


การบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วย

กระบวนการสร้างและรวมตะกอน

**TREATMENT OF BORON-BASED WOOD PRESERVATIVE  
SOLUTIONS FROM RUBBER WOOD PROCESSING INDUSTRY BY  
COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS**



พิชญะ รัตนยรัตน์  
ศิริวัฒนา รินทราณี  
อิทธิวัฒน์ บุญสร้างสม

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วย  
กระบวนการสร้างและรวมตะกอน

**TREATMENT OF BORON-BASED WOOD PRESERVATIVE  
SOLUTIONS FROM RUBBER WOOD PROCESSING INDUSTRY BY  
COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่มอบหมายนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**TREATMENT OF BORON-BASED WOOD PRESERVATIVE  
SOLUTIONS FROM RUBBER WOOD PROCESSING INDUSTRY BY  
COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS**



**Pichaya Thanartyanan  
Siriwatthana Rintharamee  
Ittiwat Boonsangsom**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE IN BACHELOR OF SCIENCE  
IN DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งเมื่อมีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการ  
สร้างและรวมตะกอน

Treatment of Boron-based Wood Preservative Solutions from Rubber  
Wood Processing Industry by Coagulation-Flocculation Process

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพิชญา ธานีพนันต์

นางสาวศิริวัฒนา รินทราณี

นายอิทธิวัฒน์ บุญสร้างสม

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต


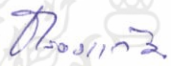

สาขาวิชา

เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพิชญญา	ธนาภยนันต์
	นางสาวศิริวัฒนา	รินทราณี
	นายอิทธิวัฒน์	บุญสร้างสม
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ปีการศึกษา	2556	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) และเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณของโคแอกกูแลนต์และค่าพีเอชของน้ำยาโบรอน จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้  $FeCl_3$ , PACI และสารส้มในปริมาณ 1.67, 3.33 และ 4.76 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 8 กวนเร็วที่ 150 รอบต่อนาที 3 นาที กวนช้าที่ 60 รอบต่อนาที 3 นาที ซึ่งที่สภาวะดังกล่าว PACI มีประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุด คือ 95.62% ในขณะที่ประสิทธิภาพกำจัดสีและอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในน้ำยาโบรอนเกิดได้ดีที่สุด เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มมีปริมาณคงเหลือมากที่สุดเมื่อเทียบกับ PACI และ  $FeCl_3$  การบำบัดด้วยวิธีการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีประมาณ 16, 30, 53 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ  $FeCl_3$ , สารส้ม และ PACI ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** โคแอกกูแลชัน, โบรอน คอมพาวด์, สารส้ม, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์, เฟอร์ริกคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Treatment of Boron-based Wood Preservative Solutions from Rubber Wood Processing Industry by Coagulation-Flocculation Process
<b>Students</b>	Pichaya Thanartyanan Siriwatthana Rintharamee Ittiwat Boonsangsom
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Environmental Chemistry
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr.Usarat Thawornchaisit

### ABSTRACT

This special project and compared treatment efficiency of boron - based wood preservative solutions from rubber wood processing factory with coagulation - flocculation process. Three coagulants including alum, polyaluminium chloride (PACl) and ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) were selected. Effect of coagulant dosages and pH of solution were studied. Results showed that the optimum condition is to use  $\text{FeCl}_3$  , PACl and alum dosage of 1.67, 3.33 and 4.76 g/L , respectively at pH 8 with rapid mixing velocity of 150 rpm for 3 min and slow mixing velocity of 60 rpm for 3 min. At the particular condition, highest removal efficiency for turbidity was 95.62% when PACl was used as coagulant while highest removal of color and organic carbon obtained when using ferric chloride as coagulant. Compared with PACl and  $\text{FeCl}_3$  treatment , Alum offer an advantage in term of quantity of boric acid in treated solution. Chemical cost of treatment of the solution was 16, 30 bath per cubic meters when using  $\text{FeCl}_3$ , Alum and PACl , respectively.

**Keywords:** Coagulation, Boron compound, Alum, Polyaluminium chloride, Ferric chloride.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือ และติดตามตรวจสอบผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์กรรมการที่ช่วยตรวจสอบ ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขปัญหา รวมถึงติชมผลงาน ทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์สถานที่คือห้องปฏิบัติการเคมี ศึกษปฏิบัติการหลังใหม่ และตึกจุฬารัตน์ 1 ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และคอยให้กำลังใจกันมาตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณกำลังใจจากบิดา มารดา ตลอดจนบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวมา ที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวพิชญา ชนาฒยนันต์

นางสาวศิริวัฒนา รินทรมี

นายอิทธิวัฒน์ บุญสร้างสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 อุตสาหกรรมแปรรูปไม้อย่างพารา	3
2.2 น้ำยารักษาเนื้อไม้	7
2.3 การสร้างและการรวมตะกอนทางเคมี (Coagulation and Flocculation)	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	25
3.2 น้ำยาโบรอนที่ใช้ในการทดลอง	26
3.3 การดำเนินการวิจัย	26
3.4 การศึกษาหาปริมาณของ โคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม	27
3.5 การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูแลชัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้น มีข้อยกเว้นการใช้งานบางประการตามที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้งาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำยาโบรอน	30
4.2 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยสารส้ม	31
4.3 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	37
4.4 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์	41
4.5 เปรียบเทียบผลการบำบัดน้ำยาโบรอนและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด	46
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	49
<b>ภาคผนวก ก คุณภาพน้ำยา โบรอนวิธีการวิเคราะห์</b>	53
<b>ภาคผนวก ข ผลการทดลอง</b>	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติไม้ยางพารา	3
2.2 สารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากน้ำยารักษาเนื้อไม้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย	10
3.1 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ทำการศึกษา	26
3.2 ปริมาณสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 ปริมาณสารละลายโพตัสเซียมคลอไรด์ (PACI) ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.4 ปริมาณสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ที่ใช้ในการทดลอง	29
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำยาโบรอนที่ทำการศึกษา	30
4.2 คุณภาพของน้ำยาโบรอนก่อน-หลังการบำบัดด้วยสารส้ม, PACI และ $FeCl_3$ โดย ใช้สถานะที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะอน	46
4.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัดน้ำยาโบรอน	47
ก-1 การวัดหาค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	55
ก-2 ค่าทรานสมิตแตนซ์แกน X ของตัวอย่างสีมาตรฐาน	57
ก-3 ค่าทรานสมิตแตนซ์แกน Y ของตัวอย่างสีมาตรฐาน	57
ก-4 ค่าทรานสมิตแตนซ์แกน Z ของตัวอย่างสีมาตรฐาน	57
ข-1 น้ำยาโบรอนก่อนกระบวนการสร้างและรวมตะกอน	63
ข-2 ค่าความขุ่นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	63
ข-3 ค่าความขุ่นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	64
ข-4 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	64
ข-5 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	65
ข-6 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	65
ข-7 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	66
ข-8 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	66
ข-9 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	67
ข-10 ความเข้มข้นของครีบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	67
ข-11 ความเข้มข้นของครีบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	68
ข-12 ค่าพีเอชหลังเติมสารส้มของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	68
ข-13 ค่าพีเอชหลังเติมสารส้มของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามโดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-14 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม	69
ข-15 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม	70
ข-16 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	71
ข-17 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	71
ข-18 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	72
ข-19 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	72
ข-20 ค่า TOC ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	73
ข-21 ค่า TOC ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	73
ข-22 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	74
ข-23 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	74
ข-24 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	75
ข-25 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	75
ข-26 ค่าพีเอชหลังเติม PACI ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	76
ข-27 ค่าพีเอชหลังเติม PACI ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	76
ข-28 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI	77
ข-29 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI	77
ข-30 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	78
ข-31 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	78
ข-32 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	79
ข-33 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	79
ข-34 ค่า TOC ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	80
ข-35 ค่า TOC ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	80
ข-36 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	81
ข-37 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	81
ข-38 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	82
ข-39 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $FeCl_3$	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-40 ค่าพีเอชหลังเติม $\text{FeCl}_3$ ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $\text{FeCl}_3$	83
ข-41 ค่าพีเอชหลังเติม $\text{FeCl}_3$ ของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $\text{FeCl}_3$	83
ข-42 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ $\text{FeCl}_3$	84
ข-43 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ $\text{FeCl}_3$	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังกระบวนการการผลิตในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา	4
2.2 กระบวนการรักษาเนื้อไม้โดยวิธีใช้แรงอัด	5
2.3 ขั้นตอนในการอัดน้ำยาไม้แบบเต็มเซลล์	6
2.4 ลักษณะโดยทั่วไปในกระบวนการ โคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก	12
2.5 กลไกในการ โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	13
2.6 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุม โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	14
2.7 กลไกการ โคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม	15
2.8 กลไกในการตกตะกอนด้วย PACl	16
2.9 โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl	17
2.10 กระบวนการ Coagulation และ Flocculation ของ $FeCl_3$	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	26
4.1 ลักษณะของน้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษา	30
4.2 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัด โดยใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ	32
4.3 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มเข้มข้น 4.76 g/L เมื่อน้ำยามีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน	35
4.4 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัด โดยใช้โพทัสซิอุมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ	38
4.5 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโพทัสซิอุมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 3.33 g/L เมื่อน้ำยามีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน	40
4.6 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัด โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ	42
4.7 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 1.67 g/L เมื่อน้ำยามีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน	45
4.8 ลักษณะน้ำยาโบรอนก่อนบำบัด – หลังบำบัดของสารส้ม, PACl และ $FeCl_3$	47
ก-1 กราฟมาตรฐานของตัวอย่างสีมาตรฐาน	56
ก-2 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียมพทาเลต ใช้ในการทำกราฟมาตรฐานสารอินทรีย์คาร์บอน (TC)	62
ก-3 กราฟมาตรฐานสารละลายโซเดียมไบคาร์บอนเนตรวมกับโซเดียมคาร์บอเนตใช้ในการทำกราฟมาตรฐานสารอินทรีย์คาร์บอน (IC)	62

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไม้ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอย่างยิ่งของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตยางพาราได้มากที่สุดในโลกโดยผลิตได้ 3.44 ล้านตันต่อปี (International Rubber Productivity, 2554 อ้างถึงใน ไพศาล, 2554) ส่งผลให้การส่งออกไม้ยางพาราแปรรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีอัตราการขยายตัวสูง ส่วนใหญ่ไม้ยางพาราแปรรูปจะนำมาผลิตเฟอร์นิเจอร์และชิ้นส่วนของเล่นเด็ก แผ่นชั้น ไม้อัด ไม้ปาร์เก้ กรอบรูป และเครื่องใช้ในครัวเรือน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจึงเกิดขึ้นมากมาย ทั่วประเทศไทยมีโรงอบไม้ยางพาราประมาณ 53 โรงงานและมีโรงงานแปรรูปไม้ประมาณ 593 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556 อ้างถึงในกรมการค้าต่างประเทศ, 2556)

กระบวนการผลิตไม้ยางพาราแปรรูป เริ่มจากชาวสวนยางจะนำไม้ยางพารามาซอยให้ได้ขนาดตามต้องการก่อนนำไปอัดสารเคมีที่เรียกว่า “น้ำยาอัดขาว” “น้ำยาโบรอน” หรือ สารประกอบโบรอน ซึ่งมีสารประกอบโบรอนเป็นส่วนผสมคือ กรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) และสารบอแรกซ์ ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) มาใช้ในกระบวนการผลิต และอัดน้ำยาเคมีเข้าไปในเนื้อไม้ เพื่อฆ่ามอดแมลงและเชื้อราตลอดจนป้องกันไม่ให้เนื้อ ไม้มีสีแดงขึ้น ([www2.oie.go.th](http://www2.oie.go.th)) เมื่อใช้ติดต่อกันหลายครั้ง น้ำยาจะเสื่อมสภาพ ทำให้น้ำยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำหรือสีดำ โดยเกิดจากแทนนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์จากเนื้อไม้ หากนำน้ำยาที่เสื่อมสภาพมาใช้จะส่งผลต่อคุณภาพของสีไม้ที่จะอัดในครั้งต่อไป ด้วยเหตุนี้การฟื้นฟูสภาพน้ำยาด้วยการบำบัดให้น้ำยามีลักษณะใสและมีปริมาณกรดบอริกไม่เปลี่ยนแปลงจึงมีข้อดีกว่าการทิ้งน้ำยาไป เนื่องจากลดสารเคมีในการอัดน้ำยารักษาเนื้อ ไม้และค่าใช้จ่ายในการกักเก็บน้ำยาอัดขาวที่เสื่อมสภาพและเป็นแนวทางหนึ่งที่จะลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมี (coagulation-flocculation) เป็นกระบวนการที่เติมสารเคมีเพื่อกำจัดความขุ่นของน้ำ โดยทำให้อนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักที่ง่ายต่อการตกตะกอนในถังตกตะกอน(บุษกร, มปป) ชนิดของสารรวมตะกอน (coagulants) ที่นิยมใช้ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอริกคลอไรด์ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดการน้ำยาอัดขาวจาก โรงงาน ไม้ยางพาราแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการสร้าง-รวมตะกอนโดยใช้สารส้ม เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำยาโบรอนของสารส้มโดยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำยาโบรอน เกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่พีเอช 8 น้ำยา

โบรอนที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของกรดบอริกลดลงตามพีเอชที่สูงขึ้น (ปวีณาและคณะ, 2556) และการกำจัดสีในน้ำยาโบรอนโดยการ โคแอกกูเลชันด้วย PACl ร่วมกับการใช้ Coagulant aid พบว่าสถานะที่เหมาะสม คือการใช้ PACl 2.0 g/l ร่วมกับการใช้ Anionic polymer 4 mg/l และ Cationic polymer 4 mg/l ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี 96% การเพิ่มความเข้มข้นของการเติม PACl ทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดสีสูงขึ้น โดยที่ Coagulant aid ไม่เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี แต่ช่วยในการรวมตะกอนอย่างไม่มีนัยสำคัญ (จรรยาและคณะ, 2554)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนทั้งสามชนิดในการบำบัดน้ำยาโบรอนมีอยู่น้อย ด้วยเหตุนี้โครงการพิเศษจึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งานจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูปด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน (coagulation) โดยใช้โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูปด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ตัวอย่างน้ำยาโบรอนได้จากโรงงาน ไม้ยางพาราแปรรูปแห่งหนึ่งในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง
2. ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะของน้ำยาโบรอน ได้แก่ พีเอช (pH) ความขุ่น สี ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) และปริมาณกรดบอริก
3. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนด้วยกระบวนการ โคแอกกูเลชัน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่
  - ชนิดของโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  หรือ สารส้ม, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl), เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ )
  - ปริมาณของสารรวมตะกอน (แปรค่าความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5-8.0 g/L)
  - พีเอช แปรค่าระหว่าง 5-10

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนของสารส้ม โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และ เฟอร์ริกคลอไรด์
2. เป็นแนวทางในการฟื้นฟูสภาพน้ำยาโบรอนให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา

##### 2.1.1 ไม้ยางพารา (ทรงกลดและคณะ, มปป)

ไม้ยางพาราเป็น ไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลม สูงปานกลาง เปลือกเทาสีดำ โครงสร้างภายในเมื่อมองทางด้านตัดจะเห็นท่อน้ำยาง (Latex vessel) ต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัส (Tangential) ลักษณะเนื้อไม้มีสีขาวนวล ความชื้นสูง ขณะที่ยังสดอยู่หลังการตัดฟันใหม่ๆ หลังจากแห้งแล้วนำไปไสผิวหน้าออกใหม่ๆ จะเป็นสีขาวแกมน้ำตาลอ่อนหรือแกมชมพู หลังจากทิ้งไว้ให้ถูกอากาศเป็นเวลานานๆ สีจะเข้มขึ้นอีกเล็กน้อย มีความถ่วงจำเพาะ 0.70 มีความชื้นในเนื้อไม้โดยเฉลี่ยร้อยละ 12 ลักษณะเนื้อไม้ส่วนที่เป็นกระพี้และแก่น ไม่แตกต่างกัน เนื้อไม้ค่อนข้างละเอียด มีเส้นเล็กน้อย มักจะพบว่ามือน้ำยาง (latex) ออกมาทางด้านหัวท้ายของไม้แปรรูป สมบัติของ ไม้ยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติไม้ยางพารา

	ความชื้น (%)	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็งแรง กก./ซม. <sup>2</sup>			ความชื้น ×100 กก./ซม. <sup>2</sup>	ความเหนียว การเคาะ	ความแข็ง กก.
			การตัด	การบีบ	การเชือด			
ไม้ยางพารา	12	0.70	973	478	162	960	2.86	538

ที่มา : ทรงกลดและคณะ (มปป)

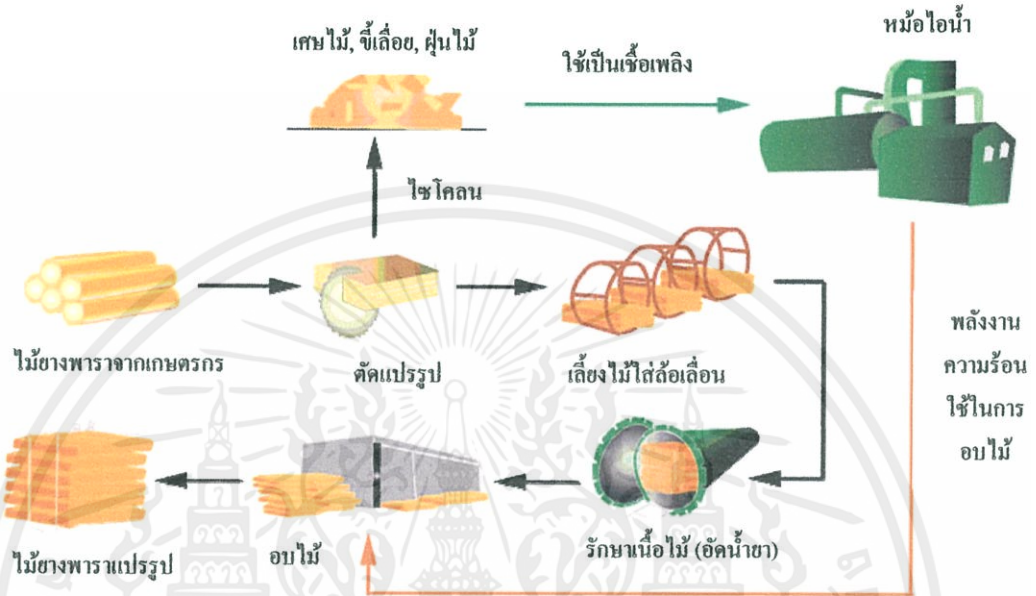
##### สมบัติทางเคมีของไม้ยางพารา (ปฐมาพร, 2549)

สมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราสาคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้งประกอบด้วย สารแทรก (Extractives) เซลลูโลส (Cellulose) เพนโตซาน (Pentosan) ลิกนิน (Lignin) และเถ้า (Ash) บางรายงาน พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราแตกต่างไปจากนี้ โดยเฉพาะสัดส่วนของสารแทรก ซึ่งเข้าใจว่าขึ้นอยู่กับพันธุ์ของยางพาราและวิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี สารแทรกแม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อยแต่จะมีบทบาทสำคัญคือ การมีปริมาณสารแทรกชนิดต่างๆอยู่ มากน้อยไม่เท่ากัน จะทำให้ไม้มีสีคล้ำหรือมีสีแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังทำให้มีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดราแตกต่างกันด้วย การมีปริมาณสารแทรกอยู่มากนั้นมีส่วนสำคัญที่ทำให้

ให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติและหลังจากแห้งแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกนำไปใช้งานในสภาวะอากาศที่มีความรุนแรง

## 2.1.2 ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา (ทรงกลดและคณะ, มปป)

กระบวนการผลิตแปรรูปไม้ยางพาราประกอบไปด้วยกระบวนการ ดังแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการการผลิตในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา (ที่มา:<http://www.diw.go.th>)

### ขั้นตอนที่ 1 การแปรรูปไม้ยางพารา

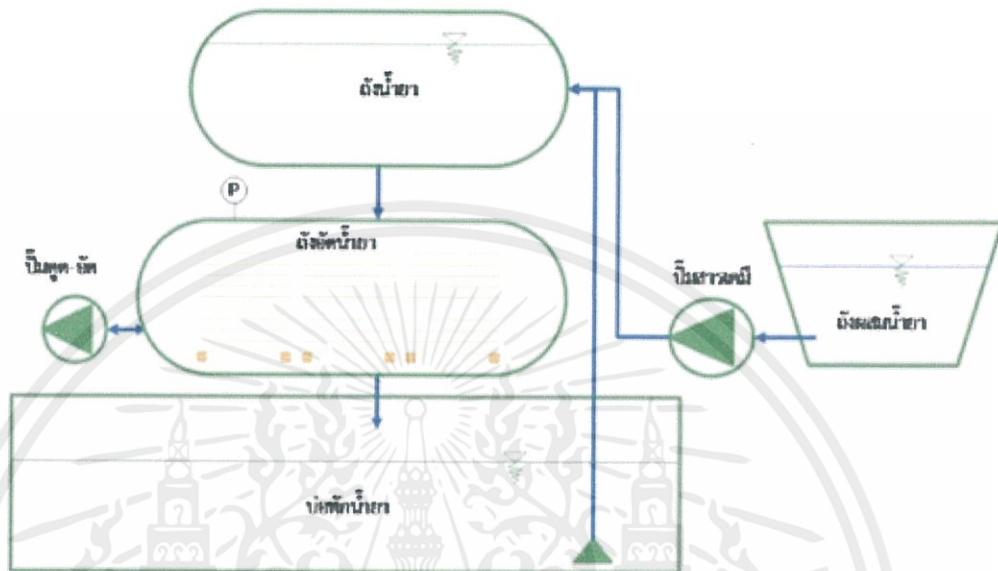
เริ่มจากการตัด โคนต้นยางพาราที่หมดอายุการให้น้ำยางแล้วตัดทอนให้เป็นท่อนสั้นๆ จากนั้นจึงขนส่งไปโรงเลื่อยเพื่อทำการซอยไม้ยางพาราให้ได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งไม้ยางพาราท่อนเมื่อตัดจากสวนถึงโรงงานแล้วจะต้องได้รับการแปรรูปภายใน 2 วัน ไม้จึงจะยังไม่เกิดเชื้อรา

### ขั้นตอนที่ 2 การรักษาเนื้อไม้

เมื่อตัดต้นแล้วสารต่างๆที่ประกอบกันอยู่ในลำต้นเป็นปัจจัยช่วยให้เกิดเชื้อราและแมลงประเภทมอดปลวกชอบเข้าทำลายท่อนไม้ ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์จึงต้องทำการรักษาเนื้อไม้ก่อน ซึ่งแต่ละวิธีจะมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันไปเล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ไม้อัดน้ำยาที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยมีวิธีการรักษาเนื้อไม้ดังนี้

