่คาดถึงปัญหาความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียมไอออน

* น้ำท่วมบ่อเก็บน้ำเนื่องจากฝนตกหนักต่อเนื่องหลายวัน

** MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำบาดาลที่ใช้ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ

คุณภาพของน้ำ	ตัวอย่างน้ำบาดาล	
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2
ทางเคมีและกายภาพ		
อุณหภูมิ (°C)	28.00	28.00
สี (SU)	0.02	0.25
ความเป็นกรด-ด่าง	7.51	8.02
ความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)	436.48	582.73
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO ₃)	125.44	395.08
คลอไรด์ไอออน (ppm)	47.31	255.80
สภาพด่าง (mg/L CaCO ₃)		
คาร์บอเนต	0.00	34.50
ไบคาร์บอเนต	192.87	457.47
ทั้งหมด	192.87	491.97
ทางจุลชีววิทยา		
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/mL)	1.80x10 ²	8.60x10 ²
Coliform bacteria* (MPN/100 mL)	<1.8 (ไม่พบ)	<1.8 (ไม่พบ)

* MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)

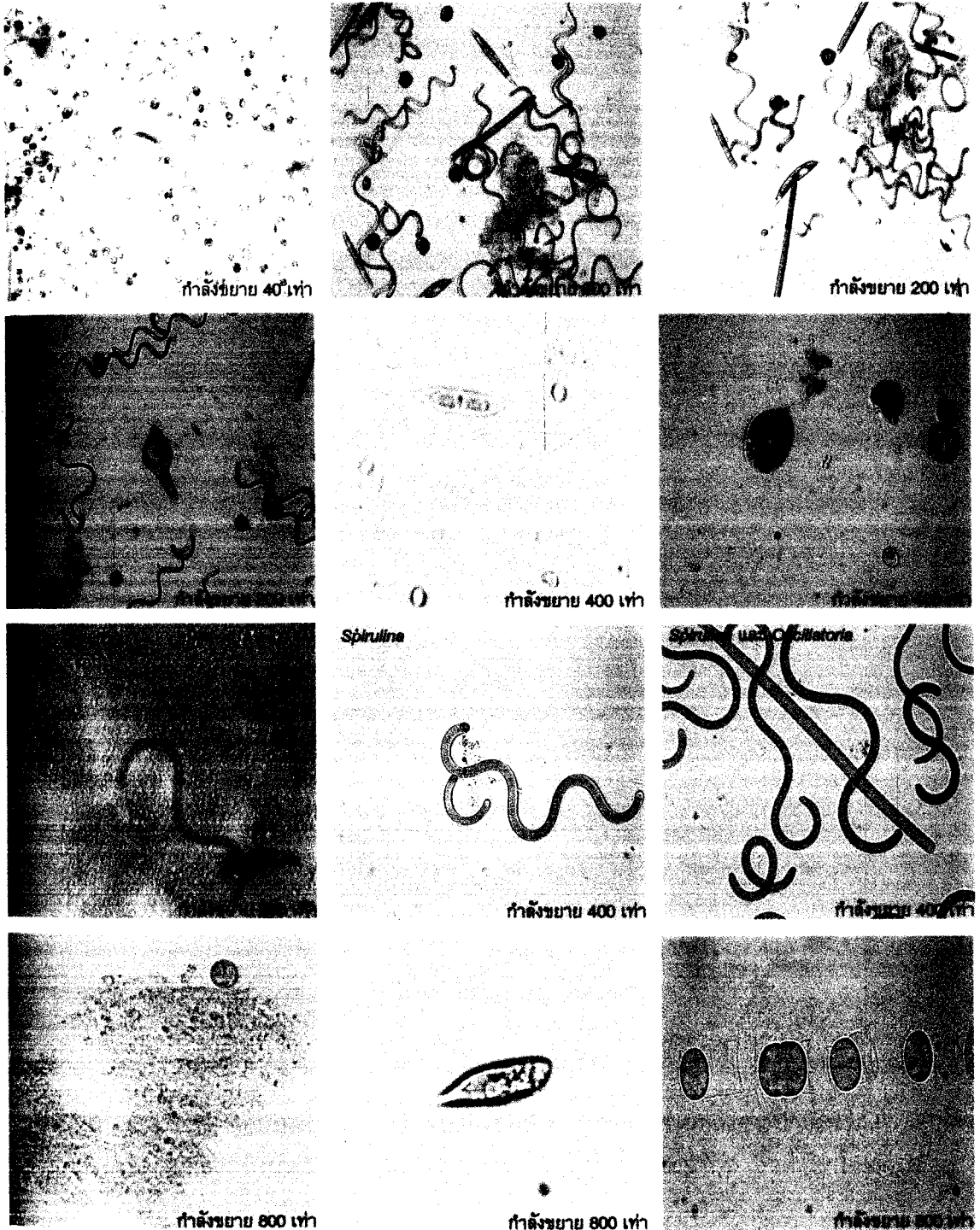
3.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

วิเคราะห์หาจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำและจุลินทรีย์ปนเปื้อนที่พบทั่วไป คือ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts หรือ Aerobic plate counts) ยีสต์และรา (Yeasts และ Molds) และจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่ง (Indicator) คุณภาพของน้ำ กลุ่ม Coliform bacteria (Coliforms) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ก่อนหน้านั้นไปปรับปรุงคุณภาพซึ่งได้ผลดังนี้

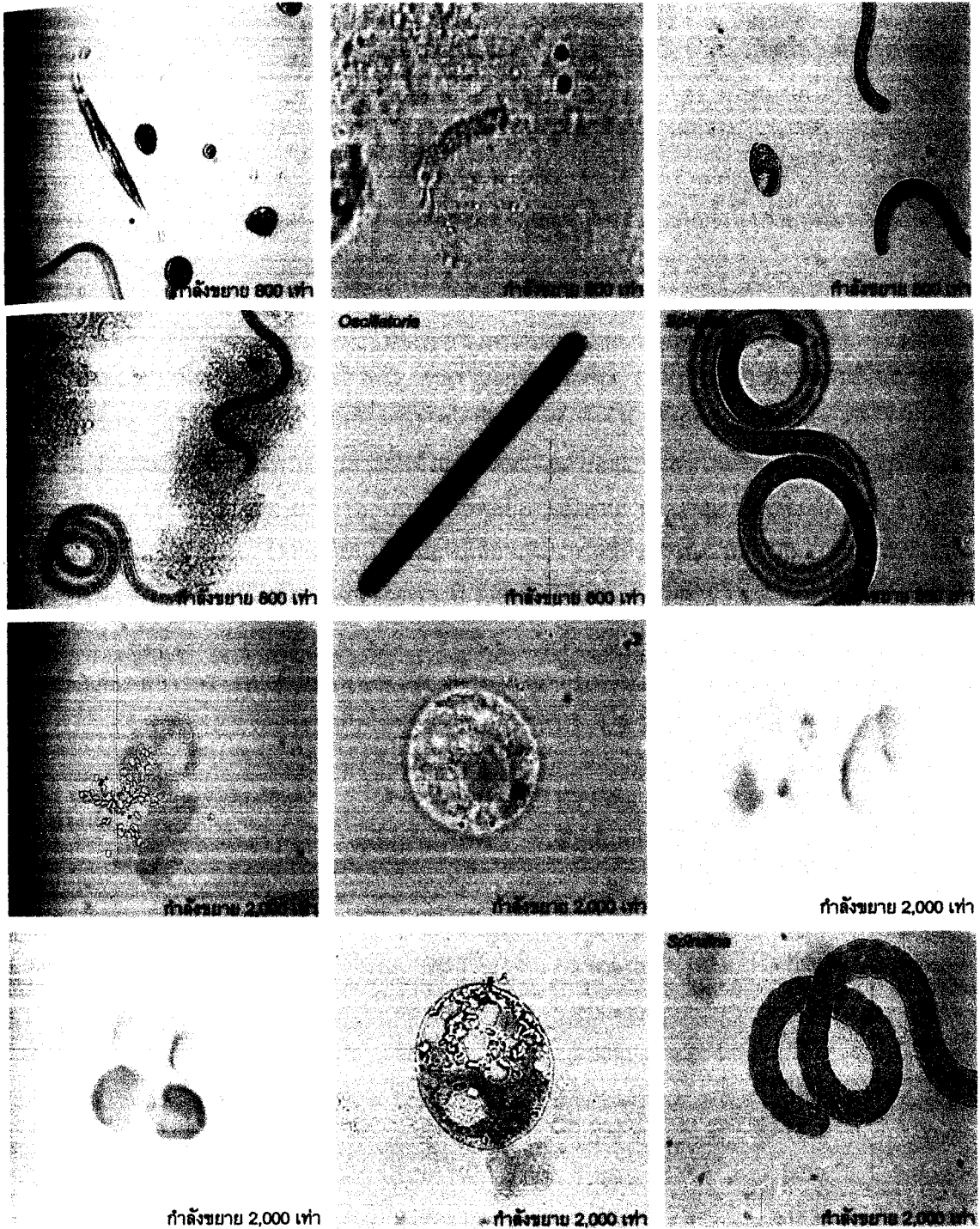
3.1.3.1 จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำ

จากที่มุ่งศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่พบในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด เนื่องจากจากผลการศึกษาปัญหาในเบื้องต้นก่อนการดำเนินงานของโครงการนี้ พบว่าน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อกักไว้ในบ่อพักเพื่อรอรถกลับมาใช้ใหม่นั้นมีสีเขียวของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton ในน้ำ จึงตรวจหาสิ่งมีชีวิตกลุ่ม Plankton โดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสงพร้อมตรวจนับโดยใช้ Haemocytometer พบ Cyanobacteria โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสกุล *Oscillatoria* และ *Spirulina* และ Eucaryotic algae

หลากหลายชนิดในทุกตัวอย่างน้ำ (รูปที่ 3.3) ในปริมาณ $1.50 \times 10^4 - 4.80 \times 10^5$ cells/mL (ตารางที่ 3.4) ตัวอย่างน้ำ SWI 3 - SWI 8 ที่เก็บในช่วงปลายเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 มีความหนาแน่นของ Cyanobacteria มากกว่าตัวอย่างน้ำที่เหลือ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่พบในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อศึกษาโดยตรงด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสง



รูปที่ 3.3 (ต่อ) ตัวอย่างลักษณะของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่พบในน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก
 โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อศึกษาโดยตรงด้วย
 กล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้แสง

3.1.3.2 จุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts) ด้วยอาหาร Plate count agar ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน พบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในแต่ละตัวอย่างน้ำใกล้เคียงกันในช่วง 2.07×10^5 - 9.85×10^5 CFU/mL (ตารางที่ 3.2 และ 3.4) ลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์นั้นมีทั้งเหมือนและแตกต่างกัน (รูปที่ 3.4) และเป็นโคโลนีของแบคทีเรียเป็นหลักในทุกตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างน้ำที่เก็บในช่วงเดือนกันยายน ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2550 จัดได้ว่ามีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าที่พบในตัวอย่างน้ำที่เหลือ ซึ่งช่วงดังกล่าวมีฝนตกบ่อยครั้งและมีน้ำท่วมบ่อกักน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดของโรงงานในเดือนตุลาคม

3.1.3.3 ยีสต์และรา

ยีสต์และราที่ตรวจพบโดยใช้อาหาร Malt yeast extract (MY) agar ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นลักษณะโคโลนีของยีสต์เท่านั้น (ตัวอย่างลักษณะโคโลนีดังแสดงในรูปที่ 3.5) จำนวนยีสต์ที่ตรวจพบแตกต่างกันตั้งแต่ $<30(2)$ CFU/mL ซึ่งพบในตัวอย่าง SWI 11 ที่เก็บในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 จนถึงปริมาณที่พบมากที่สุดคือ 1.57×10^3 CFU/mL ในตัวอย่าง SWI 7 ที่เก็บต้นเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 โดยเฉลี่ยในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงตุลาคม พ.ศ. 2550 พบจำนวนยีสต์สูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ที่ได้เก็บตัวอย่างน้ำ (ตารางที่ 3.4)

ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจหาจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 12 ตัวอย่าง ที่เก็บในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงมกราคม พ.ศ. 2551

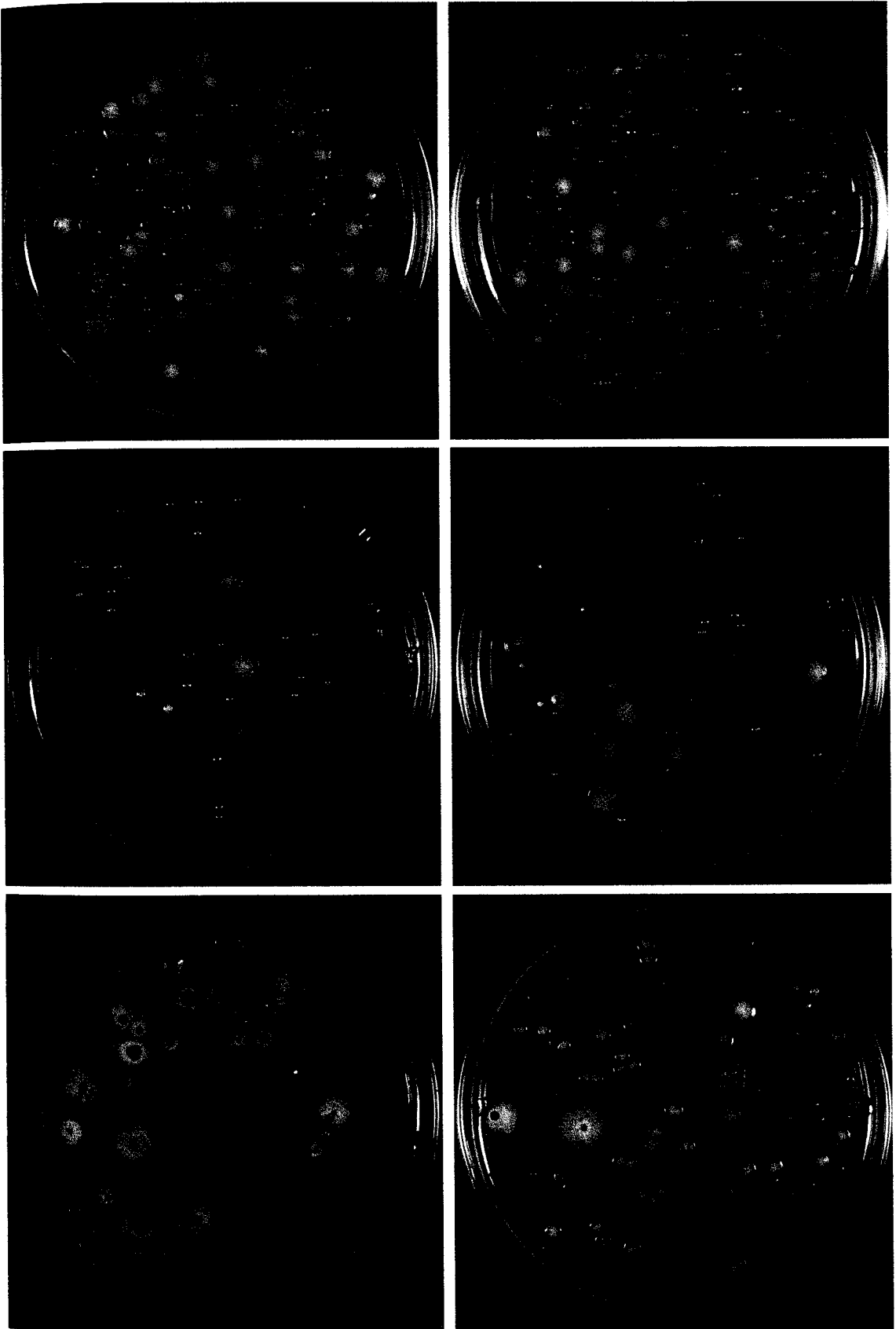
ตัวอย่างน้ำ	Phytoplankton* (cell/mL)	จำนวนจุลินทรีย์** (CFU/mL)		MPN/100 mL***	
		จุลินทรีย์ทั้งหมด	ยีสต์และรา	Coliforms	<i>E. coli</i>
SWI 1	2.50×10^4	5.95×10^5	95	ND	ND
SWI 2	2.30×10^4	3.10×10^5	1.55×10^2	ND	ND
SWI 3	1.80×10^5	4.10×10^5	2.00×10^2	ND	ND
SWI 4	4.30×10^4	2.07×10^5	2.00×10^2	>1600	220
SWI 5	3.25×10^5	9.40×10^5	3.50×10^2	>1600	240
SWI 6	2.00×10^5	2.54×10^5	6.85×10^2	>1600	140
SWI 7	4.80×10^5	9.75×10^5	1.57×10^3	>1600	150
SWI 8	3.80×10^4	1.39×10^6	1.18×10^2	1600	23
SWI 9	2.35×10^5	9.85×10^5	9.50×10^2	>1600	350
SWI 10	3.35×10^4	2.43×10^6	35	1600	23
SWI 11	3.50×10^4	2.20×10^5	<30(2)	14	6.8
SWI 12	1.50×10^4	2.29×10^5	<30(3.5)	14	12

ND = Not determined

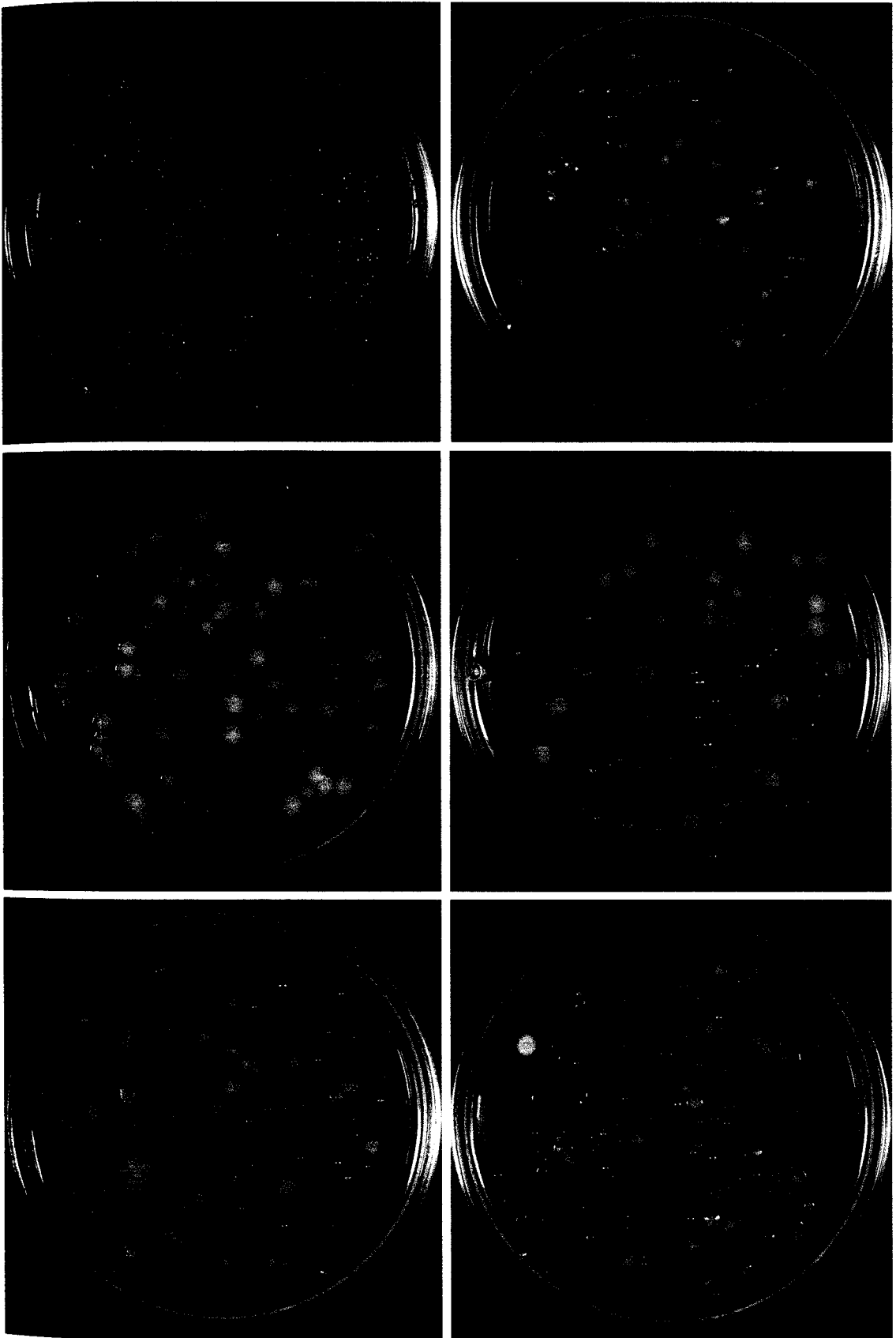
* ตรวจนับ Phytoplankton โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์ ด้วย Haemocytometer

** ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar และยีสต์และราโดยใช้อาหาร Malt yeast extract (MY) agar และปมให้เชื้อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน

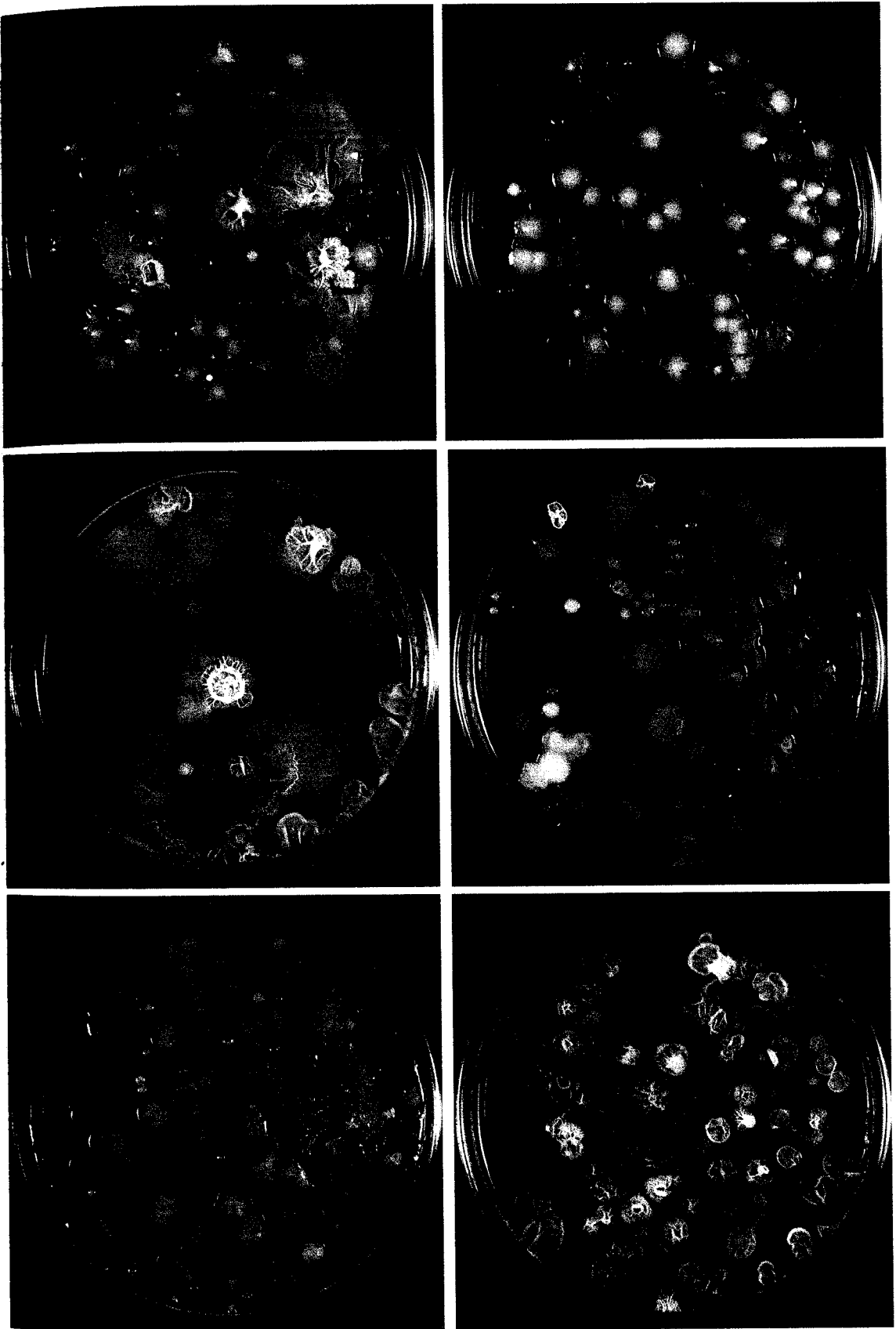
*** MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างที่เก็บจำนวน 12 ตัวอย่าง (SWI 1 - SWI 12) เมื่อตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar บ่มให้จุลินทรีย์เจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 (ต่อ) ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างที่เก็บจำนวน 12 ตัวอย่าง (SWI 1-SWI 12) เมื่อตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar บ่มให้จุลินทรีย์เจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของยีสต์เมื่อตรวจหาโดยใช้อาหาร MY agar บ่มให้จุลินทรีย์เจริญที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นเวลา 3 วัน

3.1.3.4 Coliform bacteria (Coliforms)

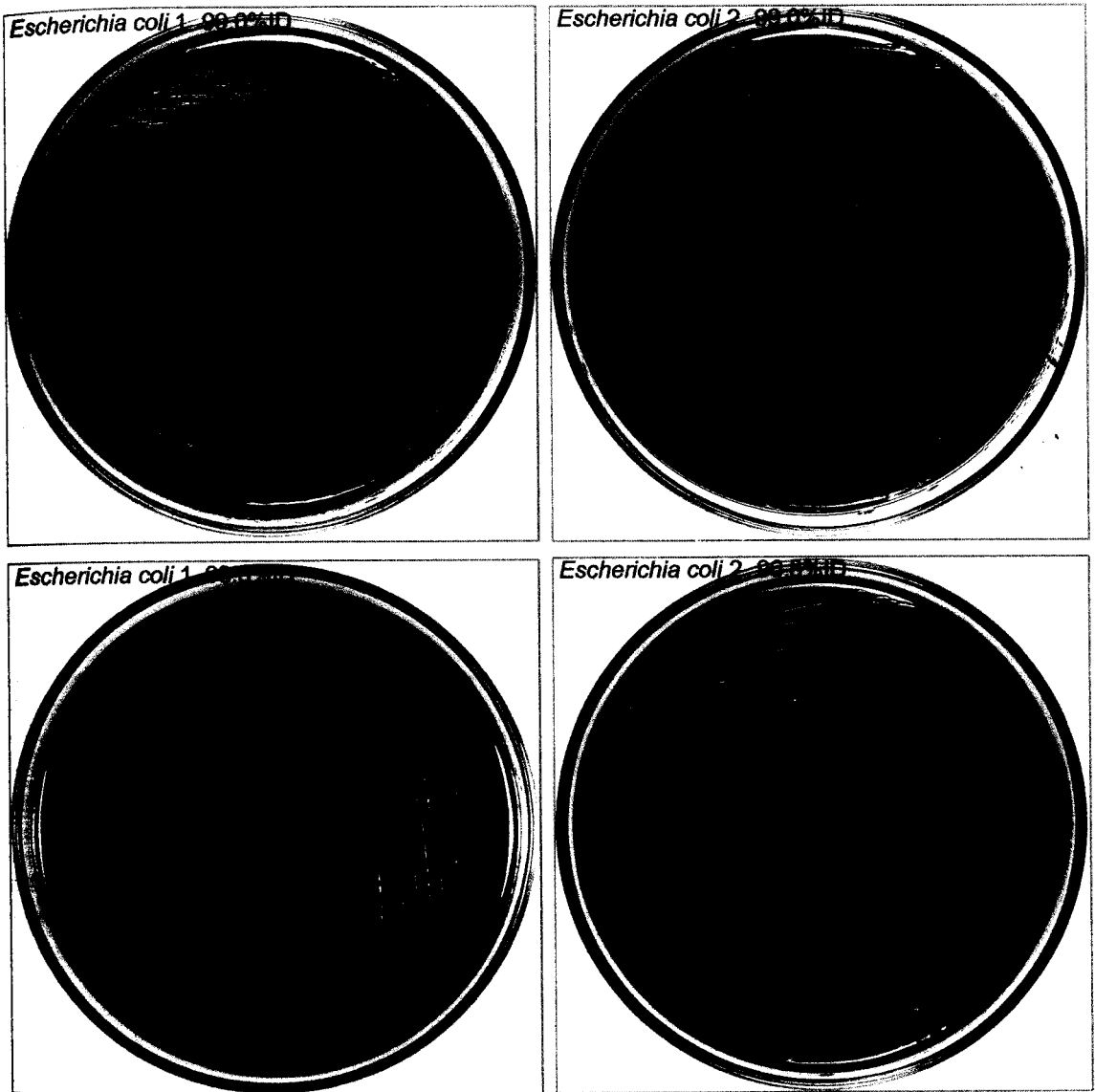
จากการตรวจหา Coliforms ในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ยด้วยวิธี Most probable number (MPN) พบว่าตัวอย่างน้ำ 7 ตัวอย่าง (SWI 4 - SWI 10) ที่เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 มีค่า MPN สูงที่สุด คือมีค่าไม่น้อยกว่า 1600 /น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร (ตารางที่ 3.2 และ 3.4) ที่เหลืออีก 2 ตัวอย่างที่ได้วิเคราะห์มีค่า MPN ของ Coliforms เท่ากับ 14/น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เมื่อนำหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ให้ผลบวก (หลอดที่เกิดแก๊ส) ไป Cross-streak บนอาหาร L-EMB agar พบลักษณะโคโลนีที่เกิดขึ้นหลายลักษณะ มีทั้งโคโลนี metallic sheen โคโลนีสีดำเข้ม และโคโลนีสีชมพูเป็นเมือกเยิ้ม

3.1.3.5 *Escherichia coli* (*E. coli*)

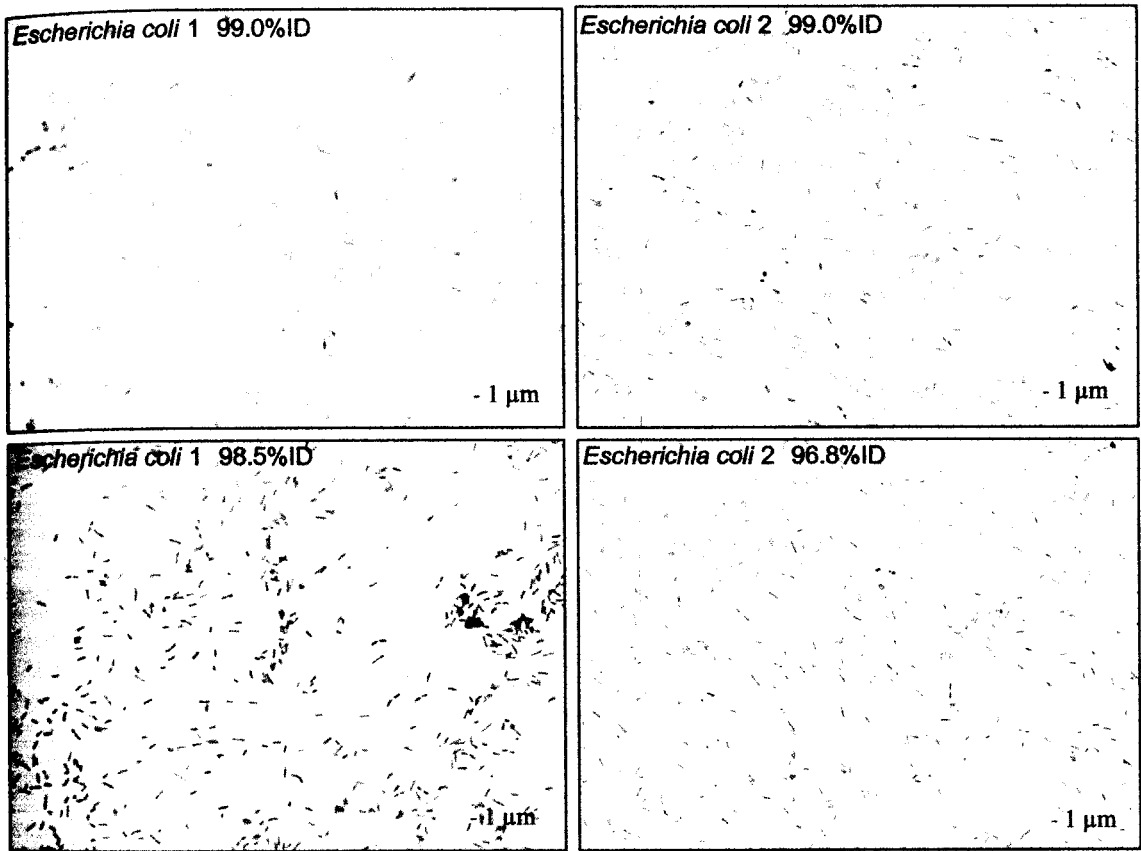
ผลการตรวจหา *E. coli* ด้วยวิธี MPN พบอยู่ในช่วง 6.8-350/น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร (ตารางที่ 3.4) เมื่อนำหลอดที่ให้ผลบวก (หลอดที่เกิดแก๊ส) ไป Cross-streak บนอาหาร L-EMB agar พบโคโลนีทั้งลักษณะ Coli-type colony และ Black centered colony (ตัวอย่างลักษณะโคโลนีดังแสดงในรูปที่ 3.6) เลือกเก็บโคโลนีและแยกให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ และศึกษาสมบัติของเชื้อเพื่อวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรียที่เป็น *E. coli* โดยศึกษาสัณฐานวิทยาของเซลล์ (รูปที่ 3.7) การเจริญของแบคทีเรียบนอาหาร MacConkey agar (รูปที่ 3.8) การสร้างเอนไซม์ Oxidase และ Catalase การทดสอบ Oxidation-Fermentation ความสามารถในการเคลื่อนที่ และการทดสอบสมบัติทางชีวเคมีด้วยชุดทดสอบ API 20E (bioMérieux, Inc.) ซึ่งยืนยันได้ว่าโคโลนีที่พบเป็น *E. coli* เมื่อเทียบความเหมือนกับ *E. coli* ที่มีข้อมูลในฐานข้อมูล API พบว่ามีความเหมือน 98-99% กับ *E. coli* 1 และ 96-99% กับ *E. coli* 2

ตารางที่ 3.5 แบคทีเรียชนิดเด่นในกลุ่ม Coliforms และ *E. coli* ที่พบในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย

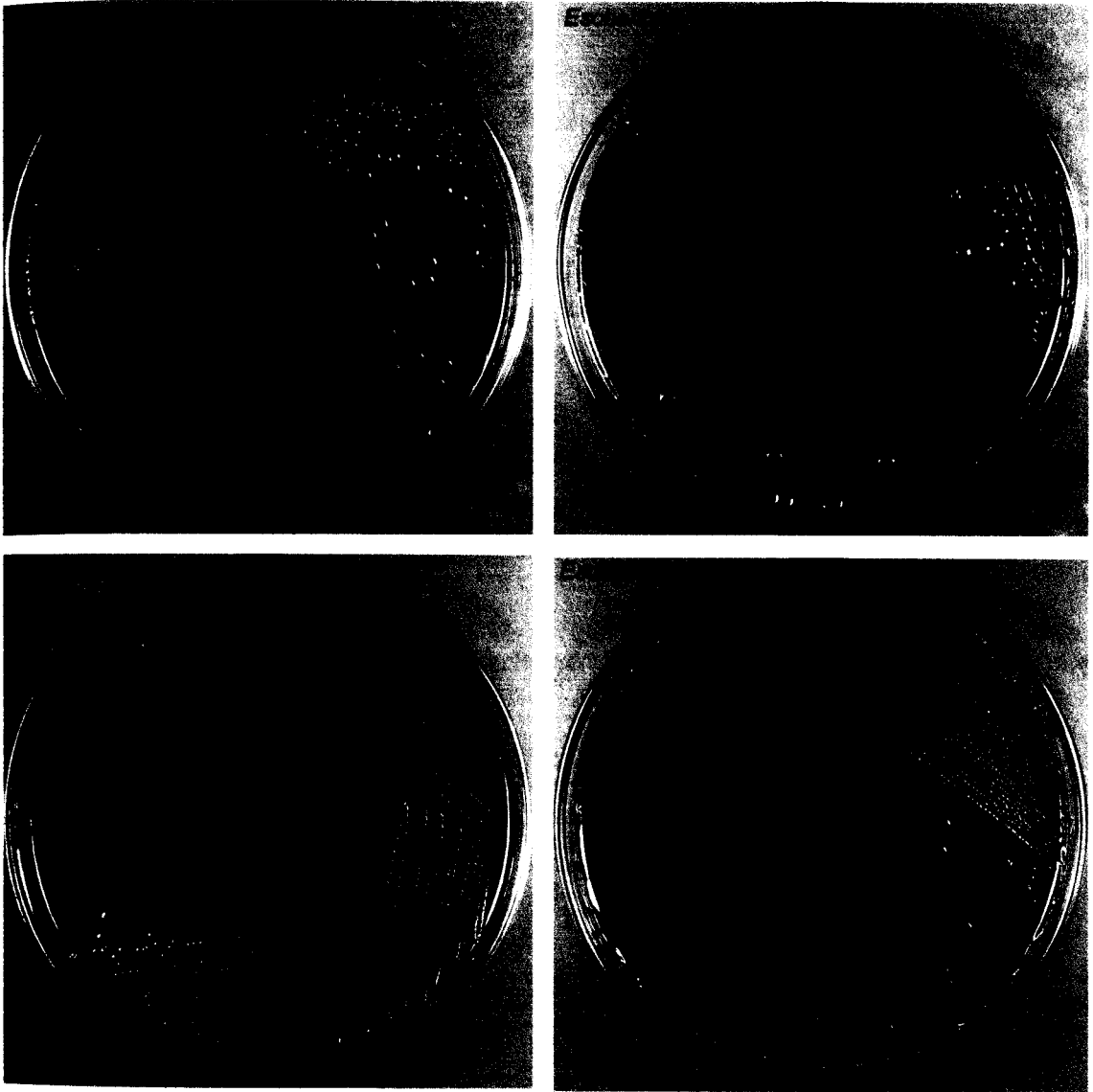
แบคทีเรียชนิดเด่นที่พบ	API 20E Database (bioMérieux, Inc.)		ข้อสังเกต
	% ความเหมือน	สายพันธุ์อ้างอิง	
<i>Escherichia coli</i>	98.5	<i>Escherichia coli</i> 1	พบในทุกตัวอย่างที่ให้ผลบวกของการตรวจหา <i>E. coli</i>
	99.0	<i>Escherichia coli</i> 1	
<i>Escherichia coli</i>	96.8	<i>Escherichia coli</i> 2	ตรวจหา <i>E. coli</i>
	99.0	<i>Escherichia coli</i> 2	



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E. coli*) ที่เจริญบนอาหาร L-EMB agar ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างรูปร่างของเซลล์ของแบคทีเรีย *E. coli* ที่แยกได้จากตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง (ย้อมสีเซลล์แบคทีเรียแบบ Gram stain และถ่ายภาพจาก Light microscope กำลังขยาย 1,000 เท่า)



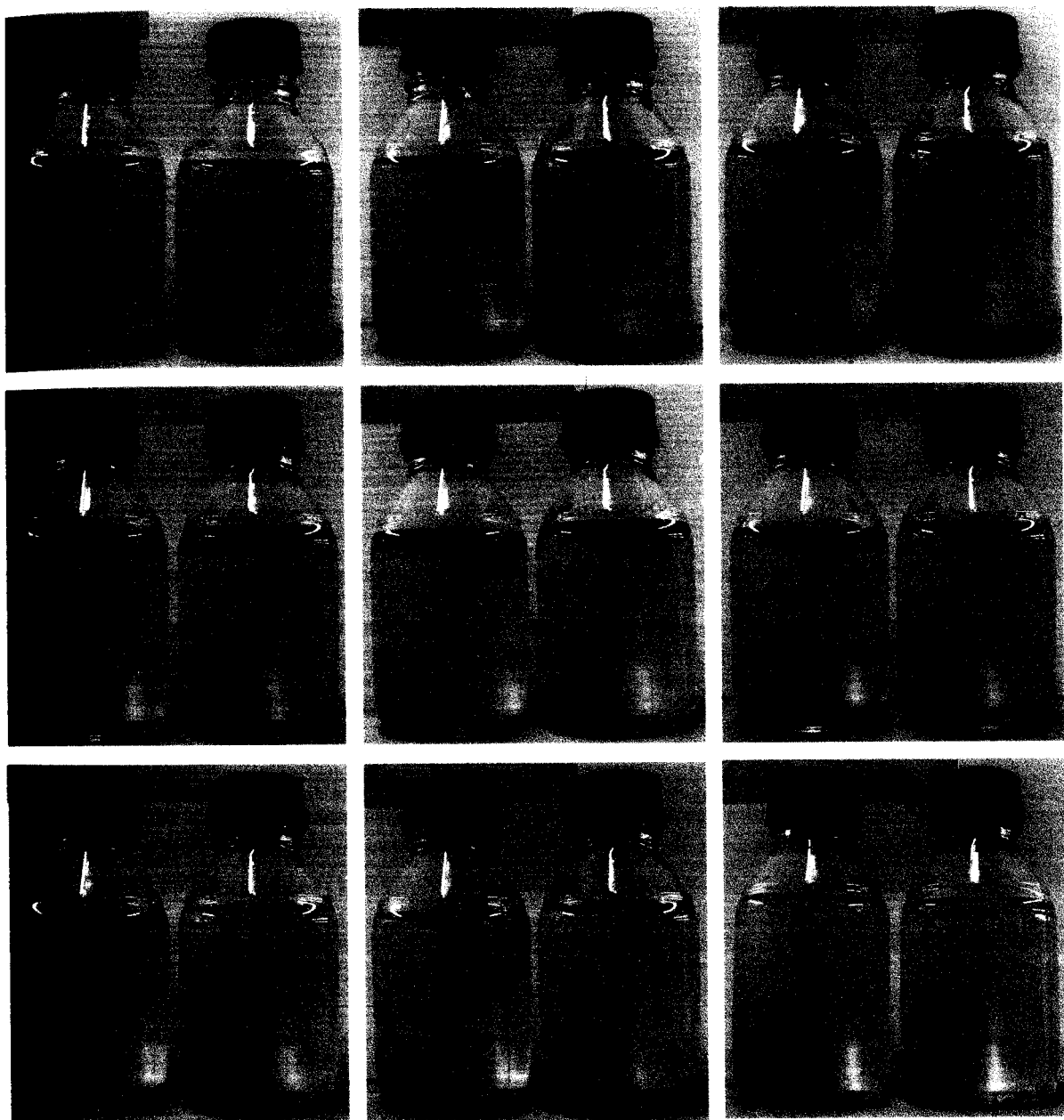
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบนอาหาร MacConkey agar จากการตรวจหา *E. coli* ในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง

3.2 การศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและ สิ่งแขวนลอย

ศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำทิ้ง ภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จากผลการศึกษาจุลินทรีย์ตามข้อ 3.1 พบ Phytoplankton ทั้ง Cyanobacteria และ Eucaryotic algae หลายชนิดเป็นจำนวนมาก กล่าวคือพบ ในช่วง 10^4 - 10^5 Cells/mL (ตารางที่ 3.4) จึงทดลองหาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้ โดยนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังบรรจุ ในภาชนะฝาเกลียวขนาดบรรจุ 500 มิลลิตร คลายเกลียวฝาเพื่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ นำตัวอย่างน้ำ ไว้ในที่มืดเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton ทั้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 14 วัน เก็บ ตัวอย่างน้ำทุกวันเพื่อวิเคราะห์ค่าความขุ่นและความเป็นกรด-ด่าง พบว่าต้องใช้เวลา 3-5 วัน จึงจะ สามารถตกตะกอนสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำได้โดยมีค่าความขุ่นลดลง 50% โดยเฉลี่ย และเมื่อทิ้งให้ตกตะกอนนาน 14 วัน สามารถลดความขุ่นได้ 75-80% (รูปที่ 3.9 และ 3.10 และตารางที่ 3.6 และ 3.8) ทั้งนี้ขึ้นกับความขุ่นเริ่มต้นของน้ำที่เนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอย ตามที่ ได้ระบุค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำที่พบในช่วงกว้างคือ 44.29-220.95 NTU (ตารางที่ 3.2) สอดคล้องกับ ความเข้มของสีที่มีค่า 1.20-10.30 SU ขึ้นกับฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างน้ำนั้นๆ

ตารางที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงความขุ่นของตัวอย่างน้ำ SWI 7 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มืดเป็น เวลา 14 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าความขุ่น (NTU) ของตัวอย่างน้ำ					% ความขุ่น ที่เหลืออยู่	% ความขุ่น ที่ลดลง
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.		
0	155.71	155.71	155.71	155.71	0.00	100.00	0.00
1	106.19	103.81	102.86	104.29	1.72	66.97	33.03
2	85.70	82.38	83.33	83.80	1.71	53.82	46.18
3	73.81	76.19	75.24	75.08	1.20	48.22	51.78
4	70.00	70.95	72.86	71.27	1.45	45.77	54.23
5	67.62	66.67	66.19	66.83	0.73	42.92	57.08
6	61.90	60.48	60.00	60.79	0.99	39.04	60.96
7	58.57	57.14	57.14	57.62	0.82	37.00	63.00
8	55.24	55.71	55.24	55.40	0.27	35.58	64.42
9	53.81	54.29	54.29	54.13	0.27	34.76	65.24
10	53.33	52.86	53.33	53.17	0.27	34.15	65.85
11	50.00	48.10	49.52	49.21	0.99	31.60	68.40
12	45.71	44.29	45.71	45.24	0.82	29.05	70.95
13	42.86	42.86	44.29	43.33	0.82	27.83	72.17
14	39.05	37.14	39.05	38.41	1.10	24.67	75.33



รูปที่ 3.9 ลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังจากการบำบัตินำมาศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีดเป็นเวลา 14 วัน



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 6 ตัวอย่าง เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มืดเป็นเวลา 2 สัปดาห์

ด้านความเป็นกรดต่าง-ต่าง ของตัวอย่างน้ำ จากที่ได้ศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอย พบว่าน้ำทุกตัวอย่างที่ศึกษามีค่าความเป็นกรด-ด่างคงที่ตลอดระยะเวลา 14 วันที่ศึกษา (ตารางที่ 3.7 และ 3.9)

ตารางที่ 3.7 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง SWI 7 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มืดเป็นเวลา 14 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง				
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
0	8.45	8.45	8.45	8.45	0.00
1	8.43	8.44	8.44	8.44	0.01
2	8.30	8.31	8.31	8.31	0.01
3	8.41	8.41	8.39	8.40	0.01
4	8.40	8.40	8.40	8.40	0.01
5	8.39	8.39	8.40	8.40	0.01
6	8.48	8.47	8.48	8.48	0.01
7	8.47	8.46	8.45	8.46	0.01
8	8.40	8.40	8.41	8.40	0.01
9	8.34	8.34	8.36	8.35	0.01
10	8.41	8.42	8.41	8.41	0.01
11	8.42	8.42	8.43	8.42	0.01
12	8.42	8.43	8.43	8.43	0.01
13	8.45	8.46	8.46	8.46	0.01
14	8.52	8.51	8.54	8.52	0.01

ตารางที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงความขุ่นของตัวอย่างน้ำ SWI 8 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีดเป็นเวลา 14 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าความขุ่น (NTU) ของตัวอย่างน้ำ					% ความขุ่น ที่เหลืออยู่	% ความขุ่น ที่ลดลง
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.		
0	227.62	215.71	220.00	221.11	6.030	100.00	0.00
1	189.52	185.71	180.95	185.40	4.295	83.85	16.15
2	147.14	143.33	145.24	145.24	1.905	65.69	34.31
3	124.76	125.24	126.67	125.56	0.991	56.78	43.22
4	112.86	114.29	116.67	114.60	1.925	51.83	48.17
5	107.62	108.10	106.19	107.30	0.991	48.53	51.47
6	100.95	99.05	102.38	100.79	1.672	45.59	54.41
7	84.76	88.57	90.00	87.78	2.708	39.70	60.30
8	73.81	74.29	76.19	74.76	1.260	33.81	66.19
9	71.90	74.29	69.05	71.75	2.623	32.45	67.55
10	62.38	64.29	65.24	63.97	1.455	28.93	71.07
11	57.14	58.57	60.48	58.73	1.672	26.56	73.44
12	47.14	46.67	48.57	47.46	0.991	21.46	78.54
13	43.81	44.29	45.24	44.44	0.727	20.10	79.90
14	41.90	41.43	42.86	42.06	0.727	19.02	80.98

ตารางที่ 3.9 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง SWI 8 ที่ตกตะกอนตามธรรมชาติในที่มีดเป็นเวลา 14 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง					
	1	2	3	เฉลี่ย	S.D.	
0	8.35	8.32	8.34	8.34	0.01	
1	8.35	8.34	8.35	8.35	0.00	
2	8.25	8.24	8.24	8.24	0.01	
3	8.40	8.39	8.40	8.40	0.01	
4	8.41	8.41	8.41	8.41	0.00	
5	8.41	8.41	8.41	8.41	0.00	
6	8.43	8.45	8.46	8.45	0.01	
7	8.44	8.42	8.44	8.43	0.01	
8	8.38	8.39	8.39	8.39	0.00	
9	8.35	8.37	8.37	8.36	0.01	
10	8.32	8.36	8.33	8.34	0.02	
11	8.32	8.31	8.28	8.30	0.02	
12	8.32	8.32	8.33	8.32	0.01	
13	8.36	8.36	8.37	8.36	0.01	
14	8.41	8.42	8.41	8.41	0.01	

3.3 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ และวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ

3.3.1 การพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ

พัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำโดยได้ทดลองใช้สารเคมีดังต่อไปนี้ Copper sulphate, Coptrol (Aquatic algicide, 107 g/L copper as mixed copper chelates), Chlorine, Bactericides ในรูปของสารทางการค้าเพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในกลุ่ม Cyanobacteria และ Algae ในน้ำ พบว่าสารทุกชนิดที่ทดสอบมีผลน้อยมากในการลดจำนวนสิ่งมีชีวิตในน้ำ ตัวอย่างดังผลการศึกษาโดยใช้ Coptrol ที่ระดับความเข้มข้น 0-1.0 mg/L ในการกำจัด Phytoplankton ในน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เป็นเวลา 5 วัน (ตารางที่ 3.10) จากนั้นได้ทดลองใช้สารช่วยตกตะกอนโดยอาศัยพื้นฐานของวิธีเตรียมน้ำประปาของการประปา นครหลวงและการประปาส่วนภูมิภาค พบว่าสามารถกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำได้ จึงได้พัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยไปพร้อมกัน

ตารางที่ 3.10 ผลของการใช้ Coptrol ที่ระดับความเข้มข้น 0-1.0 mg/L ในการกำจัด Phytoplankton ในน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เป็นเวลา 5 วัน

ความเข้มข้น (mg/L)	ความขุ่นที่ความยาวช่วงคลื่นแสง 400 nm ที่ระยะเวลา (วัน)			
	0	1	3	5
0 (Control)	0.294	0.285	0.245	0.205
0.2	0.296	0.297	0.253	0.263
0.5	0.299	0.265	0.251	0.258
0.7	0.257	0.271	0.263	0.233
1.0	0.290	0.253	0.228	0.248

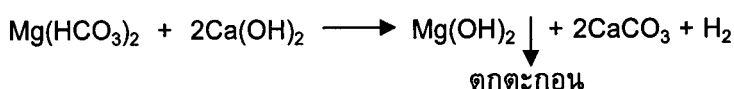
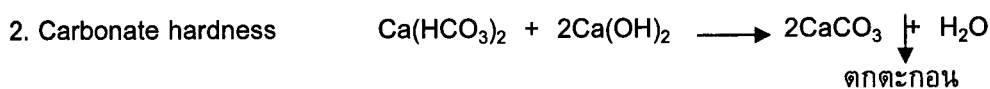
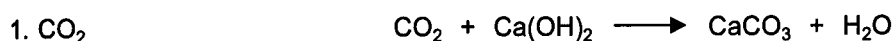
3.3.2 การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ

3.3.2.1 การพัฒนาวิธีการกำจัดตะกอนลอยด้วยวิธี Jar test

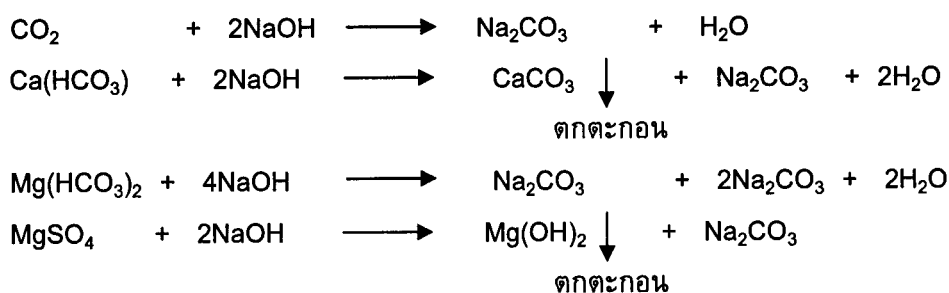
ก. การหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนเบื้องต้นและค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน

เมื่อนำตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังของ บริษัท สวงวงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด มาศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำโดยการทดสอบ Jar test โดยหาค่าความเป็นกรด-ต่าง และปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการทำให้น้ำใส ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบในขั้นตอนนี้มีค่าความเป็นกรด-ต่าง เท่ากับ 8.36 ความขุ่น 75.0 NTU ความกระด้าง 722.25 mg/L CaCO₃ และสภาพต่างทั้งหมด 1,220.32 mg/L CaCO₃ จึงได้ใช้สารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ สารชนิดที่ 1 และสารชนิดที่ 2 ที่มีจำหน่ายเป็นการค้า และสารชนิดที่ 3 เป็นสารตกตะกอนที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตแบริ่ง

มันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนเบื้องต้น โดยใช้น้ำทิ้งภายหลังกการบำบัด 800 มิลลิลิตร พบว่าการเติมสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 ความเข้มข้น 2% (น้ำหนักโดยปริมาตร) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 2 ความเข้มข้น 1% (น้ำหนักโดยปริมาตร) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร และสารช่วยตกตะกอนจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ความเข้มข้น 2% (ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาณ 5 และ 10 มิลลิลิตร สามารถช่วยตกตะกอนสิ่งแขวนลอยในน้ำได้ จึงใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอน 5 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างน้ำ 800 มิลลิลิตร ในการทดลองหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนต่างชนิด โดยใช้สารชนิดที่ 1 เข้มข้น 2% ในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ช่วง 7-11 พบว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น จนถึงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 เกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุด (ตารางที่ 3.11 และ รูปที่ 3.11) ทำให้ได้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนมีค่าความขุ่นเพียง 3.0 NTU (ตารางที่ 3.11) และลดความกระด้างลงเหลือ 265.16 mg/L CaCO₃ ในการผลิตน้ำประปามีการใช้ปูนขาวที่สามารถลดปริมาณไอออนที่ทำให้เกิดความกระด้างได้ โดยสามารถรวมตัวแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ เกลือที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้น้อยจึงตกตะกอนแยกออกได้โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนหรือการกรอง (Binnie *et al.*, 2002; ไพศาล วิรกีจ, 2545) ปฏิกริยาเคมีในการลดความกระด้างเกิดขึ้นเมื่อปูนขาว (CaO) ละลายน้ำเป็น Ca(OH)₂ จับตัวกับ CO₂ และ Carbonate hardness ดังนี้ (ไพศาล วิรกีจ, 2545)

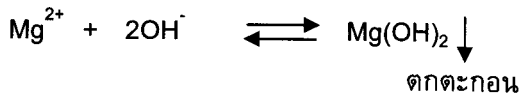


Sodium hydroxide เป็นสารที่สามารถช่วยลดความกระด้างของน้ำได้เช่นกัน ดังนั้นการเติม Sodium hydroxide จึงสามารถลดความกระด้างได้ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540) ดังปฏิกริยาต่อไปนี้



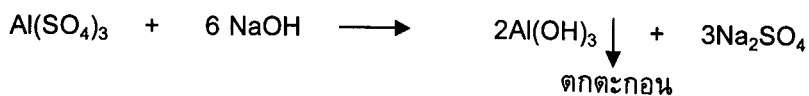
Grabow *et al.* (1978) ระบุถึงการใช้ปูนขาวเพื่อการตกตะกอนในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.6 ที่สามารถช่วยลด Coliforms, Enteric viruses และ Coliphages ได้ 62.35%, 99.98% และ 57% ตามลำดับ และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.2 สามารถลดได้ 99.98%, 100% และ 99.95% ตามลำดับ

นอกจากนี้การเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างจะส่งผลให้เกิดการตกตะกอนของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ตามปฏิกิริยา ดังนี้



การตกตะกอนของแมกนีเซียมเริ่มเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.5 และการตกตะกอนสมบูรณ์เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.0-11.5 จึงทำให้เกิดความใสที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.0-11.5 (Merril and Jordan, 1975; Dziubek and Kowal, 1984) มีผลให้สภาพต่างของน้ำมีค่าสูงขึ้น สภาพต่างที่เกิดขึ้นเป็นสภาพต่างไฮดรอกไซด์และคาร์บอนเนต (ตารางที่ 3.11) สอดคล้องกับที่มีรายงานถึงค่าความเป็นกรด-ด่างสูงเนื่องจากการเติม Sodium hydroxide จะพบความเป็นต่างไฮดรอกไซด์และคาร์บอนเนตไม่มีความเป็นต่างไบคาร์บอนเนต (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540)

เมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 2 พบว่าส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าลดลง (ตารางที่ 3.11) ทำนองเดียวกับสารส้มที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาที่เมื่อละลายน้ำแล้ว ที่ความเข้มข้น 1% แล้วทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำถึง 3.40 (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540) เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นพบค่าความขุ่นลดลง (รูปที่ 3.11) น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 11 มีค่าความขุ่นต่ำที่สุด คือ 7.00 NTU (ตารางที่ 3.11) ซึ่งถ้าเทียบกับการใช้สารส้มช่วยในการตกตะกอนตามที่มีรายงานจะมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540)



ในขณะเดียวกันก็พบความกระด้างของน้ำลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้น และน้ำมีค่าสภาพต่างเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น

จากการใช้สารช่วยตกตะกอนจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังของ บริษัท สงวนวงษ์ อุตสาหกรรม จำกัด (ตารางที่ 3.11 และ รูปที่ 3.11) พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเท่ากับ 5 มีค่าความขุ่นต่ำสุด คือ 6.80 NTU ในขณะที่ความกระด้างของน้ำมีค่าลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (ตารางที่ 3.11) ในขณะที่เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในช่วง 5-8 ค่าสภาพต่างที่ตรวจสอบต่ำกว่าตัวอย่างน้ำเริ่มต้นและลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้สารละลาย Hydrochloric acid ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำส่งผลให้เกิดการสะเทินระหว่างกรดที่เดิมกับด่างที่มีในน้ำต่างจากตัวอย่างน้ำที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9 ซึ่งมีค่าสภาพต่างสูงกว่าน้ำเริ่มต้น เนื่องจากการใช้สารละลาย Sodium hydroxide ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

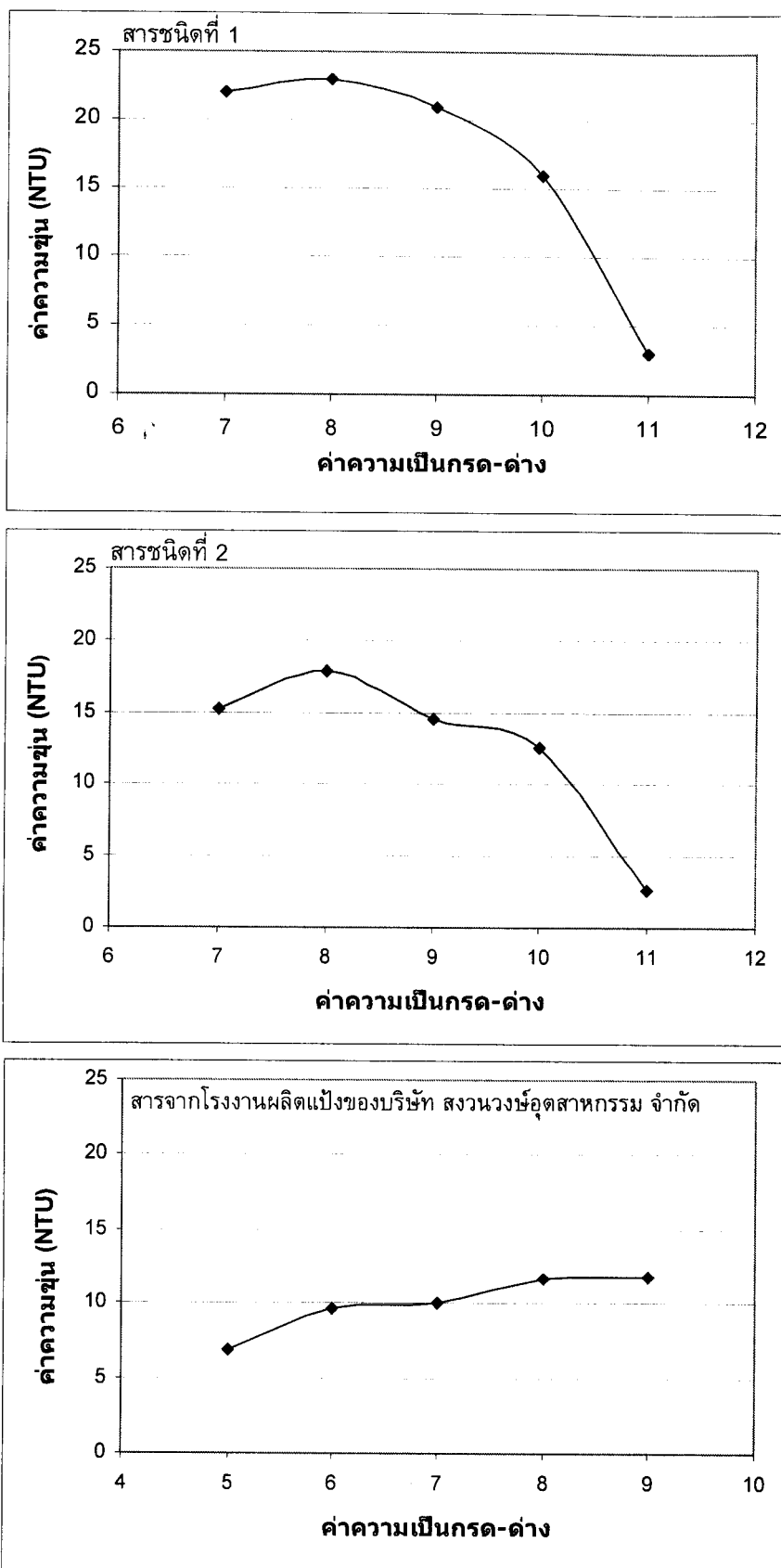
ตารางที่ 3.11 การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสำหรับสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด

สารช่วย ตกตะกอน	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ความขุ่น (NTU)	ความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)	สภาพต่าง (mg/L CaCO ₃)			
				คาร์บอนेट	ไบคาร์บอนेट	ไฮดรอกไซด์	ทั้งหมด
สารชนิดที่ 1 (2% w/v)							
น้ำเริ่มต้น	8.36	75.00	722.25	210.40	1,009.92	-	1,220.32
น้ำที่ปรับ pH 7	8.48	22.00	795.48	294.56	862.64	-	1,157.20
pH 8	8.83	23.00	736.77	448.85	806.53	-	1,255.39
pH 9	9.35	21.00	698.25	666.27	655.75	-	1,322.01
pH 10	10.17	16.00	617.44	1,514.88	280.53	-	1,795.41
pH 11	11.17	3.00	265.16	1,893.60	-	182.35	2,075.95
สารชนิดที่ 2 (2% w/v)							
น้ำเริ่มต้น	8.36	75.00	722.25	210.40	1,157.20	-	1,367.60
น้ำที่ปรับ pH 7	7.18	15.26	723.51	0.00	1,034.47	-	1,034.47
pH 8	7.92	17.80	685.63	0.00	1,236.10	-	1,236.10
pH 9	8.88	14.50	666.69	315.60	1,078.30	-	1,393.90
pH 10	9.97	12.60	566.31	1,472.80	315.60	-	1,788.40
pH 11	10.79	3.60	321.98	2,104.00	105.20	-	2,209.20
สารจากโรงงานฯ บริษัท สวงนวนงษ์อุตสาหกรรม จำกัด (2% v/v)							
น้ำเริ่มต้น	8.36	75.0	704.57	196.20	1,079.10	-	1,275.30
น้ำที่ปรับ pH 5	7.12	6.80	704.57	0.00	122.63	-	122.63
pH 6	7.88	9.70	681.84	0.00	441.45	-	441.45
pH 7	8.85	10.07	661.01	0.00	981.00	-	981.00
pH 8	6.75	11.70	681.84	196.20	981.00	-	1,177.20
pH 9	6.14	11.80	655.32	441.45	833.85	-	1,275.30

จากการใช้สารช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงมีแนวโน้มของความกระด้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก Sodium hydroxide สามารถช่วยลดความกระด้างของน้ำทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2540) เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความขุ่น พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 สารชนิดที่ 2 และสารจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของ บริษัท สวงนวนงษ์อุตสาหกรรม จำกัด มีค่าเป็น 11, 11 และ 5 ตามลำดับ (รูปที่ 3.11)

ข. การหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม

จากข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการศึกษาข้างต้น ในการศึกษาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสม จึงใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 สารชนิดที่ 2 และสารจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สวงนวนงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ความเข้มข้น 2% (w/v), 1% (w/v) และ 2% (v/v) ปริมาตร 2.5, 5.0, 15.0, 25.0 และ 35.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่าการใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 (รูปที่ 3.12) ในปริมาณที่สูงขึ้นมีผลให้เพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่ค่าความขุ่น ความกระด้าง และสภาพต่างทั้งหมดลด

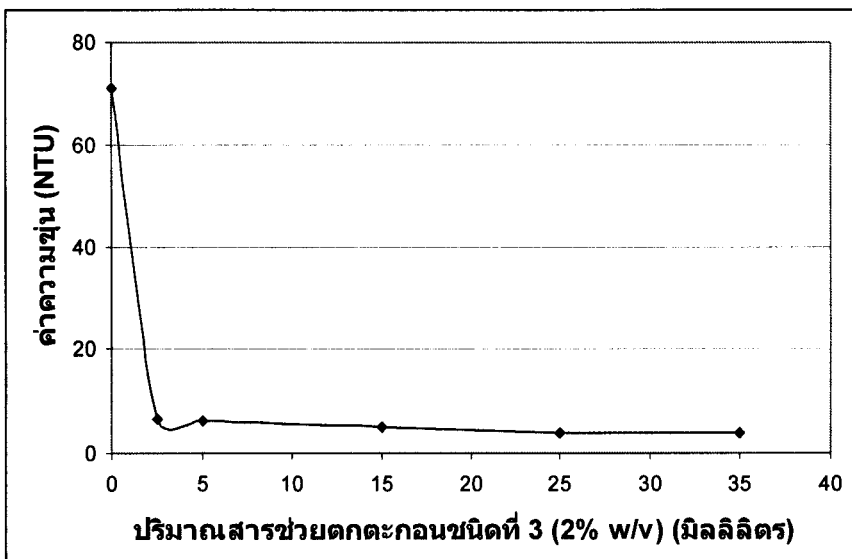
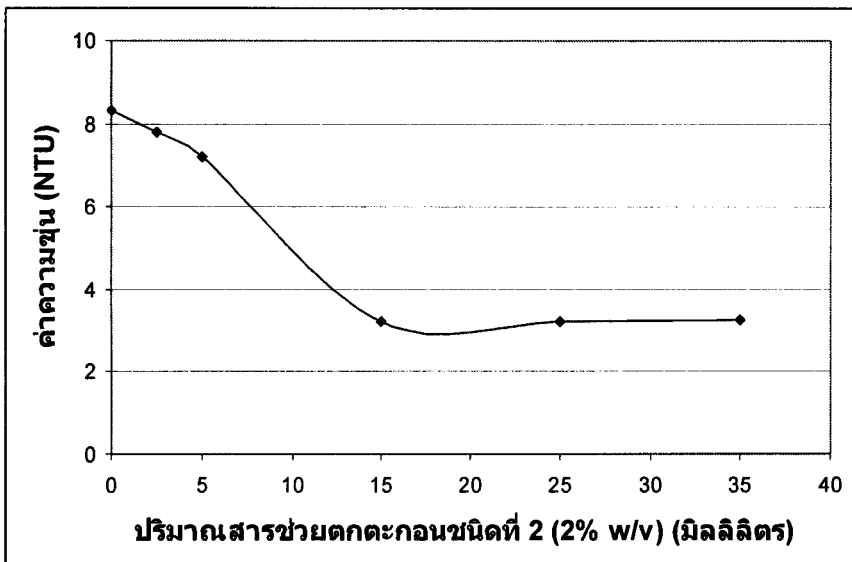
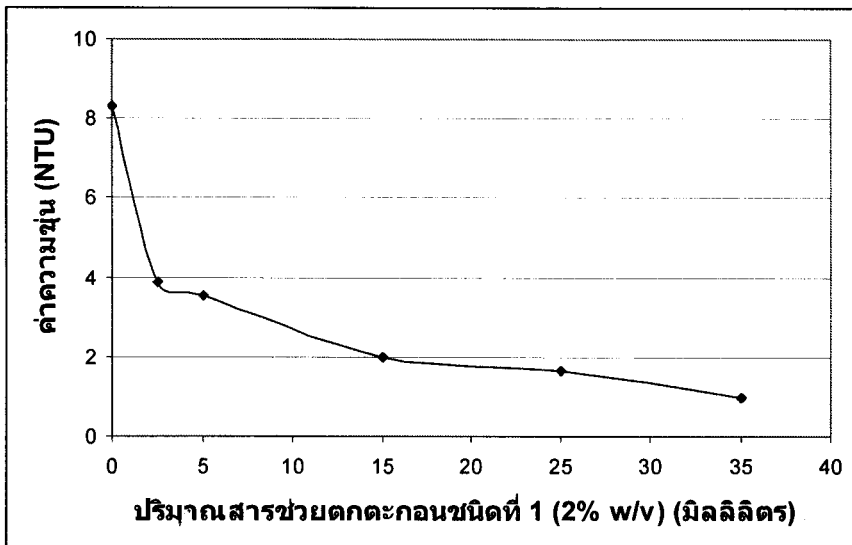


รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับค่าความขุ่นของน้ำ เมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนต่างกัน 3 ชนิด

ลง (ตารางที่ 3.12) สำหรับการเติมสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 2 (รูปที่ 3.12) ในปริมาณมากขึ้นมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความขุ่น ความกระด้าง และสภาพต่างทั้งหมดลดลง และเมื่อทดลองใช้สารช่วยตกตะกอนจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด เติมน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 5-9 พบว่ามีผลลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และสภาพต่างของน้ำลดลงเมื่อเติมสารช่วยตกตะกอนในปริมาณมากขึ้น การเติมสารช่วยตกตะกอนจากโรงงานฯ ในปริมาณ 25 และ 35 มิลลิลิตร ไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและความกระด้างของน้ำ (ตารางที่ 3.12 และรูปที่ 3.12)

ตารางที่ 3.12 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนในปริมาณแตกต่างกัน

ปริมาณสารช่วย ตกตะกอน (mL)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ความขุ่น (NTU)	ความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)	สภาพต่าง (mg/L CaCO ₃)			ทั้งหมด
				คาร์บอเนต	ไบคาร์บอเนต	ไฮดรอกไซด์	
สารชนิดที่ 1 (2% w/v)							
0 (น้ำเริ่มต้น)	11.00	8.30	700.78	-	-	182.35	2,075.95
2.5	11.11	3.86	306.83	-	-	122.73	862.64
5.0	11.26	3.53	284.10	-	-	140.27	862.64
15.0	11.80	1.98	276.52	-	-	-	-
25.0	12.06	1.65	265.16	-	-	552.30	831.08
35.0	12.17	0.98	234.86	-	-	876.67	820.56
สารชนิดที่ 2 (2% w/v)							
0 (น้ำเริ่มต้น)	11.00	8.33	700.78	210.40	1157.20	-	1,367.60
2.5	10.70	7.80	407.21	-	-	149.03	838.09
5.0	10.64	7.20	382.59	1981.27	43.83	-	2,025.10
15.0	10.48	3.20	354.18	1946.20	-	-	1,946.20
25.0	10.35	3.21	329.56	1788.40	52.60	-	1,841.00
35.0	10.20	3.23	299.25	1683.20	52.60	-	1,735.80
สารจากโรงงานฯ บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด (2% v/v)							
0 (น้ำเริ่มต้น)	5.00	71.00	786.79	0	122.63	-	122.63
2.5	4.98	6.50	778.00	0	171.68	-	171.68
5.0	4.67	6.20	778.00	0	147.15	-	147.15
15.0	4.46	5.17	764.82	0	122.63	-	122.63
25.0	4.26	4.00	769.21	0	98.10	-	98.10
35.0	4.14	4.03	769.21	0	49.05	-	49.05



รูปที่ 3.12 ผลของการใช้ปริมาณสารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ต่อค่าความขุ่นของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง

จากการศึกษาการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่มีในน้ำโดยใช้สารช่วยตกตะกอน 3 ชนิด ด้วย Jar test พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยในน้ำเมื่อใช้สารตกตะกอน ชนิดที่ 1 ความเข้มข้น 2% (w/v) ปริมาตร 35 มิลลิลิตร (0.857 กรัม/ลิตร) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 สารตกตะกอนชนิดที่ 2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 1% (w/v) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร (0.188 กรัม/ลิตร) เมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 และใช้สารช่วยตกตะกอนจากโรงงานผลิตแบริ่งมันปะหลัง ความเข้มข้น 2% (v/v) ปริมาตร 35 มิลลิลิตร (0.875 กรัม/ลิตร) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 (ตารางที่ 3.13)

ตารางที่ 3.13 สรุปปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่ใช้ในการตกตะกอนน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก โรงงานผลิตแบริ่งมันปะหลัง

ปริมาตรสารช่วย ตกตะกอน (mL/น้ำ 800 mL)	ปริมาณสาร ตกตะกอน (mL/น้ำ 1 L)	สารตกตะกอน ชนิดที่ 1 (g/L) (pH 11)	สารตกตะกอน ชนิดที่ 2 (g/L) (pH 11)	สารจากโรงงานผลิต แบริ่งมันปะหลัง (g/L) (pH 5)
น้ำเริ่มต้น	0.000	0.000	0.000	0.000
2.5	3.125	0.063	0.031	0.063
5.0	6.250	0.125	0.063	0.125
15.0	18.750	0.375	0.188	0.375
25.0	31.250	0.625	0.313	0.625
35.0	43.750	0.875	0.438	0.875

ขั้นตอนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เท่ากับ 11 ด้วยการใส่สารละลาย Sodium hydroxide ปริมาณมากส่งผลให้น้ำมีลักษณะสีนํ้าไม่เป็นที่ต้องการ จึงอาจใช้สารอื่นเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างทดแทน Sodium hydroxide ดังเช่นทางเลือกในการปรับความเป็นกรด-ด่าง จึงสามารถใช้ปูนขาวดังเช่นที่ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 11.0 (Dziubek and Kowal, 1989; Ayoub, 1994)

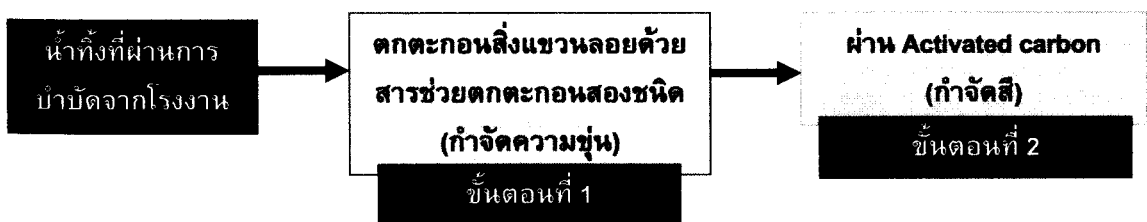
3.4 การพัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา

3.4.1 กระบวนการบำบัดน้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อกำจัดความขุ่นและสีในน้ำ

ทดลองกำจัดความขุ่นและสีในตัวอย่างน้ำผ่านการบำบัดจากโรงงานแบริ่งมันปะหลัง โดยใช้ ตัวอย่างน้ำ SWI 3 จำนวน 70 ลิตร/ชั่วโมง ด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 จากนั้นกำจัดสีด้วยถ่าน Activated charcoal ปริมาณ 1.0% วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำ เริ่มต้นหรือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแบริ่งมันปะหลัง (Raw water) ตัวอย่างน้ำที่กำจัด ความขุ่นหรือทำให้ใสโดยผ่านการตกตะกอนด้วยสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด เรียกว่า Pre-treated water

และตัวอย่างน้ำที่กำจัดสีและช่วยกำจัดกลิ่นในขณะเดียวกันโดยการเติมถ่าน (1.0% Activated charcoal) (รูปที่ 3.13) จากนั้นนำไปกรอง เปรียบเทียบคุณลักษณะของน้ำทั้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านกรรมวิธีกับ น้ำกลั่นที่ได้จาก Reverse osmosis (RO) และน้ำดื่มที่จำหน่ายเป็นการค้า (รูปที่ 3.14) ตัวอย่างน้ำ Raw water มีลักษณะขุ่น มีตะกอนสีเขียวเข้มหนาแน่น และมีกลิ่นคาว ตัวอย่างน้ำ Pre-treated water มี ลักษณะสีเขียวย่อมน มีตะกอนขนาดเล็กมาก และมีกลิ่นคาวเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างน้ำที่กำจัดสีและกลิ่น ด้วย 1.0% Activated charcoal มีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำกลั่นที่ผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) และ น้ำดื่มที่มีจำหน่ายเป็นการค้า คือ มีลักษณะใสไม่มีสี ไม่มีตะกอน และไม่มึกลิ่น ตะกอนที่พบหลังหลัง ผ่านขั้นตอน Pre-treated step มีสีเขียว (รูปที่ 3.14) จาก Raw water ที่มีค่าความเข้มข้นของสี ค่าความ เป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ปริมาณแคลเซียมไอออน คลอไรด์ไอออน สภาพด่างคาร์บอเนต สภาพ ด่างไบคาร์บอเนต และสภาพด่างทั้งหมดค่อนข้างสูง (ตารางที่ 3.14) เมื่อผ่านขั้นตอน Pre-treated step และผ่านถ่าน (1.0% Activated charcoal) พบว่าค่าความเข้มข้นของสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง สภาพด่างคาร์บอเนต สภาพด่างไบคาร์บอเนต และสภาพด่างทั้งหมดลดลง แต่มีค่าความกระด้าง แคลเซียมไอออน และคลอไรด์ไอออนที่มีปริมาณสูง (ตารางที่ 3.14) ประกอบกับเมื่อวิเคราะห์คุณภาพ ของน้ำทางจุลชีววิทยาพบจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงจากน้ำเริ่มต้นจาก 6.15×10^5 CFU/mL เหลือ 2.50×10^4 CFU/mL และยังพบทั้ง Total coliform bacteria และ Faecal coliforms (*E. coli*) (ตารางที่ 3.15) จึงต้อง มีการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำขั้นตอนต่อไป

กล่าวโดยสรุปได้ว่าตะกอนลอยที่มีในน้ำสามารถกำจัดได้พร้อมกับขั้นตอนการกำจัดสิ่งมีชีวิต ขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ (ตารางที่ 3.14 และรูปที่ 3.14) ซึ่งเรียกว่าเป็น กระบวนการบำบัดน้ำในขั้นตอนที่ 1 และทดลองกำจัดสี กระบวนการบำบัดน้ำในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 3.14 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง) และน้ำภายหลังการกำจัดความขุ่นในขั้นตอนที่ 1 และกำจัดสีในขั้นตอนที่ 2

ค่าที่วิเคราะห์	ตัวอย่างน้ำ		
	เริ่มต้น	ผ่านการบำบัด ขั้นตอนที่ 1	ผ่านการบำบัด ขั้นตอนที่ 2
สี (SU)	7.65	1.68	0.15
ความเป็นกรด-ด่าง	8.80	8.01	8.76
ความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)	553.09	503.99	541.19
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO ₃)	163.13	324.25	329.25
คลอไรด์ไอออน (ppm)	1,361.31	1,410.90	1,254.10
สภาพต่าง (mg/L CaCO ₃)			
คาร์บอเนต	208.75	13.05	113.30
ไบคาร์บอเนต	845.97	187.80	138.71
ทั้งหมด	1,054.72	200.85	252.01

ตารางที่ 3.15 ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง) และน้ำภายหลังการกำจัดความขุ่นในขั้นตอนที่ 1 และกำจัดสีในขั้นตอนที่ 2

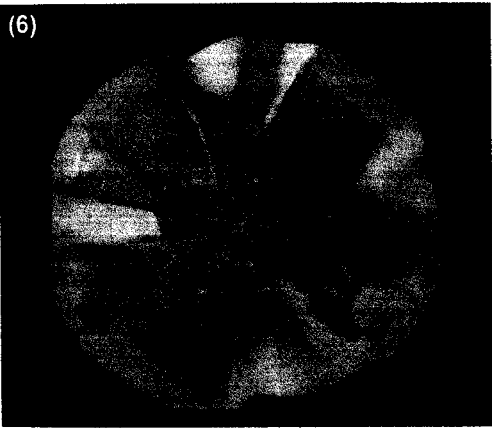
จุลินทรีย์ที่ตรวจหา	ตัวอย่างน้ำ	
	เริ่มต้น	ภายหลังการกำจัดความขุ่นและสี
จุลินทรีย์ทั้งหมด* (CFU/mL)	6.15x10 ⁵	2.50x10 ⁴
Coliform bacteria** (MPN/100mL)	1600	23
<i>E. coli</i> ** (MPN/100mL)	23	4.5

** ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar บ่มให้เชื้อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

*** MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)



(6)



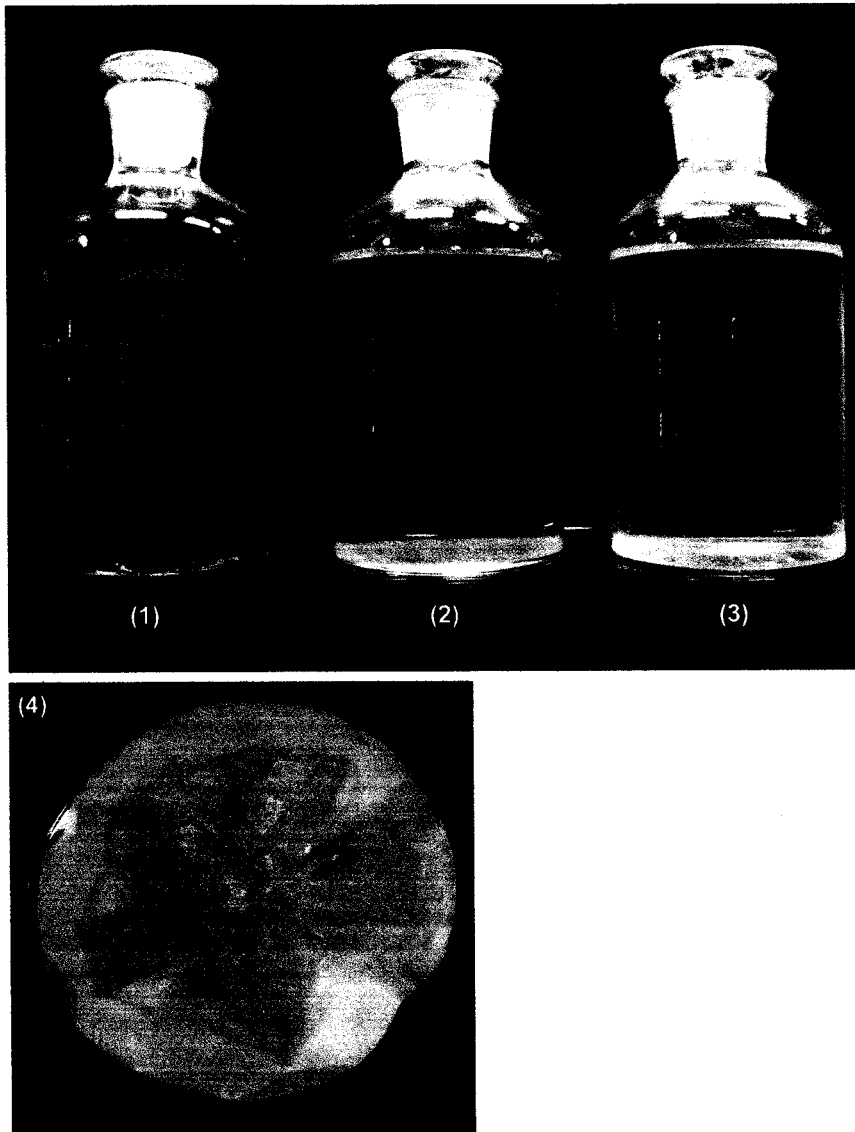
รูปที่ 3.14 ลักษณะของตัวอย่างน้ำ SWI 3 ที่เป็นน้ำเริ่มต้น (Raw water, 1) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอน 2 ชนิด (Pre-treated water, 2) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการเติมถ่าน (1.0% Activated charcoal) และกรอง (3) น้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการ Reverse osmosis (RO, 4) น้ำดื่มที่จำหน่ายเป็นการค้า (5) และตะกอนจากน้ำที่ผ่านขั้นตอนที่ 1 (6)

3.4.2 การเตรียมน้ำภายหลังการกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา

จากการทดลองใช้ถ่าน (Activated carbon) ช่วยกำจัดสีและดูดซับกลิ่นของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง SWI 3 ที่ใช้ศึกษานั้นได้ผลดี การใช้ถ่าน 1% ของปริมาณน้ำ สามารถกำจัดกลิ่นควาได้หมดสิ้น และน้ำมีลักษณะใสขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมถ่าน (1%) มีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสภาพต่างสูงขึ้น เนื่องจากถ่านมีฤทธิ์เป็นด่าง จึงทดลองปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดโดยใช้น้ำ SWI 4 ต่อโดยลดปริมาณถ่านลง 0.5% พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเติมถ่าน 1% (ตารางที่ 3.14 และ 3.16) แต่ค่าความเข้มของสีของน้ำ SWI 4 หลังผ่าน 0.5% Activated charcoal และกรองแล้วมีค่า 0.25 SU ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างน้ำ Pre-treated water ของน้ำ SWI 3 ที่มีค่า 0.15 SU เล็กน้อย (ตารางที่ 3.14 และ 3.16) แต่น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีนี้ยังมีค่าความกระด้าง แคลเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในปริมาณสูง (ตารางที่ 3.16) ตัวอย่างน้ำ SWI 4 หลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพแต่ละขั้นตอนมีความใสเป็นที่ยอมรับ (รูปที่ 3.15)

ตารางที่ 3.16 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสี

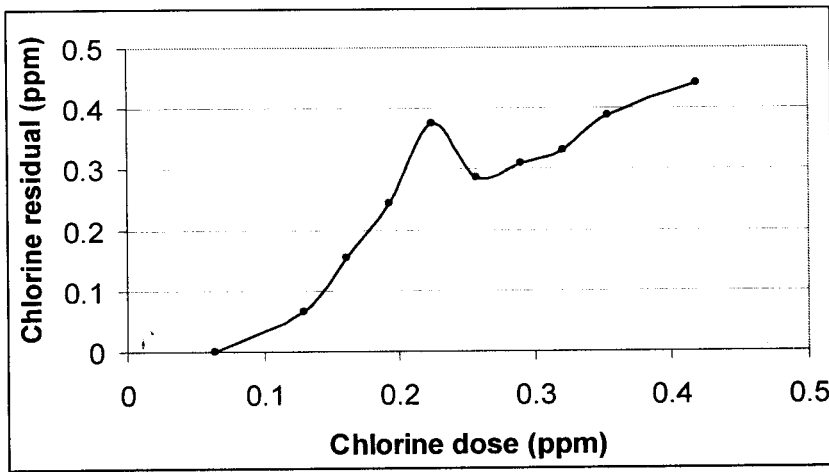
คุณภาพทางกายภาพและเคมี	Raw water	Pre-treated water	Pre-treated water ที่ผ่าน 0.5% Activated charcoal
ความเข้มสี (SU)	10.35	1.50	0.25
ความเป็นกรด-ด่าง	8.69	7.86	8.17
การนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	6,437	7,537	7,530
ความกระด้าง ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	594.50	523.52	584.30
แคลเซียมไอออน ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	116.05	503.73	572.87
คลอไรด์ไอออน (mg/L)	1,775.00	1,711.10	1,696.90
สภาพต่าง ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)			
คาร์บอเนต	240.12	16.56	63.48
ไบคาร์บอเนต	1,159.27	227.70	193.20
ทั้งหมด	1399.32	244.26	256.68



รูปที่ 3.15 ลักษณะของตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่เป็นน้ำเริ่มต้นหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (Raw water, 1) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการตกตะกอน (Pre-treated water, 2) น้ำที่ผ่านการเติมถ่าน (0.5% Activated charcoal) และการกรอง (3) และลักษณะของตะกอนจากตัวอย่างน้ำ SWI 4 ที่ผ่าน Pre-treated step (4)

ภายหลังจากกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุของความขุ่นและสีในขั้นต้นและกำจัดตะกอนลอย เมื่อนำน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรอง พบว่าระบบกรองน้ำที่เหมาะสมประกอบด้วยถ่าน Activated carbon (Carbokam, Thailand) จำนวน 25 กิโลกรัม เพื่อกำจัดสีและกลิ่น และ Cation exchange resin (DOWEX HCR-S/S, Italy) จำนวน 25 ลิตร เพื่อกำจัดความกระด้าง จากนั้นศึกษาความต้องการคลอรีนของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าปริมาณคลอรีนที่ต้องเติม คือ 0.56 ppm (รูปที่ 3.16) แล้ว

จึงนำน้ำผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) (Kemflo, America) เพื่อกำจัดปริมาณคลอไรด์ไอออน ที่เมื่อนำน้ำที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางจุลชีววิทยา แล้วได้น้ำที่มีคุณภาพตามต้องการ



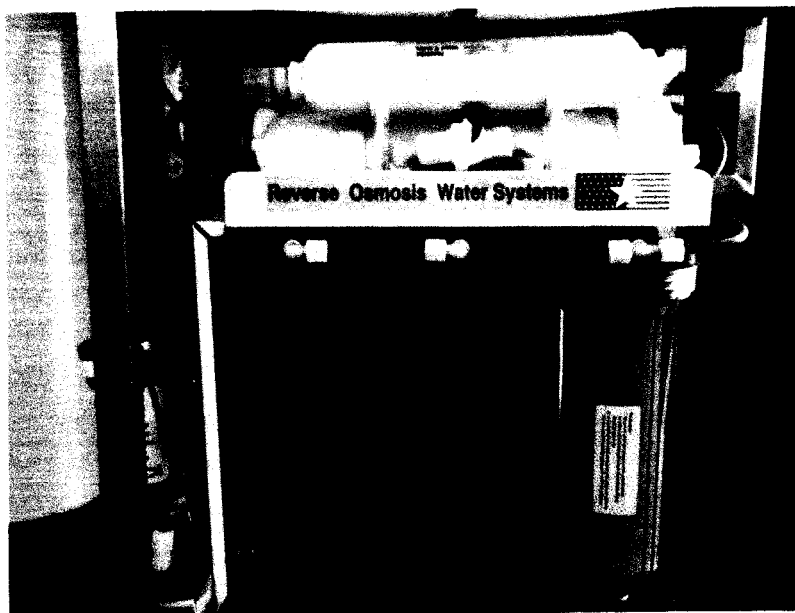
รูปที่ 3.16 ความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนกำจัดความขุ่น สี และกลิ่น

เมื่อพิจารณาตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง) ที่นำมาปรับปรุงคุณภาพ จาก 3 ตัวอย่างแรก คือ SWI 1, SWI 2 และ SWI 3 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.56 สภาพต่างทั้งหมด 1,321.48 mg/L CaCO₃ สภาพต่างคาร์บอเนต 258.95 mg/L CaCO₃ สภาพต่างไบคาร์บอเนต 1,073.51 mg/L CaCO₃ ความกระด้างทั้งหมด 711.55 mg/L CaCO₃ และปริมาณคลอไรด์ 1,515.56 mg/L คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่ 3 โดยคุณภาพที่กำหนด (ตารางที่ 1.3) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 11 ตอนที่ 16 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 (มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำภายในประเทศ, 2545)

สำหรับตัวอย่างน้ำ SWI 3 และ SWI 4 เมื่อนำมากำจัดความขุ่นด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 สามารถลดความขุ่นและลดสภาพต่างในน้ำได้เป็นอย่างดี รวมทั้งช่วยลดความกระด้างและคลอไรด์ไอออนได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.14 และ 3.16) และการใช้ถ่านสามารถกำจัดสีและกลิ่นได้ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาความกระด้าง แคลเซียมไอออน ปริมาณคลอไรด์ไอออนและค่าการนำไฟฟ้าที่มีค่าสูงได้ การศึกษาของโครงการนี้ จึงได้พัฒนาระบบการปรับปรุงน้ำเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้กรรมวิธี 5 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) การทำให้ใสด้วยการใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2
- 2) การกำจัดสีและกลิ่นโดยใช้ถ่าน Activated carbon
- 3) การกำจัดประจุบวกโดยใช้ Cation exchange resin

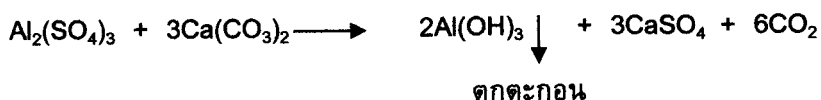
- 4) การกำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และ
 5) การกำจัดประจุลบโดยใช้ระบบ Reverse osmosis (รูปที่ 3.17)

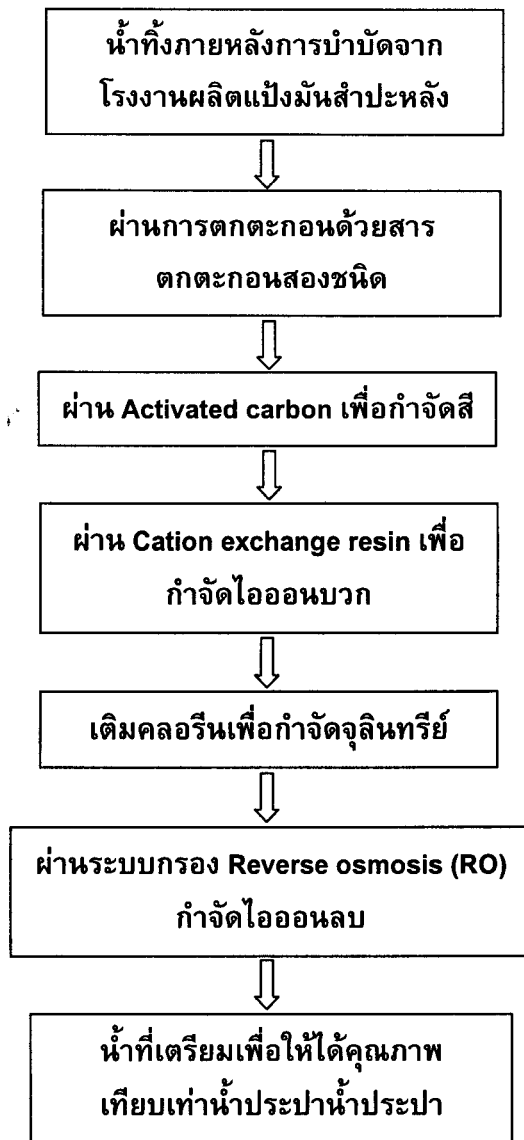


รูปที่ 3.17 ระบบ Reverse osmosis ที่ใช้ในการบำบัดน้ำ

จากนั้นได้นำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดมาปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา โดยใช้น้ำตัวอย่างจำนวน 6 ตัวอย่าง คือ น้ำเริ่มต้น SWI 5, SWI 6, SWI 7, SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 มาปรับปรุงคุณภาพตามขั้นตอนที่ได้พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.18) น้ำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพในแต่ละขั้นตอนคือ น้ำเริ่มต้น (Raw water) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านตกตะกอนด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 (Pre-treated water) ตัวอย่างน้ำที่ผ่านถ่าน (Activated carbon-treated water) ตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Cation exchange resin (Resin-treated water) และตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีนและผ่านระบบ Reverse osmosis (Treated water) มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ซึ่งค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นเป็นคุณภาพของน้ำที่เทียบเท่าน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 (ตารางที่ 3.17)

ลักษณะของตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 ตัวอย่าง (ตัวอย่างตามรูปที่ 3.19) Raw water มีความขุ่นช่วง 93.33-220.95 NTU (ตารางที่ 3.18) ซึ่งเป็นมีค่าสูงกว่าน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 และมาตรฐานการประปานครหลวง (ไม่เกิน 5 NTU) เนื่องจากมีตะกอนสีเขียวที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กทำให้เกิดความขุ่น เมื่อผ่านขั้น Pre-treated step พบว่าน้ำทั้ง 6 ตัวอย่างมีความขุ่นลดลงอยู่ในช่วง 4.29-8.57 NTU สารช่วยตกตะกอนนี้มีบทบาทเช่นเดียวกับที่มีรายงานการใช้ปูนขาวและสารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) ในการเตรียมน้ำประปาที่สามารถช่วยในการตกตะกอนได้ และลด Carbonate Hardness ดังปฏิกิริยา (ไพศาล วิริกิจ, 2545)



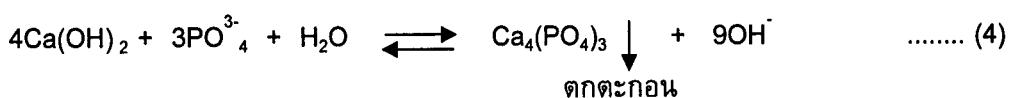
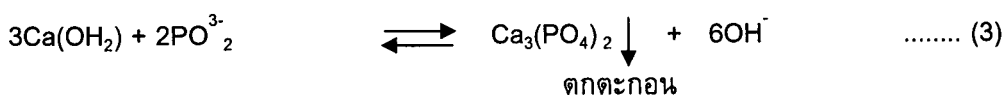
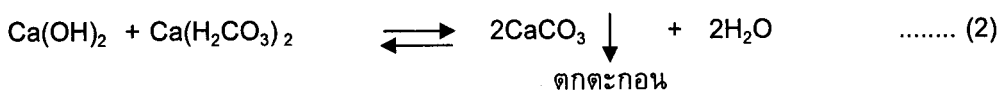
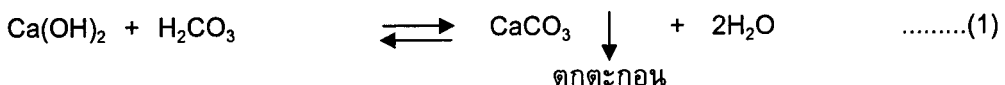


รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการเตรียมน้ำภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังให้มีคุณภาพน้ำเทียบเท่าน้ำประปา ที่พัฒนาขึ้นจากวิธีการจากแหล่งอ้างอิงและผลการศึกษาคูณลักษณะของน้ำเริ่มต้น

ตารางที่ 3.17 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นกับมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา
(มอก. 257/2521)

คุณภาพของน้ำ	น้ำที่ผ่านกรรมวิธี (เฉลี่ย 6 ครั้ง)	มาตรฐานน้ำประปา (มอก. 257-2521)
ทางกายภาพ		
ความขุ่น (NTU)	0.00	5.0
ความเข้มสี (SU)	0.00	5.0
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	200	500
ทางเคมี		
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.19	6.5-8.5
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)	447.18	-
ความกระด้าง (mg/L CaCO_3)	123.41	-
แคลเซียมไอออน (mg/L)	1.43	75
คลอไรด์ไอออน (mg/L)	108.22	250
สภาพด่างทั้งหมด (mg/L CaCO_3)	41.05	-
ทางจุลชีววิทยา		
Coliform bacteria (MPN/100 mL)	ไม่พบ	<2.2
<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	ไม่พบ	ไม่พบ

มีรายงานการใช้ปูนขาวในการบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดสาหร่ายได้ 80% (Ayoub *et al.*, 1986; Ayoub, 1994) ตามที่มีรายงานปูนขาวยังใช้เพื่อช่วยตกตะกอนฟอสเฟต สารโลหะ แบนคทีเรีย และสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ในน้ำเสีย (Black and Lewandowski, 1969; Parker, 1972; Horstkotte, 1974; Stuckenberg, 1975) ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีของการทำน้ำให้ใสโดยใช้ปูนขาว (Ca(OH)_2) อธิบายได้ดังนี้ (Culp *et al.*, 1978; Tchobanoglous and Butron, 1991)



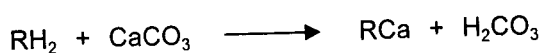
การตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) จากสมการที่ 1 และ 2 เป็นการตกตะกอนของสารละลายที่ค่าความเป็นกรด-ด่างช่วง 9.1-9.5 และปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นโดยปูนขาวเป็นสารช่วยตกตะกอนที่จับกับสารแขวนลอยและอนุภาคคอลลอยด์ เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นที่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาค (Leentvar and Rebhun, 1982) การตกตะกอนฟอสเฟต (สมการที่ 3 และ 4) เกิดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างช่วง 10.5-11.0 (Dziubek and kowal, 1984) การตกตะกอนด้วยปูนขาวสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.0-11.5 และถ้าใช้นานติดต่อกัน 4 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ (Riehl *et al.*, 1952)

จากการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างน้ำผ่านขั้น Pre-treated step บางตัวอย่างยังมีค่าความขุ่นสูงกว่ามาตรฐาน และมีลักษณะสีเขียวอ่อน เมื่อผ่าน Activated carbon สามารถกำจัดความขุ่นของน้ำทุกตัวอย่างได้ น้ำที่ผ่าน Resin และได้ Treated water จึงใส

ด้านความเข้มของสีในตัวอย่างน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแต่ละขั้นตอน พบว่า Raw water SWI 5, SWI 6, SWI 7 และ SWI 8 มีค่าความเข้มสีสูงอยู่ในช่วง 7.25-9.90 SU ส่วน SWI 10 และ 11 มีค่าความเข้มสีน้อยกว่า คือเท่ากับ 4.99 และ 2.69 SU ตามลำดับ และน้ำความเข้มของสีของทุกตัวอย่างลดลงเมื่อผ่านขั้นตอน Pre-treated step และหมดไปเมื่อผ่านขั้นที่ใช้ถ่าน Activated carbon เฉพาะตัวอย่างน้ำ SWI 11 ที่ยังมีวัดค่าความเข้มของสีได้ที่ 0.03 SU โดยทั่วไปสีในน้ำที่เกิดขึ้นจากสารแขวนลอยต่างๆ จัดเป็นสีประเภทสีปรากฏ (Apparent Color) สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอน ส่วนสีที่เกิดในน้ำจากการย่อยสลายของพืชหรืออนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ จัดเป็นสีแท้ (True Color) สามารถกำจัดได้โดยใช้ถ่าน (มันสิน ตันทูลเวศม์, 2542) ถ่าน Activated Carbon สามารถขจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้โดยการดูดซึม (Adsorption) การดูดซึมเกิดจากพื้นที่ผิว (Surface area) ของถ่านซึ่งมีค่าประมาณ 500-1,400 ตารางเมตร/กรัม ถ่านนี้สามารถขจัดสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกลิ่น รส และสีในน้ำได้ดี เพราะบนพื้นที่ผิวจะมีรูพรุนอย่างมาก รูพรุนนี้มีขนาดเท่ากับโมเลกุลของสารเหล่านั้น ดังนั้นโมเลกุลของสารต่างๆ จะแพร่กระจายเข้าไปอยู่ในรูพรุนเล็กๆ เหล่านี้ได้ (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2540)