**1. วิธีใช้แรงอัด** คือ การป้องกันรักษาเนื้อไม้โดยการ ใช้เครื่องจักรเพื่อทำให้เกิดแรงดันดันสารเคมีให้เข้าไปอยู่ในเนื้อไม้ เป็นวิธีที่นิยมและได้ผลดีที่สุดดำเนินการ โดยใช้ถังเหล็กอัดน้ำยาเคมีเข้าไปในไม้ยางพารา เป็นถังเหล็กกลมมีฝาปิดหัว-ท้ายสามารถรับแรงอัด ได้สูง มีท่อน้ำทั้ง

และท่อเติมสารเคมี มีเครื่องปั้มน้ำและเครื่องดูดสุญญากาศ (vacuum) มีรางเหล็กสำหรับนำไม้ที่เรียงลงในรถเข็นพิเศษเช่นเข้าไปในถังอัดน้ำยา ไม้จะเรียงให้สูงเป็นรูปโค้งตามถังมีลวดรัดไม้ให้ไม้ลื่นหล่นในระหว่างขบวนการอัดน้ำยา (คารุณีและคณะ, 2547) ดังรูปที่ 2.2

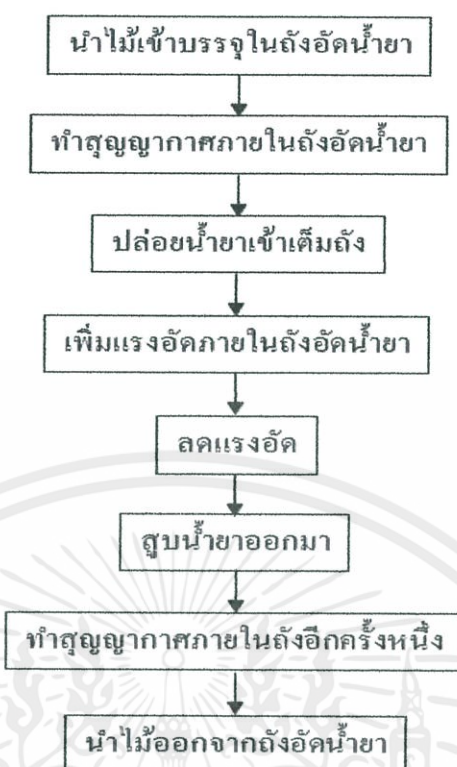


รูปที่ 2.2 กระบวนการรักษาเนื้อไม้โดยวิธีใช้แรงอัด

วิธีอัดน้ำยาแบบใช้แรงอัด แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ (รุ่งรัตน์, มปป)

1.1) การอัดน้ำยาแบบเต็มเซลล์ (Full Cell Process) เป็นการอัดน้ำยาโดยมีวัสดุประสক্তিให้น้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้เข้าไปอยู่เต็มในเซลล์และในช่องว่างระหว่างเซลล์ของไม้ น้ำยาที่ใช้ในการอัดไม้ วิธีนี้มีทั้งน้ำยาจำพวกสารเคมีที่ละลายในน้ำและสารเคมีที่ละลายในน้ำมัน ขั้นตอนในการอัดน้ำยาไม้แบบเต็มเซลล์แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนในการอัดน้ำยาไม้แบบเต็มเซลล์

1.2) การอัดน้ำยาแบบไม่เต็มเซลล์ (Empty Cell Process) เป็นการอัดน้ำยาโดยให้น้ำยาซึมเข้าไปอยู่ในผนังเซลล์ของไม้โดยไม่เข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์แบ่งออกเป็น 2 วิธีย่อยๆ คือวิธีรือปีง (Rueping) และวิธีของลอว์รี่ (Lowry) ขั้นตอนการอัดน้ำยา 2 วิธีย่อยนี้ คล้ายคลึงกับการอัดน้ำยาแบบเต็มเซลล์ แต่หลังจากที่นำไม้เข้าบรรจุในถังอัดน้ำยาแล้วจะไม่มีการทำสุญญากาศก่อนที่จะปล่อยน้ำยาเข้าถัง การอัดน้ำยาแบบไม่เต็มเซลล์นี้นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นหมอนรถไฟ เสื่อไฟฟ้า เสื่อโทรเลข หรือไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้ให้น้ำยาซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ลึก โดยไม่สิ้นเปลืองน้ำยามาก ไม้ที่นำมาอัดน้ำยาตามกรรมวิธีนี้ได้จะต้องเป็นไม้จำพวกที่อัดน้ำ

1.3) การอัดน้ำยาแบบสลับระดับความดัน (Oscillation and Alternating Pressure Process) เป็นการอัดน้ำยาโดยการเปลี่ยนระดับความดันภายในถังอัดน้ำยาให้สูงๆต่ำๆสลับกันหลายๆครั้ง เพื่อให้ น้ำยาถูกดันเข้าไปในเซลล์ของไม้ให้มากที่สุด เป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีกับไม้พวกที่อัดน้ำยาได้ยากสามารถใช้ได้กับทั้งไม้สดและไม้แห้งแล้ว

1.4) การอัดน้ำยาไม้โดยใช้ตัวทำละลาย (Cellon Process) เป็นสารที่หลังจากที่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวนำสารเคมีที่เป็นตัวยาป้องกันรักษาเนื้อไม้เข้าไปในเนื้อไม้แล้วจะไม่คงอยู่ในเนื้อไม้พร้อมกับตัวยาแต่จะระเหยออกมาจากไม้จนหมด ไม้ที่อัดน้ำยาเสร็จแล้วจะมีลักษณะเหมือนกับไม้ที่ไม่ได้อัดน้ำยาแต่จะมีความทนทานเพิ่มขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่าเดิม

2. **วิธีไม่ใช้แรงอัด** เป็นการนำน้ำยารักษาเนื้อไม้ทาพ่นบนผิวไม้หรือจุ่มและแช่ไม้ในน้ำยารักษาเนื้อไม้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์น้อยกว่าวิธีใช้แรงอัดและสามารถประยุกต์ใช้ได้ด้วยตนเอง ไม้ที่ใช้วิธีการรักษาเนื้อไม้วิธีนี้เป็นไม้ที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ชั่วคราวใช้งานในที่ร่มพบแมลงและมีโอกาสเกิดเชื้อราน้อย แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1) การทาและการพ่น (Brushing or Spraying) เป็นการใช้น้ำยารักษาเนื้อไม้ทาหรือพ่นลงเนื้อไม้ ซึ่งน้ำยาจะซึมเข้าไปในเนื้อไม้ไม่มาก ถ้าต้องการให้น้ำยาซึมเข้าเนื้อไม้มากต้องทำซ้ำหลายๆครั้ง วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทน้ำมันและน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำ นอกจากนี้การใช้วิธีนี้พื้นผิวของไม้ต้องแห้งเพียงพอเพื่อป้องกันการพองของน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทน้ำมัน

2.2) การแช่ (Steeping) ใช้ได้ทั้งไม้แห้งและไม้สดแต่ไม้สดต้องใช้เวลาานกว่าไม้แห้ง การแช่จะทำการแช่ไม้ในตู้เปิดเป็นระยะเวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ การแช่ไม้สดจะใช้แช่เฉพาะในน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำและน้ำยาที่ใช้จะต้องมีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำยาที่ใช้กับไม้ที่แห้งดีแล้ว ส่วนไม้แห้งจะใช้กับน้ำยาประเภทไหนก็ได้

2.3) การจุ่ม (Dipping) เป็นการนำไม้มาจุ่มน้ำยารักษาเนื้อไม้ในระยะเวลาชั่วขณะ ไม้ที่จะจุ่มต้องเป็น ไม้ที่แห้งดีแล้ว ซึ่งวิธีนี้ใช้สำหรับ ไม้ที่ใช้งานชั่วคราวหรือ ไม้ที่ใช้งานในร่มที่ต้องการทาสีหรือน้ำมันชักเงาทับอีกครั้งหนึ่ง

**ขั้นตอนที่ 3 การอบไม้อย่างพารา** เป็นทำให้ความชื้นหรือน้ำระเหยออกจากเนื้อไม้ที่สดหรือมีความชื้นมากเกินไป โดยเหลือปริมาณความชื้นอยู่ในเนื้อไม้ได้ส่วนสมดุลกับบรรยากาศที่อยู่โดยรอบ (บางรักษ์, 2547) การอบไม้อย่างพาราจะทำต่อเมื่อ ไม้ นั้น ได้ผ่านการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้มาแล้ว โดยทำการอบเพื่อกำจัดความชื้นออกจะทำให้เนื้อไม้แห้ง เนื่องจากไม้อย่างพารามีความชื้นสูงลักษณะการอบจะเป็นการอบแบบใช้ไอน้ำ มีการใช้พลังงานความร้อนสูงมากให้อุณหภูมิความร้อนเริ่มที่ 60 องศาไปเรื่อยๆจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ แต่จะไม่เกิน 90-95 องศา เมื่อผ่านการอบแล้วระดับความชื้นในเนื้อไม้โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 12% การอบไม้อย่างพาราให้แห้งเร็วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก นับเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการในกรรมวิธีการรักษาเนื้อไม้อย่างพารา ก่อนที่จะได้ไม้อย่างพาราแปรรูปเพื่อนำไปทำเครื่องเรือนหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ (ปฐมาพร, 2549)

## 2.2 น้ำยารักษาเนื้อไม้

น้ำยารักษาเนื้อไม้ คือ สารเคมีที่สามารถใช้ป้องกันรักษาเนื้อไม้ โดยอาจจะใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับสารชนิดอื่นๆ เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายของไม้ เนื่องจากน้ำยารักษาเนื้อไม้มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตและยังเป็นพิษต่อเชื้อรา เพรียง แมลง เมื่อไม้ผ่านการอบหรืออัดยารักษาเนื้อไม้แล้วจะสามารถยืดอายุการใช้งานของไม้ได้ระยะเวลายาวนานคงทนมากขึ้น คุณสมบัติที่สำคัญที่ตัวยาป้องกันรักษาเนื้อไม้จะต้องมีคือ (<http://www.baannatura.com> เข้าถึงเมื่อ 5/1/2557)

1. มีความเป็นพิษสูงต่อศัตรูทำลายไม้

2. มีความคงทนอยู่ในเนื้อไม้ นาน
3. มีความสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ ได้ดี
4. ไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายแก่เนื้อไม้
5. ไม่ทำให้โลหะเป็นสนิม
6. ปกป้องภัยหรือเป็นอันตรายน้อยที่สุดต่อผู้ฉีดน้ำยารักษาเนื้อไม้ และผู้นำไม้ไปใช้

ประโยชน์

### 2.2.1 ประเภทของน้ำยารักษาเนื้อไม้ (<http://www.baannatura.com>)

#### 1. น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทน้ำมัน (Tar - oil preservatives)

ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมัน การเผาถ่านหิน การผลิตปิโตรเลียม ซึ่งน้ำมันที่ได้มี ประสิทธิภาพในการทำลายศัตรูเนื้อไม้สูง ไม่ละลายน้ำ ไม่กัดกร่อนโลหะ ไม่ทำให้โลหะเกิดสนิม และติดอยู่ในเนื้อไม้ได้ดี ส่วนใหญ่ใช้ฉีดไม้ที่ใช้ประโยชน์กลางแจ้งและต้องการความคงทนสูง เช่น เสาไฟฟ้า หมอนรองรถไฟ เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการแตกของผิวไม้ได้ดีแต่มีความเป็น พิษสูงและไม้ที่ผ่านการอาบน้ำยาด้วยยาประเภทนี้จะทาสีไม่ติด จึงไม่นิยมนำมาใช้ฉีดไม้ที่จะนำมา ผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ภายในหรือที่อยู่อาศัย น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทน้ำมัน ได้แก่

1.1) Creosote เป็นน้ำมันผสมที่ได้จากผลผลิตพลอยได้ของกระบวนการผลิต

เชื้อเพลิงมีความเป็นพิษต่อแมลง เพรียง เชื้อราสูง

1.2) Solignum เป็นน้ำมันที่มีทั้งชนิดธรรมดาและชนิดที่มีการผสมสีลงไปด้วย

#### 2. น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำ (Water - Borne Preservatives)

หมายถึง ยารักษาเนื้อไม้ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายใช้อาบน้ำไม้ด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อช่วยรักษาเนื้อไม้ให้ทนทานต่อการถูกทำลายอันเนื่องมาจากแมลง เชื้อรา เพรียง และอื่นๆ ส่วนประกอบในน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทนี้จัดเป็นเกลือเคมีละลายในน้ำมีคุณสมบัติป้องกันเนื้อ ไม้จากเชื้อรา เพรียง แมลงได้ดี ไม้ที่ผ่านการอาบน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำจะ สามารถนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมสารเคมีเพื่อป้องกันไฟหรือทาสีทับลงไปได้ น้ำยา รักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำจำแนกออกตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

2.1) น้ำยารักษาเนื้อไม้ที่ใช้กับไม้ภายนอกอาคาร มีส่วนประกอบของเกลือโครเมต เพื่อเป็นตัวช่วยในการรักษาตัวชนิดอื่นๆ ให้เกาะอยู่กับเนื้อไม้ได้ดีขึ้น ไม่ถูกชะล้างได้ง่าย แบ่ง ออกเป็น

- Acid copper chromate (ACC)
- Ammoniacal copper arsenate (ACA)
- Chromated copper arsenate (CCA)
- Copper chrome boron (CCB)
- Fluor chrome arsenate phenol (FCAP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) น้ำยารักษาเนื้อไม้ที่ใช้กับไม้ภายในอาคารเป็นพวกสารประกอบโบรอนที่มีส่วนประกอบของกรดบอริกและเกลือบอแรกซ์โดยทั่วไปเรียกว่า น้ำยาโบรอนหรือน้ำยาอัครา นิยมใช้อัดไม้ยางพาราเพราะ ไม้ยางพาราสามารถดูดซับน้ำยาโบรอนได้ดี และยังใช้ได้กับไม้เนื้ออ่อนสำหรับผลิตเฟอร์นิเจอร์ภายใน ป้องกันเพียง มอดและเชื้อราในไม้ได้ดี ซึ่งไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยาแล้ว ไม้ไม่เปราะเปื้อนหรือสกปรกและเมื่อ ไม้แห้งสามารถทาสีทับ ได้นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเนื่องจากสามารถขนส่งในรูปแบบของแข็งหรือในรูปที่เข้มข้นและทำให้เจือจางลงได้ น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทนี้มีการนำไปใช้มากกว่ายารักษาเนื้อไม้ประเภทอื่นๆ เพราะมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ โดยการอัดน้ำยา โบรอนตามมาตรฐานอุตสาหกรรมจะให้มีความเข้มข้น 0.2 % BAE (Boric acid equivalent) ซึ่งวัดในรูปของสมมูลกรดบอริก (มอก. 515-2539) คือ การหาปริมาณสารประกอบโบรอนที่ปรากฏอยู่ในเนื้อ ไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดน้ำยาโดยวัดปริมาณกรดบอริก ส่วนข้อจำกัดของน้ำยาประเภทนี้คือ ไม้ที่ผ่านการทำให้แห้งมาแล้วจะต้องเปียกอีกครั้งจึงทำให้ไม้บวมพอง ดังนั้น ไม้เมื่ออบน้ำยาประเภทนี้แล้วจะต้องทำให้แห้งอีกครั้งเสียก่อนจึงจะนำมาใช้งานได้

### 3. น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในสารอื่น (Solvent Type Preservatives)

เป็นยารักษาเนื้อไม้ที่มีการผสมสารเคมีอื่นลงไปอีกหนึ่งสารหรือมากกว่านั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าแมลง ตัวยาไม่ถูกชะล้างโดยง่าย สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ดี และไม่มีส่วนประกอบของน้ำมาทำลายด้วยทำให้สามารถป้องกันการหดและพองตัวของไม้ได้ แต่มีราคาแพงและหลังการอบน้ำยาใหม่ๆตัวทำลายยังระเหยไม่หมดเนื้อ ไม้อาจจะติดไฟได้ง่าย น้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในสารอื่น ได้แก่

3.1) Tributyltinoxide ใช้ความเข้มข้น 1 % ผสมกับ Ligth petroleum คุณสมบัติของยารักษาเนื้อไม้ประเภทนี้จะเป็นพิษต่อเชื้อราสูง

3.2) Copper naphthenate และ Zinc naphthenate ใช้รักษาเนื้อ ไม้ เชือก และพวกเส้นใยผ้า

3.3) Synthetic pyrethroids เป็นสารสกัดจากพืช เป็นพิษต่อแมลงและมอด คงทนติดอยู่ในเนื้อไม้เป็นเวลานาน

#### 2.2.2 ผลกระทบจากน้ำยารักษาเนื้อไม้ (ปฐมพร, 2549)

น้ำยาที่ใช้ในการทดลองคือ Boron Compound (น้ำยาอัครา) เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้ประเภทละลายในน้ำ มีส่วนผสมของกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) และสารบอแรกซ์ ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) เมื่อใช้ซ้ำหลายครั้งในกระบวนการอัดน้ำยารักษาเนื้อ ไม้ อาจทำให้น้ำยามีสีที่เปลี่ยนไปโดยมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำส่งผลกระทบต่อสีของเนื้อ ไม้ไม่เป็นที่ต้องการของลูกค้า ทางโรงงานจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำยาใหม่และปล่อยทิ้งไปในสภาพน้ำเสีย โดยน้ำดังกล่าวเป็นน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโบรอนสูงซึ่งหากไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโบรอนลงสู่

ดินสู่แหล่งน้ำเป็นพิษต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ได้ผลกระทบจากสารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากน้ำยารักษาเนื้อไม้สารเคมีที่ปล่อยออกมามีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งจากน้ำยารักษาเนื้อไม้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

สัมผัส/ความผิดปกติ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย		
	จากโบรอน	จากกรดบอริก	จากสารบอร์แรกซ์
สัมผัสทางหายใจ	ระคายเคืองต่อเยื่อเมือกและมีอาการเนื่องจากพิษของโบรอน	คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เซื่องซึม ผิวหนังผื่นแดง ปวดศีรษะ ความดัน โลหิตต่ำ ไตได้รับอันตราย ผิวหนังสีเขียวคล้ำเนื่องจากขาดออกซิเจน หมดสติและตาย LD <sub>50</sub> : (0.5-2.0 mg/L)	ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ไอ คลื่นไส้ อาเจียน
สัมผัสทางผิวหนัง	ระคายเคืองเล็กน้อย ถ้าสัมผัสนานๆจะทำให้ผิวหนังอักเสบ	สัมผัสจะระคายเคืองเป็นแผลไหม้ การดูดซึมผ่านผิวหนังจะมีอาการเช่นเดียวกับการหายใจ LD <sub>50</sub> : (2000-5000 mg/kg)	ผิวหนังผื่นแดง ปวดแสบ ปวดร้อน LD <sub>50</sub> : (ในกระต่าย) มากกว่า 10,000 mg / kg ของน้ำหนักตัวความเป็นพิษเฉียบพลัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัส/ความ ผิดปกติ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย		
	จากโบรอน	จากกรดบอริก	จากสารบอร์เรกซ์
กินหรือกลืนเข้าไป	ระคายเคืองกระเพาะ ลำไส้และมีอาการพิษ ของโบรอน LD <sub>50</sub> : 2000 mg/kg	มีอาการเช่นเดียวกับ การหายใจ ผู้ใหญ่กิน สารเข้าไปมากกว่า 30 กรัมอาจจะทำให้ถึง ตายได้ LD <sub>50</sub> : (≤ 50 mg/kg)	คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง หัว ใจเต้นเร็วผิดปกติ ลำตัวเขียวคล้ำ เพื่อ คลั่ง ชัก หมดสติ LD <sub>50</sub> : (ในหนู) 4,500- 5,000 mg / kg ของน้ำหนักตัว, ผิว เป็นพิษเฉียบพลัน
สัมผัสถูกตา	ระคายเคืองตา	ระคายเคืองตาเป็นผื่น แดง ปวดตา	ระคายเคือง ตาแดง เจ็บตา
การก่อกวนเร่งความ ผิดปกติอื่นๆ	มีผลต่อระบบประสาท ส่วนกลาง พิษของ โบรอนจะทำให้กด การทำงานของหัวใจ อาเจียน ท้องร่วง หมด สติและอาการสาหัส	รับสารเป็นเวลานาน น้ำหนักลด อาเจียน ท้องร่วง ชักกระตุก อย่างรุนแรง โรค โลหิตจาง อาจทำลาย ตับ ไต อันตรายต่อ ทารกในครรภ์	ทารกได้รับสาร 5 กรัม ผู้ใหญ่ 5-20 กรัม อาจถึงเสียชีวิตได้ อันตรายต่อตา ทางเดินหายใจ ระบบ ประสาทส่วนกลาง ไต อัมตะ

ที่มา : ปฐมพร, 2549

### 2.3 การสร้างและการรวมตะกอนทางเคมี (Coagulation and Flocculation)

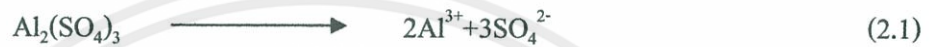
กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีเป็นการทำให้ตะกอนหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก (Colloid) รวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอน ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ (1) กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) และ (2) กระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

#### 2.3.1 โคแอกกูเลชัน (Coagulation)

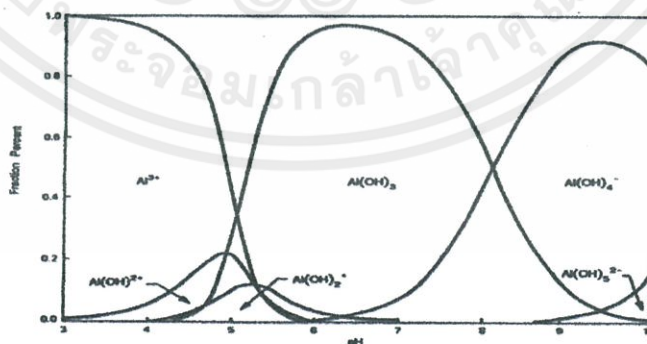
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน โคแอกกูเลชัน (Coagulation) เป็นกระบวนการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์  
ไม่ว่ากรณีใดหรือทำให้อนุภาคเป็นกลางโดยการเติมโคแอกกูแลนต์ หรือสารเคมีสร้างตะกอน (Coagulants)  
เนื่องจากคอลลอยด์มีขนาดเล็กมากอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  มม.จนถึง  $10^{-3}$  มม. ซึ่งไม่สามารถตกตะกอนได้

ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาจำกัด อีกทั้งอนุภาคมีประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่ ทำให้อนุภาคเหล่านั้น เมื่อมาพบกันก็จะผลัดกัน ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องใส่สารรวมตะกอนหรือโคแอกกูแลนต์ (Coagulants) เพื่อทำลายเสถียรภาพ ทำให้อนุภาคตะกอนสามารถสัมผัสกันและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น (ปฐมาพร, 2549) ชนิดของโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้มีดังนี้