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำแต่ละตัวอย่างผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำแต่ละขั้นตอน พบว่า Pre-treated water ของตัวอย่างน้ำนำมาศึกษามีปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 0.37-0.50% ซึ่งจัดว่าสูงเมื่อเทียบกับน้ำเริ่มต้น แต่เมื่อนำน้ำผ่านขั้น Activated carbon และ Resin ช่วยลดปริมาณลง และเมื่อผ่านขั้นตอน Treated water ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเหลือน้อยมาก คืออยู่ในช่วง 0.1-0.3% ซึ่งของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่อยู่ในทั้งหมดทั้งในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ที่ตรวจหาได้จากการระเหยตัวอย่างน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2540)

ค่าความกระด้างของ Raw water ทั้ง 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 587.93-819.47 mg/L CaCO_3 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 257-2521 ตามมาตรฐานกำหนดถ้ามีค่าความกระด้างมากกว่า 300 mg/L CaCO_3 แสดงถึงน้ำมีความกระด้างมาก แต่เมื่อผ่านขั้น Pre-treated step และ Activated carbon ค่าความกระด้างลดลงเล็กน้อย แต่ยังสูงกว่ามาตรฐาน เมื่อผ่านขั้น Resin ความกระด้างของน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง มีค่าลดลงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจาก Cation exchange resin ที่ใช้เป็นแบบชนิดประจุบวกแบบกรดแก่ (Strong acid cation) ซึ่งสามารถใช้ในการกำจัดสารละลายเกลือแร่ประจุบวกออกจากน้ำในระหว่างการกรองได้ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นดังนี้ (ไพศาล วีรกิจ, 2545)





กำหนดให้ RH_2 คือ Cation exchange resin

ดังนั้นการใช้ Cation exchange resin จึงช่วยในการกำจัดความกระด้างได้ เมื่อผ่านชั้นที่เตรียมได้ Treated water พบว่าค่าความกระด้างของน้ำทั้ง 6 ตัวอย่างมีค่าความกระด้างลดลงจากการผ่านชั้น Resin เล็กน้อย ยกเว้นน้ำ SWI 5 เมื่อผ่านชั้น Resin ค่าความกระด้างยังคงเท่ากับการผ่านชั้น Treated water

แคลเซียมไอออนที่พบในตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง มีค่าสูงเมื่อผ่าน Pre-treated step คือ อยู่ในช่วง 217.85-500.0 mg/L CaCO_3 โดยเฉพาะน้ำ SWI 11 มีปริมาณแคลเซียมไอออนสูงสุด เมื่อนำน้ำผ่านชั้น Activated carbon ปริมาณแคลเซียมไอออน (ประจุบวก) ลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อน้ำผ่านชั้น Resin ปริมาณแคลเซียมไอออนลดลงปริมาณมากเนื่องจาก Cation exchange resin มีความสามารถในการจับประจุบวก และเมื่อผ่านชั้น Treated water ปริมาณแคลเซียมไอออนลดลงเล็กน้อย

คลอไรด์ไอออนที่ตรวจพบในของน้ำทั้ง 6 ตัวอย่างนั้น Raw water, Pre-treated water, น้ำที่ผ่าน Activated carbon และน้ำที่ผ่าน Resin มีปริมาณคลอไรด์ไอออนสูงกว่ามาตรฐาน (ซึ่งเท่ากับ 250 mg/L) จำนวนคลอไรด์ไอออนลดลงต่ำกว่ามาตรฐานเมื่อผ่านชั้นที่ได้ Treated water เนื่องจากการผ่านระบบ Reverse osmosis สารสามารถกรองกำจัดสารเกลือแร่ทั้งสารวาเลนซีหนึ่งและสองได้มากถึง 98% (ไพศาล วีรกิจ, 2545) ระบบ Reverse osmosis จึงสามารถใช้กำจัดคลอไรด์ไอออนได้ ซึ่งหลักการของ Reverse Osmosis เป็นการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส (ของเหลวที่เข้มข้นกว่าจะดูดเอาของเหลวที่เจือจางกว่าเข้ามาผสมเพื่อให้เกิดความเจือจาง) โดยการให้ Hydraulic pressure แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิสจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่ง Hydraulic pressure ที่ให้ต้องมีค่ามากกว่า Osmotic pressure จึงจะเกิด Reverse Osmosis ได้ (กิริติ พัฒนสารินทร์, 2546)

ค่านำไฟฟ้าที่ตรวจพบใน Raw water ของตัวอย่าง SWI 5, SWI 6, SWI 7, SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 มีค่าสูงมากอยู่ในช่วง 4,860-6,800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ อาจเนื่องจากมีประจุบวกของแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออน และประจุลบของคลอไรด์ไอออนที่มีปริมาณมากในน้ำ แต่สามารถลดลงได้เมื่อผ่านกระบวนการสุดท้าย (Treated water) ที่มีค่านำไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากการกำจัดไอออน

ความเป็นกรด-ด่างของแต่ละตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์ได้นั้น Raw water มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง คือ อยู่ในช่วง 8.27-8.77 ซึ่งค่าสูงสุดสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 257-2521 ซึ่งกำหนดเท่ากับ 8.50 เมื่อนำน้ำผ่านชั้น Pre-treated step ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง จากนั้นผ่านชั้น Activated carbon ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจาก Activated carbon มีฤทธิ์เป็นด่าง ในชั้นที่ผ่าน Resin ยังคงไม่สามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่เมื่อผ่านชั้นที่ทำให้ได้ Treated water พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ยกเว้น SWI 11 มีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องจากการเสื่อมประสิทธิภาพของระบบ Reverse osmosis

สภาพต่างทั้งหมดของตัวอย่าง Raw water ทั้ง 6 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 959.18-1,246.42 mg/L CaCO_3 ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูง เมื่อนำน้ำผ่านชั้นตอนจนได้ Treated water พบว่าสภาพต่างในน้ำสุดท้ายมีค่าไม่เกินมาตรฐาน สภาพต่างหรือค่าความเป็นต่างของน้ำมีสาเหตุหลักมาจากองค์ประกอบของสาร 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ที่มีผลให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำสูงจากมากไปน้อย ตามลำดับ เกณฑ์ในการพิจารณาค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าความเป็นต่างในน้ำประปาพิจารณาทั้งปริมาณ คาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ และไบคาร์บอเนต ตามข้อบังคับอนุญาตให้มีค่าความเป็นต่างทั้งหมดอย่างต่ำ 30

มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำเริ่มต้น (Raw water) สูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่เหมาะที่จะมาทำเป็นน้ำประปา น้ำที่เหมาะสมที่จะมาทำน้ำประปา ควรจะมีค่าความเป็นด่างทั้งหมดระหว่าง 30-500 มิลลิกรัม/ลิตร (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)

สภาพกรดของตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ที่ผ่านชั้น Pre-treated, Activated carbon และ Resin จากการตรวจวิเคราะห์ไม่มีค่าสภาพกรด แต่เมื่อน้ำผ่านต่อในชั้นที่เตรียม Treated water พบว่าตัวอย่าง SWI 5, SWI 6 และ SWI 7 มีค่าสภาพกรดเล็กน้อย คือเท่ากับ 0.76, 0.84 และ 0.80 mg/L CaCO₃ ตามลำดับ ส่วนตัวอย่าง SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 ไม่มีค่าสภาพกรด สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ตัวอย่างน้ำชั้นที่ได้ Treated water ของตัวอย่าง SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 มีค่าความเป็นด่างเล็กน้อย

ตารางที่ 3.18 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่าน้ำประปา

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ตัวอย่างน้ำ	SWI 5	SWI 6	SWI 7	SWI 8	SWI 10	SWI 11
ความขุ่น (NTU)	Raw water	138.57	154.29	155.71	220.95	146.19	93.33
	Pre-treated water	5.71	4.29	5.71	5.71	4.29	8.57
	Activated carbon-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Resin-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Final treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ความเข้มของสี (SU)	Raw water	9.90	7.25	7.95	7.50	4.99	2.69
	Pre-treated water	1.00	1.08	1.15	3.40	0.77	0.29
	Activated carbon-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
	Resin-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Final treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	Raw water	0.36	0.37	0.34	0.35	0.37	0.44
	Pre-treated water	0.38	0.40	0.38	0.37	0.42	0.50
	Activated carbon-treated water	0.35	0.39	0.36	0.36	0.40	0.48
	Resin-treated water	0.31	0.38	0.35	0.34	0.39	0.46
	Final treated water	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
ความเป็นกรด-ด่าง	Raw water	8.77	8.66	8.32	8.38	8.27	8.41
	Pre-treated water	7.68	7.97	7.61	7.81	7.81	7.95
	Activated carbon-treated water	8.57	8.24	7.99	8.13	8.08	8.00
	Resin-treated water	9.16	9.14	8.83	9.00	8.90	8.81
	Final treated water	7.49	7.86	7.22	8.24	8.88	9.16

ตารางที่ 3.18 (ต่อ) คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนีย
สำหรับจำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่ากับน้ำประปา

คุณภาพทาง กายภาพและเคมี	ตัวอย่างน้ำ	SWI 5	SWI 6	SWI 7	SWI 8	SWI 10	SWI 11
การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)	Raw water	5,533.30	5,706.70	5,143.30	4,860.00	6,283.30	6,800.00
	Pre-treated water	5,943.30	6,403.30	5,806.70	5,250.00	6,806.70	7,630.00
	Activated carbon- treated water	5,506.70	6,330.00	5,813.30	5,230.00	6,550.00	7,466.70
	Resin-treated water	4,683.30	5,996.70	6,033.30	5,130.00	6,070.00	7,003.30
	Final treated water	202.70	436.70	470.00	407.00	529.70	637.00
ความกระด้าง (mg/L CaCO_3)	Raw water	587.93	658.79	649.61	649.61	662.90	819.47
	Pre-treated water	566.93	619.42	644.36	578.74	657.85	806.84
	Activated carbon- treated water	515.75	620.73	629.92	570.87	618.58	732.35
	Resin-treated water	62.99	89.76	89.76	90.81	205.81	224.75
	Final treated water	62.99	85.04	88.71	84.51	203.29	215.92
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO_3)	Raw water	127.06	143.56	138.61	136.96	168.30	147.06
	Pre-treated water	297.03	374.59	330.03	217.82	361.11	500.00
	Activated carbon- treated water	298.68	382.84	326.73	217.82	294.12	428.11
	Resin-treated water	1.98	3.96	3.96	3.30	19.61	0.00
	Final treated water	1.98	1.98	1.98	2.64	0.00	0.00
คลอไรด์ไอออน (mg/L)	Raw water	1,396.82	1,457.25	1,326.27	1,326.27	1,446.15	1,620.84
	Pre-treated water	1,378.68	1,428.81	1,284.35	1,272.38	1,394.61	1,597.93
	Activated carbon- treated water	1,233.55	1,402.61	1,294.83	1,260.40	1,391.74	1,480.52
	Resin-treated water	1,082.38	1,350.22	1,366.68	1,242.44	1,291.51	1,411.79
	Final treated water	58.05	121.25	134.72	124.54	137.46	154.64
สภาพต่าง (mg/L CaCO_3)							
คาร์บอเนต	Raw water	148.87	155.63	104.88	110.97	173.23	207.06
	Pre-treated water	23.01	18.95	43.98	37.89	50.07	35.19
	Activated carbon- treated water	85.26	54.13	50.75	55.49	51.43	58.19
	Resin-treated water	74.43	97.44	40.60	79.85	58.19	56.84
	Final treated water	0.00	8.12	10.15	13.53	0.00	0.00
ไบคาร์บอเนต	Raw water	862.75	899.97	854.29	913.50	998.08	1,039.36
	Pre-treated water	327.17	151.57	260.52	230.07	276.08	156.31
	Activated carbon- treated water	282.17	158.34	265.59	218.56	251.72	206.38
	Resin-treated water	258.49	201.71	280.82	244.28	214.50	276.76

ตารางที่ 3.18 (ต่อ) คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่าน้ำประปา

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ตัวอย่างน้ำ	SWI 5	SWI 6	SWI 7	SWI 8	SWI 10	SWI 11
ไบคาร์บอเนต (ต่อ)	Final treated water	19.62	28.42	33.83	29.10	41.28	45.34
สภาพต่างทั้งหมด	Raw water	1,011.62	1,055.60	959.18	1,024.47	1,171.31	1,246.42
	Pre-treated water	350.18	170.52	304.50	267.96	326.15	191.50
	Activated carbon-treated water	367.43	212.47	316.34	274.05	303.15	264.58
	Resin-treated water	332.92	299.15	321.42	324.12	272.70	333.60
	Final treated water	19.62	36.54	43.98	42.63	41.28	45.34
สภาพกรด (mg/L CaCO ₃)	Raw water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pre-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Activated carbon-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Resin-treated water	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Final treated water	0.76	0.84	0.80	0.00	0.00	0.00
ความต้องการคลอรีน (ppm)	Treated water	0.73	0.65	0.65	0.58	0.66	0.65

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาตามขั้นตอนที่ได้พัฒนาขึ้น จากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในน้ำเริ่มต้นในช่วง 1.39×10^6 ถึง 9.40×10^6 CFU/mL เมื่อผ่านขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสีในขั้นต้นซึ่งได้ Pre-treated water นั้นลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้บ้าง กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดคงเหลือใน Pre-treated water ในช่วง 1.71×10^4 ถึง 6.25×10^4 CFU/mL (ตารางที่ 3.19) และยังคงพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Resin-treated water (1.79×10^3 ถึง 9.00×10^3 CFU/mL) แต่เมื่อเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความต้องการคลอรีนคือ 0.73, 0.65, 0.65, 0.58, 0.66 และ 0.65 ppm สำหรับน้ำใสที่ผ่านระบบกรองแล้วของน้ำเริ่มต้น SWI 5, SWI 6, SWI 7, SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.18) สามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้หมดสิ้น และได้ผลทำนองเดียวกันจากการตรวจหา Coliform bacteria และ E. coli ทั้งจากวิธี MPN และ 3M Petrifilm™ E. coli /Coliform Count Plate (ตารางที่ 3.19) ดังนั้นน้ำทิ้งที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเทียบเท่าน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2521) และ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2543

ตารางที่ 3.19 คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย
จำนวน 6 ตัวอย่าง ที่ทดลองปรับปรุงคุณภาพให้ได้เทียบเท่ากับน้ำประปา

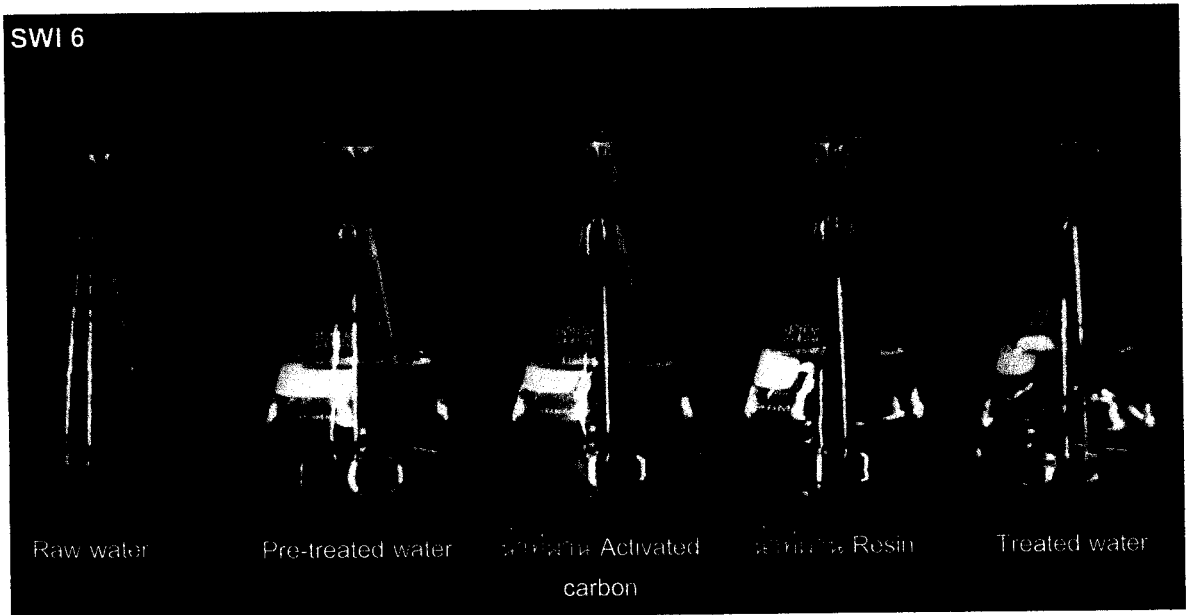
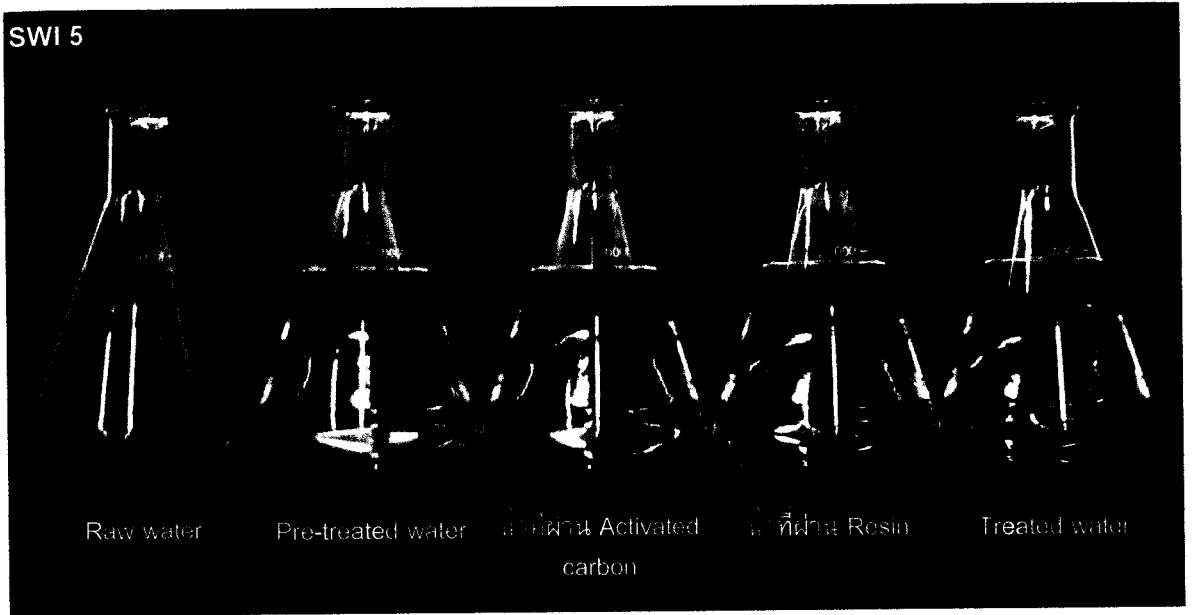
คุณภาพทาง จุลชีววิทยา	ตัวอย่างน้ำ	SWI 5	SWI 6	SWI 7	SWI 8	SWI 10	SWI 11
จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมด* (CFU/mL)	Raw water	9.40×10^5	2.54×10^5	9.75×10^5	1.39×10^6	2.43×10^6	2.20×10^5
	Pre-treated water	6.25×10^4	3.31×10^4	1.71×10^4	2.01×10^4	1.92×10^4	2.80×10^4
	Activated carbon- treated water	2.48×10^3	2.04×10^4	8.20×10^3	1.82×10^4	1.64×10^4	1.18×10^4
	Resin-treated water	2.55×10^3	2.31×10^3	2.80×10^3	1.79×10^3	9.00×10^3	3.07×10^3
	Final treated water	0	0	0	0	0	0
Coliform bacteria** (MPN/100 mL)	Raw water	>1600	>1600	>1600	1600	1600	14
	Pre-treated water	79	70	63	12	17	4.5
	Activated carbon- treated water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Resin-treated water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Final treated water	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)
Coliform bacteria*** (CFU/mL)	Raw water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Pre-treated water	2.20×10^2	2.30×10^2	8.30×10^2	1.05×10^2	2.10×10^2	1.14×10^2
	Activated carbon- treated water	94.5	80.5	73	40	54	34
	Resin-treated water	40	32	<15(11)	16	22	<15(14)
	Final treated water	0	0	0	0	0	0
<i>E. coli</i> ** (MPN/100 mL)	Raw water	240	140	150	23	23	6.8
	Pre-treated water	11	11	10	4.5	6.8	4.0
	Activated carbon- treated water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Resin-treated water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Final treated water	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)	<1.8(ไม่พบ)
<i>E. coli</i> *** (CFU/mL)	Raw water	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Pre-treated water	140	150	94	100	40	22
	Activated carbon- treated water	54	40	34	28	22	18
	Resin-treated water	<15(10)	<15(4)	<15(3)	<15(1.5)	<15(2)	<15(2)
	Final treated water	0	0	0	0	0	0

ND = Not determined

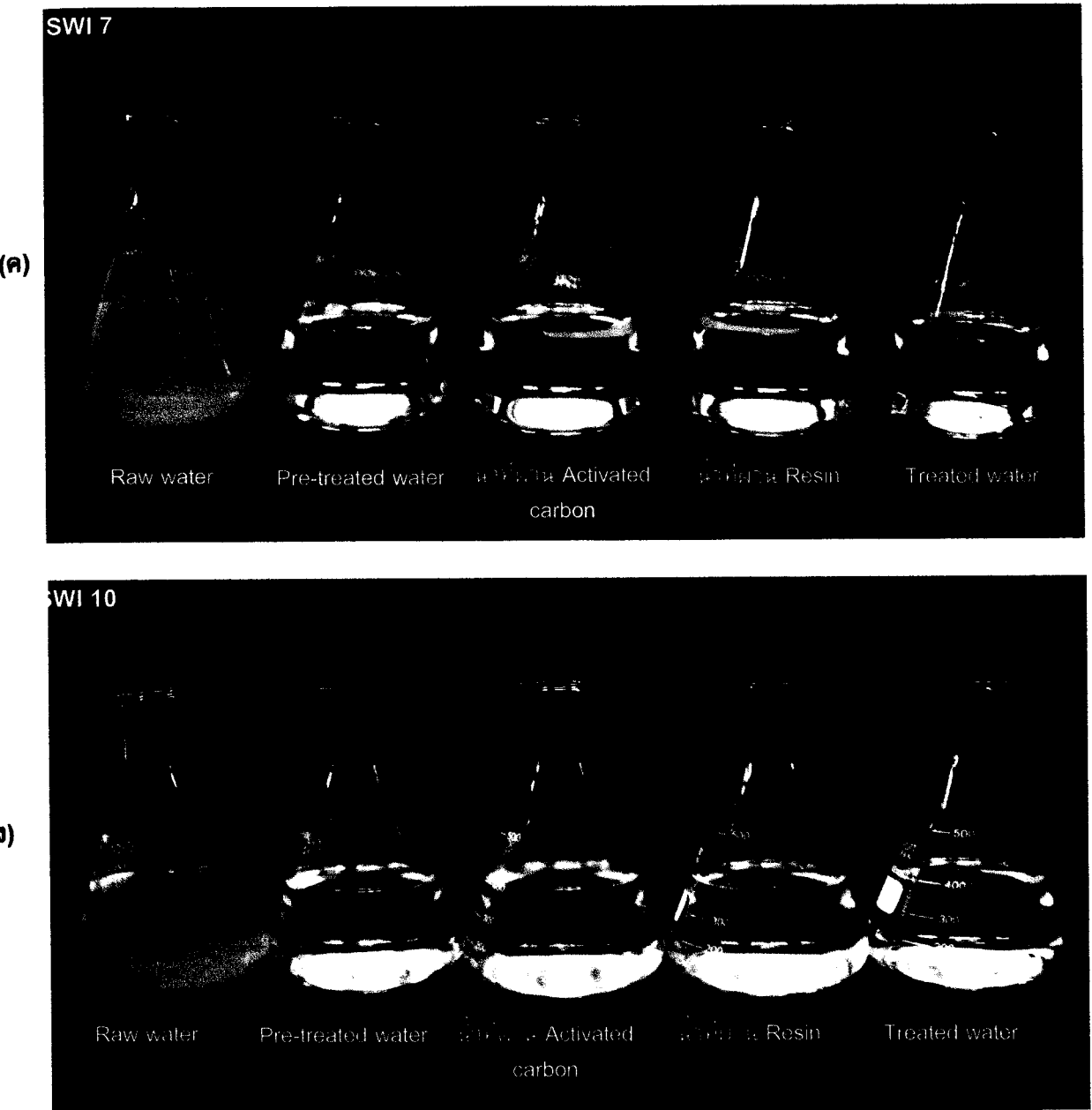
* ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar บ่มให้เชื้อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

** MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)

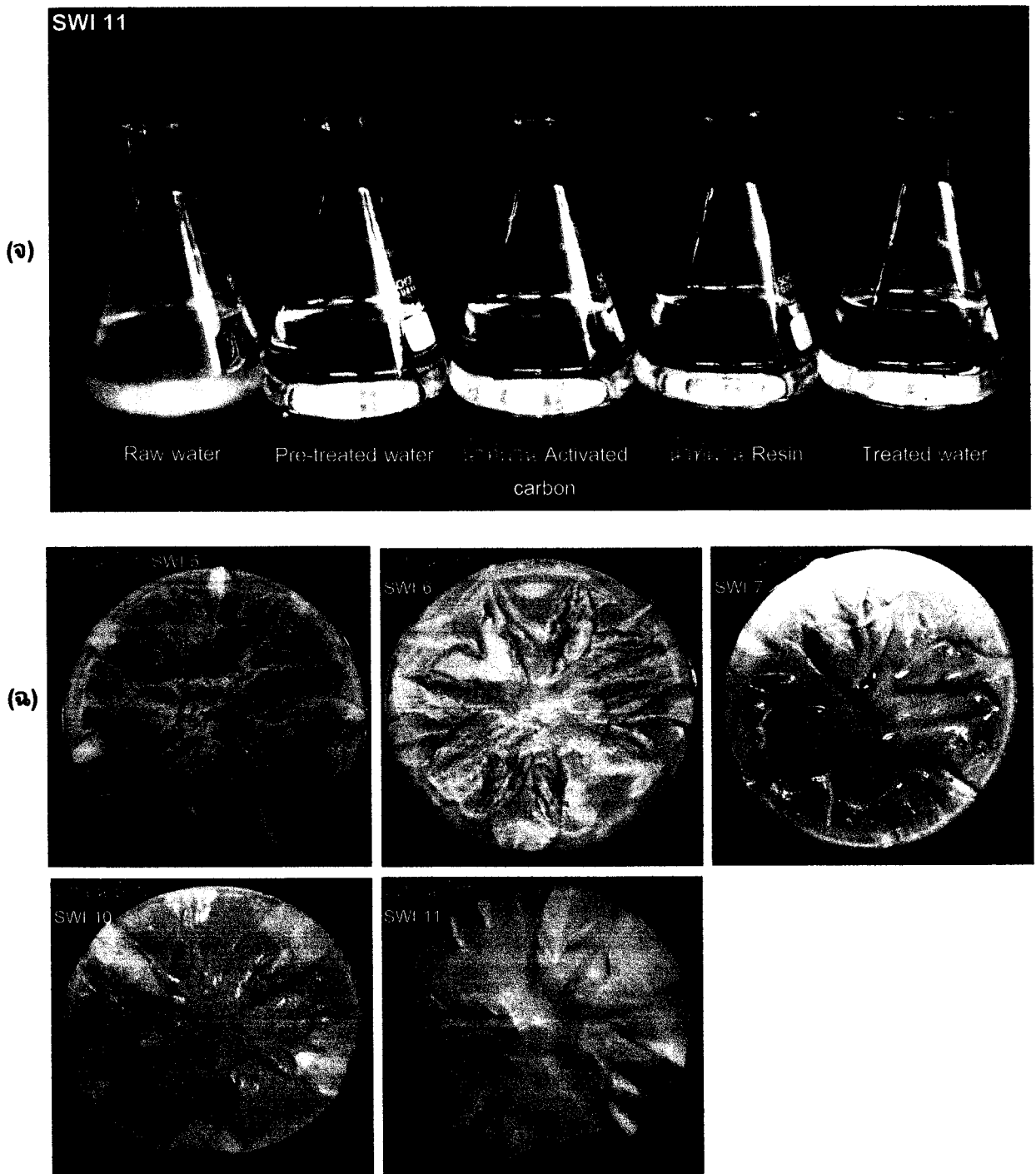
*** ตรวจหา Coliform bacteria และ *E. coli* ด้วย 3M Petrifilm™ *E. coli* /Coliform Count Plate (3M, Minneapolis, U.S.A.)



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างลักษณะของน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามขั้นตอนของกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น (ก-จ) และลักษณะของตะกอนเปือกของตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Pre-treated step (ฉ)



รูปที่ 3.19 (ต่อ) ตัวอย่างลักษณะของน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามขั้นตอนของกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น (ก-จ) และลักษณะของตะกอนเปียกของตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Pre-treated step (จ)



รูปที่ 3.19 (ต่อ) ตัวอย่างลักษณะของน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามขั้นตอนของกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น (ก-จ) และลักษณะของตะกอนเปียกของตัวอย่างน้ำที่ผ่าน Pre-treated step (ข)

จากผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำภายหลังการบำบัดจากโรงผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา คุณภาพโดยเฉลี่ยของน้ำทิ้งที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมจากโครงการวิจัย (ค่าเฉลี่ยของน้ำ Treated water ของ SWI 5, SWI 6, SWI 7, SWI 8, SWI 10 และ SWI 11) เปรียบเทียบกับคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำประปามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (น้ำประปา มทส.) และน้ำดื่มที่ผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นการค้า 2 ตัวอย่าง คือ น้ำดื่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (น้ำดื่ม มทส.) และน้ำดื่มคูลลีเฟรช พบว่าน้ำทิ้ง 4 ตัวอย่างไม่มีความขุ่น (ตารางที่ 3.20) น้ำดื่ม มทส. น้ำดื่มคูลลีเฟรชและน้ำทิ้งที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย ไม่มีสีจากการวัดความเข้มของสี ส่วนน้ำประปามีสีเพียงเล็กน้อย คือ เท่ากับ 0.03 SU ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้ง 4 ตัวอย่าง มีปริมาณน้อย โดยที่น้ำประปา มทส. และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากัน คือ 0.02% สำหรับน้ำดื่ม มทส. มีปริมาณของแข็ง 0.01% และน้ำดื่มคูลลีเฟรชไม่พบปริมาณของแข็งทั้งหมด สำหรับค่าความกระด้างของน้ำประปา มทส. และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีค่า 129.48 และ 123.41 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าน้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชที่มีค่าความกระด้าง 58.05 และ 57.67 mg/L CaCO₃ ค่าแคลเซียมไอออนของน้ำประปา มทส. มีค่า 66.74 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย (1.43 mg/L CaCO₃) ส่วนน้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชมีค่าแคลเซียมไอออนน้อยที่สุดและมีค่าเท่ากัน คือ 0.66 mg/L CaCO₃ ในขณะที่จำนวนคลอไรด์ไอออนของน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีจำนวนคลอไรด์ไอออนสูงที่สุด คือ 108.22 mg/L รองลงมา คือ น้ำประปา มทส. น้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชซึ่งมีจำนวนคลอไรด์ไอออน 44.87, 11.60 และ 6.79 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ กรณีค่านำไฟฟ้า น้ำประปา มทส. และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีค่าการนำไฟฟ้า 447.2 และ 306.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งสูงกว่าน้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชที่มีค่าการนำไฟฟ้า 21.37 และ 4.23 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ตามลำดับ เมื่อตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำประปา มทส. น้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรช พบว่ามีค่าเป็นกลาง ส่วนน้ำที่ผ่านการเตรียมจากห้องปฏิบัติการ มทส. มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.35 ซึ่งเป็นต่างเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน น้ำประปาของ มทส. น้ำดื่มของ มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชไม่มีค่าสภาพต่างคาร์บอนเนต ส่วนน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีค่าสภาพต่างคาร์บอนเนต 6.99 mg/L CaCO₃ สำหรับสภาพต่างไบคาร์บอนเนตของน้ำประปา มทส. มีค่ามากกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย น้ำดื่มของ มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชซึ่งมีค่า 86.67 34.06 20.53 และ 12.63 mg/L CaCO₃ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อรวมค่าสภาพต่างคาร์บอนเนตและค่าสภาพต่างไบคาร์บอนเนตเป็นสภาพต่างทั้งหมด น้ำประปา มทส. มีค่ามากที่สุด คือ 86.67 mg/L CaCO₃ รองมา คือ น้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย น้ำดื่ม มทส. และน้ำดื่มคูลลีเฟรชซึ่งมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเท่ากับ 41.05, 20.53 และ 12.63 mg/L CaCO₃ ตามลำดับ สำหรับค่าสภาพกรดทั้งหมด พบว่าน้ำประปามีสภาพกรดสูงสุด คือ 8.24 mg/L CaCO₃ รองลงมา คือ น้ำดื่ม มทส. (6.85) น้ำดื่มคูลลีเฟรช (5.40) และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย มีค่าสภาพกรดเล็กน้อย คือ 0.32 mg/L CaCO₃ ดังนั้นคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำประปา มทส. น้ำดื่มของ มทส. น้ำดื่มคูลลีเฟรช และน้ำที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย (ตารางที่ 3.20) อยู่ในมาตรฐานน้ำประปา มอก. 257-2521 และมาตรฐานของการประปานครหลวง

ตารางที่ 3.20 คุณภาพทางกายภาพและเคมีโดยเฉลี่ยของน้ำประปาของ มทส. น้ำดื่มที่ผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นการค้า (น้ำดื่มของ มทส. และน้ำดื่มकुल्लीเฟรช) และน้ำทิ้งที่ผ่านการเตรียมจากโครงการวิจัย (ค่าเฉลี่ยจาก 6 ตัวอย่าง)

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	น้ำประปา มทส.	น้ำดื่ม มทส.	น้ำดื่มकुल्ली เฟรช	น้ำทิ้งที่ผ่านการ เตรียม
ค่าความขุ่น (NTU)	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าความเข้มของสี (SU)	0.03	0.00	0.00	0.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	0.02	0.01	0.00	0.02
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.46	7.58	7.67	8.35
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)	306.4	21.4	4.2	447.2
ความกระด้าง (mg/L CaCO_3)	129.48	58.05	57.67	123.41
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO_3)	66.74	0.66	0.66	1.43
คลอไรด์ไอออน (mg/L)	44.87	11.60	6.79	108.22
สภาพต่าง (mg/L CaCO_3)				
คาร์บอเนต	0.00	0.00	0.00	6.99
ไบคาร์บอเนต	86.67	20.53	12.63	34.06
สภาพต่างทั้งหมด	86.67	20.53	12.63	41.05
สภาพกรด (mg/L CaCO_3)	8.24	6.85	5.40	0.32

3.5 การทดลองเตรียมน้ำโดยใช้กรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

3.5.1 การเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

เตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.20) โดยทดลองที่มีความแตกต่างในขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสีที่เนื่องจาก Phytoplankton เป็น 2 กรรมวิธี คือ

ก. กรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีที่ 1

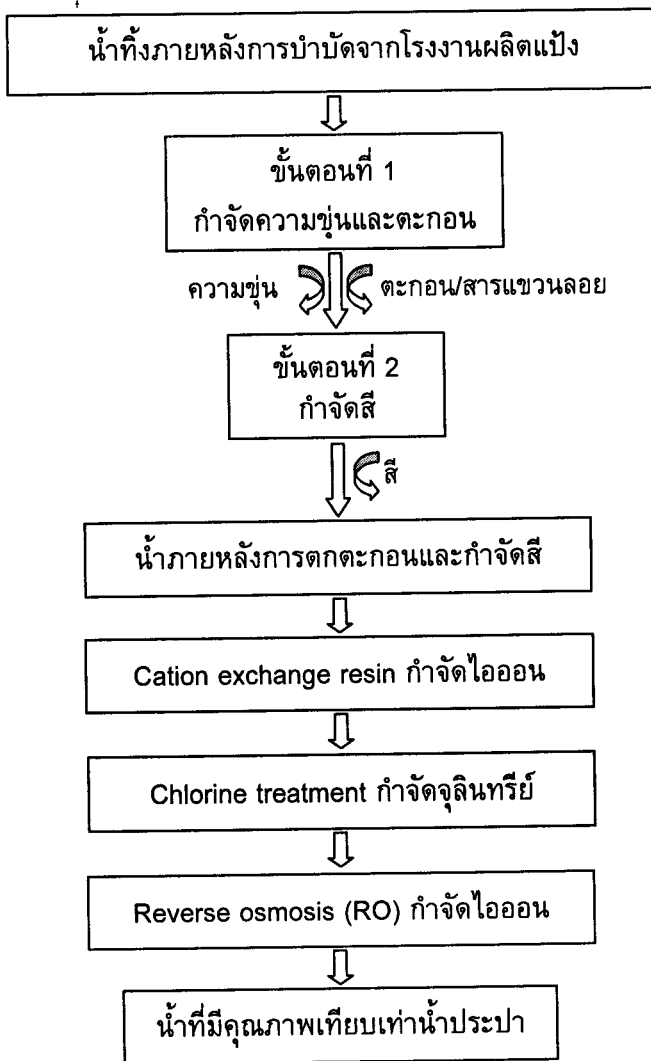
นำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ปริมาตร 250 ลิตรต่อชั่วโมง ผ่านกรรมวิธี เพื่อกำจัดสิ่งแขวนลอยและตะกอน โดยเลือกสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 จากนั้นนำไปผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออน ตามข้อ 3.4

ข. กรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำวิธีที่ 2

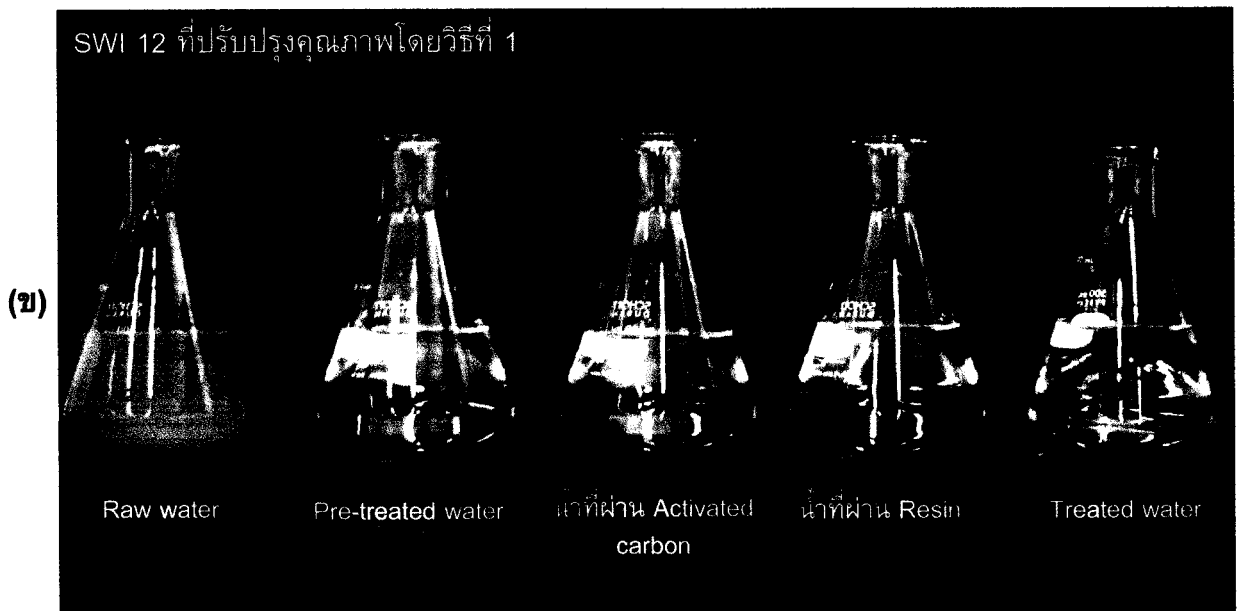
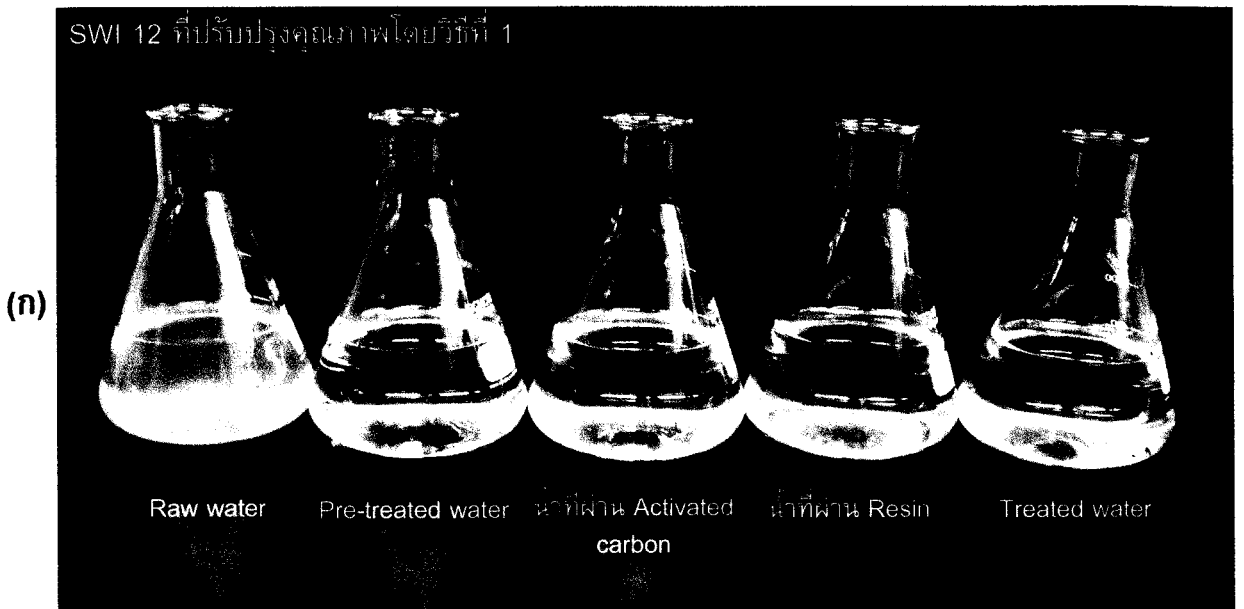
นำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ปริมาตร 250 ลิตรต่อชั่วโมง มาปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11 โดยใช้ 20% Sodium hydroxide เติมสารตกตะกอนชนิดที่ 1 ในปริมาณที่ได้ศึกษาแล้วคือ ที่ความเข้มข้น 1% ปริมาณ 0.875 กรัม/น้ำ 1 ลิตร กวนเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมสารตกตะกอนชนิดที่ 2 ในปริมาณที่ได้ศึกษาแล้วเช่นกันคือ ที่ความเข้มข้น 2% ปริมาณ 31.25 กรัม/น้ำ 1 ลิตร

ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้ได้ 7.5 ด้วย 10% Sulphuric acid กวนผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 นาที ให้เกิดการแยกชั้นของตะกอนและน้ำส่วนใส จากนั้นนำน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออน ตามข้อ 3.4

ตามแผนปฏิบัติงานทางโครงการจะทดลองเตรียมน้ำ ณ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของบริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด แต่เนื่องจากความไม่พร้อมด้านสถานที่ จึงได้ทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยนำตัวอย่างน้ำจากโรงงานฯ ปริมาตร 550 ลิตร มาทดลอง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยการปรับปรุงคุณภาพน้ำตามวิธีที่ 1 จำนวน 250 ลิตร และตามวิธีที่ 2 จำนวน 250 ลิตร เมื่อนำน้ำทั้งที่ผ่านการเตรียมมาเปรียบเทียบลักษณะปรากฏ พบว่าน้ำที่เตรียมได้จากทั้ง 2 วิธี มีความใสเช่นเดียวกัน (รูปที่ 3.21)

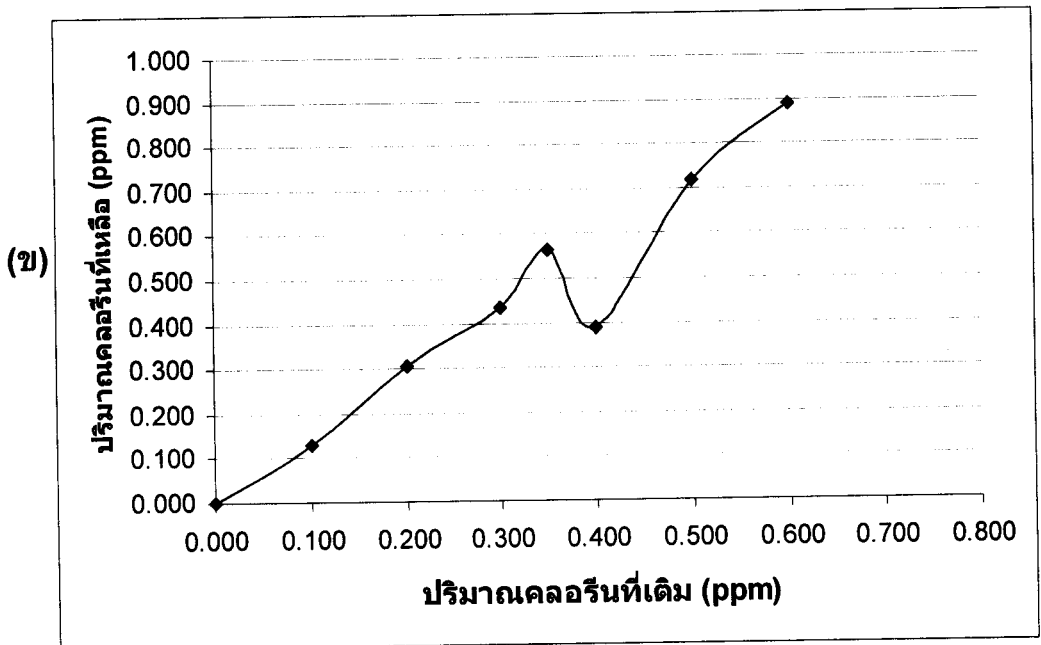
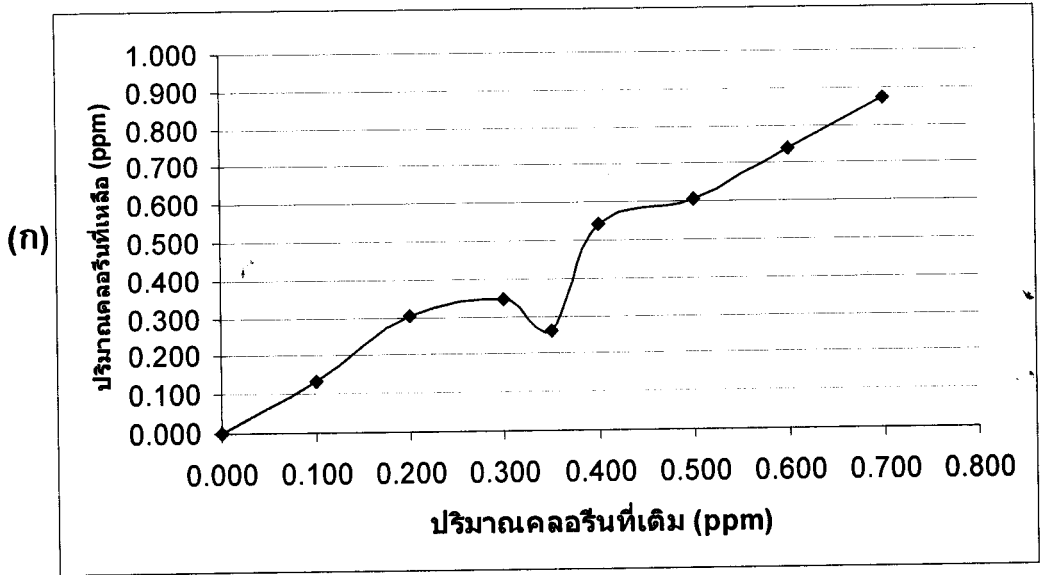


รูปที่ 3.20 สรุปกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา



รูปที่ 3.21 ลักษณะของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง และน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเป็นลำดับขั้นด้วยวิธีที่ 1 (ก) และวิธีที่ 2 (ข)

จากน้ำใสที่ผ่านระบบกรองทั้งวิธีที่ 1 และ 2 นำมาศึกษาความต้องการคลอรีนในการกำจัดจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณคลอรีนที่ต้องเติม คือ 0.65 และ 0.75 ppm ตามลำดับ (รูปที่ 3.22) จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ของน้ำที่เตรียมในแต่ละขั้นตอน



รูปที่ 3.22 ความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัด (SWI 12) ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 (ก) และวิธีที่ 2 (ข)

3.5.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

3.5.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการของโครงการวิจัย

วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เตรียมได้ทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการของโครงการวิจัย พบว่าเมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated step ทำให้ได้น้ำที่มีค่าความขุ่น 3.33 NTU ซึ่งน้อยกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 2 ที่ได้น้ำที่มีค่าความขุ่น 7.14 NTU และเมื่อผ่านชั้น Activated carbon พบว่าน้ำจากทั้ง 2 วิธี ไม่มีความขุ่น (ตารางที่ 3.21)

กรณีค่าความเข้มของสีในน้ำผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated water พบว่ามีค่าความเข้มของสี 0.32 SU ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 ซึ่ง Pre-treated water มีค่าความเข้มของสี 0.33 SU และเมื่อผ่านชั้น Activated carbon พบว่าการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี ทำให้ได้น้ำที่ไม่มีสี สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเมื่อผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 1 Pre-treated water มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.48% ซึ่งน้อยกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 2 ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.57% เมื่อผ่านชั้น Activated carbon, Resin และ Treated water ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.01% ส่วนน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.05% ความกระด้างในน้ำที่ผ่านการเตรียมวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated step มีค่าความกระด้าง 722.25 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมวิธีที่ 2 ที่มีค่าความกระด้าง 239.91 mg/L CaCO₃ เมื่อผ่านชั้น Activated carbon ค่าความกระด้างของน้ำที่ผ่านการเตรียมทั้ง 2 วิธี มีค่าลดลงจากชั้น Pre-treated เล็กน้อย เมื่อผ่านชั้น Resin ค่าความกระด้างของน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่าลดลงมาก คือมีค่า 227.28 mg/L CaCO₃ สำหรับน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีค่าความกระด้าง 208.34 mg/L CaCO₃ ความกระด้างของน้ำที่เตรียมได้สุดท้าย Treated water จากการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 1 มีค่า 204.55 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 2 (196.98 mg/L CaCO₃) เล็กน้อย สำหรับค่าแคลเซียมไอออนของน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 ในชั้น Pre-treated เท่ากับ 341.18 mg/L CaCO₃ ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมน้ำด้วยวิธีที่ 2 ที่มีค่า 31.37 mg/L CaCO₃ จากนั้นน้ำที่ผ่านถ่าน Activated carbon ทั้ง 2 วิธีมีค่าค่าแคลเซียมไอออนลดลง จนในขั้นสุดท้าย Treated water มีค่าแคลเซียมไอออน 4.58 และ 3.92 mg/L CaCO₃ จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย 2 วิธี ตามลำดับ ในขณะที่ค่าคลอไรด์ไอออนของน้ำเริ่มต้นมีค่าสูงถึง 1,828.03 mg/L เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพในชั้นต่างๆ จนได้ Treated water ที่มีค่าคลอไรด์ไอออน 71.85 และ 215.56 มิลลิกรัม/ลิตร จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าของ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีค่าสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่า 7.65 ซึ่งต่ำกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 (ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.26) กรณีสภาพต่างคาร์บอนเนต สภาพต่างไบคาร์บอนเนต และสภาพต่างทั้งหมดของ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่าน้อยกว่าน้ำที่ได้จากวิธีที่ 2 และน้ำจากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 เท่านั้นที่มีสภาพความเป็นกรด (มีค่าเท่ากับ 3.03 mg/L CaCO₃)

ตารางที่ 3.21 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเป็นลำดับขั้นด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ที่ตรวจวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการของโครงการวิจัย

รายการที่ตรวจวิเคราะห์	วิธีที่	Raw water	Pre-treated water	Activated carbon-treated water	Resin-treated water	Treated water
ความขุ่น (NTU)	1		3.33	0.00	0.00	0.00
	2	44.29	7.14	0.00	0.00	0.00
ความขุ่นสี (SU)	1		0.32	0.00	0.00	0.00
	2	1.20	0.33	0.00	0.00	0.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	1		0.48	0.46	0.38	0.01
	2	0.46	0.57	0.56	0.53	0.05
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	1		8.00	8.21	8.74	7.65
	2	8.52	8.15	8.46	8.88	9.26
การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)	1		7,826.7	7,540.0	5,923.3	256.3
	2	7,226.67	8,720.0	8,630.0	8,150.0	812.0
ความกระด้าง (mg/L CaCO_3)	1		722.25	713.41	227.28	204.55
	2	723.51	239.91	229.81	208.34	196.98
แคลเซียมไอออน (mg/L CaCO_3)	1		341.18	274.51	14.38	4.58
	2	156.86	31.37	20.26	9.80	3.92
คลอไรด์ไอออน (mg/L)	1		1,706.49	1,616.67	1,167.60	71.85
	2	1,828.03	1,778.34	1,709.48	1,437.04	215.56
การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S/cm}$)	1		7,826.7	7,540.0	5,923.3	256.3
	2	7,226.67	8,720.0	8,630.0	8,150.0	812.0
ความเป็นกรด-ด่าง	1		8.00	8.21	8.74	7.65
	2	8.52	8.15	8.46	8.88	9.26
สภาพต่าง (mg/L CaCO_3) คาร์บอเนต	1		39.24	58.86	78.48	0.00
	2	117.72	58.86	39.24	39.24	0.00
ไบคาร์บอเนต	1		137.34	117.72	107.91	49.05
	2	431.64	196.20	196.20	176.58	58.86
ทั้งหมด	1		176.58	176.58	186.39	49.05
	2	549.36	255.06	235.44	215.82	58.86
สภาพกรด (mg/L CaCO_3)	1		0.00	0.00	0.00	3.03
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ: ความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 คือ 0.65 และ 0.75 ppm ตามลำดับ

3.5.2.2 การส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการ บริการวิเคราะห์

ได้ส่งตัวอย่างน้ำ SWI 12 ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการบริการวิเคราะห์ 2 แห่ง คือ (1) กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง และ (2) ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการตรวจน้ำเริ่มต้น (น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด) พบว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่ 3 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2537 (ตารางที่ 3.22 และรูปผนวกที่ 1 และ 2) สำหรับน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 1 ตามรายการส่งตรวจที่กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำการประปานครหลวง พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549^{*} ซึ่งมีความมาตรฐานสูงกว่าน้ำประปา มอก. 257-2521 (ตารางที่ 3.22 และ 3.23 รูปผนวกที่ 3 และ 4) โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความกระด้าง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมได้เป็นอย่างดี รวมทั้งค่าการนำไฟฟ้า คลอไรด์ สภาพต่าง ปริมาณมวลสารและค่าสารละลายมีค่าลดลงจนอยู่ในระดับมาตรฐานน้ำประปา และน้ำบริโภค ส่วนน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่นำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 2 พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นสารละลายมีค่าค่อนข้างสูงแต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนไม่ได้มาตรฐานน้ำบริโภคตาม มอก. 257-2549 ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานแบริ่งมันสำปะหลัง เพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาด้วยกรรมวิธีที่ 1 จึงมีความเหมาะสมกว่าวิธีที่ 2

ตารางที่ 3.22 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำเริ่มต้นและน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา 2 วิธี ที่วิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ การประปานครหลวง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการที่ตรวจวิเคราะห์*	หน่วย	ผลการวิเคราะห์*			ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม/ (เกณฑ์อนุโลม) มอก. 257-2549
		น้ำเริ่มต้น (น้ำดิบ)	น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	
อุณหภูมิ	°C	28.7	28.7	28.7	-
ความขุ่น	NTU	27.20	0.21	0.84	5
สี	Pt-Co	65	0	0	5
กลิ่น	-	เน่าเล็กน้อย	คาวเล็กน้อย	ไม่พบ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ปริมาณมวลสารทั้งหมด	mg/L	4,284	222	522	-
สารละลาย	mg/L	4,218	222	520	500/(600)
สารแขวนลอย	mg/L	66	-	-	-
ความเป็นกรด-ด่าง	-	8.06	8.19	9.26	6.5-8.5
ค่าการนำไฟฟ้า	µS/cm	6,590	370	813	-

* ผลการวิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง ยกเว้นค่า DO, BOD และ COD วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.22 (ต่อ) คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำเริ่มต้นและน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมให้ได้คุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา 2 วิธี ที่วิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ การประปานครหลวง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการที่ตรวจวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์*		ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม/ (เกณฑ์อนุโลม) มอก. 257-2549
		น้ำเริ่มต้น (น้ำดิบ)	น้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ วิธีที่ 1 วิธีที่ 2	
ความกระด้าง				
ทั้งหมด	mg/L	760	0 0	100/(300)
ชั่วคราว	mg/L	760	0 0	-
ถาวร	mg/L	0	0 0	-
สภาพต่าง				
คาร์บอเนต	mg/L	0	0 14	-
ทั้งหมด	mg/L	1,090	118 372	-
คลอไรด์	mg/L	1,400	60 44	250
ซัลเฟต	mg/L	2	0 0	200/(250)
ไนเตรท-ไนโตรเจน	mg/L	0.48	0.17 0.19	4/(10)
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	mg/L	0.283	0.026 0.033	-
แคลเซียม	mg/L	70.4	0.0 0.0	-
เหล็ก	mg/L	0.69	<0.05 <0.02	0.3
ฟลูออไรด์	mg/L	0.83	0.00 0.00	0.7/(1.0)
แมงกานีส	mg/L	0.04	0.00 0.00	0.05/(0.1)
แมกนีเซียม	mg/L	140.16	0.00 0.00	-
โซเดียม	mg/L	1,052	89 195	-
ทองแดง	mg/L	-	0.00 0.00	0.1
สังกะสี	mg/L	-	0.02 0.01	1
แคดเมียม	mg/L	-	0.00002 0.00009	0.005
โครเมียม	mg/L	-	0.0006 0.0013	0.05
ตะกั่ว	mg/L	-	0.0025 0.0041	0.05
แอมโมเนียมไนโตรเจน	mg/L	-	0.23 1.56	0.5
อะลูมิเนียมไนโตรเจน	mg/L	-	0.00 0.00	-
Dissolve oxygen (DO)	mg/L	0.75	10.5 10.5	≥4.0
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/L	12.1	0.4 0.6	2.0
Oxygen consume	mg/L	-	0.16 0.16	-
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	100	- -	-

* ผลการวิเคราะห์โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง ยกเว้นค่า DO, BOD และ COD วิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.23 เปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินเพื่อการประปาและน้ำประปา

คุณภาพทางกายภาพเคมี และจุลินทรีย์	หน่วย	ค่ามาตรฐานน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่ 3	ค่ามาตรฐานน้ำประปา / (เกณฑ์อนุโลม) มอก. 257-2521*	มาตรฐานน้ำประปาของการประปานครหลวง**
สี	Pt-Co	-	5/15	15***
รส	-	เป็นไปตามธรรมชาติ	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
กลิ่น	-	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความขุ่น	NTU	-	5/20	5
ความเป็นกรด-ด่าง	-	5.0-9.0	6.5-8.5/(9.2)	-
ปริมาณสารทั้งหมด	mg/L	-	500/(1,500)	-
ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลาย	mg/L	-	-	1,000
ครอรีนอิสระเหลือ	mg/L	-	-	<0.2
คลอไรด์	mg/L	-	250/(600)	250
ซัลเฟต	mg/L	-	200/(250)	250
ไนเตรท- ไนโตรเจน	mg/L	5.0	45/(45)	50
ไนไตรท์- ไนโตรเจน	mg/L	-	-	3
แคลเซียม	mg/L	-	75/200	-
อลูมิเนียม	mg/L	-	-	0.1
เหล็ก	mg/L	-	0.5/(0.1)	0.3
ฟลูออไรด์	mg/L	-	0.7/(1.0)	1.5
แมงกานีส	mg/L	1.0	0.3/(0.5)	0.4
แมกนีเซียม	mg/L	-	50/(150)	-
โซเดียม	mg/L	-	-	200
ทองแดง	mg/L	0.1	1.0/(1.5)	2
นิลเกิล	-	0.1	-	-
สังกะสี	mg/L	1.0	5.0/(15)	3.0
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	mg/L	-	-	0.05
แอมโมเนีย- ไนโตรเจน	mg/L	0.500	-	-
ฟีนอล	mg/L	0.005	-	-
ปรอท	mg/L	0.002	0.001	0.006
ตะกั่ว	mg/L	0.050	0.050	0.010
สารหนู	mg/L	0.002	0.050	0.010
โครเมียม	mg/L	0.050	0.050	0.050
ไซยาไนด์	mg/L	0.005	0.200	0.070
แคดเมียม	mg/L	0.050	0.010	0.003
ซีลีเนียม	mg/L	-	0.010	0.010
แบเรียม	mg/L	-	1.000	-
Dissolve oxygen (DO)	mg/L	2.000	-	-
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/L	4.000	-	-
Standard plate count	โคโลนี/mL	-	500	-
Coliforms	MPN/100 mL	-	น้อยกว่า 2.2	-
Total coliform bacteria	MPN/100 mL	20,000	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	ไม่มี	ไม่พบ/100 mL
Fecal coliform bacteria	-	4,000	-	-

* ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2521) เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2521)

** ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2006

*** มีหน่วย True colour unit

3.5.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยา

เมื่อนำน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้เทียบเท่าน้ำประปาทั้งด้วยวิธีที่ 1 และ 2 มาตรวจหาจุลินทรีย์ตามมาตรฐานคุณภาพของน้ำประปาและน้ำดื่ม ได้ผลดังนี้

3.5.3.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด

จากการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts) ในตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (Raw water) และน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในแต่ละขั้นตอน ด้วยอาหาร Plate count agar ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจน พบว่าทั้งวิธีที่ 1 และ 2 มีผลลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำได้บ้างและใกล้เคียงกัน กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Pre-treated water จากวิธีที่ 1 และ 2 จำนวน 2.25×10^4 และ 2.84×10^4 CFU/mL ตามลำดับ จากที่พบใน Raw water จำนวน 2.29×10^5 CFU/mL (ตารางที่ 3.24) จากนั้นเมื่อนำน้ำผ่าน Activated carbon และ Cation exchange resin มีผลบ้างเล็กน้อยในการกำจัดจุลินทรีย์ทั้งหมด กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Resin-treated water จากวิธีที่ 1 และ 2 จำนวน 1.45×10^3 และ 1.55×10^3 CFU/mL ตามลำดับ แต่เมื่อเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 คือ 0.65 และ 0.75 ppm ตามลำดับ สามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้หมดสิ้น (ตารางที่ 3.24)

ตารางที่ 3.24 จุลินทรีย์ที่พบในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดด้วยวิธีที่ 1 และ 2

ตัวอย่างน้ำ	วิธีที่	จุลินทรีย์ทั้งหมด* (CFU/mL)	Coliforms** (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> ** (MPN/100 mL)
Raw water	1	2.29×10^5	14	12
	2	2.29×10^5	14	12
Pre-treated water	1	2.25×10^4	13	4.5
	2	2.84×10^4	14	6.8
Activated carbon-treated water	1	1.31×10^3	9.3	4.0
	2	1.48×10^4	12	4.0
Resin-treated water	1	1.45×10^3	6.8	1.8
	2	1.55×10^3	9.2	1.8
Treated water	1	0	<1.8 (ไม่พบ)	<1.8 (ไม่พบ)
	2	0	<1.8 (ไม่พบ)	<1.8 (ไม่พบ)

* ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar ป่มให้เชื้อเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

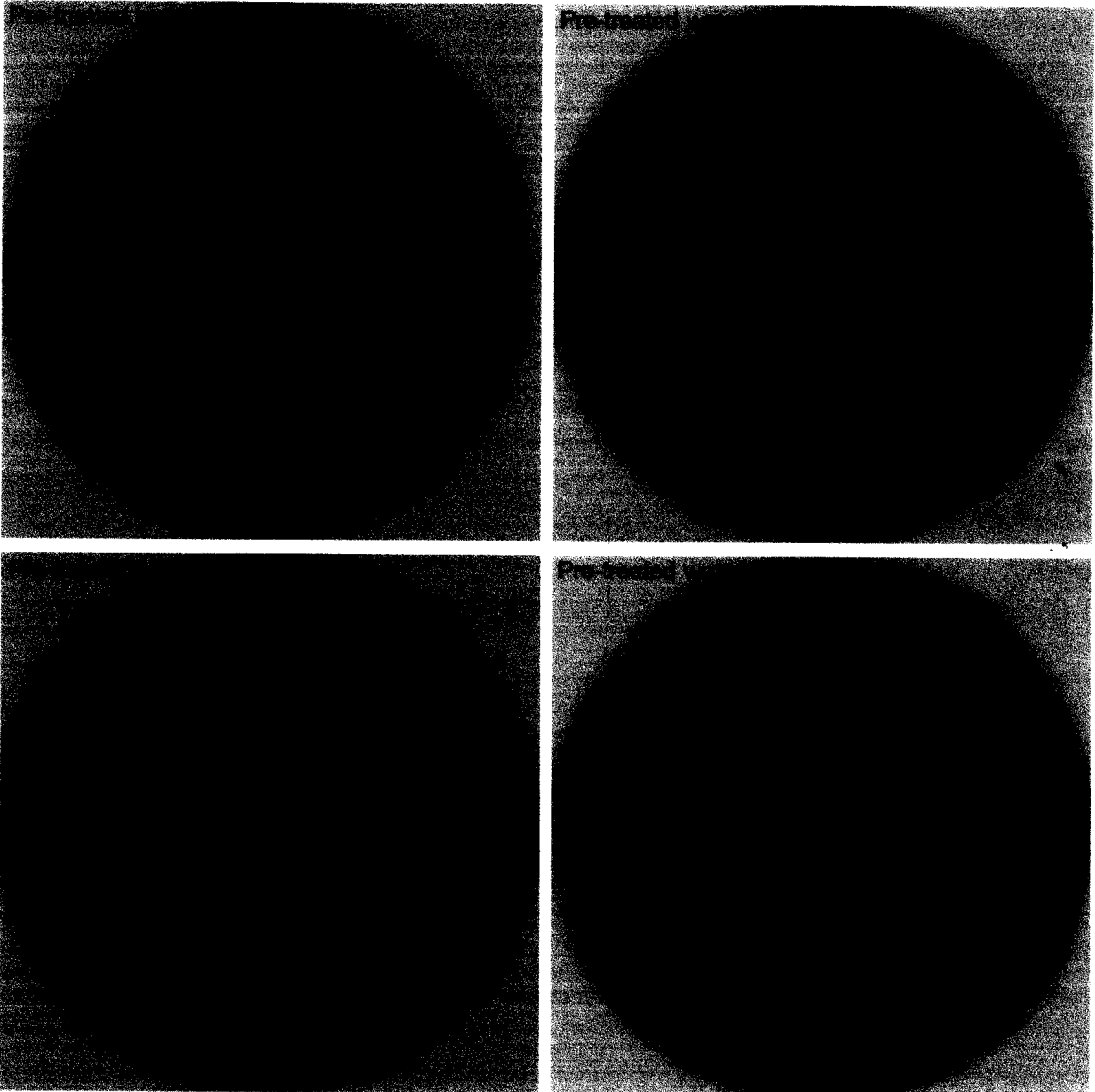
** MPN = Most probable number (Table 978.23; AOAC International, 2000)

3.5.3.2 Coliform bacteria และ *E. coli*

ตรวจหา Coliform bacteria และ *E. coli* ทั้งด้วยวิธี Most probable number (MPN) แบบที่เรียกที่แยกได้จากการตรวจหา Coliforms และ *E. coli* มีลักษณะการเจริญบนอาหาร L-EMB agar หลายลักษณะ ทั้ง Coli-type colony คือ Greenish metallic sheen colony ใน Reflected light และ Dark หรือ Black centered colony ใน Transmitted light และ Aerogenes-type colony ที่กลางโคโลนีที่บวม มีสีอ่อนหรือสีชมพู เป็นเมือก (รูปที่ 3.23) พร้อมทั้งตรวจนับจำนวนโดยใช้ 3M Petrifilm™ *E. coli* / Coliform Count Plate (3M, Minneapolis) *E. coli* ส่วนมากผลิตเอนไซม์ β -Glucuronidase ทำให้เกิดตะกอนสีน้ำเงินที่โคโลนีผ่านฟิล์มแผ่นบนดักฟองแก๊สที่ผลิตโดย Coliforms และ *E. coli* จากปฏิกิริยาการหมักน้ำตาลแล็กโทส โดยทั่วไป 95% ของ *E. coli* ผลิตฟองแก๊ส ซึ่งบ่งชี้ได้จากโคโลนีสีน้ำเงินหรือน้ำเงินอมแดงที่มีฟองแก๊สอยู่ด้วย (รูปที่ 3.24) ผลการตรวจนับ Coliform bacteria และ *E. coli* จากตัวอย่างน้ำ SWI 12 ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเป็นลำดับขั้นตอนได้ผลการลดจำนวนของแบคทีเรียเป้าหมายทำนองเดียวกันกับที่พบจากการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 คือ 0.65 และ 0.75 ppm ตามลำดับสามารถกำจัด Coliform bacteria และ *E. coli* ได้หมดสิ้น (ตารางที่ 3.24 และ 3.25)