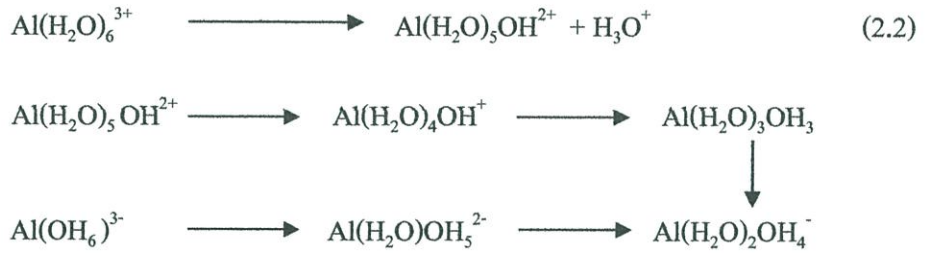
1. สารส้ม (Alum) หรือ อลูมิเนียมซัลเฟต มีสูตรทางเคมี  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  นิยมใช้มากในการบำบัดน้ำเสียและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ การเติมในขั้นแรกจะเติมปริมาณน้อยในน้ำ ซึ่งจะทำให้สารส้มแตกตัวให้อิออนบวกของอลูมิเนียม ดังสมการ (2.1)



ไอออนบวกของอลูมิเนียมนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างตะกอน (Coagulant) ไปทำลายประจุลบ โดยจะทำปฏิกิริยาสร้างพันธะกับอะตอมของออกซิเจน 6 โมเลกุล อยู่ในรูป  $Al(H_2O)_6^{3+}$  แต่เนื่องจากว่าพันธะที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงที่ต่ำส่งผลให้อะตอมของไฮโดรเจนมีแนวโน้มสูญเสียออกไปสู่น้ำด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยโมเลกุลของน้ำจะถูกแทนที่ด้วยไฮดรอกไซด์ ( $OH^-$ ) ทำให้ประจุบวกที่ล้อมรอบอะตอมของอลูมิเนียมค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนหมดและกลายเป็นประจุลบ ซึ่งผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิส  $Al^{3+}$  ถึง  $Al(OH)_3$  จากสารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Point of Zero Charge) ของ  $Al(OH)_3$  จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น  $Al(OH)_4^-$ ,  $Al(OH)_5^{2-}$  ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะสะเทินทางไฟฟ้าของ  $Al(OH)_3$  ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกเช่น  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al_7(OH)_{17}^{4+}$  และ  $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$  (พรศักดิ์, มปป) แสดงดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 2.4 ลักษณะโดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก

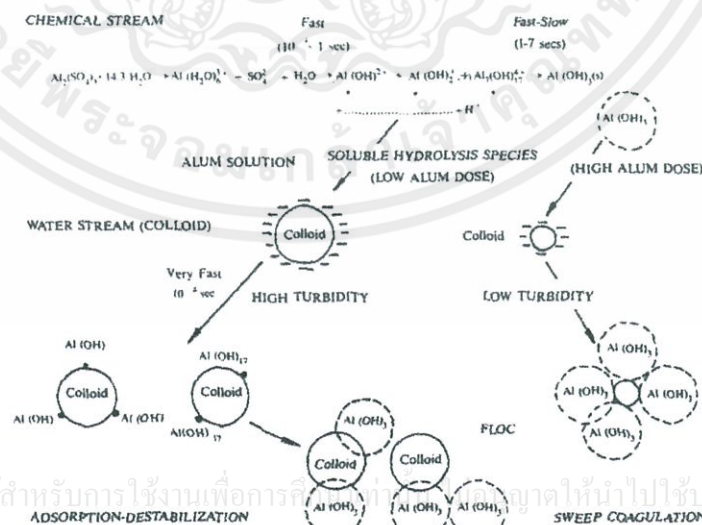


ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกริยาสุดท้ายเป็นตะกอนเบาของ Al(OH)<sub>3</sub> ดังแสดงในสมการ (2.3) ซึ่งจะเป็นที่เกาะของอนุภาคต่างๆ ทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอน (สันทัด, 2549)



ซึ่งสารส้มเมื่อเติมลงในน้ำจะเกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำและปริมาณ โคแอกกูแลนต์ ดังนี้

1. กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) กลไกนี้เกิดจากการที่สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มที่มีประจุบวก เข้าทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่มีประจุลบ ทำให้คอลลอยด์เกิดการรวมตัวกันมีขนาดใหญ่อขึ้นและสามารถตกตะกอน ดังรูปที่ 2.5 แต่กลไกนี้ควบคุมการเกิดได้ยาก เนื่องจากมีช่วงความเหมาะสมที่แคบ สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องเหมาะสม ถ้ามีปริมาณไม่เพียงพอกระบวนการเกิดโคแอกกูเลชันจะเกิดได้ไม่ดี แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคทำให้อนุภาคเปลี่ยนประจุกลายเป็นประจุบวก เกิดเสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้น ข้อดีของกลไกนี้คือ มีการใช้สารส้มในปริมาณน้อย



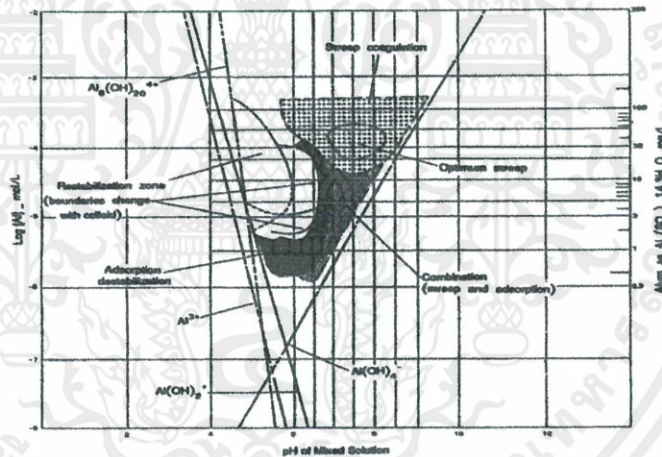
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 กลไกในการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (ที่มา: Rebhun and Lurie, 1993)

2. กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) กลไกนี้จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์เมื่อมีการเติมสารส้มในปริมาณที่มากเกินไป จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ผลึกของ  $Al(OH)_3$  ที่มีลักษณะเหนียวจะห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์และทำให้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์มีความเหนียว จึงทำให้อนุภาคคอลลอยด์จับกันได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้คอลลอยด์มีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนได้

3. กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) กลไกนี้เป็นการทำลายอนุภาคของเสถียรภาพคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบแรก คือ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและกลไกแบบที่สอง คือ กลไกแบบกวาดจะสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการใช้ปริมาณของสารส้มเพิ่มมากขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และจะใช้ปริมาณของสารสมน้อยกว่ากลไกแบบกวาด

เราสามารถควบคุมกระบวนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยใช้ไดอะแกรมคังรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นกระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้วยสารส้มของกลไกแต่ละแบบ

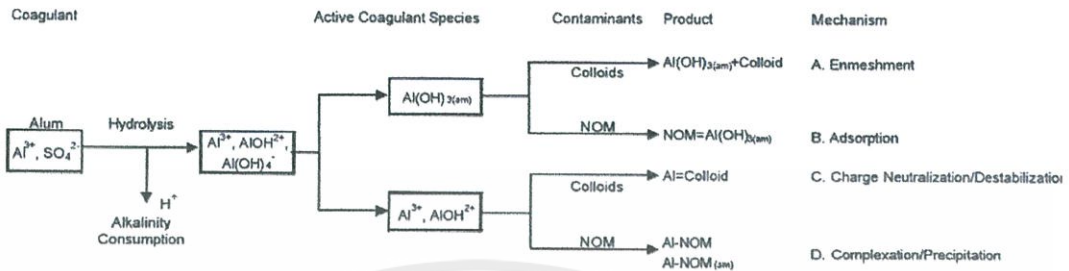


ภาพที่ 6 แผนภูมิที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม (Amirtharajah และ Mills, 1982)

รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharajah และ Mill, 1982 อ้างถึงในพรศักดิ์, มปป)

โดยลำดับของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีความสำคัญในการกำหนดโคแอกกูเลชันเป็นอันมาก อีออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกทั้งหลาย (ก่อนจะกลายเป็น  $Al(OH)_3$ ) เกิดขึ้นภายในเวลา  $10^{-4}$  - 1 วินาที ส่วนผลึก  $Al(OH)_3$  เกิดขึ้นภายใน 1 - 7 วินาที กลไกก็จะกลายเป็นแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าการดูดติดผิวไม่เกิดขึ้นภายใน 1 นาที ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก็จะดำเนิน

ต่อไปจนกระทั่ง Hydroxo Complex กลายเป็น  $\text{Al}(\text{OH})_3$  กลไกจะเป็นแบบ Sweep Coagulation โดยรูปที่ 2.5 และ 2.7 แสดงให้เห็นถึงกลไกการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (วัชรินทร์, 2548)



รูปที่ 2.7 กลไกการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (ที่มา: Simpson et al., 1998)

**2. สารส้มและปูนขาว (Aluminium and Lime)** การเติมสารส้มลงในน้ำ ทำให้สภาพต่างของน้ำลดลง ถ้าน้ำมีค่าสภาพต่างต่ำ การเติมสารส้มมากทำให้สภาพต่างจะถูกทำลายหมด และจะทำให้พีเอชของน้ำลดลงจนเป็นกรด ทำให้การใช้งานสารส้มส่วนใหญ่มักจะเติมพร้อมกับปูนขาว เพื่อให้สารส้มตกตะกอนและปูนขาวปรับค่าความเป็นกรดต่างให้กับน้ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ (2.4) จุดอ่อนที่สำคัญของการใช้ปูนขาว คือจะทำให้เกิดความกระด้างถาวร ( $\text{CaSO}_4$ ) ในน้ำ (เกรียงศักดิ์, 2539)



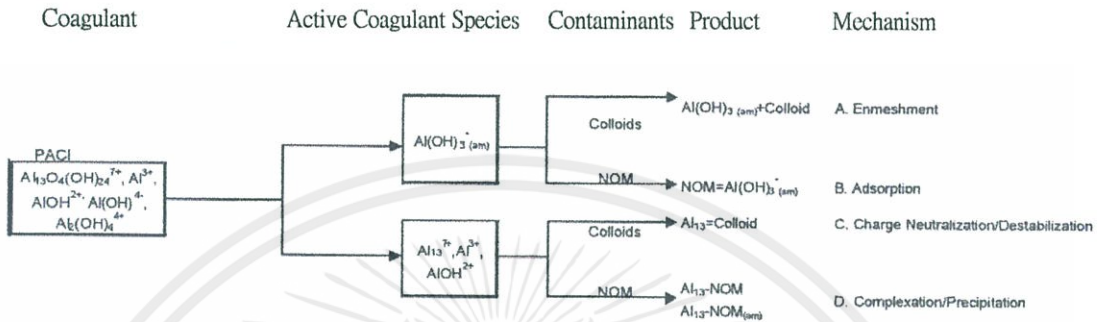
**3. สารส้มและโซดาแอช โซดาแอช ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )** เป็นสารอีกประเภทหนึ่งที่ใช้ร่วมกับสารส้ม เพื่อแก้ปัญหาค่าพีเอชของน้ำที่มีค่าความเป็นด่างต่ำ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ (2.5)



ข้อดีของการใช้โซดาแอชเทียบกับปูนขาวคือ ไม่ทำให้เกิดความกระด้างเพิ่มขึ้น แต่ข้อจำกัดของโซดาแอช คือมีราคาแพงกว่าปูนขาว (เกรียงศักดิ์, 2539)

**4. พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum Chloride, PACl)** เป็นเกลืออลูมิเนียมที่มีสูตรทางเคมี คือ  $(\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n-m})$  ซึ่งเป็นสารประเภท โพลินินทรีย์ เกิดจากการรวมตัวโดยนิเวเคลียสหลายตัว (โมเลกุลใหญ่) มีความเป็นมีค่าความเป็นด่างหรือเบสิกซีดีสูง (เบสิกซีดี หมายถึง ค่าเฉลี่ยของไฮดรอกไซด์ไอออนต่ออะลูมิเนียม) ซึ่งทั่วไปในทางการค้า %Basicity ของ PACl จะมีค่าตั้งแต่ 15 จนถึง 85 (วัชรินทร์, 2548) และมีประจุไฟฟ้าบวก มีคุณสมบัติจับตัวสูงและมีเสถียรภาพมาก โดย PACl จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยการดูดซับและทำลายประจุไฟฟ้า (Adsorption / Charge Neutralization) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมากขึ้น กลไกหลักคือการ

โคแอกกูเลชันแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก (Sweep Coagulation) ผลึกสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นและอนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพจนตกตะกอนได้ (ฉวีวัฒน์, 2546) ซึ่งกลไกการโคแอกกูเลชันด้วย PACI ก็จะคล้ายกับกลไกของสารส้ม โดยกลไกการโคแอกกูเลชันของพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 2.8



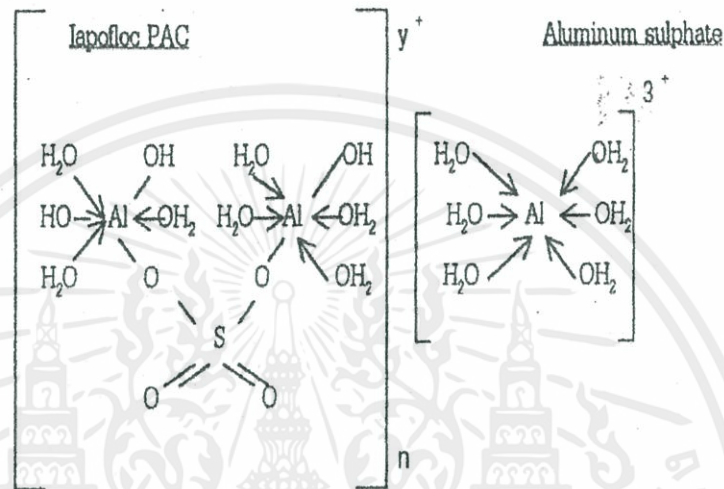
รูปที่ 2.8 กลไกในการตกตะกอนด้วย PACI (Simpson et al., 1998)

PACI เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้มากกว่าสารส้ม เนื่องจาก

- ใช้ได้กับน้ำในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5.5 หรือพีเอชมากกว่า 7
- ทำให้เกิดการรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็วและมีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม
- เมื่อใช้ PACI เป็นสารสร้างตะกอน จะไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulat aid) เลย
- ภายหลังการบำบัดแล้วน้ำที่ได้จะมีค่าพีเอชไม่ต่ำมากเหมือนกับการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน
- การนำ PACI มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นไม่ทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ รวมทั้งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงจุดที่จะใส่สารสร้างตะกอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำเลย น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะมีความขุ่นอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ head loss ของระบบการกรองอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม
- ทำให้มีอลูมิเนียมตกค้างในน้ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้วพบว่า PACI จะทำให้อลูมิเนียมตกค้างในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก PACI ในปริมาณที่น้อยกว่านั่นเอง ใช้ได้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้
- ทำให้มีปริมาตรของ Sludge ในปริมาณมากกว่าการใช้สารส้ม แต่เมื่อคิดในน้ำหนักแห้ง (Dry weight) แล้วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าการใช้สารส้มและสามารถนำมาใช้กับน้ำที่มีความเป็นด่างต่ำและความขุ่นสูงได้ อีกทั้งยังใช้ PACI ในปริมาณที่น้อยกว่าสารส้ม

- ที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำๆถึงปานกลางพบว่า PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่ดีกว่าสารส้ม (โดยเฉพาะที่พีเอชน้อยกว่า 5 หรือมากกว่า 7)

- แม้ว่า PACl จะมีประสิทธิภาพในการเป็นสารสร้างตะกอน แต่ก็ยังมีราคาแพงกว่าสารส้มถึง 2.5 - 3 เท่า แม้ว่าจะช่วยประหยัดในเรื่องของการปรับพีเอชและ โพลีเมอร์ที่จะต้องเติมลงไปก็ตาม



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของ lapofloc PACl (Hundt และ O'Melia, 1988 ; Viraraghavan และ Wimmer, 1988)

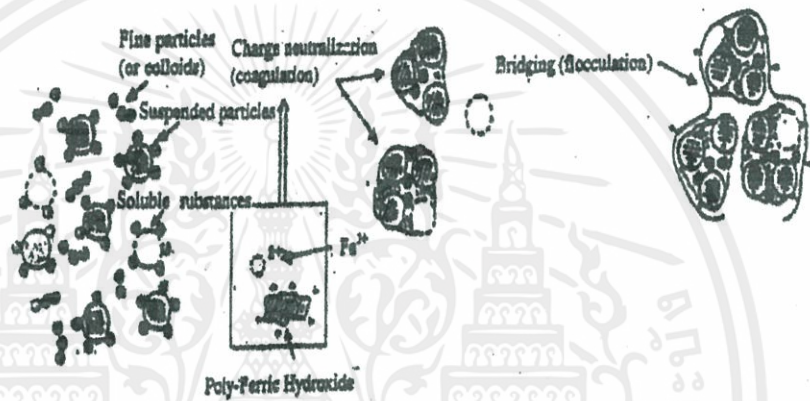
5.เฟอร์ริกคลอไรด์ (*Ferric chloride*) มีสูตรทางเคมีว่า  $(FeCl_3 \cdot 6H_2O)$  ซึ่งมีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือเหลือง เป็นเม็คสีเขียวหรือดำ และมีรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลืองเมื่อเติมน้ำคิบในรูปของสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ ซึ่งปกติแล้วจะละลายน้ำได้ดี โดยรูปแบบของสารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในน้ำตะกอน เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนรูปเป็นตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังนี้



ข้อดีของของสารเคมีชนิดนี้ คือ ใช้ในการสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้มได้ดีกว่าสารส้ม นอกจากนี้สามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี  $H_2S$  ได้ดี เฟอร์ริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ทั้ง 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 Coagulation เฟอริกคลอไรด์นี้จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆทั้งที่แขวนลอยและละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นกลาง โดยการดูดซับประจุ และทำปฏิกิริยากับประจุบนผิวของอนุภาคนั้นๆ ซึ่งเป็นผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลง และอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดเป็นตะกอนเล็กๆขนาดระหว่าง  $10^9 - 10^7$  ม.

ขั้นตอนที่ 2 Flocculation เฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนเล็กๆซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 1 ให้เป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดมากกว่า  $10^7$  ม. ซึ่งถือว่าเป็นขนาดของตะกอนที่ใหญ่และหยาบทำให้ง่ายต่อขบวนการแยกตะกอนออกจากน้ำในขบวนการต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถสร้างโคแอกกูเลชันกับน้ำที่มี  $H_2S$  ได้ดี



รูปที่ 2.10 กระบวนการ Coagulation และ Flocculation ของ  $FeCl_3$  (มันลิน, 2537)

### 2.3.2 ฟลอคคูเลชัน (Flocculation)

ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ทั้งหมดเสถียรภาพมากระทบกันแล้วเกิดการเกาะติดระหว่างกันจนเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเรียกว่าฟลอค (floc) กระบวนการเกิดฟลอคคูเลชันมีหลายวิธี ดังนี้ (มันลิน, 2538)

1. ออร์โธไคเนติก ฟลอคคูเลชัน (Orthokinetic Flocculation) เป็นวิธีที่เหมาะสมกับอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 - 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัมผัสหรือฟลอคคูเลชันเรียกว่า ถังกวนช้า โดยจะทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไป - มาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสกัน กวนน้ำโดยใช้อัตราเร็วในการไหลที่ต่างกัน ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกันจึงเกิดการสัมผัสกันและการกวนน้ำไม่ควรเร็วมากเนื่องจากอาจจะทำให้ฟลอคหลุดออกจากกัน

2. เพอริไคเนติก ฟลอคคูเลชัน (Perikinetic Flocculation) เป็นการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์โดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) การเคลื่อนที่แบบนี้เป็นที่รู้จักกันดีว่าเคลื่อนที่แบบความร้อน (Thermal Motion) โดยการเคลื่อนที่โมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับ

อุณหภูมิจนเนื่องจากกระบวนการเป็นการที่อนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือชน โดยโมเลกุลของน้ำ

3. การสัมผัสระหว่างอนุภาคที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอน โดยอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของตะกอนไปพร้อมกับการตกตะกอน ในทางปฏิบัติจากขนาดของอนุภาคนี้ถือว่าได้ผ่านการเกิดฟล็อกกูเลชันมาก่อนแล้วเมื่อถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกกูเลชันอีกครั้ง ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้ทันที

4. กรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 - 1 ไมครอนแต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นที่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร กระบวนการรวมตะกอนอาจเกิดขึ้นโดยวิธีออร์โธไคเนติก ฟล็อกกูเลชัน (Orthokinetic Flocculation) แต่เกิดขึ้นช้าเนื่องจากสัมผัสกันน้อย มีวิธีการแก้ไขดังนี้

4.1) ใช้เครื่องกรองทรายแบบกรองเร็วหรือเครื่องกรองทรายแบบ 2 ชั้นหรือเรียกว่าการกรองสัมผัส (Contact Filtration) วิธีนี้ใช้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นการใช้ถังในการช่วยสร้างฟล็อกกูเลชัน เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการสัมผัสและเกิดการบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าใกล้ชิดกัน ในบางครั้งอาจมีการนำกรวดทรายขนาดเล็กมาใช้แทนทรายเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาตรของช่องว่างได้แต่ข้อเสียของการใช้กรวดทรายจะลดพื้นที่ผิวสัมผัสลงซึ่งส่งผลต่อฟล็อกกูเลชันออกมาได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ชั้นทราย

4.2) ใช้อนุภาคที่รวมตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) บังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ และนำฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคคอลลอยด์ สร้างสัมผัสแบบออร์โธไคเนติก ฟล็อกกูเลชัน

5. กรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การรวมตะกอนอาจใช้วิธีการกรองแต่สารที่ใช้กรองควรมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าทราย

### 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและการรวมตะกอน

ทวิศศักดิ์ (2554) ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและรวมตะกอน ไว้ดังนี้

1. **ค่าพีเอช** ในน้ำแต่ละประเภทมีระดับพีเอชที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำชนิดนั้น อาจจะมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ รวมไปถึงน้ำที่ผ่านสภาพการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น น้ำทิ้งอุตสาหกรรม น้ำเสียชุมชน เป็นต้น การเลือกสารรวมตะกอนที่มีความเหมาะสมกับพีเอชของน้ำชนิดนั้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการ โคแอกกูเลชัน ในบางกรณีก่อนเข้าสู่การทำโคแอกกูเลชันอาจต้องปรับพีเอชของน้ำให้เหมาะสมกับสารรวมตะกอนก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวง วิชาสำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มีอนุญาตเห็นว่าเป็นลิขสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ชนิดของคอลลอยด์** คอลลอยด์สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ คอลลอยด์ชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีประจุลบเป็นพวกอนุภาคของดินเหนียว เป็นต้น และคอลลอยด์ชนิดที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เป็นพวก โปรตีน สบู่ สารอินทรีย์ คอลลอยด์ชนิดที่ไม่ชอบน้ำจะถูกกำจัดออกจากน้ำได้ดีกว่าคอลลอยด์ชนิดที่ชอบน้ำ เนื่องจากคอลลอยด์แบบหลังจะมีน้ำล้อมรอบอยู่ จึงยากที่สารอื่นจะเข้าไปจับกับอนุภาคของคอลลอยด์ได้โดยตรง

3. **อุณหภูมิ** เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความหนืดของอนุภาคของคอลลอยด์จะลดต่ำลง ทำให้เกิดการรวมตะกอนได้ดีในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงความหนืดของอนุภาคคอลลอยด์จะสูงขึ้น ทำให้เกิดการรวมตะกอนได้ยาก และมีผลต่อการช่วงพีเอชที่เหมาะสม โดยผลของประสิทธิภาพการรวมตะกอนจะลดต่ำลง

4. **เวลาและความเร็วรอบในการปั่นกวน** ในการปั่นกวนนั้นจะต้องมีขีดจำกัดของพลังงานในการปั่นกวนที่เหมาะสมทั้งการกวนเร็วและการกวนช้า เนื่องจากถ้าเวลาและความเร็วรอบการปั่นกวนมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ในขั้นตอนการกวนเร็ว หรือฟล็อกอาจแตกได้ในขั้นตอนการกวนช้า

5. **ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ** การเกิดปฏิกิริยาในการสร้างตะกอน น้ำตัวอย่างควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อเพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยา ถ้าน้ำตัวอย่างมีสภาพด่างไม่เพียงพอ อาจจะต้องเติมสารเพื่อปรับสภาพของน้ำให้เป็นด่างก่อนทำการทดลอง

6. **ปริมาณความเข้มข้น** การวัดปริมาณของสารที่กำหนดซึ่งผสมอยู่ในสารอีกชนิดหนึ่ง ใช้วัดสารผสมทางเคมีชนิดต่าง ๆ ซึ่งการที่จะทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของตัวถูกละลายมากขึ้น หรือการลดตัวทำละลายลง ในทางตรงข้ามการที่จะทำให้สารละลายเจือจางลง ก็จะต้องเพิ่มตัวทำละลายขึ้น หรือลดตัวถูกละลายลง ซึ่งจะทำให้รู้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารตัวนั้นๆ

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ปนัดดา (2535)** ศึกษาการกำจัดสีที่เกิดจากกรดฮิวมิกในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีสี 25, 50 และ 75 Pt-Co unit โดยกระบวนการสร้าง - รวมตะกอนด้วย สารส้ม, สารส้มร่วมกับปูนขาว, สารส้มร่วมกับ  $\text{CaCl}_2$  และสารส้มร่วมกับ PE เป็น โคแอกกูแลนต์ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำตัวอย่าง พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำตัวอย่างทั้ง 3 ประเภทคือ พีเอช 7.5 สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีสี 25 Pt-Co unit ต้องใช้สารส้ม 45 mg/L ร่วมกับ  $\text{CaCl}_2$  20 mg/L ให้ประสิทธิภาพ 96.55 % ค่าใช้จ่าย 1.62 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำดิบ น้ำตัวอย่างที่มีสี 50 Pt-Co unit ต้องใช้สารส้ม 60 mg/L ร่วมกับ  $\text{CaCl}_2$  20 mg/L ให้ประสิทธิภาพ 96.00 % ค่าใช้จ่าย 1.70 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำดิบ ส่วนน้ำตัวอย่างที่มีสี 75 Pt-Co unit ต้องใช้สารส้ม 65 mg/L ร่วมกับ  $\text{CaCl}_2$  25 mg/L ให้ประสิทธิภาพ 98.57 % ค่าใช้จ่าย 1.74 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำดิบ เมื่อนำ

สภาวะที่เหมาะสมมาใช้กับน้ำบึงสำนักรใหญ่ อ.แกลง จ.ระยอง และน้ำบึงหล่ม อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี 85.71 – 95.59 % ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากเดิมใช้สารส้มอย่างเดียวไม่เกิน 0.45 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำดิบ

**วัชรินทร์ (2548)** ศึกษาเรื่องการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยการสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพ กรณีศึกษาระบบผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าวังน้อย, กฟผ.จากการทำ Jar test พบว่าการใช้สารช่วยตกตะกอน (Anionic polymer) ทำให้ปริมาณสารตกตะกอน (สารส้ม หรือ PACI) ในกระบวนการ Coagulation ลดลง และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนเพื่อกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) เมื่อใช้สารส้มและ PACI คือ สารส้มเข้มข้น 120 ppm ร่วมกับ Anionic Polymer เข้มข้น 0.6 ppm (pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 5.0 – 6.0) และ PACI เข้มข้น 20 ppm ร่วมกับ Anionic Polymer เข้มข้น 0.6 ppm (pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ 6.0 – 7.0) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมจากการทำ Jar Test มาทำการทดลองใช้จริงกับระบบผลิตน้ำใส (Solid Contact Unit, SCU) ของโรงไฟฟ้าวังน้อย โดยใช้สารส้มเข้มข้น 120 ppm ร่วมกับ Anionic Polymer เข้มข้น 0.6 ppm ที่ระบบผลิตน้ำใสหน่วยที่ 1 (SCU 1) และใช้ PACI เข้มข้น 20 ppm ร่วมกับ Anionic Polymer เข้มข้น 0.6 ppm ที่ระบบผลิตน้ำใสหน่วยที่ 3 (SCU 3) จากการทดสอบเป็นเวลาประมาณ 20 วันพบว่าน้ำใสที่ได้จากการใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) น้อยกว่าน้ำใสที่ได้จากการใช้ PACI เป็นสารตกตะกอน (3.34 ppm เทียบกับ 3.58 ppm ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำใสที่ได้จากการใช้ PACI เป็นสารตกตะกอนมี Turbidity น้อยกว่าน้ำใสที่ได้จากการ ซึ่งใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน (95.8 % removal เทียบกับ 95.02 % removal)

**สุรวุฒิ (2551)** ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยแมกนีไทด์กับน้ำเสียชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำเสียที่มีความขุ่น 30 และ 100 NTU น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 500 มก./ล. น้ำเสียโลหะหนักที่มีความเข้มข้นของโครเมียมและอาร์เซนิก 50 มก./ล. โดยทำการศึกษาหาพีเอช ปริมาณแมกนีไทด์ และความเร็วรอบการกวนเร็วที่เหมาะสม จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ไปใช้เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนผสมของความขุ่น แอมโมเนียและโลหะหนัก จากการศึกษพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดความขุ่นของน้ำเสีย คือ พีเอช 3 ปริมาณแมกนีไทด์ 2 ก./ล. ความเร็วรอบการกวนเร็ว 100 รอบ/นาที สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 500 มก./ล. คือ พีเอช 7 ปริมาณแมกนีไทด์ 2 ก./ล.และความเร็วรอบในการกวนเร็ว 150 รอบ/นาที สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นน้ำของโครเมียมและอาร์เซนิก 50 มก./ล. คือ พีเอช 3 ปริมาณแมกนีไทด์ 2.5 ก./ล. และความเร็วรอบในการกวนเร็ว 150 รอบ/นาที เมื่อทดลองกับน้ำเสียผสม พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นเท่ากับ 83 % ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 17.46 % ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมเท่ากับ 29.76 % และประสิทธิภาพการบำบัดอาร์เซนิกเท่ากับ 14.42 % เมื่อนำมาใช้กับน้ำเสียจริง พบว่า

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นเท่ากับ 77.27 % ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียเท่ากับ 31.03 % ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมเท่ากับ 41.67 % และประสิทธิภาพการบำบัดอาร์เซนิกเท่ากับ 37.90 % และความเร็วในการตกตะกอนเริ่มต้นของแมกนีไทต์ เท่ากับ 3 ซม./วินาที (10.8 ม./ช.ม.)

**กฤษฎา (2553)** ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน เพื่อให้บำบัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเลือกแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีนมาเป็นกรณีศึกษา ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของโคแอกกูแลนต์ (Alum, PACI และ  $FeCl_3$ ) พีเอชตั้งต้น (initial pH) และปริมาณสารช่วยรวมตะกอนจำพวก Anionic polymer ผลการศึกษาพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนต์ทั้ง 3 ชนิดในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำแม่กลองคือ 40.0, 40.0 และ 80.0 mg/l ตามลำดับ ส่วนของแม่น้ำท่าจีน คือ 60.0, 40.0 และ 80.0 mg/l ตามลำดับ pH ตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์ในแม่น้ำแม่กลองโดยใช้ Alum, PACI และ  $FeCl_3$  คือ pH 7.0, 6.5 และ 8.0 ตามลำดับ ส่วนแม่น้ำท่าจีน คือ pH 6.0, 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ การเติม Anionic polymer ในปริมาณมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นสูงขึ้น ปริมาณ Anionic polymer ที่เหมาะสมสำหรับการรวมตะกอนในแม่น้ำแม่กลองโดยใช้ Alum, PACI และ  $FeCl_3$  คือ 0.2, 0.2 และ 0.3 mg/l ตามลำดับ ส่วนแม่น้ำท่าจีน คือ 0.1, 0.1 และ 0.3 mg/l ตามลำดับ

**ปิยวรรณ และสุเทพ (2553)** ศึกษาเรื่องการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยโพลิลูมิเนียมคลอไรด์และโคโคซาน พบว่า PACI, โคโคซาน และ PACI ร่วมกับโคโคซาน ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 90.87, 83.86 และ 92.98 % ลดค่า COD ลง 83.04, 23.44 และ 49.68 % ตามลำดับ เห็นได้ว่า PACI ร่วมกับโคโคซานให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PACI และโคโคซานตามลำดับ ส่วน PACI ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ PACI ร่วมกับโคโคซาน และโคโคซานตามลำดับ หากพิจารณาในเรื่องคุณภาพตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่าการใช้โคโคซานจะทำให้เกิดการตกตะกอนเร็วที่สุดและมีปริมาณตะกอนน้อยสุดด้วย รองลงมาคือ PACI ร่วมกับโคโคซาน และ PACI ตามลำดับ ส่วนความขุ่นที่เกิดขึ้นจะน้อยโดยมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 3.23, 3.83 และ 2.67 NTU ตามลำดับ เมื่อวัด pH หลังตกตะกอนจะมีค่าใกล้เคียงความเป็นกลางมาก คือ 7.09, 6.88 และ 6.79 ตามลำดับ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับ pH อีก หากพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมจะเห็นว่า การใช้ PACI ร่วมกับโคโคซาน ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูงมาก และยังกำจัดสารอินทรีย์ได้ไม่มากนัก จึงไม่เหมาะที่จะใช้บำบัดน้ำเสียในครั้งเดียว ควรมีการใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย

**จรรยาและคณะ (2554)** ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำยาโบราณด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน เพื่อนำน้ำยาโบราณกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้พอลิลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) 2.0 g/L เป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับการใช้ Anionic polymer 4 mg/L และ Cationic polymer 4 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่พีเอช 8 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 70 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที และกรองด้วยระบบกรองทราย วางน้ำตัวอย่างให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำตัวอย่างมาวัดค่าด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer จากการศึกษาพบว่า ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด 96 การดำเนินการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีประมาณ 56 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

**ปริณดาและคณะ (2556)** ทำการศึกษาการบำบัดน้ำยาโบรอนด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน เพื่อนำน้ำยาโบรอนกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอัดเนื้อไม้ยางพารา โดยใช้สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้มเป็น โคแอกกูแลนต์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารส้ม ค่าพีเอชของน้ำยาโบรอน และความเร็วรอบในการปั่นกวนเร็ว พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำยาโบรอนของสารส้มชนิด AR grade และชนิด Commercial grade คือ ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 8 กวนเร็วที่ 150 รอบต่อนาที คิดเป็นค่าความเร็วแรงแคเคียนท์ในการกวนเร็วคือ 308 วินาที<sup>1</sup> นาน 3 นาที กวนช้าที่ 60 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 79.4%, 95.1%, 61.9% และ 88.3%, 95.3%, 60.3%, ตามลำดับ น้ำยาที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของกรดบอริกเท่ากับ 4.68 และ 4.82 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีพีเอชเท่ากับ 4.65 และ 5.78 สำหรับการใส่สารส้มชนิด AR grade และ Commercial grade เป็น โคแอกกูแลนต์ ตามลำดับ

**Hamidreza & Parvin, (2012)** ศึกษาการบำบัดน้ำเสียของโรงงานปิโตรเลียม โดยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้วย PACl และ FeCl<sub>3</sub> แปรค่าความเข้มข้น 10, 20 และ 30 mg/L แปรค่าพีเอช 5.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 จากการศึกษาพบว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ FeCl<sub>3</sub> 10 mg/L ที่ pH 7.5 มีประสิทธิภาพการกำจัดสี, COD, TSS คือ 78%, 44% และ 71% ตามลำดับ เมื่อใช้ PACl ที่สถานะเช่นเดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสี, COD, TSS คือ 88%, 48% และ 78% ตามลำดับ

**Herzog, A. (2007)** ศึกษาการกำจัดสีด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน การศึกษาครั้งนี้ใช้สารส้มเป็น โคแอกกูแลนต์ น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามาจากแม่น้ำ Red Cedar ก่อนจะนำมาผลิตเป็นน้ำดื่ม ศึกษาโดยใช้เครื่องจาร์เทสทำการกวนผสม 160 รอบ/นาที 1 นาที ปั่นกวนเร็ว 70 รอบ/นาที 15 นาที ปั่นกวนช้า 30 รอบ/นาที 35 นาที และปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ปริมาณสารส้ม 10-220 mg/L และแปรค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4 - 9.5 จากการศึกษาพบสถานะที่เหมาะสม สรุปได้ดังนี้ คือ ปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม คือ 140 mg/L ที่พีเอช 6 มีประสิทธิภาพการกำจัดสี 72% เมื่อเพิ่มปริมาณ สารส้มและพีเอชที่มากกว่าสถานะที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้นิติกรรมสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Yilmaz, (2013)** ศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อการกำจัด โบรอนใน สารละลาย โดย กระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีด้วย PACI ใช้น้ำตัวอย่าง 1,000 ml ที่มีความเข้มข้นของ โบรอนเท่ากับ 500 mg/L ปรับพีเอชเริ่มต้นตั้งแต่ 7-12 แปรค่าความเข้มข้น PACI คือ 0.1, 0.25, 0.5 และ 1 g/L จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่สามารถกำจัด โบรอน ได้ดีที่สุดคือที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 10 ปริมาณ PACI 1 g/L ทำให้มีปริมาณ โบรอนคงเหลืออยู่น้อยที่สุดซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดกำจัด โบรอนคือ 80%

**Zhonglian, (2010)** ศึกษากระบวนการสร้างตะกอนด้วยสารส้มและ โพลีอลูมิเนียม คลอไรด์ (PACI) ในการบำบัดน้ำจากแม่น้ำเหลือง (Yellow River) ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือปริมาณ โคลแอกกูแลนต์ของสารส้มและ PACI แปรค่า ดังนี้ 7, 9, 11, 13, 15 and 17 mg/L และพีเอชระหว่าง 4 - 9 จากการศึกษาพบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ PACI และ สารส้มคือ 15 mg/L ที่พีเอช 6 ทำให้มี ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 85.7 และ 85.0%, ประสิทธิภาพการกำจัด  $UV_{254}$  55% และ 52% และประสิทธิภาพการกำจัด DOC (Dissolved organic carbon) 45 และ 38% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์

- 1) บริภัณฑ์เครื่องแก้ว
- 2) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ชีท้อ Sartorius ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) เตาให้ความร้อน (Hot plate) บริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ
- 4) พีเอชมิเตอร์ (pH meter) บริษัท Metrohm รุ่น 827 pH Lab ประเทศสวีเดน
- 5) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (TOC analyzer) รุ่น TOC-VCPH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- 6) เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น T60 บริษัท TG Instrument ประเทศอังกฤษ
- 7) เครื่องวัดค่าความขุ่น (Turbidity meter) ชีท้อ HACH รุ่น 2100p ประเทศเยอรมนี
- 8) เครื่องจาร์เทสต์ (Jar test) รุ่น JLT6 บริษัท VELP ประเทศอิตาลี

##### 3.1.2 สารเคมี

- 1) โปแทสเซียมไฮโดรเจนพลาเลต ( $C_6H_4(OOHCOK)$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 2) โปแทสเซียมคลอโรเพลตตินेट ( $K_2PtCl_6$ ) บริษัท อิตัลมาร์ จำกัด
- 3) โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $NaHCO_3$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) กรดไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 6) ดีแมนิทอล ( $C_6H_{14}O_6$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 7) โซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 8) อลูมิเนียมซัลเฟต  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  (สารส้ม) ที่มีจำหน่ายทั่วไป
- 9) โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) เกรคทางการค้า บริษัท เอเพกซ์ เคมิคัล จำกัด
- 10) เฟอริกคลอไรด์ ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) เกรคทางการค้า บริษัท เอเพกซ์ เคมิคัล จำกัด
- 11) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 น้ำยาโบรอนที่ใช้ในการทดลอง

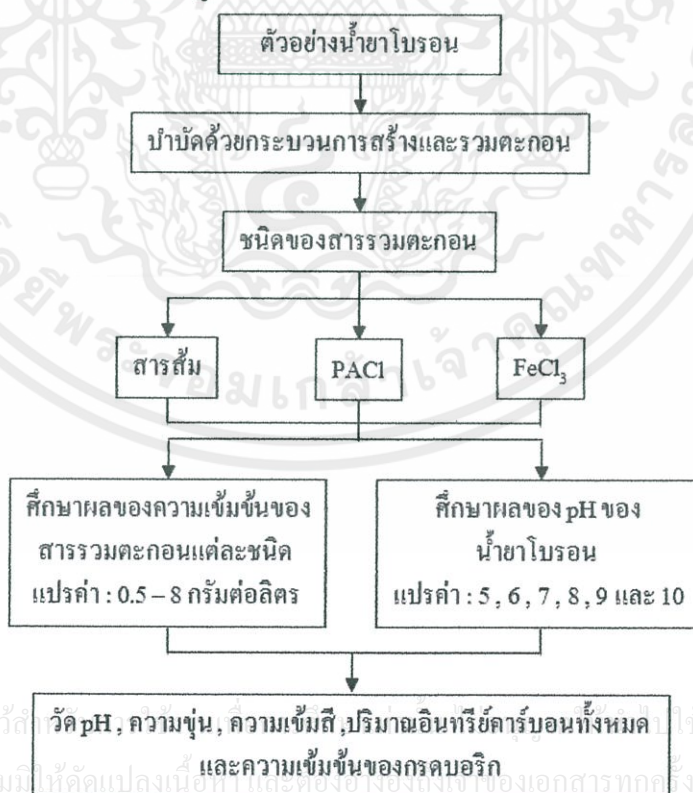
น้ำยาโบรอนที่ใช้ในการทดลองได้รับจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูป อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ซึ่งทางโรงงานเก็บรวบรวมให้ 1 ครั้ง จำนวน 40 ลิตร เมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2556 นำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ทำการศึกษา

สมบัติที่วิเคราะห์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	pH meter
ความขุ่น	Turbidity meter
สี (ADMI)	UV-Visible Spectrophotometry (เจดนิพิฐและคณะ, 2552)
ความเข้มข้นของกรดบอริก	Titration (ศุภชัย, 2537)
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic Carbon , TOC)	TOC analyzer

### 3.3 การดำเนินการวิจัย

ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีของน้ำยาโบรอน มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อที่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 3.4 การศึกษาปริมาณของโคเอกกูแลนต์ที่เหมาะสม

1. ปิเปตสารละลายสต็อกคอลลูมิเนียมซัลเฟตเข้มข้น 160 กรัมต่อลิตร ปริมาตรตามที่ระบุในตารางที่ 3.2 ลงในหลอดทดลองขนาดใหญ่ เติมน้ำกลั่นลงในแต่ละหลอด ให้ปริมาตรสุทธิ 20 มิลลิลิตร พร้อมคนให้ละลายผสมกันทั่ว
2. ตวงน้ำยาโบรอนในหัวข้อ 3.2 มา 400 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ นำไปวางในเครื่องจาร์เทสต์พร้อมปั่นกวนเร็วที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที นาน 2 นาที
3. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 1 (หลอดที่ 1 - 4) ลงในบีกเกอร์อย่างรวดเร็ว เดินใบพัดปั่นกวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นลดความเร็วในการปั่นกวนลงให้เหลือ 60 รอบต่อนาที ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 นาที
4. เทสารละลายในแต่ละบีกเกอร์ลงในกรวยอิมฮอร์ฟ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปิเปตส่วนใสมาวัดพีเอช ความขุ่น และสี ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและกรดบอริก
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 แต่เปลี่ยนหลอดทดลองจาก 1 - 4 เป็นหลอดอื่นจนครบทุกหลอดที่แสดงในตารางที่ 3.2
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 แต่เปลี่ยน โคเอกกูแลนต์ที่ใช้จากสารละลายสต็อกคอลลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายสต็อกโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์ ปริมาตรสารละลายที่ใช้เป็นดังตารางที่ 3.3 และสต็อกเฟอร์ริกคลอไรด์ ปริมาตรสารละลายที่ใช้เป็นดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่ใช้ในการทดลอง

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย สต็อกอลูมิเนียมซัลเฟต (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลาย อลูมิเนียมซัลเฟต ในน้ำตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
1	2.50	17.50	0.95
2	5.00	15.00	1.90
3	7.50	12.50	2.86
4	10.00	10.00	3.81
5	11.25	8.75	4.29
6	12.50	7.50	4.76
7	13.75	6.25	5.24
8	15.00	5.00	5.71
9	17.50	2.50	6.67
10	20.00	0.00	7.62

\* ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกอลูมิเนียมซัลเฟตเท่ากับ 160 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารละลายโพliosูมิเนียมคลอไรด์ (PAC1) ที่ใช้ในการทดลอง

หลอดที่	ปริมาณสารละลาย สต็อกโพliosูมิเนียม คลอไรด์ (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายโพliosูมิเนียม คลอไรด์ ในน้ำตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
1	2.50	17.50	0.95
2	5.00	15.00	1.90
3	6.25	13.75	2.38
4	7.50	12.50	2.86
5	8.75	11.25	3.33
6	10.00	10.00	3.81
7	12.50	7.50	4.76
8	15.00	5.00	5.71
9	17.50	2.50	6.67

\* ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกโพliosูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ 160 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุคนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่ใช้ในการทดลอง

หลอดที่	ปริมาตรสารละลาย สต็อกเฟอร์ริกคลอไรด์ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริก คลอไรด์ ในน้ำตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
1	2	18	0.48
2	4	16	0.95
3	5	15	1.19
4	6	14	1.43
5	7	13	1.67
6	8	12	1.90

\* ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกเฟอร์ริกคลอไรด์ เท่ากับ 100 กรัมต่อลิตร