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของ *Escherichia coli* ที่เจริญบนอาหาร EMB agar ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างน้ำเริ่มต้น



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียในกลุ่ม Coliforms และ *E. coli* (ลูกศร) ที่ตรวจหาโดย 3M Petrifilm™ *E. coli*/Coliform Count Plate (3M, Minneapolis)

3.5.3.3 *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus*

จากการตรวจหาจุลินทรีย์ก่อโรคคือ *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* ที่ใช้เป็นตัวอย่างน้ำประปาต้มได้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549 ที่กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549 (ภาคผนวก จ) ว่าต้องไม่พบแบคทีเรียเหล่านี้ในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการศึกษาค้นคว้านี้ได้ตรวจหา *Salmonella* spp. ด้วย Trypticase soy broth, Selenite cystine broth และ Cross-streak บนผิวหน้าอาหาร Xylose lysine desoxycholate (XLD) agar บ่มให้แบคทีเรียเจริญที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากทั้งตัวอย่างน้ำเริ่มต้นและที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี ที่ตรวจสอบ ไม่พบลักษณะโคโลนีสีชมพูที่อาจมีหรือไม่มีสีดำที่กลางโคโลนีที่เกิดขึ้น

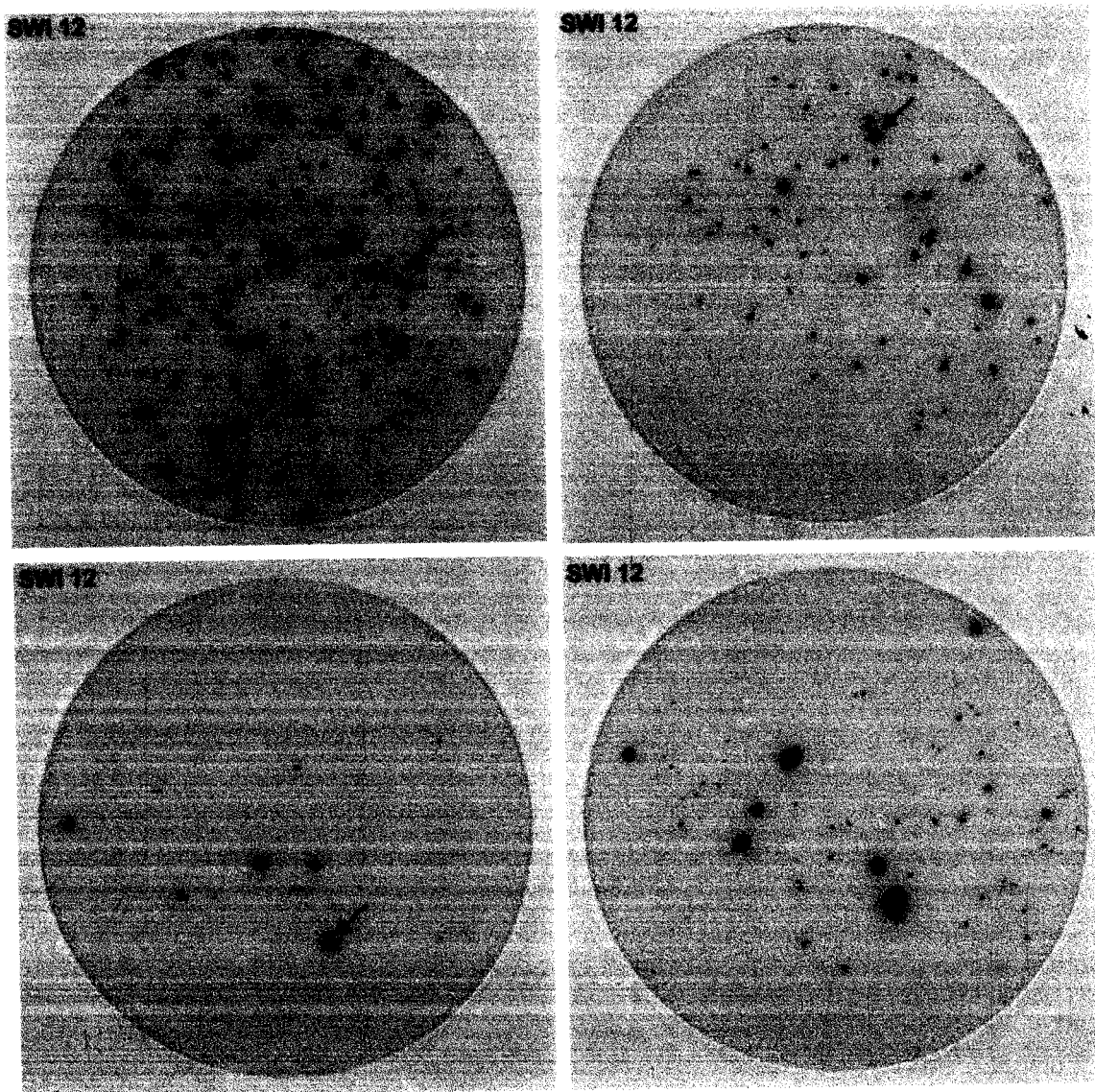
สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์ *Staphylococcus aureus* โดยใช้ 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate (3M, Minneapolis) เฉพาะตัวอย่างน้ำเริ่มต้น SWI 12 พบโคโลนีสีแดง-ม่วง (รูปที่ 3.25, 3.26 และ 3.27) ของ *Staphylococcus aureus* จำนวน 37 CFU/mL และพบโคโลนีสีน้ำเงิน-เขียวขึ้นปนอยู่กับโคโลนีสีแดง-ม่วงเมื่อตรวจสอบแล้วโคโลนีเหล่านั้นไม่ใช่ Coagulase-positive Staphylococci แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความต้องการคลอรีนของน้ำทั้งภายหลังการบำบัดเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้งด้วยวิธีที่ 1 และ 2 สามารถกำจัด Staphylococci ได้หมดสิ้น (ตารางที่ 3.25)

ตารางที่ 3.25 ผลการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของตัวอย่างน้ำเริ่มต้นและน้ำสุดท้ายที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้เทียบเท่าน้ำประปา

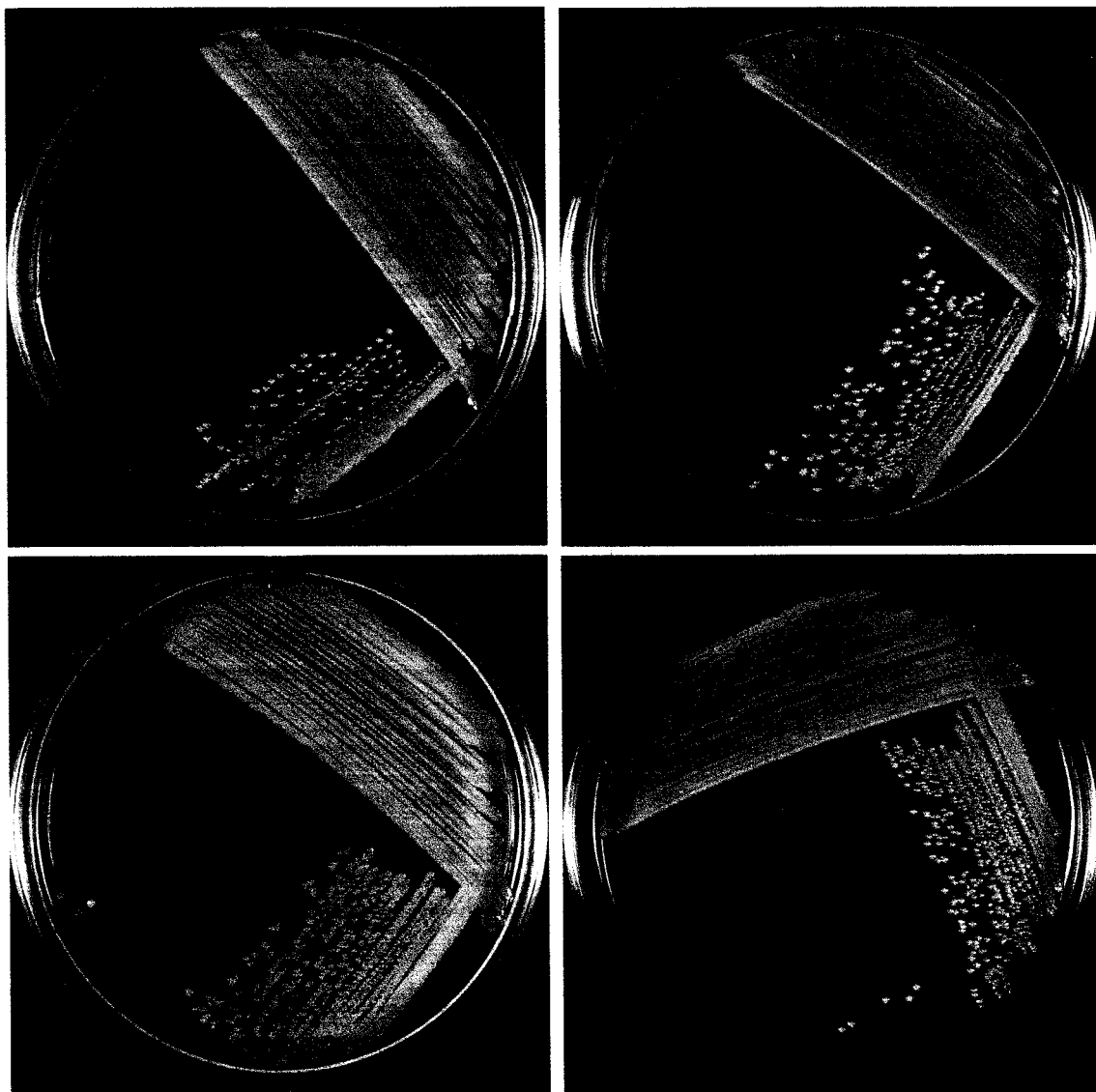
รายการตรวจวิเคราะห์	น้ำเริ่มต้น	Treated water ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ	
		วิธีที่ 1	วิธีที่ 2
จำนวน (CFU/mL)*			
จุลินทรีย์ทั้งหมด	2.29x10 ⁵	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform bacteria	2.20x10 ²	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>E. coli</i>	1.20x10 ²	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Staphylococcus aureus</i>	37	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Salmonella</i> spp. (พบ/ไม่พบ)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Coliform bacteria (MPN/100 mL)	14	<1.8 (ไม่พบ)	<1.8 (ไม่พบ)
<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	12	<1.8 (ไม่พบ)	<1.8 (ไม่พบ)

* ตรวจหาจุลินทรีย์ทั้งหมดโดยใช้อาหาร Plate count agar และปมเชื้อในสภาพที่มีออกซิเจน ตรวจหา Coliform bacteria, *E. coli* และ *Staphylococcus aureus* ด้วย 3M Petrifilm™ Count Plate (3M, Minneapolis, U.S.A.)

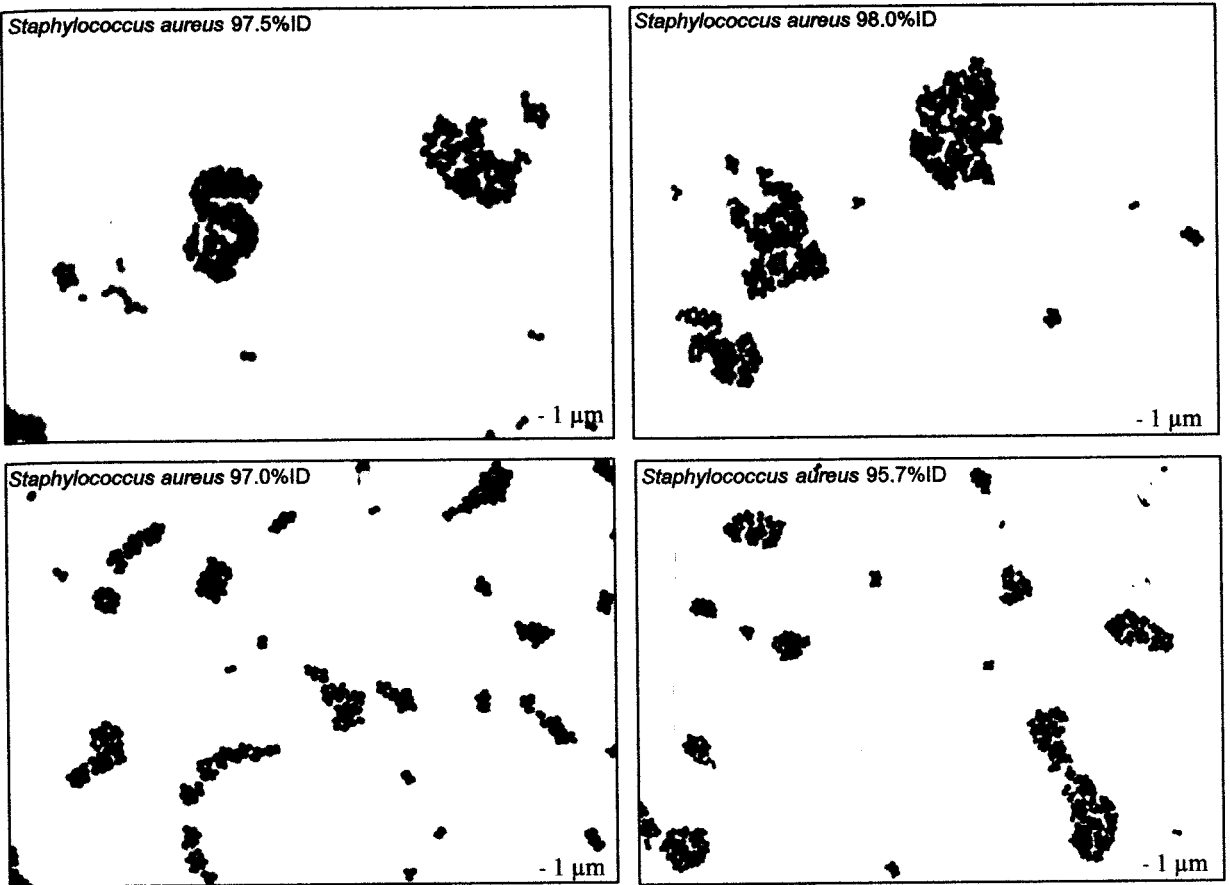
ดังนั้นน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเทียบเท่าน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2521) และ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2543 อีกทั้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549 ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 พ.ศ. 2549 (ภาคผนวก จ)



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างโคโลนีของ *Staphylococcus aureus* (ลูกศร) ที่ตรวจนับได้จากตัวอย่างน้ำเริ่มต้น (Raw water) โดยใช้ 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate (3M, Minneapolis)



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของ *Staphylococcus aureus* เจริญบนอาหาร Trypticase soy agar และคัดเลือกจากลักษณะโคโลนีของ Staphylococci ที่แยกจากน้ำเริ่มต้น ด้วยวิธี 3M Petrifilm™ Staph Express Count Plate



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างรูปร่างและการเรียงตัวของเซลล์ของ Staphylococci ที่แยกได้จากน้ำเริ่มต้น (ย้อมสีเซลล์แบบที่เรียกแบบ Gram stain และถ่ายภาพจาก Light microscope กำลังขยาย 1,000 เท่า)

3.5.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเตรียมน้ำ

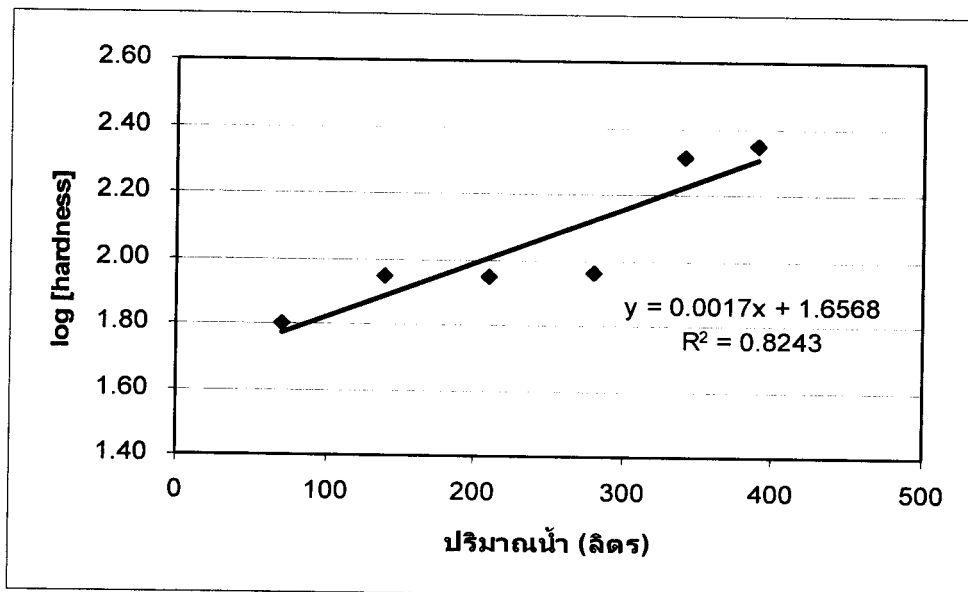
ทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำในขั้น Activated carbon, Cation exchange resin และระบบ Reverse osmosis (RO) โดยวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการ โดยคุณภาพด้านค่าความเข้มของสีใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสาร Activated carbon ส่วนคุณภาพด้านค่าความกระด้างใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของ Cation exchange resin และคุณภาพด้านคลอไรด์ไอออนใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเมมเบรน Reverse osmosis (RO) โดยใช้ข้อมูลจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำจำนวน 6 ตัวอย่าง (SWI 5, SWI 6, SWI 7, SWI 8, SWI 10 และ SWI 11) ปริมาณน้ำที่ผ่านเข้าระบบกรองรวม 390 ลิตร

จากการทดลองวัดค่าความเข้มของสี (SU) ที่ความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตร (มันริกรีส์ ดันตุลเวศม์, 2545) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ Activated carbon ค่าความเข้มของสีของน้ำก่อนผ่านถ่านมีค่า 6.71 SU เมื่อนำน้ำ 340 ลิตร ผ่านถ่านยังคงให้ค่าความเข้มของสีเป็นศูนย์หรือไม่มีสี (ตารางที่ 3.26) แต่ที่ปริมาณน้ำ 390 ลิตร ภายหลังจากผ่าน Activated carbon มีค่าความเข้มของสี 0.03 SU แสดงถึงประสิทธิภาพที่ลดลงของ Activated carbon ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างน้ำผ่านถ่าน 390 ลิตร ควรทำการล้างถ่าน Activated carbon ด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำที่สะอาด

เมื่อนำตัวอย่างน้ำที่มีค่าความกระด้างประมาณ 671.39 mg/L CaCO₃ จัดได้ว่ามีความกระด้างมากตามมาตรฐาน มอก.257-2549 ต้องมีค่าความกระด้างไม่เกิน 300 mg/L CaCO₃ ผ่าน Cation exchange resin แล้วเขียนกราฟระหว่าง log ของค่าความกระด้างกับปริมาณน้ำที่ผ่าน Cation exchange resin ในระบบกรองน้ำ ได้สมการ $y = 0.0017x + 1.6568$; $R^2 = 0.8243$ (รูปที่ 3.28) ดังนั้นประสิทธิภาพของ Cation exchange resin สามารถนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาได้ ผ่านได้จำนวน 473.86 ลิตร แล้วต้องล้าง Cation exchange resin โดยใช้น้ำเกลือความเข้มข้น 12%

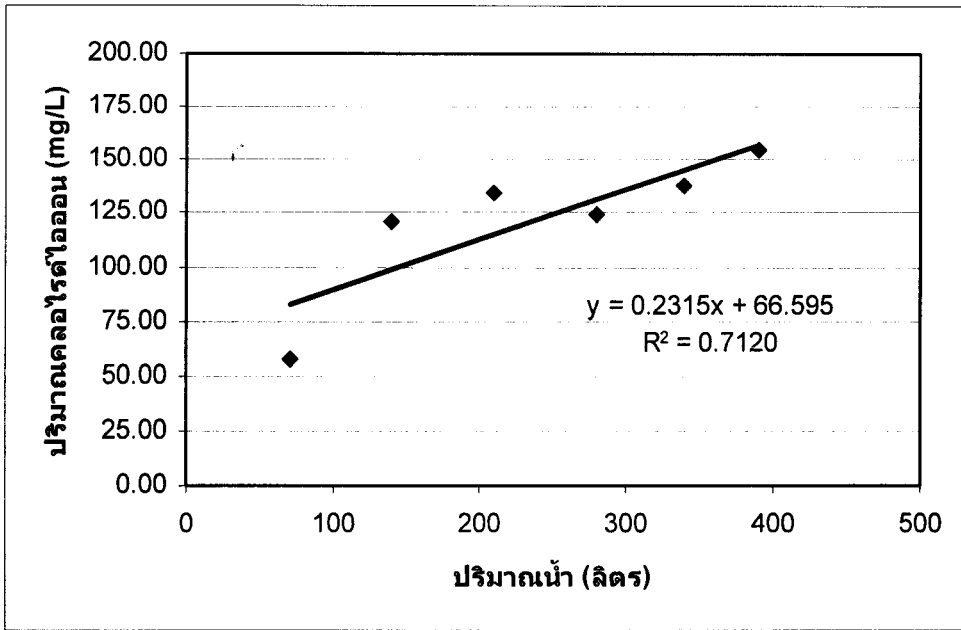
ตารางที่ 3.26 ความเข้มของสีของน้ำก่อนและหลังผ่าน Activated carbon ความกระด้างของน้ำก่อนและหลังผ่าน Cation exchange resin และปริมาณคลอไรด์ไอออนก่อนและหลังผ่านระบบ Reverse osmosis (RO)

ปริมาณน้ำผ่านระบบกรองน้ำ (ลิตร)	ค่าความเข้มของสี (SU)		ค่าความกระด้าง (mg/L CaCO ₃)			ปริมาณคลอไรด์ไอออน (mg/L)	
	ก่อนผ่านถ่าน	หลังผ่านถ่าน	ก่อนผ่าน Resin	หลังผ่าน Resin	Log [Hardness]	ก่อนผ่านระบบ RO	หลังผ่านระบบ RO
70	9.90	0.00	587.93	62.99	1.80	1,396.82	58.05
140	7.25	0.00	649.61	89.76	1.95	1,457.25	121.25
210	7.95	0.00	658.79	89.76	1.95	1,326.27	134.72
280	7.50	0.00	649.61	90.81	1.96	1,326.27	124.54
340	4.99	0.00	662.90	205.81	2.31	1,446.15	137.46
390	2.69	0.03	819.47	224.75	2.35	1,620.84	154.64
ค่าเฉลี่ย	6.71	-	671.39	-	-	1,428.93	-



รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกระด้างกับปริมาณน้ำที่ผ่าน Cation exchange resin เพื่อการหาประสิทธิภาพของ Resin

ตัวอย่างน้ำเริ่มต้นก่อนผ่านระบบ Reverse osmosis มีปริมาณคลอไรด์ไอออนประมาณ 1,428.93 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ตามมาตรฐานต้องมีปริมาณคลอไรด์ไอออนไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้ามากกว่าจะทำให้ น้ำมีรสเค็ม เมื่อเขียนกราฟระหว่างปริมาณคลอไรด์ไอออนกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) ในระบบกรองน้ำ ได้สมการ $y = 0.2315x + 66.595$; $R^2 = 0.7120$ (รูปที่ 3.29) ดังนั้นประสิทธิภาพระบบ Reverse osmosis ที่นำมาทดลองสามารถรองรับตัวอย่างน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นได้จำนวน 5,092.57 ลิตร จากนั้นต้องล้างระบบ



รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอไรด์ไอออนกับปริมาณน้ำที่ผ่านระบบ Reverse osmosis เพื่อการหาประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อให้ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ภายหลังจากบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา เพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ ในโรงงาน ทั้งนี้เนื่องมาจากความต้องการของโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังที่จำเป็นต้องใช้น้ำคุณภาพดี อย่างน้อยที่สุดเทียบเท่าน้ำประปาในกระบวนการผลิตแบริ่ง ในปริมาณมากและมีน้ำเสีย (น้ำทิ้ง) ในปริมาณ มาก บางโรงงานได้พยายามนำน้ำภายหลังจากบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งระบบทำน้ำประปา แต่ ก็ยังไม่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพระดับน้ำประปาได้เนื่องจากปัญหาสีและความขุ่นของน้ำดิบ (น้ำทิ้งจาก โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังภายหลังจากบำบัด) การดำเนินงานของโครงการวิจัยจึงได้เริ่มเก็บตัวอย่าง น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัด นครราชสีมา จากบ่อกักน้ำทิ้งของโรงงานฯ จำนวน 11 ครั้ง ในรอบ 1 ปี รวมทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง (SWI 1 - SWI 12) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เพื่อให้ได้ข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการศึกษา และพัฒนากรรมวิธีเตรียมน้ำในขั้นตอนการกำจัดสีและความขุ่น และการเตรียมน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดให้ มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ของตัวอย่างน้ำ ทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง พบว่าทุกตัวอย่างมีสีเขียวและมีความขุ่นของ ตะกอนแขวนลอยแตกต่างกันในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ตัวอย่างน้ำที่เก็บในฤดูแล้งมีสีเขียวกว่าตัวอย่าง น้ำที่เก็บในฤดูฝน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.0-30.0 องศาเซลเซียส แปรผันตามสภาพอากาศในช่วงเก็บ ตัวอย่างน้ำ ความขุ่นที่เกิดจากสิ่งแขวนลอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอยู่ในช่วง 44.29- 220.95 NTU ความขุ่นของน้ำมีความสำคัญในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีผลต่อความนำใช้ อายุของ ระบบกรอง และการฆ่าจุลินทรีย์ปนเปื้อน ค่าความเข้มของสีอยู่ในช่วง 1.20-10.30 SU ปริมาณของแข็ง ทั้งหมดในช่วง 0.34-0.46% (340-460 มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าความกระด้างของน้ำทิ้ง 549.50-819.47 mg/L CaCO₃ ซึ่งจัดว่าเป็นน้ำที่มีความกระด้างมาก ปริมาณแคลเซียมไอออนอยู่ในช่วง 116.05-272.28 mg/L CaCO₃ และคลอไรด์ไอออนมีค่า 568.83-1,828.03 มิลลิกรัม/ลิตร จัดได้ว่าเป็นน้ำที่มีคลอไรด์ไอออน ปริมาณสูง ในขณะที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 4,513.50-7,226.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ค่าการนำไฟฟ้าแสดงถึง ความเข้มข้นของไอออนที่มีอยู่ในสารละลายแปรผันตามค่าการนำไฟฟ้า น้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 8.06-8.77 ยกเว้นตัวอย่างน้ำ SWI 9 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.35 เนื่องจากมีฝนตกหนัก และน้ำท่วมบริเวณบ่อกักน้ำของโรงงานและเกิดการนำเสียจนตรวจไม่พบสภาพต่างทั้งหมด ตัวอย่างน้ำ ที่เหลือมีสภาพต่างสูงในช่วง 959.18-1,483.76 mg/L CaCO₃ น้ำที่มีค่าสภาพต่างสูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ ลิตร ไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตน้ำประปาตามมาตรฐานน้ำดิบของการประปานครหลวง น้ำที่เหมาะสม สำหรับผลิตน้ำประปาตามมาตรฐานน้ำดิบควรมีค่าสภาพต่างระหว่าง 30-500 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังได้เก็บ น้ำบาดาลของโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเดียวกันนั้นมาวิเคราะห์คุณภาพ ซึ่งพบความกระด้างสูง เช่นกัน คือในช่วง 436.48-582.73 mg/L CaCO₃

สำหรับคุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้วิเคราะห์หาจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดสีในน้ำและจุลินทรีย์ปนเปื้อนที่ พบทั่วไป คือ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable counts หรือ Aerobic plate counts) ยีสต์และรา (Yeasts

และ Molds) และจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวชี้บอก (Indicator) คุณภาพของน้ำ กลุ่ม Coliform bacteria (Coliforms) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ก่อนนำน้ำนั้นไปปรับปรุงคุณภาพ พบว่าน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เมื่อกักไว้ในบ่อพักเพื่อรอน้ำกลับมาใช้ใหม่นั้นมีสีเขียวของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton ทั้ง Cyanobacteria โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสกุล *Oscillatoria* และ *Spirulina* และ Eucaryotic algae หลากหลายชนิดในทุกตัวอย่างน้ำในปริมาณ $1.50 \times 10^4 - 4.80 \times 10^5$ cells/mL กรณีจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจพบในแต่ละตัวอย่างน้ำนั้นใกล้เคียงกันในช่วง $2.07 \times 10^5 - 9.85 \times 10^5$ CFU/mL ตรวจพบเฉพาะยีสต์จากการตรวจนับยีสต์และราในปริมาณแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างน้ำตั้งแต่ $<30(2)$ ถึง 1.57×10^3 CFU/mL

จากการตรวจหา Coliform bacteria ในตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ด้วยวิธี Most probable number (MPN) พบว่าตัวอย่างน้ำ 10 ตัวอย่าง (SWI 4 - SWI 10) ที่เก็บตัวอย่างในช่วงช่วงฤดูฝนมีค่า MPN สูง ≥ 1600 /น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ที่เหลืออีก 2 ตัวอย่างมีค่า MPN ของ Coliforms เท่ากับ 14/น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร และผลการตรวจหา *E. coli* ด้วยวิธี MPN พบอยู่ในช่วง 6.8-350/น้ำ 100 มิลลิลิตร

กล่าวโดยสรุปได้ว่าตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ มีทั้งตัวอย่างที่ได้และไม่ได้มาตรฐานคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบที่ใช้เตรียมน้ำประปา และทุกตัวอย่างไม่ได้มาตรฐานคุณภาพทางจุลชีววิทยา จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ

จากนั้นได้ศึกษาระยะเวลาการตกตะกอนตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยนำตัวอย่างน้ำไปเก็บไว้ในที่มืดเพื่อยับยั้งการสังเคราะห์แสงของ Phytoplankton พบว่าต้องใช้เวลา 3-5 วัน จึงจะสามารถตกตะกอนสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอยในน้ำได้โดยมีค่าความขุ่นลดลง 50% โดยเฉลี่ย (ความขุ่นเริ่มต้น 44.29-220.95 NTU) และทิ้งให้ตกตะกอนนาน 14 วัน จึงสามารถลดความขุ่นได้ 75-80% ทั้งนี้ขึ้นกับความขุ่นเริ่มต้นของน้ำที่เนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและสิ่งแขวนลอย

ผลที่ได้จากการศึกษา นำมาพัฒนาวิธีการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำ และวิธีการกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ ซึ่งพบวิธีการที่ดีที่สุดคือการใช้สารช่วยตกตะกอนทั้งชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้สามารถกำจัดทั้งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เป็นสาเหตุให้เกิดสีและความขุ่นของน้ำและกำจัดตะกอนลอย/สิ่งแขวนลอยไปพร้อมกัน ในขั้นต้นได้ศึกษาวิธีการกำจัดตะกอนลอยด้วยวิธี Jar test เพื่อหาปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่คัดเลือกและค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารช่วยตกตะกอนที่เลือกใช้มี 3 ชนิด คือ สารชนิดที่ 1 และ สารชนิดที่ 2 ที่มีจำหน่ายเป็นการค้า และสารชนิดที่ 3 เป็นสารตกตะกอนที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ได้ผลโดยสรุปคือ สารตกตะกอนชนิดที่ 1 ที่ใช้ควรมีความเข้มข้น 2% (น้ำหนักโดยปริมาตร) ปริมาณ 0.857 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11 สารตกตะกอนชนิดที่ 2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 1% (น้ำหนักโดยปริมาตร) ปริมาณ 0.188 กรัม/น้ำ 1 ลิตร เมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 11 และใช้สารช่วยตกตะกอนจากโรงงานผลิตแป้งมันปะหลังความเข้มข้น 2% (ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาณ 0.875 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5 ในการศึกษาขั้นต่อไปได้เลือกใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2

จากนั้นได้พัฒนาวิธีการเตรียมน้ำภายหลังจากกำจัดตะกอนให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา โดยใช้กระบวนการบำบัดน้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อกำจัดความขุ่นและสีในตัวอย่างน้ำเริ่มต้น

หรือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง (Raw water) ด้วยสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 ทำให้ได้น้ำ Pre-treated water แล้วจึงกำจัดสีและช่วยกำจัดกลิ่นในขณะเดียวกันโดยการเติมถ่าน (1.0% Activated carbon, Carbokarn, Thailand) ใช้ตัวอย่าง Raw water 3 ตัวอย่างเพื่อทดสอบ Raw water มีลักษณะขุ่น มีตะกอนสีเขียวเข้ม (ความเข้มของสี 8.10 SU) และมีกลิ่นคาว ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างของน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 8.56 สภาพต่างทั้งหมด 1,321.48 mg/L CaCO₃ สภาพต่างคาร์บอนเนต 258.95 mg/L CaCO₃ สภาพต่างไบคาร์บอนเนต 1,073.51 mg/L CaCO₃ ความกระด้าง 711.55 mg/L CaCO₃ และปริมาณคลอไรด์ 1,515.56 mg/L จัดได้ว่ามีค่าความเข้มของสี ความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ปริมาณแคลเซียมไอออน คลอไรด์ไอออน สภาพต่าง (คาร์บอนเนต ไบคาร์บอนเนต และสภาพต่างทั้งหมด) ค่อนข้างสูง ซึ่งคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่ 3 ที่กำหนดตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)