### 3.5 การศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

1. ปิเปตสารละลายสต็อกลูมิเนียมซัลเฟตเกรควิเคราะห์เข้มข้น 160 กรัมต่อลิตร ปริมาตรตามความเข้มข้นเหมาะสมที่ได้จากการทดลองหัวข้อ 3.4 ลงในหลอดทดลองขนาดใหญ่ เติมน้ำกลั่นลงในแต่ละหลอดให้ปริมาตรสุทธิ 20 มิลลิลิตร พร้อมคนให้ละลายผสมกันทั่ว
2. ตวงน้ำยาโบรอนในหัวข้อ 3.2 มาใส่บีกเกอร์ 6 ใบ ใบละ 400 มิลลิลิตร ปรับพีเอชของน้ำยาโบรอนให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 นำบีกเกอร์วางในเครื่องจาร์เทสต์พร้อมปั่นกวนเร็วที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที นาน 2 นาที
3. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 1 ลงในบีกเกอร์อย่างรวดเร็ว เติมน้ำปั่นกวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นลดความเร็วในการปั่นกวนลง ให้เหลือ 60 รอบต่อนาที ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 นาที
4. เทสารละลายในแต่ละบีกเกอร์ลงในกรวยอิมฮอร์ฟ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปิเปตส่วนใสมาวัดพีเอช ความขุ่น และสี ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและปริมาณกรดบอริก
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1 แต่เปลี่ยนสารละลายสต็อกลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายสต็อกโพลีลูมิเนียมคลอไรด์และสต็อกเฟอร์ริกคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอน 3 ชนิด ได้แก่สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟตหรือสารส้ม (Alum), โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) และเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ในการบำบัดน้ำยาโบราณที่ผ่านการใช้งานจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่อย่างพาราแปรรูปด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณของสารรวมตะกอนและค่าพีเอชของน้ำยาโบราณ สามารถอธิบายผลได้ดังนี้

#### 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำยาโบราณ

น้ำยาโบราณที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับมาจากโรงงานไม้ยางพาราแปรรูปแห่งหนึ่งในอำเภอแกลง จังหวัดระยอง ได้รับ 1 ครั้ง จำนวน 40 ลิตร เมื่อวันที่ 11 ธ.ค. 56 มีสีน้ำตาลเข้มดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของน้ำยาโบราณที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำยาโบราณที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	
	การศึกษาครั้งนี้	ปีวัฒและคณะ (2556)
pH	8.14±0.01	7.97±0.15
ความขุ่น (NTU)	70.5±0.26	75.07±0.51
สี (ADMI)	813±11	391±2.00
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) (mg-C/L)	251±81	290.8±3.60
ความเข้มข้นกรดบอริก (g/L)	9.78±0.16	5.20±0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสาร และแจ้งผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*จำนวน 1 ตัวอย่างวิเคราะห์เท่ากับ 3 ซ้ำ

\*ไม่ทราบค่าน้ำยาโบราณที่ไม่ผ่านการใช้งาน เนื่องจากไม่ทราบข้อมูลจากโรงงาน

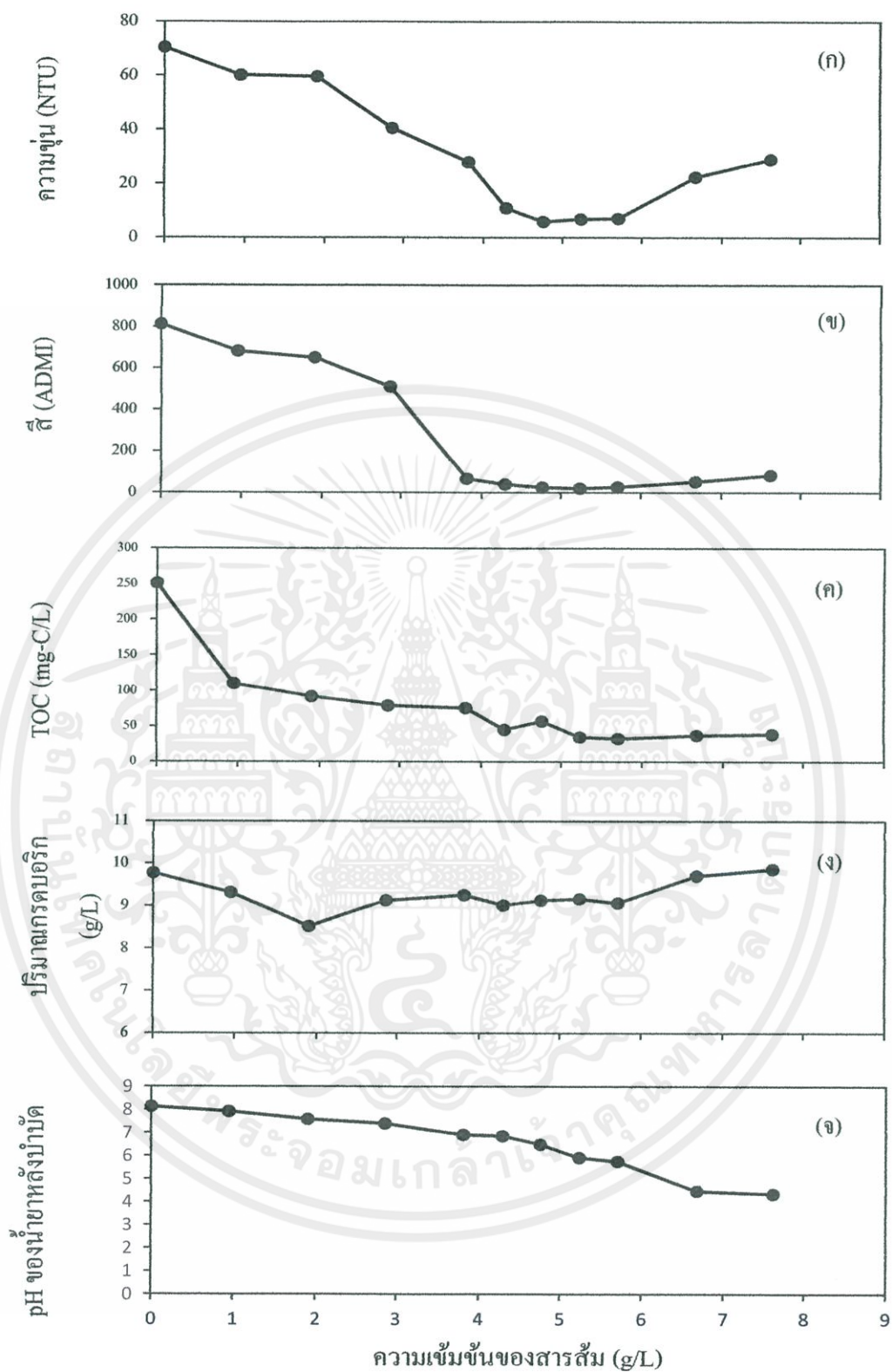
จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำยาโบรอนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีพีเอช 8.14 มีค่าความขุ่น 70.5 NTU มีความเข้มข้นของสี 813 ADMI มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด 251 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณกรดบอริก 9.78 กรัมต่อลิตร สีที่เข้มกว่าค่าที่รายงานไว้ของปีวัฒนาและคณะ (2556) อาจเกิดจากที่ใช้น้ำยาโบรอนในการอัดเนื้อไม้ซึ่งหลายรอบทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารพวกโพลีฟีนอล แทนนิน เพคติน และลิกนินที่มาจากเนื้อไม้ ซึ่งทำให้น้ำยาโบรอนมีสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการอัดน้ำยา (จรรยาและคณะ, 2554) ส่วนปริมาณกรดบอริกที่สูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา อาจเกิดจากการเติมกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) และบอแรกซ์ ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) เพิ่มลงในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งาน เพื่อรักษาระดับปริมาณตัวยาแห้งในเนื้อไม้ที่ผ่านการอัดให้มีค่าสมมูลของกรดบอริก (Boric Acid Equivalent, BAE) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.2

## 4.2 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยสารส้ม

### 4.2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนพร้อมกับแปรค่าความเข้มข้นของสารส้มในน้ำยาตัวอย่างระหว่าง 0.95 – 7.62 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งพบว่าการเติมสารส้ม ทำให้น้ำยาโบรอนมีความขุ่นลดลง ปริมาณการใช้ที่ 0.95 กรัมต่อลิตร และ 1.90 กรัมต่อลิตรนั้นทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงจาก 70.5 NTU เหลือ 59.70 NTU และ 58.13 NTU ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น 15.32 และ 17.55 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.2ก) เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มเป็น 2.86-4.76 กรัมต่อลิตร พบว่าความขุ่นลดลงมากขึ้นตามปริมาณการเติมสารส้ม โดยมีความขุ่นลดลงต่ำสุดถึง 5.47 NTU คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 92.24% เมื่อใช้สารส้มในปริมาณ 4.7 กรัมต่อลิตร ทั้งนี้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นได้ต่ำกว่าเมื่อใช้ปริมาณสารส้ม 0.95-1.90 กรัมต่อลิตร อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเติมสารส้มในปริมาณน้อยในช่วงดังกล่าว จะได้ประจุบวกของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างตะกอน (Coagulant) และไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคของคอลลอยด์ในน้ำยาโบรอนดังสมการที่ 2.1 การเติมสารส้มในปริมาณมากขึ้น จะเกิดตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์  $Al(OH)_3$  ดังแสดงในสมการที่ 2.3 ซึ่งกล่าวในบทที่ 2 ตะกอนดังกล่าวมีลักษณะเป็นเม็ดเหนียวๆ ไม่ละลายน้ำ และจะตกตะกอนช้าๆ ซึ่งระหว่างที่ตกตะกอนก็จะดึงเอาสารแขวนลอยต่างๆ มาเกาะเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น (วนิดา, 2555) ทำให้ความขุ่นลดลงมากขึ้น หรือทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

รูปที่ 4.2 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดโดยใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ

นอกจากนี้พบว่า การเติมสารส้มในปริมาณตั้งแต่ที่มากกว่า 4.76 กรัมต่อลิตร ทำให้ความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2ก) ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารส้ม ทำให้ไอออนประจุบวกของอลูมิเนียมที่แตกตัวไปล้อมรอบที่ผิวของอนุภาคมีมากขึ้น จึงทำให้อนุภาคเกิดแรงผลักออกจากกันแทนที่จะจับตัวกัน (วีระนุช, 2553)

เมื่อพิจารณาความเข้มของสีในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้ม (รูปที่ 4.2ข) พบว่าน้ำยาโบรอนมีความเข้มของสีลดลงตามปริมาณการเติมสารส้ม โดยการเติมสารส้มตั้งแต่ 0.95-4.76 กรัมต่อลิตร ทำให้ความเข้มของสีในน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงจาก 813 ADMI ในน้ำยาโบรอนก่อนบำบัดเหลือ 682.59 ADMI, 651.84 ADMI, 511.05 ADMI, 68.55 ADMI, 40.99 ADMI, 26.54 ADMI เมื่อใช้สารส้มที่ 0.95, 1.90, 2.86, 3.81, 4.29 และ 4.76 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำยาโบรอนมีค่าสีต่ำสุดคือ 21.27 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสี 97.38% เมื่อเติมสารส้มในปริมาณ 5.24 กรัมต่อลิตร สีที่เกิดขึ้นในน้ำยาโบรอนเกิดจากการละลายของกรดฮิวมิก ลิกนิน แทนนิน ที่มาจากเนื้อไม้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกของอลูมิเนียมไอออนกับไฮโดรเจนไอออนของหมู่คาร์บอกซิล ฟีนอลลิก และไฮดรอกซิลของสารประกอบฮิวมิก เกิดเป็นเกลือไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะเป็นคอลลอยด์ จนเกิดการตกผลึกของสารประกอบของอลูมิเนียมฮิวมิก (ปนัดดา, 2535)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มแสดงดังรูปที่ 4.2ค พบว่าปริมาณ TOC มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารส้มที่เติม โดยปริมาณสารอินทรีย์ที่พบในน้ำยาโบรอนเกิดจากการละลายของกรดฮิวมิก ลิกนิน แทนนิน ที่มาจากเนื้อไม้เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อใช้ในปริมาณต่ำอะลูมิเนียมไอออนซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับไฮโดรเจนไอออนของหมู่คาร์บอกซิล ฟีนอลลิกและไฮดรอกซิลของกรดฮิวมิก เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง organic ligand กับอลูมิเนียมไอออน จนเกิดการตกผลึกของสารประกอบของอลูมิเนียมฮิวมิกลงมาในที่สุด (ปนัดดา, 2535; Edzwald, 1993 อ้างถึงใน Hendrick, 2011) และเมื่อเติมสารส้มมากขึ้นจะเกิดเป็นตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $Al(OH)_3$ ) ซึ่งจะตกตะกอนช้าๆ พร้อมกับดึงให้สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (NOM, Natural Organic Matters) มาเกาะรวมกันเป็นฟล็อกและตกตะกอนลง (Qin *et al.*, 2006 อ้างถึงในกฤษฎา, 2553)

ปริมาณกรดบอริกมีความจำเป็นต่อการรักษาเนื้อไม้ เนื่องจากมีพิษต่อมอดและเชื้อรา (สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, 2547) ด้วยเหตุนี้ระดับความเข้มข้นของกรดบอริกในน้ำยาโบรอนจึงเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สามารถบอกความเหมาะสมของสารสร้างและรวมตะกอนได้ จากรูปที่ 4.2(ง) พบว่าปริมาณกรดบอริกมีค่าลดลงจาก 9.73 กรัมต่อลิตร เป็น 9.32 และ 8.52 กรัมต่อลิตร เมื่อเติมสารส้มในปริมาณ 0.95 และ 1.90 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเติมสารส้มในปริมาณระหว่าง 2.86-5.71 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.02-9.26 กรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นของกรดบอริก

มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้นในน้ำยาโบรอนก่อนบำบัดเมื่อเติมสารส้มในปริมาณ 6.67 และ 7.62 กรัมต่อลิตร

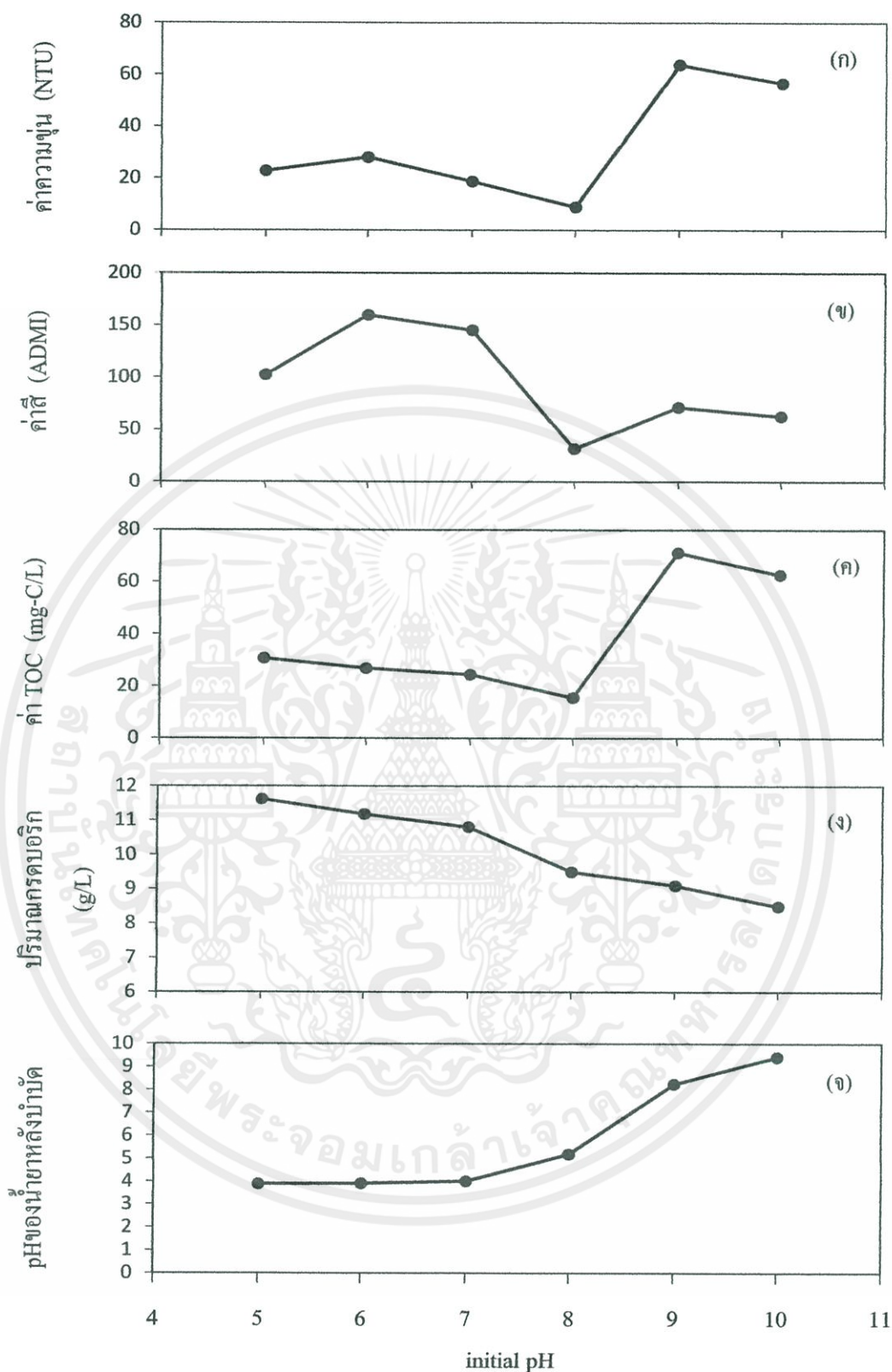
ค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการเติมสารส้มและมีผลต่อรูปฟอร์มของกรดบอริก โดยการเติมสารส้มจะทำให้มีสภาพ่างลดลงและอาจหมดไปได้ ซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำลดลงจนเป็นกรด เนื่องจากสารส้มสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดอนุพลไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย (กิตติยาและคณะ, 2544) รูปที่ 4.2(จ) แสดงผลจากการวัดค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนเมื่อเติมสารส้มในปริมาณแตกต่างกัน พบว่าค่าพีเอชแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารส้ม กล่าวคือ ค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนลดลงเมื่อเติมสารส้มในปริมาณที่มากขึ้น

จากผลการศึกษาข้างต้นจึงเลือกปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มในน้ำยาโบรอนเท่ากับ 4.76 กรัมต่อลิตรเพื่อใช้ในการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

#### 4.2.2 พีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร มาปรับพีเอชให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 พร้อมกับเติมสารส้มในปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.2.1 ผลการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยในกรณีของความขุ่น พบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 8 โดยน้ำยาโบรอนมีความขุ่นต่ำสุด 8.9 NTU หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 87.38% เมื่อน้ำยาโบรอนมีค่าพีเอชเริ่มต้น 8 แต่จะพบความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำยาโบรอนมีพีเอชเริ่มต้นเป็น 9 และ 10 (รูปที่ 4.3ก) แสดงให้เห็นว่าพีเอชของน้ำยาโบรอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นคือ พีเอช 8 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่พีเอช 8 จะพบ  $Al(OH)_3$  ซึ่งเป็นรูปฟอร์มของสารส้มที่มีบทบาทสำคัญในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบกวาด ซึ่ง  $Al(OH)_3$  ที่เป็นของแข็งกวาดเอาอนุภาคที่ละลายอยู่ในน้ำให้ตกตะกอน (ภูวดล, 2552) ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าลดลงเมื่อพีเอชน้อยกว่า 8 เนื่องจากสารส้มเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อลูมิเนียมไอออน ( $Al^{3+}$ ) และไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสารดังกล่าวจะมีโมเลกุลของ  $OH$  ล้อมรอบมากขึ้น เช่น  $[Al_8(OH)_{20}]^{4+}$  หรือ  $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{3+}$  เมื่อสารละลายมีพีเอชต่ำ ส่งผลให้การรวมตัวกันของอนุภาคคอลลอยด์และสารประกอบเชิงซ้อนเป็นไปได้อย่างขึ้น (จารุทัศน์, 2537) จึงทำให้ความขุ่นของน้ำยาโบรอนที่พีเอชน้อยกว่า 8 มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับความขุ่นของน้ำยาโบรอนที่พีเอช 8 นอกจากนี้การเพิ่มของความขุ่นเมื่อพีเอชมากกว่า 8 อาจเกิดจากสารส้มจะพบในรูปของ  $[Al(OH)]$  และ  $[Al(OH)_2]^{2-}$  ซึ่งเป็นประจุลบเช่นเดียวกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ (อัญชลี, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 4.3** สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มเข้มข้น 4.76 g/L เมื่อน้ำยามีพีเอช  
 ไม่ว่าจะฉีดพ่น ออกทั้งหมัด เกิดคั้งคั้งเนื้อเหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 เริ่มต้นต่างกัน

พีเอชของน้ำยาโบรอนมีผลต่อความเข้มข้นของสีในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ข) ซึ่งพบว่าน้ำยาโบรอนที่พีเอช 8 มีความเข้มข้นของสีต่ำสุด (31.69 ADMI) คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงถึง 96.10% เนื่องจากที่พีเอชดังกล่าวเกิดการตกตะกอนของ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์  $Al(OH)_3$  และเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 9 และ 10 พบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีได้น้อยลง ซึ่งดูได้จากค่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุลบของสารส้มทำให้ไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ (อัญชลี, 2538)

พีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) (รูปที่ 4.3ค) โดยปริมาณ TOC ในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณใกล้เคียงกันคือ 30.70, 26.89 และ 24.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยามีค่าเท่ากับ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ และที่พีเอช 8 น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้ม มีปริมาณ TOC ต่ำที่สุดคือ 15.61 mg-C/L หรือคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัด TOC 93.77% ทั้งนี้อาจเป็นผลจากที่พีเอชเป็นกรด จะเกิดการ protonation ของสารอินทรีย์เปลี่ยนรูปไปมีความเป็น Hydrophobic สูงขึ้น (กฤษฎา, 2553) ทำให้เกิดการตกตะกอนแยกออกจากน้ำได้ดี นอกจากนี้พบว่า TOC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเริ่มต้นมีค่าสูงขึ้นเป็น 9 และ 10 สามารถอธิบายผลเช่นนี้ได้เกี่ยวกับผลของความขุ่นและสีดังที่ได้กล่าวในข้างต้น

น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มที่พีเอชต่างกันมีปริมาณกรดบอริกแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.3(ง) โดยน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณกรดบอริกลดลงเมื่อพีเอชที่ใช้บำบัดมีค่าสูงขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากที่พีเอชมากกว่า 9 กรดบอริกอยู่ในรูปของ  $B(OH)_4^-$  ซึ่งมีประจุลบเหมือนกับอนุภาคคอลลอยด์ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นประจุบวกได้ (Yilmaz, 2013)

การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนก่อน-หลังบำบัดด้วยสารส้ม พบว่าพีเอชของน้ำยาโบรอนหลังบำบัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอน (รูปที่ 4.3จ) ซึ่งความแตกต่างของพีเอชก่อน-หลังบำบัดจะชัดเจนมากในช่วงพีเอชเป็นกรด เนื่องจากที่พีเอชต่ำการเติมสารส้มซึ่งมีความเป็นกรดทำให้เพิ่ม  $H^+$  แก่ระบบ ซึ่งทำให้น้ำยาโบรอนมีความเป็นกรดมากขึ้น ในขณะที่การลดลงของพีเอชในน้ำยาโบรอนหลังบำบัดเกิดขึ้นไม่มากเมื่อน้ำยามีค่าพีเอชระหว่าง 9-10 ซึ่งเป็นผลมาจากที่สภาวะดังกล่าว น้ำมีสภาพด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับพีเอชด้วย NaOH ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า

จากผลการศึกษาข้างต้นจึงเลือกค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำยาโบรอนเท่ากับ 8 เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูสภาพน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

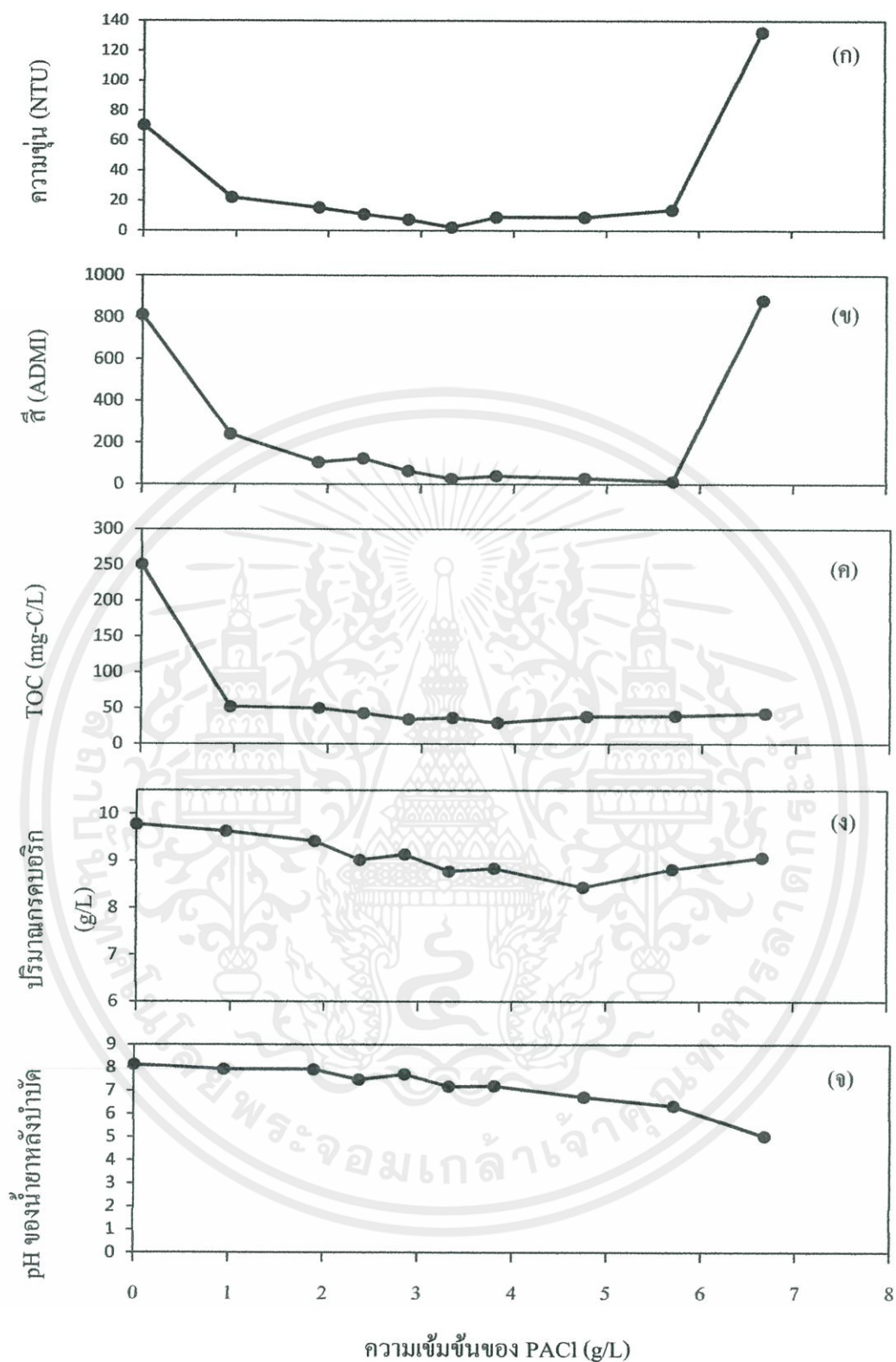
### 4.3 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

#### 4.3.1 ปริมาณที่เหมาะสม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน แปรค่าความเข้มข้นของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ในน้ำยาตัวอย่างให้มีค่าระหว่าง 0.95-6.67 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยจากรูปที่ 4.4(ก) พบว่าน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PACI) มีความขุ่นลดลงเมื่อเติม PACI ในปริมาณสูงขึ้น โดยน้ำยาโบรอนมีความขุ่นลดลงจาก 70.5 NTU เหลือ 22.13 เมื่อเติม PACI ในปริมาณ 0.95 กรัมต่อลิตร และเมื่อเพิ่ม PACI ในปริมาณมากขึ้น น้ำยาโบรอนมีความขุ่นมากขึ้น โดยที่ปริมาณการใช้ 3.33 กรัมต่อลิตร ทำให้น้ำยาโบรอนมีค่าความขุ่นต่ำสุด (2.2 NTU) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงถึง 96.88% นอกจากนี้พบว่าน้ำยาโบรอนมีความขุ่นเพิ่มขึ้น เมื่อเติม PACI ในปริมาณสูงขึ้น โพลีลูมิเนียมคลอไรด์จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยการดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า (Adsorption/ Charge Neutralization) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมากขึ้นและโดยกลไกหลักคือการ โคแอกกูเลชันแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก (Sweep Coagulation) ผลึกสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ ทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นเกิดตะกอนหนักและอนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพจึงสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว (ณวัฒน์, 2546) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับสารส้ม

เมื่อพิจารณาสีของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (รูปที่ 4.4ข) พบว่าสีมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติม PACI สอดคล้องกับการทดลองของจรรยาและคณะ (2554) ซึ่งศึกษานำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำยาโบรอนในกระบวนการอัดเนื้อไม้ยางพาราและพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีขึ้นอยู่กับปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มสีลดลงและจะมีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงความเข้มข้นของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่ 3.33 - 5.71 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะดังกล่าว น้ำยาโบรอนมีความเข้มของสีระหว่าง 19.04 - 40.16 ADMI และเมื่อเพิ่มปริมาณของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็น 6.67 กรัมต่อลิตรทำให้ความเข้มของสีมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์มากกว่าระดับที่เหมาะสม ทำให้ความเข้มสีเพิ่มขึ้นเพราะเสถียรภาพของคอลลอยด์จะฟื้นขึ้นมาใหม่เนื่องจากไอออนต่างประจุดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนอนุภาคมีการเปลี่ยนประจุเป็นตรงข้ามกับของเดิม (Charge Reversal) และเกิดแรงผลึกแยกออกจากกัน (ระบิณ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดโดยใช้โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยโพลิอูมิเนียมคลอไรด์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ PACI ที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.4(ค) ซึ่งพบว่าปริมาณ TOC มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำยา ทั้งนี้โพลิอูมิเนียมคลอไรด์มีกลไกการบำบัดสารอินทรีย์รูปแบบเดียวกับสารส้ม อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับไฮโดรเจนไอออนของหมู่คาร์บอกซิล ฟีนอลิกและไฮดรอกซิลของกรดฮิวมิก เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง organic ligand กับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จนเกิดการตกผลึกของสารประกอบของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ลงมาในที่สุด (ปนัดดา, 2535; Edzwald, 1993 อ้างถึงใน Hendrick, 2011)

ปริมาณความเข้มข้นกรดบอริกในน้ำยาโบรอนเมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณต่างกันเป็นดังรูปที่ 4.4(ง) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ทำให้ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนมีแนวโน้มลดลงจาก 9.78 เป็น 9.63 และ 9.42 เมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 0.95 และ 1.90 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในช่วง 2.38-4.76 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 8.44-9.14 กรัมต่อลิตร เมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 5.71 และ 6.67 กรัมต่อลิตร พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดบอริกมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้นในน้ำยา

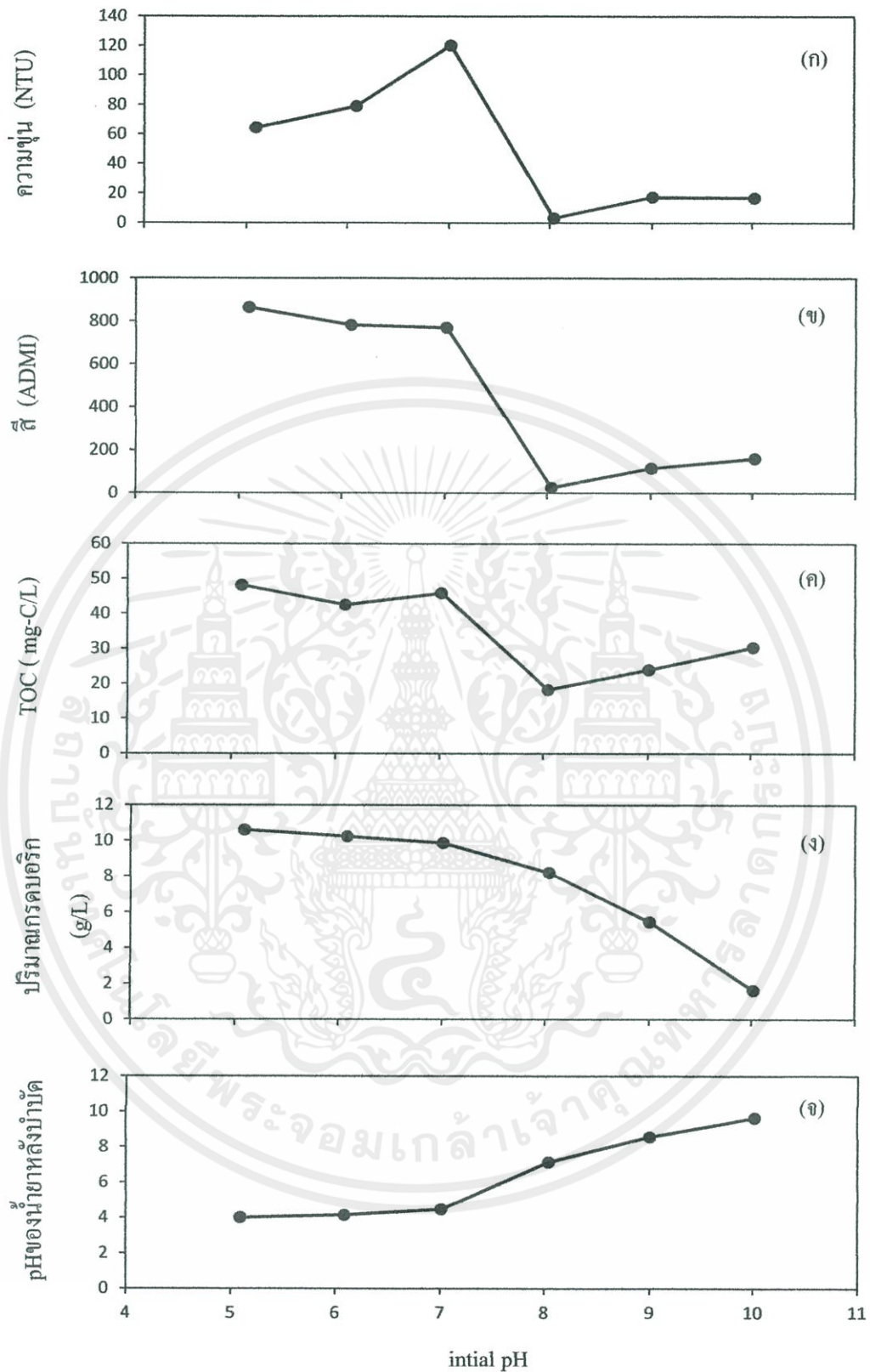
ค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนเมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณต่างๆกันแสดง ดังรูปที่ 4.4(จ) ซึ่งพบว่าค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนหลังบำบัดมีค่าลดลงเมื่อเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของพีเอชก่อน-หลังบำบัดของน้ำยาโบรอนที่บำบัดด้วย PACI จะลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับการใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน เนื่องจากโพลิอูมิเนียมคลอไรด์เมื่อละลายน้ำจะให้ปริมาณไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) น้อยกว่าสารส้มดังนั้นจึงทำให้น้ำมีพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าสารส้ม (วัชรินทร์, 2548)

จากผลการศึกษาข้างต้นจึงเลือกปริมาณที่เหมาะสมของโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในน้ำยาโบรอนเท่ากับ 3.33 กรัมต่อลิตรเพื่อใช้ในการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

#### 4.3.2 พีเอชที่เหมาะสม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร มาปรับพีเอชให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 พร้อมกับเติมโพลิอูมิเนียมคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.3.1 ผลการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 4.5 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยฟลูออรีนียมคลอไรด์เข้มข้น 3.33 g/L เมื่อ**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่อย่างงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
**น้ำยามีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน**

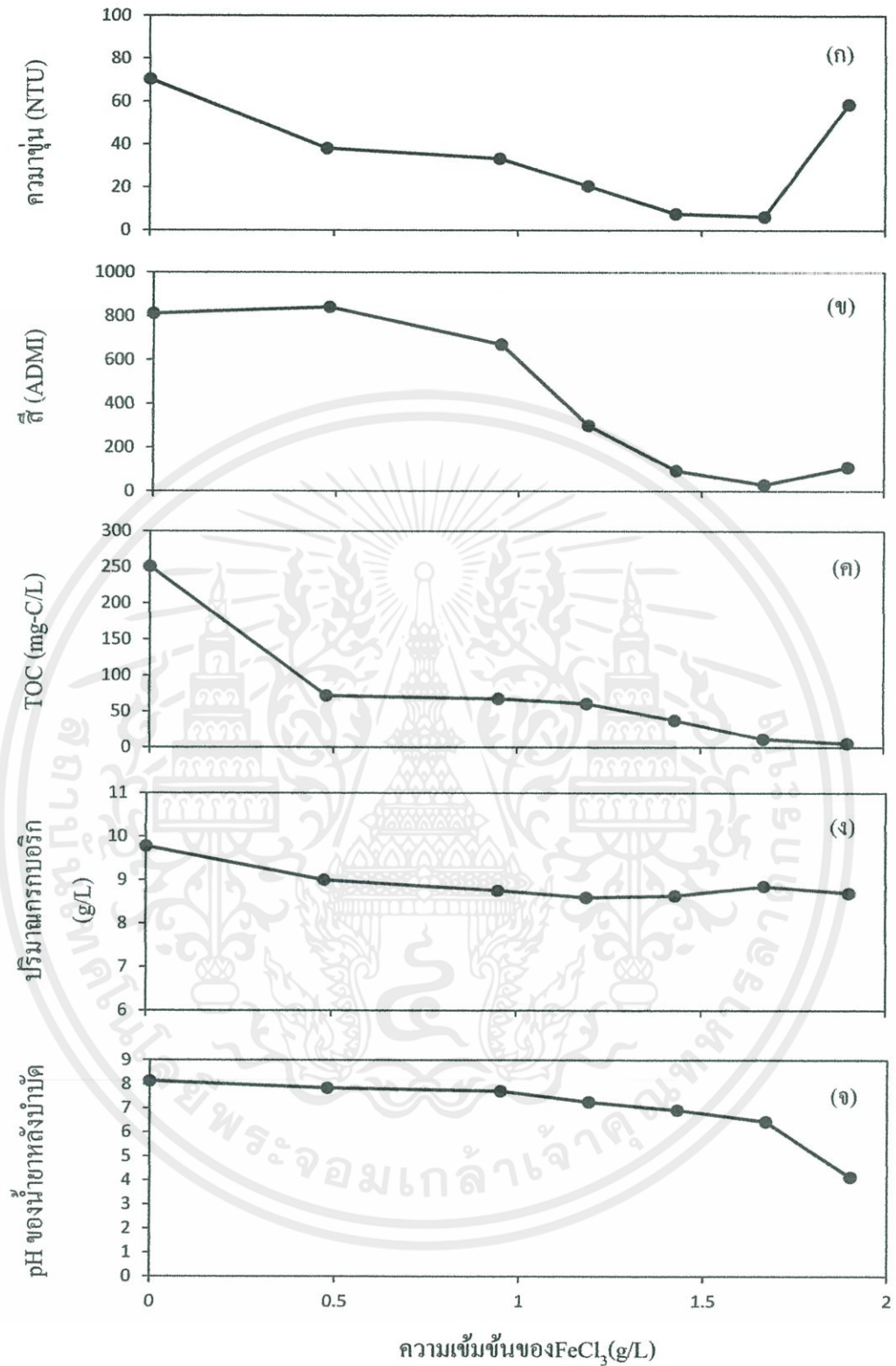
จากรูปที่ 4.5(ก) พบว่าน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วย PACI 3.33 g/l มีความขุ่นต่ำสุด (3.09 NTU) เมื่อพีเอชเริ่มต้นที่ใช้ในการบำบัดมีค่าเท่ากับ 8 คิดเป็นประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นได้สูงสุดคือ 95.62% นอกจากนี้พบว่าที่พีเอชเดียวกันนี้ น้ำยาโบรอนมีความเข้มข้นของสีต่ำสุดเท่ากับ 27.07 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีได้สูงสุด 96.67% (รูปที่ 4.5ข) ที่พีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้ทำให้ความเข้มของสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากตะกอน (floc) ที่ถูกสร้างขึ้น โดย PACI ไม่สามารถตกตะกอนได้ดี (ปิยวรรณ และสุเทพ, 2553) นอกจากนี้พบว่าที่พีเอช 8 น้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วย PACI มีปริมาณ TOC น้อยที่สุดคือ 18.29 mg-C/L (ประสิทธิภาพการกำจัด 92.71%) (รูปที่ 4.5ค) โดยโพธิ์ลูมิเนียมคลอไรด์สามารถบำบัด TOC ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าสารส้ม เนื่องจากโพธิ์ลูมิเนียมคลอไรด์อยู่ในรูปพอลิเมอร์หรือคอลลอยด์ของเกลืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นอนุภาคนิวเมอโรสจำนวนมากมาย (กฤษณา, 2553) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่บำบัดด้วย PACI ที่พีเอชต่างกัน พบว่าน้ำยาโบรอนมีปริมาณกรดบอริกลดลงจาก 10.61 g/L ที่พีเอช 5 เป็น 10.24, 9.88, 8.21, 5.46 และ 1.64 ที่พีเอช 6, 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากสถานะที่เป็นเบส จะทำให้รูปเกลือของกรดซึ่งเป็นประจุลบ เหมือนกับอนุภาคคอลลอยด์มีมากขึ้นในสารละลาย จึงทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตะกอนกับ PACI ได้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำยาโบรอนก่อน-หลังบำบัดด้วยโพธิ์ลูมิเนียมคลอไรด์พบว่าพีเอชของน้ำยาโบรอนหลังบำบัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอน (รูปที่ 4.5จ) จากผลการศึกษาข้างต้นพีเอช 8 จึงจัดเป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งาน

#### 4.4 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์

##### 4.4.1 ปริมาณที่เหมาะสม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชตามสภาพที่ได้รับมาบำบัดด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารรวมตะกอน แปรค่าความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ในน้ำยาตัวอย่างให้มีค่าระหว่าง 0.48 – 1.90 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 4.6 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6(ก) พบว่าน้ำยาโบรอนมีความขุ่นลดลงตามปริมาณการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยมีค่าต่ำสุดคือ 6.37 NTU เมื่อใช้ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ 1.67 กรัมต่อลิตรคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 90.96% ความขุ่นของน้ำยามีค่าลดลงเนื่องจากเฟอร์ริกคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำเกิดเป็น  $Fe(OH)_3$  ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับของแข็งที่มีขนาดเล็กและอนุภาคของคอลลอยด์ (โสธราและจิรสา, 2547) อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำยาโบรอนมีความขุ่นมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ในเป็น 1.90 กรัมต่อลิตร ณ ความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ที่เท่ากันนี้ น้ำยาโบรอนมีความเข้มของสีต่ำสุด (29.75 ADMI) คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้สูงถึง 96.34% (รูปที่ 4.6ข) นอกจากนี้พบว่าปริมาณ TOC ในน้ำยาโบรอนมีค่าลดลงตามปริมาณการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (รูปที่ 4.6ค) สอดคล้องกับงานวิจัย *Rizzo et al.* 2005 อ้างถึงใน กฤษฎา (2553) ซึ่งทำการศึกษาผลของเฟอร์ริกคลอไรด์ในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นและสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณมากขึ้น ทำให้ปริมาณกรดบอริกมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.6ง) และพีเอชของน้ำยาที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำลง (รูปที่ 4.6จ) จากผลการศึกษาข้างต้นจึงเลือกปริมาณที่เหมาะสมของเฟอร์ริกคลอไรด์ในน้ำยาโบรอนเท่ากับ 1.67 กรัมต่อลิตรเพื่อใช้ในการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