ตัวอย่างน้ำ Pre-treated water ที่ได้มีลักษณะสีเขียวอ่อน มีตะกอนขนาดเล็กมาก มีกลิ่นคาวเล็กน้อย สภาพต่างลดลง และลดความกระด้างและคลอไรด์ไอออนได้เล็กน้อย ส่วนตัวอย่างน้ำที่กำจัดสีและกลิ่นด้วย Activated carbon (1.0%) มีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำกลั่นที่ผ่านระบบ Reverse osmosis (RO) และน้ำดื่มที่มีจำหน่ายเป็นการค้า คือ สีไม่มีสี ไม่มีตะกอน และไม่มีกลิ่น แต่ยังคงมีความกระด้าง แคลเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่มีค่าสูง ประกอบกับเมื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทางจุลชีววิทยาพบจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงจากน้ำเริ่มต้นจาก 6.15×10^5 CFU/mL เหลือ 2.50×10^4 CFU/mL และยังคงพบทั้ง Total coliform bacteria และ Faecal coliforms (*E. coli*) จึงต้องมีการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำขึ้นตอนต่อไปโดยได้พัฒนาระบบการปรับปรุงน้ำเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ด้วยกรรมวิธี 5 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การทำให้น้ำเริ่มต้น (Raw water) สีด้วยการใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 (2) การกำจัดสีและกลิ่นโดยใช้ถ่าน 0.5-1% Activated carbon ได้ Pre-treated water (3) การกำจัดประจุบวกโดยใช้ Cation exchange resin (DOWEX HCR-S/S, Italy) (4) การกำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และ (5) การกำจัดประจุลบโดยใช้ระบบ Reverse osmosis (RO) (Kemflo, America) ได้ Treated water

ลักษณะของตัวอย่างน้ำ Raw water ทั้ง 6 ตัวอย่าง มีค่าความขุ่นช่วง 93.33-220.95 NTU ซึ่งเป็นค่าสูงกว่าน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 และมาตรฐานการประปานครหลวง (กำหนดไม่เกิน 5 NTU) เนื่องจากมีตะกอนสีเขียวที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีค่าความเข้มของสีสูงอยู่ในช่วง 2.69-9.90 SU ความกระด้างอยู่ในช่วง 587.93-819.47 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 257-2521 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงมากคืออยู่ในช่วง 4,860-6,800 μ S/cm มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงคืออยู่ในช่วง 8.27-8.77 ซึ่งค่าสูงสุดสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 257-2521 ที่กำหนดเท่ากับ 8.50

เมื่อผ่านขั้น Pre-treated step พบว่าน้ำทั้ง 6 ตัวอย่างมีความขุ่นลดลงอยู่ในช่วง 4.29-8.57 NTU ตัวอย่างน้ำที่ผ่านขั้น Pre-treated step นี้บางตัวอย่างยังมีค่าความขุ่นสูงกว่ามาตรฐาน และมีลักษณะสีเขียวอ่อน ความเข้มของสีของทุกตัวอย่างลดลง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในช่วง 0.37-0.50% ซึ่งจัดว่าสูงเมื่อเทียบกับน้ำเริ่มต้น และแคลเซียมไอออนอยู่ในช่วง 217.85-500.0 mg/L CaCO₃

เมื่อน้ำผ่าน Activated carbon สามารถกำจัดความขุ่นและสีของทุกตัวอย่างให้หมดไป แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจาก Activated carbon มีฤทธิ์เป็นด่าง ในขั้นที่ผ่าน Resin ยังคงไม่สามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่มีผลให้ค่าความกระด้างลดลงเล็กน้อย และยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่เมื่อผ่านขั้น Resin ความกระด้างของน้ำทุกตัวอย่างมีค่าลดลงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่

สามารถยอมรับได้ ดังนั้นการใช้ Cation exchange resin จึงช่วยในการกำจัดความกระด้างได้ เมื่อผ่านชั้นที่เตรียมได้ Treated water พบว่าค่าความกระด้างของน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ลดลงจากการผ่านชั้น Resin เล็กน้อย น้ำที่ผ่านชั้น Activated carbon ปริมาณแคลเซียมไอออนลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อน้ำผ่านชั้น Resin ปริมาณแคลเซียมไอออนลดลงปริมาณมาก

ใน Treated water มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเหลืออยู่น้อยมาก คืออยู่ในช่วง 0.1-0.3% ปริมาณแคลเซียมไอออนลดลงเล็กน้อย ปริมาณคลอไรด์ไอออนลดลงต่ำกว่ามาตรฐาน (ซึ่งเท่ากับ 250 mg/L) ความเป็นกรด-ด่างลดลง และมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากการกำจัดไอออน

สภาพต่างทั้งหมดของตัวอย่าง Raw water ทั้ง 6 ตัวอย่าง อยู่ในช่วง 959.18-1,246.42 mg/L CaCO_3 ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูง เมื่อนำน้ำผ่านชั้นตอนจนได้ Treated water พบว่าสภาพต่างในน้ำสุดท้ายมีค่าไม่เกินมาตรฐาน เกณฑ์ในการพิจารณาค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าความเป็นต่างในน้ำประปาพิจารณาจากปริมาณคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ และไบคาร์บอเนต ถ้าค่าความเป็นต่างทั้งหมดของ Raw water สูงกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่เหมาะที่จะมาทำเป็นน้ำประปา น้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตน้ำประปาควรมีค่าความเป็นต่างทั้งหมดระหว่าง 30-500 มิลลิกรัม/ลิตร

สภาพกรดของตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ที่ผ่านชั้น Pre-treated, Activated carbon และ Cation exchange resin จากการตรวจวิเคราะห์ไม่มีค่าสภาพกรด แต่เมื่อน้ำผ่านต่อในชั้นที่เตรียม Treated water พบว่าตัวอย่าง SWI 5, SWI 6 และ SWI 7 มีค่าสภาพกรดเล็กน้อย คือเท่ากับ 0.76, 0.84 และ 0.80 mg/L CaCO_3 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่าง SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 ไม่มีค่าสภาพกรด สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ตัวอย่างน้ำชั้นที่ได้ Treated water ของตัวอย่าง SWI 8, SWI 10 และ SWI 11 มีค่าความเป็นต่างเล็กน้อย

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเริ่มต้น (Raw water) ในช่วง 1.39×10^6 - 9.40×10^6 CFU/mL เมื่อผ่านชั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสีในขั้นต้นซึ่งได้ Pre-treated water นั้นลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดได้บ้าง กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดคงเหลือใน Pre-treated water ในช่วง 1.71×10^4 - 6.25×10^4 CFU/mL และยังคงพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Resin-treated water (1.79×10^3 - 9.00×10^3 CFU/mL) แต่เมื่อเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความต้องการคลอรีนคือ 0.58-0.73 ppm สามารถกำจัดจุลินทรีย์จุลินทรีย์ทั้งหมด Coliform bacteria และ *E. coli* ได้ น้ำที่ทั้งที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเทียบเท่า น้ำประปาตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม มาตรฐาน มอก. 257-2521 และ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2543

เมื่อทดลองเตรียมน้ำทั้งจากโรงงานผลิตแอมโมเนียหลังจากด้วยกรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น ใช้น้ำเริ่มต้น ปริมาตร 250 ลิตรต่อชั่วโมง โดยปรับขั้นตอนการกำจัดความขุ่นและสีที่เนื่องจาก Phytoplankton เป็น 2 กรรมวิธี คือ วิธีที่ 1 นำน้ำทั้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแอมโมเนียหลังจาก มาผ่านการกำจัดสิ่งแขวนลอยและตะกอน โดยเลือกสารช่วยตกตะกอนชนิดที่ 1 และ 2 จากนั้นนำไปผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออนด้วยระบบ RO และวิธีที่ 2 นำน้ำทั้งภายหลังการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแอมโมเนียหลังจาก มาปรับให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11 ด้วย 20% Sodium hydroxide เติมสารตกตะกอนชนิดที่ 1 ในปริมาณที่ได้ศึกษาแล้วคือที่ความเข้มข้น 1% ปริมาณ 0.875 กรัม/น้ำ 1 ลิตร กวนเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมสารตกตะกอนชนิดที่ 2 ในปริมาณที่ได้ศึกษาแล้วเช่นกันคือที่ความเข้มข้น 2% ปริมาณ 31.25 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้ได้ 7.5 ด้วย 10% Sulphuric acid

กวนผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 45 นาที ให้เกิดการแยกชั้นของตะกอนและน้ำส่วนใส จากนั้นนำน้ำส่วนใสมาผ่านระบบกรอง กำจัดจุลินทรีย์ด้วยคลอรีน และกำจัดไอออนด้วยระบบ RO

จาก Raw water (SWI 12) ที่มีความขุ่น 44.29 NTU มีสีเขียว ความเข้มของสี 1.20 SU ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.52 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.46% สภาพด่างทั้งหมด 549.36 mg/L CaCO₃ สภาพด่างคาร์บอเนต 117.72 mg/L CaCO₃ สภาพด่างไบคาร์บอเนต 431.64 mg/L CaCO₃ ความกระด้าง 723.51 mg/L CaCO₃ และปริมาณคลอไรด์ 1,828.03 mg/L เมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพแล้ว วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ณ ห้องปฏิบัติการของโครงการวิจัย พบว่าจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated step ทำให้ได้น้ำที่มีค่าความขุ่น 3.33 NTU ซึ่งน้อยกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 2 ที่ได้น้ำที่มีค่าความขุ่น 7.14 NTU และเมื่อผ่านชั้น Activated carbon พบว่าน้ำจากทั้ง 2 วิธี ไม่มีความขุ่น

กรณีค่าความเข้มของสีในน้ำผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated water พบว่ามีค่าความเข้มของสี 0.32 SU ซึ่งน้อยกว่าการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 ซึ่ง Pre-treated water มีค่าความเข้มของสี 0.33 SU และเมื่อผ่านชั้น Activated carbon พบว่าการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 วิธี ทำให้ได้น้ำที่ไม่มีสี สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำเมื่อผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 1 นั้น Pre-treated water มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.48% ซึ่งน้อยกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 2 ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.57% เมื่อผ่านชั้น Activated carbon, Resin และ Treated water ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.01% ส่วนน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.05% ความกระด้างในน้ำที่ผ่านการเตรียมวิธีที่ 1 ชั้น Pre-treated step มีค่าความกระด้าง 722.25 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมวิธีที่ 2 ที่มีค่าความกระด้าง 239.91 mg/L CaCO₃ เมื่อผ่านชั้น Activated carbon ค่าความกระด้างของน้ำที่ผ่านการเตรียมทั้ง 2 วิธี มีค่าลดลงจากชั้น Pre-treated เล็กน้อย เมื่อผ่านชั้น Resin ค่าความกระด้างของน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่าลดลงมาก คือมีค่า 227.28 mg/L CaCO₃ สำหรับน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีค่าความกระด้าง 208.34 mg/L CaCO₃ ความกระด้างของน้ำที่เตรียมได้สุดท้าย Treated water จากการปรับปรุงด้วยวิธีที่ 1 มีค่า 204.55 mg/L CaCO₃ ซึ่งสูงกว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 2 (196.98 mg/L CaCO₃) เล็กน้อย สำหรับค่าแคลเซียมไอออนของน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 ในชั้น Pre-treated เท่ากับ 341.18 mg/L CaCO₃ ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมน้ำด้วยวิธีที่ 2 ที่มีค่า 31.37 mg/L CaCO₃ จากนั้นน้ำที่ผ่านถ่าน Activated carbon ทั้ง 2 วิธีมีค่าแคลเซียมไอออนลดลงจนในขั้นสุดท้าย Treated water มีค่าแคลเซียมไอออน 4.58 และ 3.92 mg/L CaCO₃ จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วย 2 วิธีตามลำดับ ในขณะที่ค่าคลอไรด์ไอออนของน้ำเริ่มต้นมีค่าสูงถึง 1,828.03 mg/L เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพในชั้นต่างๆ จนได้ Treated water ที่มีค่าคลอไรด์ไอออน 71.85 และ 215.56 มิลลิกรัม/ลิตร จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าของ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 มีค่าสูงกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่า 7.65 ซึ่งต่ำกว่าน้ำที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 2 (ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.26) กรณีสภาพด่างคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และสภาพด่างทั้งหมดของ Treated water ที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 มีค่าน้อยกว่าน้ำที่ได้จากวิธีที่ 2 และน้ำจากการเตรียมด้วยวิธีที่ 1 เท่านั้นที่มีสภาพความเป็นกรด (มีค่าเท่ากับ 3.03 mg/L CaCO₃)

จากนั้นได้ทดลองเตรียมน้ำโดยใช้กรรมวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นได้ส่งตัวอย่างน้ำ SWI 12 ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ณ

ห้องปฏิบัติการบริการวิเคราะห์ 2 แห่ง คือ กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปา นครหลวง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการทดสอบคุณภาพของน้ำเริ่มต้นพบว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่ 3 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2537 สำหรับน้ำ ทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 1 ตามรายการส่งตรวจที่กองวิเคราะห์ คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำการประปานครหลวง พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549 ซึ่งมีมาตรฐานสูงกว่าน้ำประปา มอก. 257-2521 โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความกระด้าง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมได้เป็นอย่างดี รวมทั้งค่าการนำไฟฟ้า คลอไรด์ สภาพต่าง ปริมาณมวล สาร และค่าสารละลายมีค่าลดลงจนอยู่ในระดับมาตรฐานน้ำประปาและน้ำบริโภค ส่วนน้ำทิ้งภายหลังการ บำบัดที่นำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีที่ 2 พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้น สารละลายมีค่าค่อนข้างสูงแต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแอมโมเนียไนโตรเจนไม่ได้ มาตรฐานน้ำบริโภคตาม มอก. 257-2549 ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจาก โรงงานแปงมันสำปะหลัง เพื่อให้มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปาด้วยกรรมวิธีที่ 1 จึงมีความเหมาะสมกว่าวิธี ที่ 2

เมื่อนำน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้เทียบเท่าน้ำประปาทั้งด้วย วิธีที่ 1 และ 2 มาตรวจหาจุลินทรีย์ตามมาตรฐานคุณภาพของน้ำประปาและน้ำดื่ม พบว่าทั้งวิธีที่ 1 และ 2 มีผลลดจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำได้บ้างและใกล้เคียงกัน กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Pre-treated water จากวิธีที่ 1 และ 2 จำนวน 2.25×10^4 และ 2.84×10^4 CFU/mL ตามลำดับ จากที่พบใน Raw water จำนวน 2.29×10^5 CFU/mL จากนั้นเมื่อนำน้ำผ่าน Activated carbon และ Cation exchange resin มีผล บ้างเล็กน้อยในการกำจัดจุลินทรีย์ทั้งหมด กล่าวคือพบจุลินทรีย์ทั้งหมดใน Resin-treated water จากวิธีที่ 1 และ 2 จำนวน 1.45×10^3 และ 1.55×10^3 CFU/mL ตามลำดับ พบทั้ง Coliform bacteria, *E. coli* และ *Staphylococcus aureus* ในน้ำเริ่มต้น แต่ไม่พบ *Salmonella* spp. ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ใช้เป็นตัวชี้บ่งก น้ำประปาดื่มได้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2549 แต่เมื่อเติมคลอรีนในปริมาณที่ได้ศึกษาความ ต้องการคลอรีนของน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีที่ 1 และ 2 คือ 0.65 และ 0.75 ppm ตามลำดับ สามารถกำจัดจุลินทรีย์ทุกชนิดที่ตรวจพบได้หมดสิ้น

ดังนั้นน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแปงมันสำปะหลัง เมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพตาม วิธีที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพทางจุลชีววิทยาเทียบเท่าน้ำประปาตามมาตรฐาน มอก. 257-2521 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2521) และ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของกรมอนามัย พ.ศ. 2543 อีกทั้ง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม มอก. 257-2549 ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 พ.ศ. 2549

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำในชั้น Activated carbon (Carbokarn, Thailand), Cation exchange resin (DOWEX HCR-S/S, Italy) และระบบ Reverse osmosis (RO) ประสิทธิภาพที่ ลดลงของ Activated carbon จำนวน 25 กิโลกรัม เมื่อนำน้ำผ่าน 390 ลิตร เมื่อนำตัวอย่างน้ำที่มีค่าความ กระด้างโดยเฉลี่ย $671.39 \text{ mg/L CaCO}_3$ ผ่าน Cation exchange resin จำนวน 25 ลิตร สามารถผ่านได้ ปริมาณ 473.86 ลิตร และจากตัวอย่างน้ำเริ่มต้นก่อนผ่านระบบ RO มีปริมาณคลอไรด์ไอออนโดยเฉลี่ย $1,428.93 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ประสิทธิภาพระบบ Reverse osmosis สามารถรองรับ

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่พัฒนาขึ้นได้จำนวน 5,092.57 ลิตร จากนั้นต้องทำความเข้าใจสถานะระบบ

4.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้มีผลสำเร็จที่ให้ประโยชน์ คือ ได้กรรมวิธีเตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังภายหลังการบำบัดให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา เพื่อนำน้ำที่มีคุณภาพนั้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในโรงงาน กรรมวิธีที่พัฒนาได้นี้สามารถเตรียมน้ำได้ถึงระดับที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม และสามารถปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งได้อย่างกว้างขวาง

ผลสำเร็จที่ได้ของโครงการวิจัยนี้ยังเป็นพื้นฐานสำคัญที่ควรมีการทดลองต่อเนื่องในอนาคต เกี่ยวกับการเพิ่มกำลังการผลิตน้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำประปา ในระดับที่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในปริมาณ 500-1000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ได้ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบการผลิตและงบลงทุน

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. *มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. *เคมีของน้ำ: น้ำโสโครกและการวิเคราะห์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2521. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2521. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค. ราชกิจจานุเบกษา. 95. ตอนที่ 68.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2549. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549.
- กิริติ พัฒนสารินทร. 2546. *การบำบัดน้ำโดยวิธีการรีเวอร์สออสโมซิส*. วารสารโลกพลังงาน. 6 (20): กรกฎาคม-กันยายน 2546.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. *การบำบัดน้ำเสีย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: สยามสแตนดาร์ดพับลิชชิ่งเฮาส์.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2537. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537.
- ณรงค์ วุฑฒเสถียร. 2540. *การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัทประชาชน จำกัด.
- ไพศาล วีรกิจ. 2545. *การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: บริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด.
- มันรักษ์ ตันทุลเวศม์. 2545. *เคมีวิทยาการของน้ำและน้ำเสีย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2542. *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. 2551. Biogas Technology (<http://www.thaibiogas.net/th/node/208>).
- American Public Health Association (APHA). 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th edition. Washington, D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th Edition. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. 1995. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th Edition. Arlington: AOAC International.

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. 1997. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Gaithersburg: AOAC International.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. 1998. Food and Drug Administration: *Bacteriological Analysis Manual*, 8th Edition, Revision A. Gaithersburg: AOAC International.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. 2000. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Edition. Gaithersburg: AOAC International.
- Atlas, R.M. 2004. *Handbook of Microbiological Media*. CRC Press, Boca Raton.
- Ayoub, G.M., Lee, S.I., and Koopman, B. 1986. Seawater-induced algal flocculation. *Water Research*. 20, 1265-1271.
- Ayoub, G.M. 1994. The lime-seawater process: a potential for chemically enhanced wastewater treatment. *Proceedings of the 1st Regional Conference of the ASCE, Saudi Arabia Section, Bahrain 1994*.
- Binnie, C., Kimber, M., and Smethurst, G. 2002. *Basic Water Treatment*. 3rd Edition. London: Thomas Telford Ltd.
- Black, S.A. and Lewandowski, W. 1969. *Phosphorus Removal by Lime Addition to a Conventional Activated-Sludge Plant*. Toronto: Water Resources Commission, Research publication No 36.
- Buller, N.B. 2004. *Bacteria from Fish and Other Aquatic Animals: A Practical Identification Manual*. CABI Publishing; Wallingford, Oxfordshire. (1st edition).
- Cohen, T. 2004. Waste to energy: A waste solutions success in Thailand. *Refocus*. 5(5): 26-28.
- Culp, R.L., Wesner, G.M., and Culp, G.L. 1978. *Handbook of Advanced Wastewater Treatment*. 2nd Edition. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Dziubek, A.M. and Kowal, A.L. 1984. Effect of magnesium hydroxide on chemical treatment of secondary effluent under alkaline conditions. *Proceedings of Water Reuse Symposium III, American Waterworks Association Research Foundation, San Diego*.
- Dziubek, A.M. and Kowal, A.L. 1986. Effect of pH and magnesium on color and turbidity removal from aqueous solutions. *Studies in Environmental Science*. 29: 325-334.
- Dziubek, A.M. and Kowal, A.L. 1989. High-pH coagulation-adsorption: a new technology for water treatment and reuse. *Water Sci. Technol*. 21: 511-517.
- Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., and Greenberg, A.E. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Grabow, W.O.K., Middendorff, I.G., and Basson, N.C. 1978. Role of lime treatment in the removal of bacteria, enteric viruses, and coliphages in a wastewater reclamation plant. *Applied and Environmental Microbiology*. 35: 663-669.
- Guldner, C., Hegemann, W., Peschen, N., and Solter K. 1994. Use of lime for the upgrading of existing wastewater treatment systems. *Water Science and Technology*. 29(12): 279-282.

- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., and Williams, S.T. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th Edition. Baltimore: Williams&Wilkins.
- Horstkotte, G.A. 1974. Full-scale testing of a water reclamation plant. *Journal Water Pollution Control Federation*. 46: 181-186.
- Leentvar, J. and Rebhun, M. 1982. Effect of magnesium and calcium precipitation on coagulation-flocculation with lime. *Water Research*. 16: 655-662.
- Merril, D.T. and Jorden, R.M. 1975. Lime-induced reactions in municipal waters. *J. Water Pollut. Control Fed.* 47 12: 2783-2808.
- Parker, D.S. 1972. Process development for nitrogen removal of the CCCSD water reclamation plant. *Advanced Waste Treatment Design Seminar, University of California, Riverside*.
- Plevin, R. and Donnelly, D. 2004. Converting waste to energy and profit tapioca starch power in Thailand. *Renewable Energy World*. September-October 2004: 74-81.
- Riehl, M.L., Weiser, H.H., and Rheins, R.T. 1952. Effect of limetreated water upon survival of bacteria. *Journal American Water Works Association*. 44: 466-471.
- Stuckenberg, J.R. 1975. Physico-chemical treatment using a coagulation-adsorption process. *Journal Water Pollution Control Federation*. 47: 338-353.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. New York: Metcalf and Eddy Inc.
- Water Environment Federation (WEF, 1980) *Wastewater Sampling for Process and Quality Control MOP OM-1*. Copyright Water Environment Federation Reprinted with permission.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สารละลายและสีย้อม

1. Acetone alcohol

Alcohol (95%)	700.0	มิลลิลิตร
Acetone	300.0	มิลลิลิตร
ผสมสารที่เป็นส่วนประกอบให้เข้ากัน		

2. Bufferfield's buffered phosphate diluent (Phosphate-buffered solution)

Stock solution:

Potassium di-hydrogen phosphate	34.0	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	500.0	มิลลิลิตร
ปรับ pH เท่ากับ 7.2 ด้วย 175 มิลลิลิตร ของ 1N NaOH จากนั้นปรับปริมาตรให้เท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร เก็บ Stock solution ในตู้เย็น		
ใช้ Stock solution 1.25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร หนึ่งมาเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที		

3. Crystal violet (Gram stain)

Crystal violet	2.0	กรัม
Ethanol (95%)	20.0	กรัม
ละลายให้เข้ากัน แล้วจึงเติม		
Ammonium oxalate (1% Aqueous solution)	80.0	มิลลิลิตร

4. Hydrogen peroxide (3% solution)

Hydrogen peroxide (30% Solution)	10.0	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	90.0	มิลลิลิตร

5. Iodine solution (Gram's iodine)

Iodine	1.0	กรัม
Potassium iodide	2.0	กรัม
ละลายสารทั้งสองชนิดในน้ำ โดยค่อยๆ		
เติมน้ำที่ละลายจนกระทั่ง Iodine ละลายหมด		
เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ	300.0	มิลลิลิตร
เก็บไว้ในขวดสีชา		

6. Malachite green

Malachite green	5.0	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	100.0	มิลลิลิตร
ถ้ามีตะกอนให้กรองก่อนใช้ทุกครั้ง		

7. Safranin (Gram stain)

Safranin O (2.5% solution ใน 95% Ethanol)	10.0 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	90.0 มิลลิลิตร
ถ้ามีตะกอนให้กรองก่อนใช้ทุกครั้ง	

8. Tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride (1%)

Tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride	1.0 กรัม
น้ำกลั่น	100.0 มิลลิลิตร

ละลาย Tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride ในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตรใน Volumetric flask เก็บไว้ในขวดสีชา

9. Turbidity standard (Buller, 2004)

1% Barium chloride

1% Sulfuric acid

เตรียม McFarland nephelometer scale ดังนี้

McFarland tube no.	Sulfuric acid 1% aqueous solution (มิลลิลิตร)	Barium chloride 1% aqueous solution (มิลลิลิตร)	Corresponding density of bacteria (10^6)
1	9.9	0.1	300
5	9.5	0.5	1500

ภาคผนวก ข อาหารเลี้ยงจุลินทรีย์

ตาม Atlas (2004), AOAC (1990) และ AOAC International (1998 และ 2000) และบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์สำเร็จ

1. Baird-Parker agar (Egg tellurite glycine pyruvate agar)

อาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India)

2. Bismuth sulfite agar

Beef extract	5.0 กรัม
Peptone	10.0 กรัม
Dextrose	5.0 กรัม
Disodium phosphate	4.0 กรัม
Ferrous sulfate	0.3 กรัม
Bismuth sulfite (Indicator)	8.0 กรัม
Agar	20.0 กรัม
Brilliant green	25.0 มิลลิกรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000.0 มิลลิลิตร

ผสมส่วนประกอบทั้งหมดให้ละลายเข้ากัน โดยใช้ความร้อนช่วย ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.6 ± 0.2 ไม่ต้องนิ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นเทอาหารลงในจานเพาะเชื้อปลอดเชื้อ ควรเตรียมจานเพาะเชื้อก่อนและเก็บในที่มืด สมบัติของสารในการคัดเลือกเชื้อจะลดลงภายในเวลา 48 ชั่วโมง

3. Brain-heart infusion (BHI) broth

Calf brain infusion	200.0	กรัม
Beef heart infusion	250.0	กรัม
Proteose peptone (Difco) หรือ Gelysate (BBL)	10.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	2.5	กรัม
Dextrose	2.0	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลายสารทั้งหมดในน้ำกลั่น ใช้ความร้อนช่วยพอให้สารละลาย ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.4 ± 0.2 จากนั้นแบ่งบรรจุหลอด และนิ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

หรืออาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India)

4. Brilliant green lactose bile (BGLB) broth

อาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India) แบ่งบรรจุ 10 มิลลิลิตรต่อหลอด ใส่หลอดดักแก๊ส (Durham tube) นิ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (121 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 นาที

5. EC broth

อาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India) แบ่งบรรจุ 10 มิลลิลิตรต่อหลอด ใส่หลอดดักแก๊ส (Durham tube) นิ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (121 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 นาที

6. Lauryl sulphate tryptose broth

Trypticase หรือ Tryptose (Pancrestic digest of casein)	20.00	กรัม
Sodium chloride	5.00	กรัม
Lactose	5.00	กรัม
Dipotassium phosphate	2.75	กรัม
Potassium dihydrogen phosphate	2.75	กรัม
Sodium lauryl sulphate	0.10	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000.00	มิลลิลิตร

ปรับ pH 6.8 ± 1 แล้วแบ่งบรรจุ 10 มิลลิลิตรต่อหลอด ใส่หลอดดักแก๊ส (Durham tube) นิ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (121 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 นาที

7. LEVINE Eosine methylene blue (L-EMB) agar

Peptone	10.0	กรัม
Lactose	10.0	กรัม
di-Potassium hydrogen phosphate	2.0	กรัม
Eosin Y	0.4	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Methylene blue	0.065	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000	มิลลิลิตร

ละลายส่วนประกอบในน้ำกลั่น เติม Agar และหลอมให้ละลายด้วยความร้อน ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.4 ± 0.2 ปรับปริมาตรให้ได้ตามต้องการ แบ่งบรรจุอาหารปริมาตร 100 หรือ 200 มิลลิลิตร หนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที หรืออาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India) หนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

8. MacConkey Agar

Proteose peptone (Difco) หรือ Polypeptone (BBL)	3.0	กรัม
Peptone (Difco) หรือ Gelysate (BBL)	17.0	กรัม
Lactose	10.0	กรัม
Bile salts No. 3 (หรือ Bile salts mixture)	1.5	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Neutral red	0.03	กรัม
Crystal violet	0.001	กรัม
Agar	13.5	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000.0	มิลลิลิตร

ผสมสารทั้งหมดแล้วนำไปให้ความร้อน กวนให้สารละลายเข้ากันเป็นเวลา 1-2 นาที ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.6 ± 0.2 และทำให้ปลอดเชื้อโดยการหนึ่งฆ่าเชื้อที่ 118 องศาเซลเซียส (10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

9. Malt yeast extract (MY) agar

Soy peptone	20.0	กรัม
Tryptone	20.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
D-Glucose	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลายส่วนประกอบในน้ำกลั่น เติม Agar และหลอมให้ละลายด้วยความร้อน ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 5.5 แล้วหนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที ก่อนใช้เติม Chloramphenicol 0.1 กรัมต่อลิตร

10. Motility test medium

Pancreatic digest of gelatin	10.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
Agar	4.0	กรัม
2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride solution	10.0	มิลลิลิตร
Beef extract	3.0	กรัม

ผสมสารทั้งหมดยกเว้น 2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride solution ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 995 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปให้ความร้อนเพื่อให้ Agar ละลาย จากนั้นทำให้ปลอดเชื้อโดยการนิ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส เติม 2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride solution ปลอดเชื้อ (เตรียมโดยเติมละลาย 2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride solution 0.1 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วกรองโดยใช้เครื่องกรองที่ปลอดเชื้อ) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วแบ่งใส่ในหลอดทดลองที่ปลอดเชื้อ

11. Nutrient agar (NA)

Beef extract	1.00	กรัม
Yeast extract	2.00	กรัม
Peptone	5.00	กรัม
Sodium chloride	5.00	กรัม
Agar	15.00	กรัม

ปรับ pH 7.4±0.2 ที่อุณหภูมิห้อง

12. Nutrient gelatin

Beef extract	2.4	กรัม
Peptone	4.0	กรัม
Gelatin	96.0	กรัม
Sodium chloride	250.0	กรัม
เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ	1,000.0	มิลลิลิตร

pH 7.0±0.2

ละลายส่วนประกอบในน้ำกลั่นโดยใช้ความร้อนช่วย นิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

13. Oxidation and fermentation (O-F) test medium

Sodium chloride	5.00	กรัม
Pancreatic digest of casein	2.00	กรัม
di-Potassium hydrogen phosphate	0.30	กรัม
Bromthymol blue	0.03	กรัม
Agar	2.50	กรัม
Glucose solution	100.00	มิลลิลิตร

pH 7.0±0.2

ละลายสารทั้งหมดเข้าด้วยกันในน้ำกลั่น ยกเว้น Glucose solution ปรับปริมาตรเป็น 900 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ Agar หลอมละลาย จากนั้นทำให้ปลอดเชื้อโดยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ใช้เทคนิคปลอดเชื้อเติม Sterile glucose solution ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (เตรียมโดยชั่ง Glucose 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วกรองโดยใช้เครื่องกรองที่ปลอดเชื้อ) ผสมส่วนผสมข้างต้น และ Glucose solution ให้เข้ากัน แล้วบรรจุในหลอดทดลองปลอดเชื้อ

14. Plate count agar (PCA)

Tryptone	5.0	กรัม
Yeast extract	2.5	กรัม
Dextrose	1.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลายสารทั้งหมดเข้าด้วยกันในน้ำกลั่น นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ Agar หลอมละลาย ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.0±0.2 นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

หรืออาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India)

15. Selenite cystine broth

อาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India) ไม่ต้องนึ่งฆ่าเชื้อ

16. Trypticase (tryptic) soy broth (TSB)

Trypticase หรือ Tryptose (Pancreatic digest of casein)	17.0	กรัม
Phytone (Papaic digest of soya meal)	3.0	กรัม
Sodium chloride	5.0	กรัม
di-Potassium hydrogen phosphate	2.5	กรัม
Glucose	2.5	กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000	มิลลิลิตร

ละลายสารทั้งหมดเข้าด้วยกันในน้ำกลั่น ปรับ pH เท่ากับ 7.3±0.2 แล้วนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

17. Trypticase soy agar (TSA)

เตรียมตามส่วนประกอบ TSB และเติม Agar 15.0 กรัมต่อลิตร หลอมให้ Agar ละลายด้วยความร้อน ปรับ pH เท่ากับ 7.3±0.2 แล้วนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เป็นเวลา 15 นาที

18. Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) Agar

Yeast extract	3.0	กรัม
Ferric ammonium citrate	0.8	กรัม

L-Lysine	5.0 กรัม
Sodium thiosulfate	6.8 กรัม
Xylose	3.75 กรัม
Sodium chloride	5.0 กรัม
Lactose	7.5 กรัม
Sucrose	7.5 กรัม
Phenol red	0.08 กรัม
Sodium desoxycholate	2.5 กรัม
Agar	15.0 กรัม
เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ	1,000 มิลลิลิตร

ผสมส่วนทั้งหมดให้เข้ากัน โดยใช้ความร้อนช่วย ปรับ pH สุดท้ายเท่ากับ 7.6 ± 0.2 ไม่ต้องนิ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นเทอาหารลงในจานเพาะเชื้อปลอดเชื้อ หรืออาหารสำเร็จ Himedia (HIMEDIA LABORATORIES. PVT. LTD., India) ไม่ต้องนิ่งฆ่าเชื้อ

ภาคผนวก ค การเตรียมสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

1. น้ำที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์

เตรียมโดยต้มน้ำกลั่นให้เดือดเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 และควรมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน $2 \mu\text{S/cm}$ ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมสารละลายหรือเจือจาง

2. Buffer solution สำหรับวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมด

Ammonium Chloride (NH_4Cl)	16.9 กรัม
Ammonium Hydroxide (NH_4OH)	143.0 มิลลิลิตร
Magnesium chloride ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0.644 กรัม
น้ำกลั่น	250.0 มิลลิลิตร

ละลาย NH_4Cl ใน NH_4OH แล้วเติม $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 250 มิลลิลิตร เก็บในขวดพลาสติกปิดฝาสนิท (ไม่ควรเก็บสารละลายนี้เกิน 1 เดือน)

3. Calcium carbonate solution

Calcium carbonate (CaCO_3)	1,000.0 มิลลิกรัม
Hydrochloric acid (HCl) หรือ Ammonium Hydroxide (NH_4OH) 3N	
Methyl red indicator	2-3 หยด