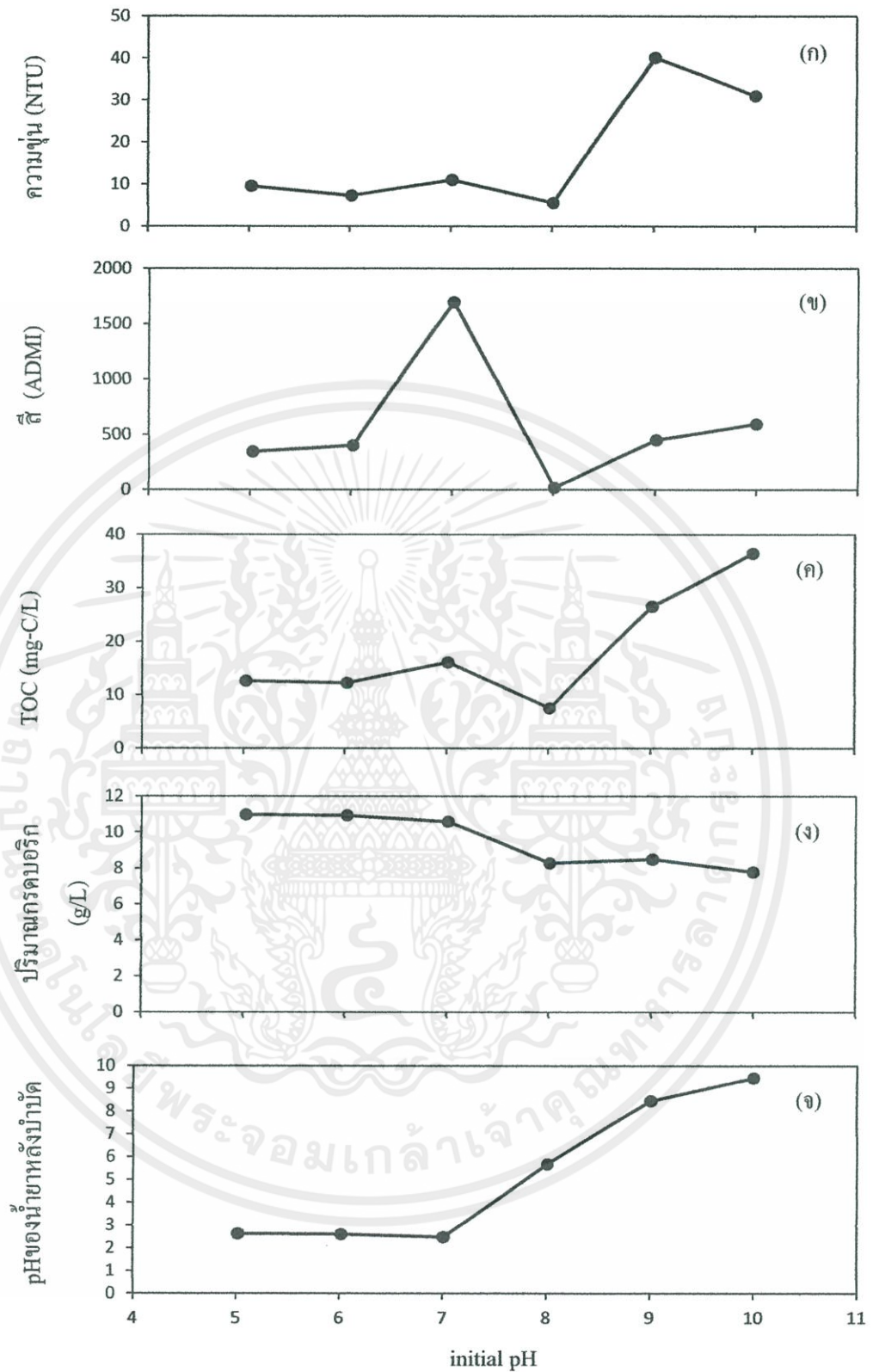
#### 4.4.2 พีเอชที่เหมาะสม

เมื่อนำน้ำยาโบรอนปริมาตร 400 มิลลิลิตร มาปรับพีเอชให้เป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 พร้อมกับเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4.1 ผลการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ซึ่งพบว่าน้ำยาโบรอนมีความขุ่นใกล้เคียงกัน (5.54-11.03 NTU) เมื่อใช้พีเอชในการบำบัดระหว่าง 5-8 แต่เมื่อน้ำยาโบรอนมีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็น 9 และ 10 ความขุ่นของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วย  $FeCl_3$  ค่าสูงขึ้น (รูปที่ 4.7ก) นอกจากนี้พบว่าความเข้มของสีในน้ำยาโบรอนมีค่าต่ำสุดคือ 18.18 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงถึง 98.06% เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอนมีค่าเท่ากับ 8 (รูปที่ 4.7ข) ปริมาณ TOC ในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วย  $FeCl_3$  เข้มข้น 1.67 g/L ที่พีเอชต่างๆ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันกับค่าความขุ่นของน้ำยาโบรอน กล่าวคือน้ำยาโบรอนมีปริมาณ TOC ใกล้เคียงกัน (7.51-16.09 mg-C/L) เมื่อพีเอชเริ่มต้นมีค่าระหว่าง 5-8 ปริมาณ TOC มีค่าสูงขึ้น เมื่อพีเอชเริ่มต้นมีค่าเป็น 9 และ 10 (รูปที่ 4.7ค) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกรดบอริกของน้ำยาหลังบำบัด พบว่า น้ำยาโบรอนมีปริมาณกรดบอริกลดลงตามการเพิ่มขึ้นของพีเอช เช่นเดียวกับที่พบเมื่อใช้สารส้มหรือ PACI เป็นสารรวมตะกอน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสภาวะที่เป็นเบส จะทำให้รูปเกลือของกรดซึ่งเป็นประจุลบเหมือนกับอนุภาคคอลลอยด์มีมากขึ้นในสารละลาย จึงทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตะกอนได้ดี (รูปที่ 4.7ง) ในขณะที่พีเอชของน้ำยาโบรอนหลังบำบัดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้นของน้ำยาโบรอน (รูปที่ 4.7จ) การลดลงเกิดขึ้นมากในช่วงพีเอชเริ่มต้นตั้งแต่ 5-8 ดังรูปที่ 4.7จ เนื่องจากที่

พีเอชต่ำการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ซึ่งมีความเป็นกรด ทำให้เพิ่ม  $H^+$  แก่ระบบซึ่งทำให้น้ำยาโบรอนมีความเป็นกรดมากขึ้น ในขณะที่การลดลงของพีเอชในน้ำยาโบรอนหลังบำบัดเกิดขึ้นไม่มากเมื่อน้ำยามีค่าพีเอชระหว่างพีเอช 9-10 เป็นผลมาจากน้ำมีสภาพด่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับพีเอชด้วย NaOH ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าจากผลการศึกษาข้างต้นพีเอช 8 จึงเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.7 สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 1.67 g/L ปรกติ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงนี้ เมื่อน้ำยามีพีเอชเริ่มต้นต่างกัน เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 เปรียบเทียบผลการบำบัดน้ำยาโบรอนและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด

สมบัติของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้ม, PACI และ  $\text{FeCl}_3$  เมื่อใช้ปริมาณและพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

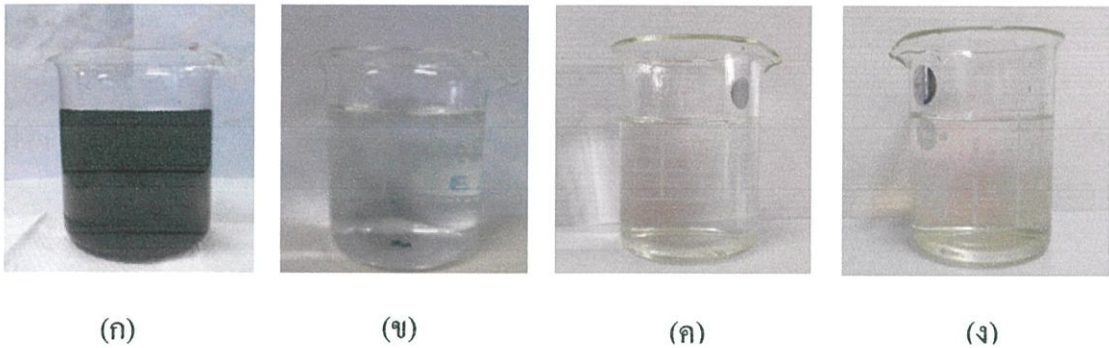
ตารางที่ 4.2 คุณภาพของน้ำยาโบรอนก่อน-หลังการบำบัดด้วยสารส้ม, PACI และ  $\text{FeCl}_3$  โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอน

สมบัติ	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด*		
		สารส้ม	PACI	$\text{FeCl}_3$
ความขุ่น (NTU)	70.5	8.9/87.38	3.09/95.62	5.54/92.14
สี (ADMI)	813	31.69/96.10	27.07/96.67	18.18/98.06
TOC (mg-C/L)	251	15.61/93.71	18.29/92.71	7.51/97.00
กรดบอริก (g/L)	9.73	9.50/2.86	8.21/16.05	8.29/15.24
pH	8.14	5.19/36.24	7.14/12.29	5.68/30.22

\*ตัวเลขหลัง / แสดงประสิทธิภาพการบำบัดเป็น % ในกรณีความขุ่น สี และ TOC ในกรณีของกรดบอริกและพีเอชแสดงการเปลี่ยนแปลงคิดเป็น %

เมื่อพิจารณาผลการบำบัดน้ำยาโบรอนด้วยสารรวมตะกอนทั้งสามชนิด เมื่อใช้สารทั้งสามชนิดในปริมาณและพีเอชที่เหมาะสม พบว่า PACI สามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุด นอกจากนี้พีเอชของน้ำยาที่ผ่านการบำบัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์รวมทั้ง PACI ยังสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วกว่า  $\text{FeCl}_3$  และสารส้ม โดยดูจากปริมาณตะกอนที่ตกตะกอนภายใน 2 ชั่วโมงซึ่งตะกอนที่เกิดจากการใช้ PACI มีปริมาณตะกอน 225 มิลลิลิตร (ตารางที่ข-28, ภาคผนวก) จากปริมาณน้ำยา 400 มิลลิลิตร ส่วนปริมาณตะกอนที่เกิดจากการใช้  $\text{FeCl}_3$  และสารส้ม คือ 81 และ 135 มิลลิลิตร (ตารางที่ข-42 และ ข-14, ภาคผนวก) ตามลำดับ ในขณะที่เฟอร์ริกคลอไรด์สามารถกำจัดสีและอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในน้ำยาโบรอนได้ดี แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ พีเอชของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากและมีค่าเป็นกรด ในกรณีของสารส้ม แม้จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น สี และอินทรีย์คาร์บอนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับสารรวมตะกอนอีก 2 ชนิด แต่มีข้อดีคือ ปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ PACI และ  $\text{FeCl}_3$  ลักษณะสีของน้ำยาโบรอนก่อน-หลังบำบัดดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ก) ลักษณะน้ำยาโบรอนก่อนบำบัด (ข) ลักษณะน้ำยาโบรอนหลังบำบัดของสารส้ม (ค) ลักษณะน้ำยาโบรอนหลังบำบัดของ PACI (ง) ลักษณะน้ำยาโบรอนหลังบำบัดของ  $\text{FeCl}_3$

ผลการประเมินต้นทุนการบำบัดยาโบรอนโดยคำนวณจากราคาค่าสารเคมี เมื่อใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนทั้งสามชนิด พบว่าต้นทุนในการบำบัดด้วยสารส้ม, PACI และ  $\text{FeCl}_3$  มีราคา 30, 53 และ 16 บาทต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ซึ่ง  $\text{FeCl}_3$  เสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดของการใช้  $\text{FeCl}_3$  คือต้องคำนึงถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ เนื่องจาก  $\text{FeCl}_3$  มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอช ซึ่งส่วนใหญ่  $\text{FeCl}_3$  จะเกิดปฏิกิริยาได้ค้ำที่ช่วงพีเอชต่ำและยังพบว่าพีเอชของน้ำยาหลังบำบัดมีความเป็นกรดจึงจำเป็นต้องปรับให้เป็นกลางก่อนอาจทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช นอกจากนี้อาจทำให้มีปริมาณเหล็กตกค้างในน้ำยาด้วย เมื่อพิจารณา PACI พบว่าพีเอชของน้ำยาหลังการบำบัดมีค่าเป็นกลางจึงไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช ในขณะที่สารส้มเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อยกว่า PACI และพีเอชของน้ำยาที่ผ่านการบำบัดมีพีเอชที่ต่ำหรือเป็นกรดซึ่งอาจทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชเช่นเดียวกับน้ำยาที่ผ่านการบำบัดด้วย  $\text{FeCl}_3$

ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัดน้ำยาโบรอน

ชนิดของสารรวมตะกอน	ปริมาณสารรวมตะกอน (g/L)	ราคาสารรวมตะกอน (บาทต่อกิโลกรัม)	ราคาสารรวมตะกอนต่อน้ำยาโบรอน (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
Commercial grade*			
สารส้ม	5.00	6	30
PACI	3.50	15	53
$\text{FeCl}_3$	1.75	9	16

\*หมายเหตุ สอบถามราคาจากบริษัทวิริยะอินเตอร์เคม จำกัด เมื่อวันที่ 25 มี.ค. 57 ปริมาณ 25Kg. สำหรับสารส้ม และ PACI, ปริมาณ 30 Kg. สำหรับ  $\text{FeCl}_3$

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โรงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำยาโบรอนจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้โคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ สารส้ม, โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ บัจฉัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ ปริมาณของโคแอกกูแลนต์และค่าพีเอชของน้ำยาโบรอน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การเพิ่มความเข้มข้นของสารรวมตะกอนทั้ง 3 ชนิดในน้ำยาโบรอน ได้แก่ สารส้ม, PACI และ  $FeCl_3$  ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดบอริกมีแนวโน้มลดลงในทิศทางเดียวกันและพีเอชของน้ำยาที่ผ่านการบำบัดลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชเริ่มต้น จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้สารส้ม, PACI และ  $FeCl_3$  ในปริมาณ 4.76, 3.33 และ 1.67 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 8 ซึ่งที่สภาวะดังกล่าว สารส้มมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 87.38%, 96.10% และ 93.71% ตามลำดับ ส่วน PACI มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 95.62%, 96.67% และ 92.71% ตามลำดับ ในขณะที่  $FeCl_3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 92.14%, 98.06% และ 97.00% ตามลำดับ จากผลในข้างต้นพบว่า PACI สามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุด ในขณะที่เฟอร์ริกคลอไรด์สามารถกำจัดสีและอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในน้ำยาโบรอนได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณกรดบอริกในน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มมีปริมาณคงเหลือมากที่สุดคือ 9.50 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำยาก่อนบำบัด พีเอชหลังบำบัดของสารส้มและ  $FeCl_3$  มีพีเอชต่ำหรือมีค่าเป็นกรด จึงอาจทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช ซึ่งต่างจากน้ำยาที่ผ่านการบำบัดด้วย PACI ที่มีค่าพีเอชหลังบำบัดเป็นกลาง ซึ่งการบำบัดด้วยวิธีการนี้ใช้ต้นทุนค่าสารเคมีประมาณ 16, 30, 53 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ  $FeCl_3$ , สารส้ม และ PACI ตามลำดับ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาประสิทธิภาพในการรักษาเนื้อไม้ของน้ำยาโบรอนที่ผ่านการบำบัด
2. ควรศึกษาสมบัติของกากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำยาโบรอน

## เอกสารอ้างอิง

กิตติยา นาวิก และคณะ. 2544. **ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของแข็งโดยใช้เครื่องลอยตะกอนชนิดอากาศละลายแบบกะ.**

กฤษฎา ทองนาค. 2553. **การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไดฮาโลมีเทนในระบบน้ำประปาด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน กรณีตัวอย่างแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

กรมการค้าต่างประเทศ สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป กลุ่มสินค้าเกษตร. 2556. [Online]. **สถานการณ์ไม้ยางพาราแปรรูปของไทย.** (Available:<http://www.dft.go.th.>)

เกรียงศักดิ์ บัวช่าง. 2539. [Online]. **สารเคมีช่วยเร่งการตกตะกอนของน้ำ.** (<http://202.129.59.73/spt/know/281255/ChemicalPrecipitation.pdf>)

จารุทัศน์ มิสินทเสข. 2537. **การบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยวิธีทางเคมี.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2537.

จรรยา อินทมณี, จันทิมา ชั่งศิริพร และจรัญ บุญกาญจน์. 2554. **การนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำไบรอนในกระบวนการอัดเนื้อไม้ยางพารา.** การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 วันที่ 10-11 พฤศจิกายน พ.ศ.2554 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา.

ณวัฒน์ ศรีภูม่น. 2546. **การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี.** ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. พ.ศ. 2546.

คารุณี โกศัยเสวี, ไพรัตน์ ทรงพานิช และจุมพฏ สุขเกื้อ. 2547. **ศึกษาปริมาณการผลิตไม้ยางพาราสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.**

ทวีศักดิ์ วั่งไพศาล. 2554. **วิศวกรรมการประปา.** พิมพ์ครั้งที่ 1:บริษัท วี.พรีนท์(1991) จำกัด.

ทรงกลด จารุสมบัติ, ธีระ วิฉิน และอาไพ เปี่ยมอรุณ. มปป. **การวิจัยและพัฒนาวิธีวัดความเข้มข้นของน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้.** ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้**บางรักษ์ เชนฐสิงห์. 2547. การฝั่งและการอบไม้.** สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรม  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสี่**ป่าไม้.** ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุษกร นางงามสำโรง. มปป. [Online]. การใช้สารเคมีสร้างตะกอนในน้ำประปา.

(<http://202.129.59.73/spt/know/021155/usingChemical.pdf>).

ปฐมภาพร นันทากกุล. 2549. การใช้ปฏิกิริยาเฟนตันในการบำบัดค่า COD และสีของน้ำทิ้งจากกระบวนการรักษาเนื้อไม้ยางพาราของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปนัดดา ปลั่งกลาง. 2535. การกำจัดสีที่เกิดจากกรดฮิวมิกในน้ำโดยกระบวนการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.พ.ศ.2535.

ปวีณา วังซัง, ปิยดา จินศิริ และมุนาคา สดามเต๊ะ. 2556. การบำบัดน้ำยาโรนที่เสื่อมสภาพด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2556.

ปิยวรรณ ประมวลรัตน์ และสุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2553. การกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมด้วยโพลิอะลูมินัมคลอไรด์และโคโคซาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. มปป. [Online]. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกกูเลชัน(Flocculation) (Available:<http://www.mwa.co.th>).

ไพศาล มะระพุกษ์วรรณ. 2554. [Online]. ประเทศไทยกับการเป็นผู้นำการผลิตยางพาราโลก. (<http://www.thaiindia.net/th/news-item/36-quadrant-1/332-2011-09-27-04-39-55.html>).

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภูวดล ศิริสันเลิศ. 2552. สมรรถนะของกระบวนการโคแอกกูเลชันและการดูดติดด้วยถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่อยู่ในแหล่งน้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2552.

ระบิน รัชชเขตภักดี. 2551. การบำบัดสีในน้ำเสียจากการย้อมไหม ด้วยการใช้อนุเมี่ยมคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ร่วมกับถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่งรัตน์ ศรีนวกุล. มปป. [Online]. ข้อมูลวิชาการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา (Available:<http://library.dip.go.th>).

วนิดา ชูอักษร. 2555. เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17: 181-191.

วัชรินทร์ เวชเตง. 2548. การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยการสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพ; กรณีศึกษาระบบผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าวังน้อย, กฟผ. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.พ.ศ. 2548.

วีระนุช บุญรุ่ง. 2553. การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟ้นต้นและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2553.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. 2537. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โสรดา ขุน โหระ และจิรสา กรงกรด. 2547. [Online]. สารเคมีสำหรับบำบัดน้ำเสีย. ([http://www.bsbgeneral.com/art/water\\_treatment.pdf](http://www.bsbgeneral.com/art/water_treatment.pdf)).

สุรวุฒิ ศิราธรรม. 2551. ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยการใช้แมกนีไทต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2551.

สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 2547. การอบน้ำยาไม้. การใช้ประโยชน์ไม้ขั้นพื้นฐาน.

อัญชลี นิมอนุสรณ์กุล. 2538. การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบแผนหมุนชีวภาพกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2538.

Hamidreza, F. 2012. **Cogulation treatment of wastewater in petroleum industry using poly aluminum chloride and ferric chloride.**

Hendric//ks, D., 2011. **Fundamentals of Water Treatment Unit Process Physical, Chemical, and Biological.** 1<sup>st</sup> Edition. Taylor and Francis Group, LC.

เอกสารนี้ Herzog, A. 2007. **Coagulation and Flocculation: Color Removal.** ภาควิศวกรรมโยธา

ไม่ว่ากรณี Hundt, T.R. and C.R.O. Melia. 1988. **Aluminum – Fulvic acid interactions : mechanism and applications.** J. Amer . Wat. Works. Assoc. 80 (4): 176 – 186.