น้ำกลั่น 1,000.0 มิลลิลิตร
ชั่งสาร CaCO_3 ใส่ใน Flask ค่อยๆ เติม HCl ผ่านกรวย จนกระทั่ง CaCO_3 ละลาย เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที เพื่อไล่ CO_2 ทำให้เย็น จากนั้นเติม Methyl red indicator 2-3 หยด

ปรับให้สารละลายมีสีส้มปานกลางด้วย 3N NH_4OH หรือ HCl ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

4. Chlorine solution

Sodium hypochlorite solution	35.0	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

เจือจาง Sodium hypochlorite solution ซึ่งมีคลอรีนเทียบเท่ากับ 30,000-50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีคลอรีน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) solution (0.01M)

Disodium ethylenediamine tetra-acetic acid	3.723	กรัม
dehydrate ($\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)		

น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร
----------	---------	-----------

ละลายสาร $\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ปรับค่าความเข้มข้นที่แท้จริงกับ Calcium carbonate solution

6. Formazin solution

Hydrazine sulfate ($\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{SO}_4$)	5.0	กรัม
Hexamethylenetetramine บริสุทธิ์	50.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

เตรียม Formazin solution 4000 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) โดยชั่ง $\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{SO}_4$ ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และละลาย Hexamethylenetetramine บริสุทธิ์ ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายทั้งสองลงใน Volumetric flask ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ตั้งสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงเวลานี้ความขุ่นจะค่อยๆ ก่อตัวขึ้น Formazin solution ที่ได้จะมีค่าความขุ่น 4000 NTU และสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 1 ปี เขย่า Formazin solution 4000 NTU ให้เข้ากันอย่างน้อยประมาณ 10 นาที ก่อนนำมาใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความขุ่น 20, 100, 400 และ 800 NTU

7. Indicator สำหรับวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมด

Eriochrome black T	0.5	กรัม
Sodium chloride (NaCl)	100.0	กรัม

ผสมสาร Eriochrome black T และ NaCl เข้าด้วยกัน ถ้าจุดสุดท้ายของการไทเทรตได้สีที่ไม่ชัด ให้เตรียมส่วนผสมนี้ใหม่

8. Indicator ผงสำหรับวิเคราะห์แคลเซียมไอออน

Murexide indicator	0.5	กรัม
Sodium chloride (NaCl)	100.0	กรัม

ผสมสาร Murexide indicator และ NaCl เข้าด้วยกัน

9. Methyl orange indicator solution

Methyl orange	500.0	มิลลิกรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลาย Methyl orange ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

10. Phenolphthalein indicator solution

Phenolphthalein	5.0	กรัม
Alcohol (95%)	500.0	มิลลิลิตร

ละลาย Phenolphthalein ใน Alcohol (95%) 400 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วย Alcohol (95%) ให้ได้ 500 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

11. Potassium chromate solution (1N)

Potassium chromate (K_2CrO_4)	5.0	กรัม
น้ำกลั่น	100.0	มิลลิลิตร

ละลาย K_2CrO_4 ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

12. Potassium hydrogen phthalate solution (0.1N)

Potassium hydrogen phthalate (KHP หรือ $KHC_8H_4O_4$)	10.0±0.5	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ชั่ง $KHC_8H_4O_4$ 15-20 กรัม นำไปบด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ละลาย $KHC_8H_4O_4$ ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

13. Silver nitrate solution (0.1N)

Silver nitrate ($AgNO_3$)	6.0	กรัม
Sodium chloride solution (NaCl) 0.1N	10.0	มิลลิลิตร
Potassium chromate solution (K_2CrO_4) 1N	1.0	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	350.0	มิลลิลิตร

ชั่งสาร $AgNO_3$ ใส่ขวดแก้วสีน้ำตาล เดิมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่าให้ $AgNO_3$ ละลายจนหมด นำไปไทเทรตหาความเข้มข้นกับ 0.1N NaCl ซึ่งมี 1N K_2CrO_4 solution เป็น indicator

14. Sodium carbonate solution (0.05N)

Sodium carbonate (Na_2CO_3)	2.45	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

อบ Na_2CO_3 3-5 กรัม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นละลาย Na_2CO_3 ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask (ไม่ควรเก็บสารละลายนี้เกิน 1 สัปดาห์)

15. Sodium chloride solution (0.1N)

Sodium chloride (NaCl)	1.4625	กรัม
น้ำกลั่น	250.0	มิลลิลิตร

อบ NaCl ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่ง NaCl ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1N

16. Sodium hydroxide solution (0.1N)

Sodium hydroxide (NaOH)	11.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลาย NaOH ในน้ำกลั่นปล่อยให้เย็น นำไปกรอง ดูดน้ำใสส่วนบนมา 5.45 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บในขวดพลาสติก

17. Sodium hydroxide solution (0.02N)

Sodium hydroxide solution 0.1N	200.0	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

หาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ Potassium hydrogen phthalate solution จำนวน 15 มิลลิลิตร กำหนดหาความเข้มข้นของ NaOH ได้ความเข้มข้น 0.02N ก่อน ซึ่ง NaOH 1 มิลลิลิตร จะเท่ากับ Calcium carbonate (CaCO₃) 1 มิลลิกรัม

18. Sodium hydroxide solution (1.0M) สำหรับวิเคราะห์แคลเซียมไอออน

Sodium hydroxide	32.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลาย NaOH ในน้ำกลั่นปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บในขวดพลาสติก

19. Sodium thiosulfate solution (0.1N)

Sodium thiosulfate (Na ₂ S ₂ O ₃)	25.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลาย Na₂S₂O₃ ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน volumetric flask ต้มให้เดือดเบาๆ เป็นเวลา 5 นาที เก็บในขวดแก้วสีชา และเก็บสารละลายในที่มืดและเย็น

20. Starch solution (0.5%)

Starch solution	5.0	กรัม
Zinc chloride หรือ Sodium propionate	4.0	กรัม
Sodium azide	2.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

ละลายเบงในน้ำเย็นปริมาณเล็กน้อยให้เป็นน้ำเบง แล้วเทลงในน้ำเดือด คนให้เบงละลายจนหมด ปรับปริมาณให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน นำส่วนใสมาใช้ และอาจเติม Zinc chloride หรือ Sodium propionate ร่วมกับ Sodium azide ลงในน้ำเบงเพื่อกันเสีย

21. Sulfuric acid solution (0.02N)

Sulfuric acid solution (1N) 20.0 มิลลิลิตร

น้ำกลั่น 1,000.0 มิลลิลิตร

เทียบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย Sodium carbonate solution 0.05N จำนวน 20.0 มิลลิลิตร (ปรับความเข้มข้นให้เป็น 0.02N พอดี)

22. Sulfuric acid solution (1N)

Sulfuric acid (concentrated) 30.0 มิลลิลิตร

น้ำกลั่น 1,000.0 มิลลิลิตร

ค่อยๆ เท Sulfuric acid (concentrated) ลงในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ใน Volumetric flask

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดลอง

1. น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งที่ใช้เพื่อเตรียมน้ำให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเทียบเท่า น้ำประปา

ที่ มท. 5461.2 / 1585



กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ
การประปานครหลวง
400 ถนนประชาธิปไตย แขวงทุ่งสองห้อง
เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

๑๕ มกราคม ๒๕๕๑

เรื่อง ผลทดสอบคุณภาพน้ำ

เรียน ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิ่งที่ส่งมาด้วย ผลทดสอบคุณภาพน้ำที่ อ.003/2551

ใบคำขอบริการงานทดสอบตัวอย่างน้ำเลขที่ อ.003/2551 จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อทดสอบตัวอย่างน้ำทางกายภาพ-เคมีนั้น กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ดำเนินการทดสอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว ปรากฏว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ตามรายการทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินเพื่อการประปาประเภทที่3 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ พ.ศ.2537 จึงขอส่งรายงานผลทดสอบคุณภาพน้ำเพื่อดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ



(นางจงกลณี อาศุเวทย์)

ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ

โทรศัพท์ 0 2981 7324 โทรสาร 0 2503 9369

รูปผนวกที่ 1 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (น้ำเริ่มต้นหรือน้ำดิบ) ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง



กองวิศวกรรมการทดสอบคุณภาพน้ำ สำนักงานควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง
400 อ.ประเวศชัย แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210
โทรศัพท์ โทรปฏิบัติการหมายเลข 0 2503 9363 / โทรสารหมายเลข 0 2981 7322 / โทรโทรเลขหมายเลข 0 2503 9368



รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

เลขที่ทดสอบ	อ.003/2551	หน้า	1/2
จุดน้ำ	กองวิศวกรรมโยธา อาคาร 5 สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี		
สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	111 อ.มหาวิทยาลัย อ.สุรนารี อ.เมือง อ.นครราชสีมา	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551
จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	น้ำดื่ม	1001 - น. ศาลาพักผ่อน	เขตเมือง, สุรน
วันที่รับตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551	วันที่ทดสอบ	10 - 16 มกราคม 2551
วิธีทดสอบ	ความขุ่น APHA,AWWA,WEF:2130B, 2005	ปริมาณ เหล็ก APHA,AWWA,WEF:3500-Fe B, 2005	
	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย APHA,AWWA,WEF:9221 D, 2005		

รายการที่ทดสอบ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน
สีจริง	แพลทินัม-โคบอลต์	65	-
การทดสอบความขุ่นแดงของกลีมัน	-	น้ำดื่มกลีมัน	ไม่เกินตามธรรมชาติ
ความขุ่น	NTU	27.20	*
ความเป็นกรด-ด่าง	-	8.06	5.0-9.0
การนำไฟฟ้า	ไมโครโมห์/ซ.ม.	6,590	*
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28.7	-
ความเป็นค่าทั้งหมด(แคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ลบ.มม.	1,090	*
ความเป็นค่า-หินอ่อนฟอสเฟตในพอลมอดแคลเซียมคาร์บอเนต	มก./ลบ.มม.	0	-
ปริมาณ มาออร์พทั้งหมด	มก./ลบ.มม.	4284	*
สารละลาย	มก./ลบ.มม.	4218	-
สารแขวนลอย	มก./ลบ.มม.	66	*
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ลบ.มม.	760	-
ความกระด้างชั่วคราว	มก./ลบ.มม.	760	-
ความกระด้างถาวร	มก./ลบ.มม.	0	-
คลอรีน	มก./ลบ.มม.	1,400	-
ซัลเฟต	มก./ลบ.มม.	2	*
ไนโตรเจน-ไนโตรเจน	มก./ลบ.มม.	0.48	5.0
ไนโตรเจน-ไนโตรเจน	มก./ลบ.มม.	0.283	-
แคลเซียม	มก./ลบ.มม.	70.4	-

รูปผนวกที่ 2 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง (น้ำดิบ) โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง

2. น้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้น

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดที่ผ่านกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง

2.1.1 น้ำที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้นวิธีที่ 1

ที่ มท. 5461.2 / 7586		กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
๒๕ มกราคม 2551		
เรื่อง	ผลทดสอบคุณภาพน้ำ	
เรียน	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	
สิ่งที่ส่งมาด้วย	ผลทดสอบคุณภาพน้ำที่ อ.004/2551	
<p>ใบคำขอบริการงานทดสอบตัวอย่างน้ำเลขที่ อ.004/2551 จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อทดสอบตัวอย่างน้ำทางกายภาพ-เคมีนั้น กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ดำเนินการทดสอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว ปรากฏว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ตามรายการทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคตาม มอก. 257-2549 จึงขอส่งผลการทดสอบคุณภาพน้ำเพื่อดำเนินการต่อไป</p>		
ขอแสดงความนับถือ		
(นางจกถนี อาวุธเวชย์)		
ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ		
กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ		
ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ		
โทรศัพท์ 0 2981 7324 โทรสาร 0 2503 9369		

รูปผนวกที่ 3 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีเตรียมวิธีที่ 1 ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง



กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง
400 ถนนประชาธิปไตย แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210
โทรศัพท์ ห้องปฏิบัติการทางเคมี 0 2503 9365 / ทางจุดสีเขียว 0 2981 7322 / ทางโทรหะหมึก 0 2503 9368



รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

รายงานเลขที่	อ.004/2551	หน้า	1/2
ลูกค้า	ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี		
สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	111 ต.มหาวิทยาลัย อ.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551
จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	น้ำผ่านกรบปรับค่า	เวลา - น. สภาพตัวอย่าง	ใส, ไม่มีสี
วันที่รับตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551	วันที่ทดสอบ	10 - 16 มกราคม 2551
วิธีทดสอบ	ปริมาณเหล็ก, APHA, AWWA, WEF: 3500-Fe B, 2005	ความขุ่น, APHA, AWWA, WEF: 2130B, 2005	
	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย, APHA, AWWA, WEF: 9221 D, 2005	E.coli, APHA, AWWA, WEF: 9221 D, F และ 9225, 2005	

รายการที่ทดสอบ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน(เกณฑ์อนุโลม) มอก.257-2549
สีจริง	แพททิมีม-โคบอลต์	0	5
การทดสอบความรุนแรงของกลิ่น	-	ค่าเล็กน้อย	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความขุ่น	NTU	0.21	5
ความเป็นกรด-ด่าง	-	8.19	6.5-8.5
การนำไฟฟ้า	ไมโครโมห์/ซม.	370	-
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28.7	-
ความเป็นด่างทั้งหมด(แคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ลบ.ดม.	118	-
ความเป็นด่าง-ฟีนอล์ฟทาลินโมเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต	มก./ลบ.ดม.	0	-
ปริมาณมวลสารทั้งหมด	มก./ลบ.ดม.	222	-
สารละลาย	มก./ลบ.ดม.	222	500(600)
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ลบ.ดม.	0	100(300)
ความกระด้างชั่วคราว	มก./ลบ.ดม.	0	-
ความกระด้างถาวร	มก./ลบ.ดม.	0	-
คลอไรด์	มก./ลบ.ดม.	60	250
ซัลเฟต	มก./ลบ.ดม.	0	200(250)
ไนเตรท-ไนโตรเจน	มก./ลบ.ดม.	0.17	4(10)
ไนไตรท์-ไนโตรเจน	มก./ลบ.ดม.	0.026	-
แคลเซียม	มก./ลบ.ดม.	0.0	-

รูปผนวกที่ 4 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 1 ทางกายภาพและเคมี
จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง



กองวิศวกรรมการน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง
 400 ต.ปิ่นเกล้าเขื่อน แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210
 โทรศัพท์ โทรสาร/โทรสารโทรเลข 0 2503 9365 / โทรสารโทรเลข 0 2501 7322 / โทรโทรเลขโทร 0 2503 9368



รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

รายงานเลขที่

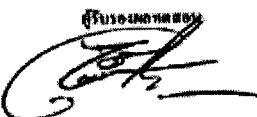

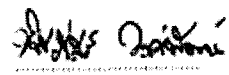

0.004(235)

หน้า

3/2

รายการที่ทดสอบ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน มอก.237-2549
พีเอช	มก./ลบ.สม.	< 0.05	0.3
ฟลูออไรด์	มก./ลบ.สม.	0.00	0.7(1.0)
แอมโมเนีย	มก./ลบ.สม.	0.00	0.05(0.1)
เหล็ก	มก./ลบ.สม.	0.00	-
ไนเตรต	มก./ลบ.สม.	89	-
ทองแดง	มก./ลบ.สม.	0.00	0.1
สังกะสี	มก./ลบ.สม.	0.02	1
คลอรีน	มก./ลบ.สม.	0.00002	0.005
โครเมียม	มก./ลบ.สม.	0.0006	0.05
ตะกั่ว	มก./ลบ.สม.	0.0025	0.05
เบสไนโตรเจนในโครเมียม	มก./ลบ.สม.	0.23	0.5
ดีออกซิเจนในโครเมียม	มก./ลบ.สม.	0.00	-
Dissolve Oxygen (DO)	มก./ลบ.สม.	10.5	≥ 4.0
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	มก./ลบ.สม.	0.4	2.0
Oxygen Consume (OC)	มก./ลบ.สม.	0.16	-

- หมายเหตุ 1. หน่วย : มก./ลบ.สม.(มิลลิกรัมต่อลิตร) - มิลลิกรัมลิตร . ลบ.สม. - มก.
 2. ND : ค่าที่เล็กกว่าขีดจำกัดกว่า 0.02 มก./ลบ.สม. กรณีที่ค่าทดสอบในไล่น้ำมีปริมาณน้อยกว่า 0.01 มก./ลบ.สม.
 3. มาตรฐานอ้างอิง : มาตรฐานสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม ฉบับร.กค.มอก.237-2549

 (นายพิพัฒน์ โชคกุลโพน) ตำแหน่ง ผู้จัดการ วิชาการด้านเคมี 25 ม.ค. 57	 (นายชวพรพรชรา อดุลยทรัพย์) ตำแหน่ง ผู้จัดการ วิชาการด้านสุขวิชา 25 ม.ค. 57	 (นางนิสสิศร์ วงศ์พันธ์) ตำแหน่ง ผู้จัดการ วิชาการด้านโลหะหนัก 25 ม.ค. 57	 (นายชวรงค์ ชลวิรัตนพันธ์) ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ 25 ม.ค. 57
---	---	---	---

ผลการทดสอบวิเคราะห์ของน้ำตัวอย่างนี้ให้ผลการทดสอบเท่านั้น ห้ามตีพิมพ์ในรายงานของบุคคลภายนอกที่มิใช่หน่วยงาน การประปานครหลวง
 ใบโอนผลวิเคราะห์ไปยังบุคคลภายนอกจะดำเนินการของวิศวกรรมการน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ

รูปผนวกที่ 4 (ต่อ) รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 1 ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง

2.1.2 น้ำที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้นวิธีที่ 2

ที่ มท. 5461.2 / 1๗80



กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ
การประปานครหลวง
400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง
เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

๒๕ มกราคม 2551

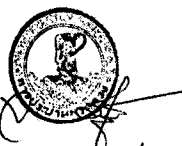
เรื่อง ผลทดสอบคุณภาพน้ำ

เรียน ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิ่งที่ส่งมาด้วย ผลทดสอบคุณภาพน้ำที่ อ.005/2551

ใบคำขอบริการงานทดสอบตัวอย่างน้ำเลขที่ อ.005/2551 จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อทดสอบตัวอย่างน้ำทางกายภาพ-เคมีนั้น กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ดำเนินการทดสอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว ปรากฏว่าเกือบทุกรายการอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานยกเว้น สารละลายมีค่าค่อนข้างสูงแต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลม ความเป็นกรด-ด่างและแอมโมเนียไนโตรเจนไม่ได้มาตรฐานน้ำบริโภคตาม มอก. 257-2549 จึงขอส่งผลการทดสอบคุณภาพน้ำเพื่อดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ



(นางจงกลณี อักษรเวทย์)

ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ

โทรศัพท์ 0 2981 7324 โทรสาร 0 2503 9369

รูปผนวกที่ 5 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีเตรียมวิธีที่ 2 ทางกายภาพและเคมี
จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง



กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สหภาพกรุงเทพมหานคร กรมประปากระทรวง
 400 อ.ประจวบคีรีขันธ์ แขวงทุ่งยั้งตึก 101 กรุงเทพมหานคร 10210
 โทรศัพท์ : โทรไปรษณีย์การประปา 0 2503 9365 / โทรสาร 0 2503 7122 / โทรโทรพန်း 0 2503 9368



รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

รายงานเลขที่	0.005/2551	หน้า	1/2
จุดน้ำ	ศาลาวิทยุทศ ในไฮดรอสแตต สำนักงานวิทยุทศ ในไฮดรอสแตต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า		
สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	181 อ.มหาเวียงชัย อ.สุราษฎร์ธานี 8.0004 8.000000000000000	วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551
จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	น้ำผุดกรบป่าบึง 2	เวลา	น. สดากตัวอย่าง 10, 10:00 น.
วันที่รับตัวอย่างน้ำ	10 มกราคม 2551	วันที่ทดสอบ	10 - 16 มกราคม 2551
วิธีทดสอบ	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ, APHA, AWWA, WEF, 1900-Fe B, 2005	ความขุ่น, APHA, AWWA, WEF, 2130B, 2005	
	โคโรนาฟลูออโรเมตริค, APHA, AWWA, WEF, 9221 D, 2005	E.coli, APHA, AWWA, WEF, 9221 D, F, 9225, 2005	

รายการที่ทดสอบ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ค่ามาตรฐานตามข้อกำหนด มผศ. 257-2549
สีจริง	แพลตตินัม-โคบอลต์	0	3
การทดสอบความขุ่นของแข็ง	-	ไม่พบ	ไม่เกินที่รับซื้อ
ความขุ่น	NTU	0.84	5
ความเค็มกรด-ต่ำ	-	9.26	6.5-8.5
ความเป็นพิษ	ไบโตร ไบโอสแกน	813	-
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28.7	-
ความเป็นค่าเร่งที่พบพบ(ทองแดงคาร์บอน)	มก./ลบ.คณ.	372	-
ความเป็นค่าเร่ง-ฟอสฟอรัสในทองแดงคาร์บอน	มก./ลบ.คณ.	14	-
ปริมาณรวมสารทั้งหมด	มก./ลบ.คณ.	522	-
สารละลาย	มก./ลบ.คณ.	520	500(600)
ความกระด้างทั้งหมด	มก./ลบ.คณ.	0	100(130)
ความกระด้างชั่วคราว	มก./ลบ.คณ.	0	-
ความกระด้างถาวร	มก./ลบ.คณ.	0	-
คลอรีน	มก./ลบ.คณ.	44	250
ไนเตรต	มก./ลบ.คณ.	0	200(250)
ไนเตรต-ไนโตรเจน	มก./ลบ.คณ.	0.19	4(10)
ไนโตรเจน-ไนโตรเจน	มก./ลบ.คณ.	0.033	-
นิกเกิล	มก./ลบ.คณ.	0.0	-

รูปผนวกที่ 6 รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง



กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง
 400 ซ.ประชาชื่น แขวงทุ่งต้อมีตอง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210
 โทรศัพท์ โทรสาร/โทรสารวิทยุ โทร. 2503 9363 / โทรสาร โทร. 2501 7322 / โทร. โสตทัศน โทร. 2503 9368



รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

วันที่ทดสอบ

6.005/2551

หน้า

2/2

รายการที่ทดสอบ	หน่วย	ผลการทดสอบ	ค่ามาตรฐาน(เกณฑ์สูงสุด) มอก.257-2549
เหล็ก	มก./ลบ.คม.	ND	0.3
ฟลูออไรด์	มก./ลบ.คม.	0.00	0.7(1.0)
แมกนีเซียม	มก./ลบ.คม.	0.00	0.05(0.1)
แคลเซียม	มก./ลบ.คม.	0.00	*
โพแทสเซียม	มก./ลบ.คม.	195	*
ฟอสฟอรัส	มก./ลบ.คม.	0.00	0.1
คลอรีน	มก./ลบ.คม.	0.01	1
คลอรีนอิสระ	มก./ลบ.คม.	0.00089	0.065
ไนโตรเจน	มก./ลบ.คม.	0.0013	0.05
คาร์บอน	มก./ลบ.คม.	0.0041	0.05
แอมโมเนียไนโตรเจน	มก./ลบ.คม.	1.56	0.5
ไนโตรเจนในไนเตรต	มก./ลบ.คม.	0.00	-
Dissolve Oxygen (DO)	มก./ลบ.คม.	10.5	≥ 4.0
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	มก./ลบ.คม.	0.6	2.0
Oxygen Consum (OC)	มก./ลบ.คม.	0.16	-

- หมายเหตุ 1. หน่วย : มก./ลบ.คม. (มิลลิกรัมในลูกบาศก์เดซิเมตร) = มิลลิกรัมลิตร , ลบ.คม. = ลิตร.
 2. ND : การวิเคราะห์ปริมาณน้อยกว่า 0.02 มก./ลบ.คม. คลอรีนอิสระในไตรคลอรีนน้อยกว่า 0.01 มก./ลบ.คม.
 3. มาตรฐานอ้างอิง : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีวรีโค มอก.257-2549

(ผู้รับมอบหมาย) (นายพิพัฒน์ ใจบุญใจนา) ตำแหน่ง ผู้จัดการวิชาการสิ่งแวดล้อม 25 ม.ค. 51	(ผู้รับมอบผลทดสอบ) (นางอรพรรณพรพร ขุฑดะชาวัฒน์) ตำแหน่ง ผู้จัดการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 25 ม.ค. 51	(ผู้รับรองผลทดสอบ) (นางนันทิยา วัฒนศิริ) ตำแหน่ง ผู้จัดการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 25 ม.ค. 51	(ผู้รับรองผลทดสอบ) (นายธีรชัย ขวัญวัฒนทรัพย์) ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ 25 ม.ค. 51
--	---	--	---

*ผลการทดสอบรับรองผลทดสอบอ้างอิงที่ได้ส่งตรวจทดสอบแล้วนี้ มีผลบังคับใช้รายงานผลการทดสอบตั้งแต่วันที่รายงาน และใช้ภายในผลทดสอบ

ใบนี้ขอสงวนไว้ไม่ให้รับอนุญาตเป็นเอกสารยืนยันผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ

รูปผนวกที่ 6 (ต่อ) รายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการเตรียมวิธีที่ 2 ทางกายภาพและเคมี จากกองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง

2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (น้ำเริ่มต้นหรือน้ำดิบ) โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ที่ ศร 5632/ 1004

๙ มกราคม 2551

เรียน คุณปิยมาศ มหาบุญญานนท์
เลขที่ 62/157 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อห้องปฏิบัติการที่ทดสอบ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี รายงานผลการทดสอบลำดับที่ Rep#วค0351058
หมายเลขใบขอรับบริการ 0281/51 หมายเลขใบนำส่งตัวอย่าง WA 058/51
วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 9 มกราคม 2551 วันเดือนปีที่ทำการทดสอบ 9 - 14 มกราคม 2551

พารามิเตอร์	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
Dissolved Oxygen (mg/l)	Azide Modification Method	0.75
Chemical Oxygen Demand (mg/l)	Open Reflux Method	100
Biochemical Oxygen Demand (mg/l)	5 Day BOD Test	12.1

ผู้ตรวจผลการทดสอบ
(นางบุญศรีกรร มิมมา)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี

ผู้รับรองผลการทดสอบ
(นายอาวุธ อินทรชื่น)
หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

ผู้ตรวจสอบรายงานผลการทดสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิวิณ ไทยอุดม)
ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รับรองรายงานผลการทดสอบโดย
(อาจารย์ ดร. สาโรช รุจิวรรณ)
รองผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปฏิบัติการแทนผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

- รายงานนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ทำการทดสอบตามที่ระบุไว้ข้างต้นเท่านั้น
- ห้ามคัด ห้ามถ่ายสำเนาในรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนยกเว้นที่ทั้งฉบับโดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 223000 โทรสาร (044) 224070
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
11 UNIVERSITY AVENUE, SUB DISTRICT SURANAREE, MUANG DISTRICT, NAKHON RATCHASIMA 30000, THAILAND Tel. (044) 223000 Fax. (044) 224070

รูปผนวกที่ 7 เอกสารแจ้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังการบำบัดจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง (น้ำเริ่มต้นหรือน้ำดิบ) โดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก จ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) กำหนดมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549

เล่ม ๑๒๓ ตอนที่ ๖๔ ง

หน้า ๑๓๔
ราชกิจจานุเบกษา

๖ กรกฎาคม ๒๕๕๕

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๓๔๗๐ (พ.ศ. ๒๕๕๕)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
น้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ
และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
น้ำบริโภค

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค เล่ม 1
ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 257 เล่ม 1-2521

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ ๓๓๒ (พ.ศ. ๒๕๒๑) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค เล่ม 1
ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ลงวันที่ ๘ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๒๑ และออกประกาศกำหนดมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค มาตรฐานเลขที่ มอก. 257-2549 ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียด
ต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด ๑๘๐ วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๔ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๕

สุริยะ จึงรุ่งเรืองกิจ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภคน้ำ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมน้ำที่ใช้บริโภคทั่วไปและน้ำใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 น้ำบริโภค หมายถึง น้ำที่ใสดื่ม รวมทั้งน้ำที่ใช้ทำอาหารและเครื่องดื่ม
- 2.2 หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์ (platinum-cobalt scale) หมายถึง หน่วยวัดระดับความเข้มของสีแท้ (true colour) ของน้ำ โดยเปรียบเทียบกับสีของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมคลอโรแพลทินัมกับโคบอลต์ (II) คลอไรด์
- 2.3 หน่วยเอ็นทียู (nephelometric turbidity unit, NTU) หมายถึง หน่วยวัดความขุ่นในน้ำโดยวิธีเนฟิโลเมตร

3. ประเภท

- 3.1 น้ำบริโภค แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ
- 3.1.1 ประเภทที่ 1 บรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิท
- 3.1.2 ประเภทที่ 2 ไม่บรรจุในภาชนะบรรจุ

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 4.1 ลักษณะทั่วไป
- ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอมและกลิ่นและรสที่ไม่พึงประสงค์หรือเป็นที่น่ารังเกียจ
- การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 4.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์
- 4.2.1 สี
- ต้องไม่เกิน 5 หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์
- การทดสอบให้ปฏิบัติตาม Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 2120 B
- 4.2.2 ความขุ่น
- ต้องไม่เกิน 5 หน่วยเอ็นทียู
- การทดสอบให้ปฏิบัติตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 2130 B

4.2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ต้องอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 4500-H⁺B

4.3 คุณลักษณะทางเคมี

4.3.1 ประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามตารางที่ 1ก.

4.3.2 ประเภทที่ 2 ให้เป็นไปตามตารางที่ 1ก. อาจอนุโลมให้เป็นไปตามตารางที่ 1ข. ได้ชั่วคราว

4.4 สารที่เป็นพิษ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1ก. คุณลักษณะทางเคมี

(ข้อ 4.3.1 และข้อ 4.3.2)

ลำดับที่	รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	วิธีวิเคราะห์*
1	ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด (total dissolved solids)	500	ข้อ 2540 C
2	เหล็ก	0.3	ข้อ 3111B หรือข้อ 3111C
3	แมงกานีส	0.05	ข้อ 3111B
4	ทองแดง	1.0	ข้อ 3111 B
5	สังกะสี	3	ข้อ 3111 B
6	ความกระด้างทั้งหมด (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	100	ข้อ 2340C
7	ซัลเฟต	200	ข้อ 4500-SO ₄ ²⁻ E
8	คลอไรด์	250	ข้อ 4500-Cl ⁻ B
9	ฟลูออไรด์	0.7	ข้อ 4500-F ⁻ C
10	ไนเตรต (คำนวณเป็น ไนโตรเจน)	4	ข้อ 4500-NO ₃ ⁻ D
11	ลิเธียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต	0.2	ข้อ 5540 C
12	ฟีนอลิกซัสแดนซ์	0.001	ข้อ 5530 C

หมายเหตุ * หมายถึง Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998

ตารางที่ 1ข. คุณลักษณะทางเคมีของน้ำบริโภคประเภทที่ 2
(ข้อ 4.3.2)

ลำดับที่	รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	วิธีวิเคราะห์*
1	ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด	600	ข้อ 2540 C
2	แมงกานีส	0.1	ข้อ 3111 B
3	ความกระด้างทั้งหมด (คำนวณเป็น แคลเซียมคาร์บอเนต)	300	ข้อ 2340 C
4	ซัลเฟต	250	ข้อ 4500-SO ₄ ³⁻ E
5	ฟลูออไรด์	1	ข้อ 4500-F C
6	ไนเตรต (คำนวณเป็น ไนโตรเจน)	10	ข้อ 4500-NO ₃ ⁻ D
7	ฟีนอลิกซัสสแตนซ์	0.005	ข้อ 5530 C

หมายเหตุ * หมายถึง *Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998*

5. สุขลักษณะ

- 5.1 สุขลักษณะในการทำน้ำบริโภค ให้เป็นไปตาม มอก.34
- 5.2 จุลินทรีย์ที่มีในน้ำบริโภค ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดดังนี้
- 5.2.1 โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ต้องน้อยกว่า 1.1 ในตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยวิธีมัลติเทิวบ์เฟอร์เมนเทชันเทคนิค (multiple tube fermentation technique)
- 5.2.2 เอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 5.2.3 สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 5.2.4 ซาลโมเนลลา (*Salmonella*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 5.2.5 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*Clostridium perfringens*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 5.2.6 ในกรณีที่มีโรคระบาดทางน้ำในท้องถิ่นนั้น ให้ตรวจจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคระบาดในขณะนั้นด้วย เช่น อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ บิด
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

ตารางที่ 2 ตารางที่เป็นพิษ
(ข้อ 4.4)

ลำดับที่	รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	วิธีวิเคราะห์*
1	ปรอท	0.001	ข้อ 3112B
2	ตะกั่ว	0.01	ข้อ 3113B
3	สารหนู	0.01	ข้อ 3113B
4	ซีลีเนียม	0.01	ข้อ 3113B
5	โครเมียม	0.05	ข้อ 3113B
6	โซยาไนต์	0.07	ข้อ 4500-CN F
7	แคดเมียม	0.003	ข้อ 3113B
8	แบเรียม	0.7	ข้อ 3113B

หมายเหตุ * หมายถึง Standard Methods FOR THE Examination of Water and Wastewater 20th Edition
1998

6. การบรรจุ

- 6.1 ให้บรรจุน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่สะอาด มีฝาหรือจุกปิด ผนึกโดยรอบระหว่างฝาหรือจุกกับภาชนะบรรจุ และเมื่อเปิดใช้แล้วสิ่งที่ปิดผนึกหรือส่วนที่ปิดผนึกนั้นเสียไป
- 6.2 ปริมาตรสุทธิของน้ำบริโภคในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่ภาชนะบรรจุน้ำบริโภคทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้
 - (2) วัน เดือน ปีที่บรรจุ
 - (3) ปริมาตรสุทธิ เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (มิลลิลิตร) หรือลูกบาศก์เดซิเมตร (ลิตร)
 - (4) รหัสรุ่นที่ทำ
 - (5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศด้วย ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น หรือในกรณีที่ใช้เฉพาะภาษาต่างประเทศเพื่อการส่งออก

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

- 9.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้
- 9.2 ความถี่ในการทดสอบประจำของผู้ทำ แนะนำให้เป็นไปตามภาคผนวก ข.
- 9.3 จุลินทรีย์
- 9.3.1 โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ให้ปฏิบัติตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 9221C
- 9.3.2 เอสเชอริเชีย โคลิ ให้ปฏิบัติตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 9221F
- 9.3.3 สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส ให้ปฏิบัติตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 9213B ข้อย่อย 7
- 9.3.4 ซาลโมเนลลา ให้ปฏิบัติตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998 ข้อ 9260B
- 9.3.5 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ให้ปฏิบัติตาม COMPENDIUM OF METHODS FOR THE MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF FOODS 4th EDITION 2001 หน้า 325 ถึง 330