- Rebhun, M. and M. Lurie. 1993. **Control of organic matter by coagulation and flocculation**.  
 J. Wat. Sci Tech. 27 (11): 1 – 20.
- Simpson, A.M., W. Hatton and M. Brockbank. 1988. **Aluminium, its use and control in potable water**. J. Envir. Tech.Left. 9 (9): 907 –916.
- Virahavan, T. and C.H. Wimmer. 1988. **Polyaluminum Chloride as an alternative to alumcoagulation a case study**. J. Agua 6: 316 – 321.
- Yilmaz. M. 2013. **The Effect of the pH of the Solution in the Boron Removal using Polyaluminium Chloride (PAC) Coagulant with Chemical Coagulation Method**.
- Zhonglian, Y. (2010). **Coagulation performance and residual aluminum speciation of  $Al_2(SO_4)_3$  and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment**.
- <http://www2.oie.go.th>. กระบวนการผลิตไม้ยางพาราแปรรูป.
- <http://www.baannatura.com>. น้ำยารักษาเนื้อไม้. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 มกราคม พ.ศ.2557.
- <http://www.diw.go.th>. กระบวนการการผลิตในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2) การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของกรดบอริก (g/L)} = \frac{C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times M_{\text{w}} \cdot \text{H}_3\text{BO}_3}{V}$$

โดยที่	$C_{\text{NaOH}}$	= ความเข้มข้นที่แน่นอนของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)
	$V_{\text{NaOH}}$	= ปริมาตรของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
	$M_{\text{w}} \cdot \text{H}_3\text{BO}_3$	= มวลโมเลกุลของกรดบอริก (กรัมต่อ โมล)
	$V$	= ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

## ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติปริมาตรของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตเท่ากับ 16.00 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นที่แน่นอนของ โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.0998 โมลต่อลิตร

ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้เท่ากับ 10 มิลลิลิตร

มวลโมเลกุลของกรดบอริกเท่ากับ 61.83 กรัมต่อ โมล

$$\begin{aligned} \text{จะได้ความเข้มข้นของกรดบอริก} &= \frac{0.0998 \times 16.00 \times 61.83}{10} \\ &= 9.87 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-2 การวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI)

### 1) การทดลอง

1. การเตรียมสารละลายสีมาตรฐานที่มีสี 100, 200, 300, 400 และ 500 ADMI โดยการเจือจางสารละลายสต็อกโพแทสเซียมคลอโรแพลตตินेट (K<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>) จำนวน 1.246 กรัมในน้ำกลั่น เติมนกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และโคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) 1.000 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 1.000 มิลลิลิตร (ซึ่งจะมีหน่วยสีเท่ากับ 500 ADMI) โดยปีเปตมา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็นปริมาตร 10 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร นำมาวัดค่าทรานส์มิทแตนซ์ (%T) แต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ก-1

2. ทำการกรองตัวอย่างน้ำ ด้วยฟิลเตอร์ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน

3. นำไปวัดค่า %T ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 การวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

Coordinate No.	Wavelength(nm)		
	X	Y	Z
2	435.5	489.5	422.2
5	461.2	515.2	432.0
8	544.3	529.8	438.6
11	564.1	541.4	444.4
14	577.4	551.8	450.1
17	588.7	561.9	455.9
20	599.6	572.5	462.0
23	610.9	584.8	468.7
26	624.2	600.8	477.7
29	654.9	627.3	495.2
Factor when 10 Ordinate Used	0.09806	0.10000	0.11814

4. เมื่อได้ค่า %T ของแต่ละความยาวคลื่นและค่า Calibration Factor จากความชันของ

เอกสารนี้เป็นกราฟมาตรฐานให้นำค่าที่ได้ใส่ในโปรแกรมช่วยคำนวณค่า ADMI (เจตนิพิฐ, 2552) โยชน์ด้านการค้า

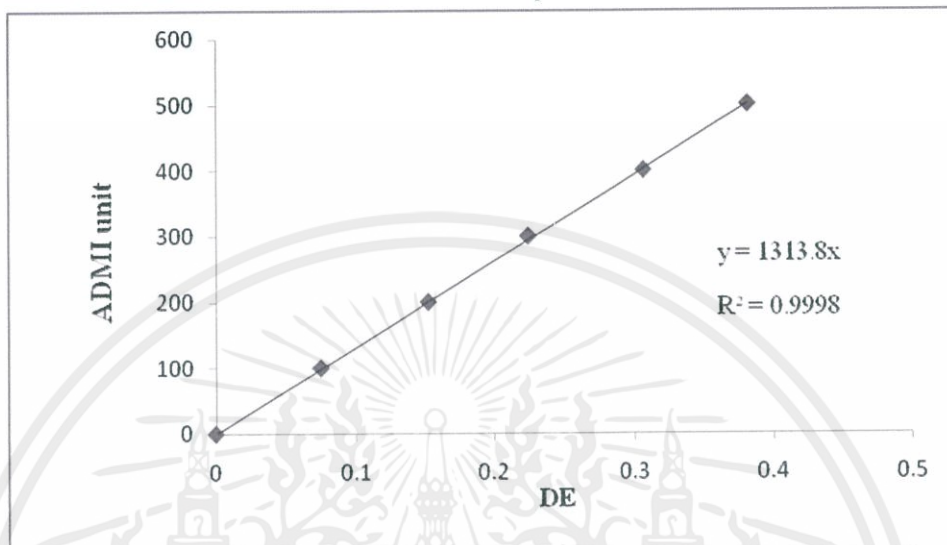
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 5. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าความเข้มสีในหน่วยเอดีเอ็มไอมาให้ผ่านทางเวิร์กชีท

ADMI

## 2) การคำนวณและแปลผล

### 1. การคำนวณ Calibration Factor (f)

เป็นการนำค่าเอดีเอ็มไอของสีมาตรฐานที่เตรียมได้มาพล็อตเทียบกับค่า DE ที่คำนวณได้ จะได้ Calibration Factor (f) จากความชันของกราฟดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของตัวอย่างสีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-2 ค่าทรานส์มิตแดนซ์แกน X ของตัวอย่างสีมาตรฐาน**

ความเข้มสี (ADMI)	Wavelength X (nm)									
	435.5	461.2	544.3	564.1	577.4	588.7	599.6	610.9	624.2	654.9
100	92.9	91.8	97.1	97.5	97.6	97.6	97.5	97.5	97.5	97.3
200	88.9	87.1	97.6	98.5	98.9	98.9	99.1	99.4	99.3	99.4
300	84.7	82.0	97.3	98.8	99.3	99.5	99.5	99.5	99.6	99.6
400	78.9	75.4	95.7	97.7	98.2	98.5	98.4	98.4	98.4	98.3
500	71.5	68.3	91.5	93.9	94.5	94.8	94.9	95.0	94.8	94.9

**ตารางที่ ก-3 ค่าทรานส์มิตแดนซ์แกน Y ของตัวอย่างสีมาตรฐาน**

ความเข้มสี (ADMI)	Wavelength Y (nm)									
	489.5	515.2	529.8	541.4	551.8	561.9	572.5	584.8	600.8	627.3
100	93.7	95.7	96.5	97.0	97.3	97.5	97.6	97.6	97.6	97.5
200	90.9	94.9	96.7	97.8	98.4	98.8	99.1	99.3	99.4	99.4
300	87.0	92.9	95.5	97.1	98.0	98.7	99.1	99.4	99.6	99.6
400	81.9	89.0	93.2	95.3	96.6	97.4	98.0	98.3	98.4	98.3
500	75.7	84.8	88.6	91.1	92.7	93.7	94.4	94.7	95.0	95.0

**ตารางที่ ก-4 ค่าทรานส์มิตแดนซ์แกน Z ของตัวอย่างสีมาตรฐาน**

ความเข้มสี (ADMI)	Wavelength Z (nm)									
	422.2	432.0	438.6	444.4	450.1	455.9	462.0	468.7	477.7	495.2
100	92.2	93.0	92.6	92.2	91.8	91.6	91.8	92.1	92.8	94.1
200	87.8	89.4	88.6	87.7	87.2	87.1	87.3	87.9	89.0	91.7
300	82.8	85.1	84.0	82.9	82.0	81.8	82.1	82.9	84.5	88.4
400	76.6	79.4	78.1	76.6	75.5	75.1	75.4	76.5	78.6	83.7
500	68.8	72.1	70.8	69.3	68.3	68.0	68.4	69.7	72.0	77.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคำนวณค่าสี (ADMI)

$$\text{ADMI UNIT} = \frac{(F)(DE)}{b}$$

โดยที่ F คือ ค่า Calibration Factor ที่ได้จากความชันของการพลอตกราฟของค่า ADMI กับ ค่าของตัวอย่างสีมาตรฐาน

b คือ ความกว้างของเซลล์วัดแสง (cm.)

DE หาจาก

$$DE = [(0.23 \Delta V_y)^2 + (\Delta(V_x - V_y))^2 + (0.4 \Delta(V_y - V_z))^2]^{1/2}$$

โดยที่

$$\Delta V_y = V_{yc} - V_{ys}$$

$$\Delta(V_x - V_y) = (V_{xc} - V_{yc}) - (V_{xs} - V_{ys})$$

$$\Delta(V_y - V_z) = (V_{yc} - V_{zc}) - (V_{ys} - V_{zs})$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าสี

1) ทำการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน (%T) ในแต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ก-1 จะได้ค่าดังตัวอย่าง

X	41	42.9	46.2	48	49.5	51	52.6	54.4	56.5	61.5
Y	43.7	44.3	45.2	46	46.8	47.8	48.9	50.5	52.7	56.9
Z	39.3	40.4	41	41.6	42.1	42.5	42.9	43.3	43.6	43.8

2) นำค่าที่ได้จากแต่ละแกนมารวมกัน

$$X = 41 + 42.9 + 46.2 + 48 + 49.5 + 51 + 52.6 + 54.4 + 56.5 + 61.5$$

$$X = 503.6$$

$$Y = 43.7 + 44.3 + 45.2 + 46 + 46.8 + 47.8 + 48.9 + 50.5 + 52.7 + 56.9$$

$$Y = 482.8$$

$$Z = 39.3 + 40.4 + 41 + 41.6 + 42.1 + 42.5 + 42.9 + 43.3 + 43.6 + 43.8$$

$$Z = 420.5$$

3) นำผลรวมที่ได้แต่ละแกนคูณกับแฟกเตอร์จากตารางที่ ก-1

$$X_s = 503.6 \times 0.09806 \quad X_s = 49.38$$

$$Y_s = 482.8 \times 0.1 \quad Y_s = 48.28$$

$$Z_s = 420.5 \times 0.11814 \quad Z_s = 49.68$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) นำค่า  $X_c$   $Y_c$   $Z_c$   $X_s$   $Y_s$  และ  $Z_s$  ( $X_c$   $Y_c$  และ  $Z_c$  ได้มาจากการนำน้ำกลั่นไปวัดและคำนวณเช่นเดียวกันกับตัวอย่าง) แปลงเป็นค่า Munsell จากตารางของ Adam – Nickerson (Wyszecki, G. and Stiles, W.S., 2000) จะได้เป็นค่าเป็น  $V_{xc}$ ,  $V_{yc}$ ,  $V_{zc}$ ,  $V_{xs}$ ,  $V_{ys}$  และ  $V_{zs}$  ตามลำดับจะได้  $V_{xc} = 9.9$   $V_{yc} = 9.9$   $V_{zc} = 9.9$   $V_{xs} = 7.48$   $V_{ys} = 7.34$   $V_{zs} = 6.93$

5) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า DE

$$DE = \{[(9.9-7.34) \times 0.23]^2 + [(9.9-9.9) - (7.48 - 7.34)]^2 + [0.4 \times [(9.9-9.9) - (7.34 - 6.93)]]^2\}^{1/2}$$

$$DE = 0.6270$$

$$ADMI = (0.6270 \times 1313.8) / 1 = 823.75$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสี

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

โดยที่  $C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มต้น (ADMI)

$C_e$  = ความเข้มข้นสุดท้าย (ADMI)

ให้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 823.75 ADMI

ให้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 31.69 ADMI

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี (\%)} &= ((823.75 - 31.69) / 823.75) \times 100 \\ &= 96.15\% \end{aligned}$$

### 3) การใช้โปรแกรมช่วยคำนวณค่า ADMI (เจตนิพิฐ, 2552)

ขั้นตอนการดำเนินงานบนคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

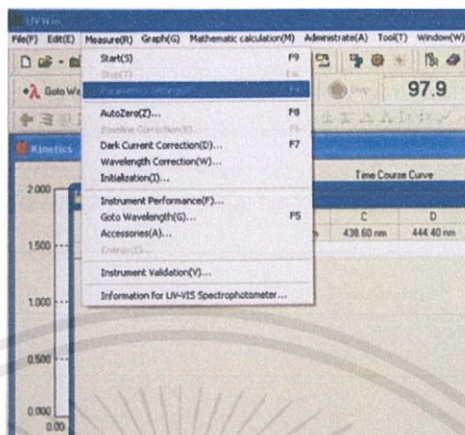
1. เข้าโปรแกรม UVWin5 Software v5.1.1 ผ่านทางไอคอนหน้าจอ



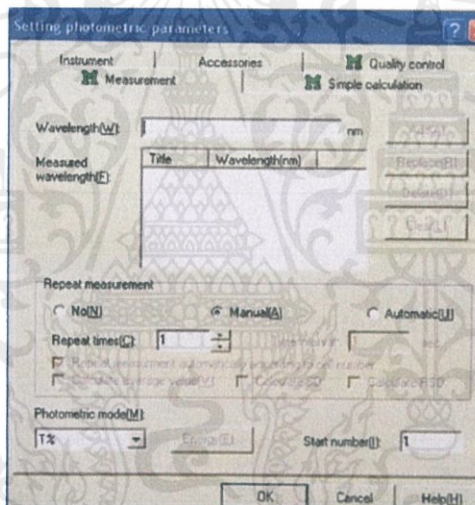
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใส่ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแต่ละ โคออดิเนต จนครบทั้ง 3 แกน

2.1 เข้า Measure จากนั้นคลิกที่ Parameter Setting



2.2 ใส่ความยาวคลื่นในช่วง Wavelength (W) ดังตาราง ก.1



3. กรองน้ำตัวอย่างด้วยฟิลเตอร์ใสเชลล์ จากนั้นวัดค่า %T ของน้ำตัวอย่าง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	No.	ID	Mode	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
2	1	1-Feb	T%	91.9	93.9	97.1	97.5	97.7	97.9	98	98.2	98.4	98.7
3	2	1-Mar	T%	81.9	87.3	94.7	95.6	96	96.4	96.6	96.9	97.3	97.8
4	3	1-Apr	T%	90.8	94	98	98.4	98.6	98.8	98.9	99	99.2	99.3
5	4	1-May	T%	87.7	92.2	97.5	98.1	98.3	98.5	98.6	98.8	98.9	99.2
6	5	1-Jun	T%	90.1	93.9	98	98.4	98.6	98.7	98.8	98.9	99	99.1
7	6	1-Jul	T%	90.5	93.8	97.8	98.2	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	99
8	7	1-Aug	T%	91.9	94.9	98.2	98.5	98.6	98.7	98.8	98.9	99	99.1
9	8	1-Sep	T%	93	95.5	98.1	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	98.8	98.9
10	9	1-Oct	T%	94	96.1	98.3	98.6	98.7	98.8	98.8	98.9	99	99.1
11	10	1-Nov	T%	93.8	96.1	98.3	98.6	98.7	98.8	98.8	99	99	99.1
12	11	1-Dec	T%	94.6	96.6	98.4	98.7	98.8	98.8	98.9	99	99	99.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า DE และค่าความเข้มข้นในหน่วยเอ็ดเอ็มไอมาให้ผ่านทางเวิร์คชีท ADMI

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Xs	Ys	Zs	Vxs	Vys	Vzs	DE	ADMI
2	40	95.49083	97.62	110.9098	9.8	9.81	9.66	0.064253	92.52479
3	35	90.28384	93.03	92.85804	9.59	9.63	9	0.262603	378.1485
4	30	91.5194	94.18	96.65033	9.64	9.67	9.14	0.22055	317.5924
5	25	92.40194	95.01	102.2029	9.67	9.71	9.35	0.15571	224.2228
6	20	92.75495	95.21	101.9312	9.69	9.71	9.34	0.155607	224.0748
7	15	93.22564	95.66	102.9826	9.71	9.73	9.38	0.146727	211.2869
8	10	93.34331	95.75	107.85	9.71	9.73	9.55	0.084337	121.446
9	5	93.85323	96.21	104.4121	9.73	9.75	9.43	0.134068	193.058
10	4	93.86303	96.42	104.7311	9.73	9.76	9.44	0.135354	194.9105
11	3	94.82402	97.1	107.0467	9.77	9.79	9.53	0.108886	156.7954
12	2	96.38317	98.62	111.7486	9.84	9.85	9.69	0.065789	94.73679

ก-3 การวิเคราะห์ค่าที่ไอซี (Total Organic Carbon, TOC)

1) การทดลอง

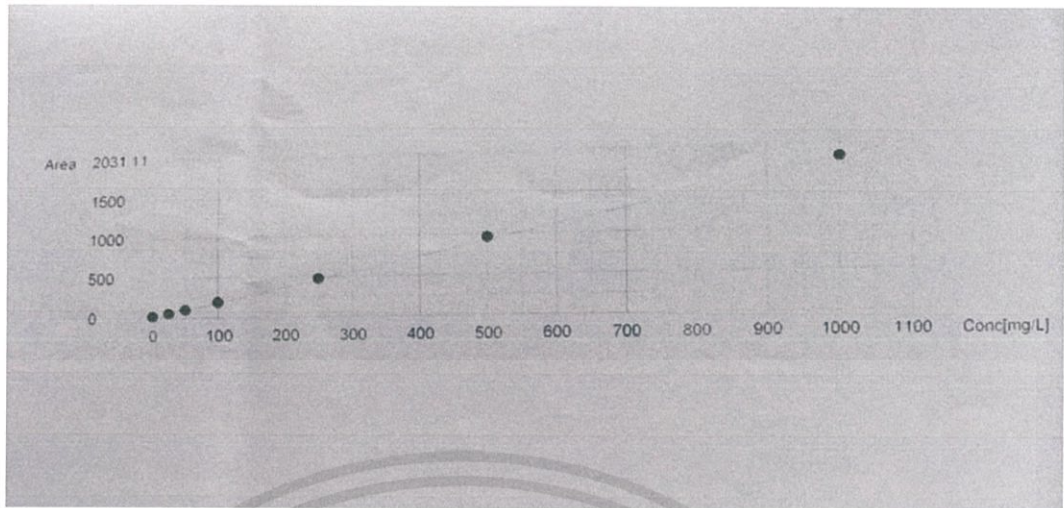
1. การทำ Calibration Curve ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)

1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TC) โดยเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต ( $C_8H_5KO_4$ ) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร (mg - C/L) จำนวน 0.2125 g ปรับปริมาตรด้วย Zero water ให้เป็น 100 มิลลิตร ในขวดวัดปริมาตร ใส่ vial ขนาด 20 มิลลิตร จำนวน 3 ขวด

1.2 สำหรับการทำให้ Calibration Curve ของสารอินทรีย์ (IC) ให้ใช้โซเดียมไฮโครเจนคาร์บอเนต ( $NaHCO_3$ ) จำนวน 0.3500 g และโซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ) จำนวน 0.4410 g ปรับปริมาตรด้วย Zero water 100 มิลลิตร ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร (mg - C/L) ใส่ vial ขนาด 20 มิลลิตร จำนวน 3 ขวด

1.3 เลือกช่วงเงื่อนงำและดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่องตามความเหมาะสม ได้ Calibration Curve ของสารอินทรีย์ (TC) และ Calibration Curve ของสารอินทรีย์ (IC) ดังรูปที่ ก-2 และรูปที่ ก-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียมพทาเลต ใช้ในการทำกราฟมาตรฐานอินทรีย์คาร์บอน (TC)



รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตรวมกับโซเดียมคาร์บอเนตใช้ในการทำกราฟมาตรฐานอินทรีย์คาร์บอน (IC)

## 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 นำน้ำตัวอย่าง หรือน้ำยาโบรอนที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำยาโบรอนที่ผ่านการทดสอบจาร์เทสต์ มากรองผ่านไซริงค์ฟิลเตอร์ ใส่ vial ขนาด 20 มิลลิตรสำหรับวิเคราะห์

2.2 ทำการวิเคราะห์โดยเลือก Mode (TC, IC) ในการวิเคราะห์ดำเนินการทดลองโดยป้อนคำสั่งให้เครื่องวัด TOC ตามคู่มือการใช้เครื่อง

2.3 ในการทดลองทุกครั้งต้องทำเบลงค์ด้วยน้ำกลั่นเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ข**  
**ผลการทดลอง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 น้ำยาโบรอนก่อนกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

ลักษณะน้ำยาโบรอน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความขุ่น (NTU)	70.40	70.80	70.30
สี (ADMI)	823.81	801.07	813.85
TOC (mg-C/L)	156.90	293.70	301.60
ความเข้มข้นของกรดบอริก (g/L)	9.87	9.60	9.87
ค่าพีเอช	8.14	8.14	8.15

ตารางที่ ข-2 ค่าความขุ่นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้น สารส้ม (g/L)	ค่าความขุ่นของสารส้ม (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	59.70	59.20	60.20	59.70 $\pm$ 0.5
1.90	57.20	57.50	59.70	58.13 $\pm$ 1.37
2.86	40.50	40.60	40.60	40.57 $\pm$ 0.08
3.81	28.60	27.90	28.00	28.17 $\pm$ 0.38
4.29	12.90	12.70	12.90	12.83 $\pm$ 0.12
4.70	5.20	5.30	5.90	5.47 $\pm$ 0.38
5.24	6.05	6.18	6.29	6.17 $\pm$ 0.12
5.71	7.25	7.95	7.06	7.42 $\pm$ 0.47
6.67	21.70	22.00	22.40	22.03 $\pm$ 0.35
7.62	29.40	29.80	29.00	29.40 $\pm$ 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ค่าความขุ่นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

pH	ค่าความขุ่นของสารส้ม (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5	23.00	23.30	22.30	22.87 $\pm$ 0.51
6	27.90	28.30	28.00	28.07 $\pm$ 0.21
7	20.20	18.30	17.90	18.80 $\pm$ 1.23
8	8.40	9.20	9.10	8.90 $\pm$ 0.44
9	64.30	63.60	63.40	63.77 $\pm$ 0.47
10	57.30	56.50	56.00	56.60 $\pm$ 0.66

ตารางที่ ข-4 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้น สารส้ม (g/L)	ค่าความเข้มข้นของสารส้ม (ADMI)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	670.67	685.96	691.15	682.59 $\pm$ 10.65
1.90	654.45	646.63	654.45	651.84 $\pm$ 4.51
2.86	509.78	508.60	514.77	511.05 $\pm$ 3.28
3.81	65.98	69.68	69.88	68.51 $\pm$ 2.20
4.29	42.74	42.60	37.63	40.99 $\pm$ 2.91
4.70	26.39	26.62	26.62	26.54 $\pm$ 0.01
5.24	21.27	21.36	21.19	21.27 $\pm$ 0.08
5.71	10.54	21.27	29.63	20.48 $\pm$ 9.57
6.67	34.19	55.73	34.60	41.51 $\pm$ 12.32
7.62	42.49	50.58	79.42	57.50 $\pm$ 19.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

pH	ค่าความเข้มข้นของสารส้ม (ADMI)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5	102.15	102.15	102.72	102.34 $\pm$ 0.33
6	149.87	140.92	145.07	145.29 $\pm$ 4.48
7	173.29	153.42	152.85	159.85 $\pm$ 11.64
8	41.64	26.72	26.72	31.69 $\pm$ 8.61
9	845.80	843.85	838.78	842.81 $\pm$ 3.26
10	606.93	593.55	593.55	598.01 $\pm$ 7.72

ตารางที่ ข-6 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้นสารส้ม (g/L)	TOC (mg-C/L)			$(\bar{x} \pm S.D.)$
	1	2	3	
0.95	108.1	111.1	110.5	109.90 $\pm$ 1.59
1.90	90.97	90.95	93.51	91.81 $\pm$ 1.47
2.86	81.72	79.92	75.64	79.09 $\pm$ 3.12
3.81	76.56	72.72	77.78	75.69 $\pm$ 2.64
4.29	46.78	45.41	43.80	45.33 $\pm$ 1.49
4.70	57.08	56.61	57.45	57.05 $\pm$ 0.42
5.24	35.20	34.79	34.82	34.94 $\pm$ 0.23
5.71	32.85	31.86	33.32	32.68 $\pm$ 0.75
6.67	36.52	37.91	37.16	37.20 $\pm$ 0.70
7.62	38.43	39.99	38.25	38.89 $\pm$ 0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

pH	TOC (mg-C/L)			$(\bar{x} \pm S.D.)$
	1	2	3	
5	31.20	31.20	29.70	$30.70 \pm 0.87$
6	12.10	34.26	34.31	$26.89 \pm 12.81$
7	24.61	24.30	24.60	$24.50 \pm 0.18$
8	15.42	15.72	15.68	$15.61 \pm 0.16$
9	70.99	71.53	71.38	$71.30 \pm 0.28$
10	66.82	63.96	57.20	$62.66 \pm 4.94$

ตารางที่ ข-8 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้นสารส้ม (g/L)	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
0.95	15.32	16.03	56.17
1.90	17.55	19.81	63.38
2.86	42.47	37.13	68.46
3.81	60.04	91.57	69.81
4.29	84.44	94.96	81.92
4.70	92.24	96.74	77.25
5.24	90.84	97.38	86.06
5.71	89.48	96.67	86.97
6.67	68.75	93.47	85.16
7.62	58.30	89.71	84.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม

pH	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
5	67.56	87.41	87.76
6	60.18	80.34	89.28
7	73.33	82.13	90.23
8	87.38	96.10	93.77
9	9.55	-3.68	71.56
10	19.72	26.44	75.01

ตารางที่ ข-10 ความเข้มข้นของกรคบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้นสารส้ม (g/L)	ปริมาณHClที่เติม (mL)		ปริมาณNaOHที่เติม (mL)			ค่าความเข้มข้นกรคบอริก เมื่อใช้สารส้ม (g/L)			ค่าบอริกที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
0.95	1.90	1.90	14.80	15.30	15.20	9.13	9.44	9.38	9.32 $\pm$ 0.16
1.90	1.50	1.50	13.70	13.80	13.90	8.45	8.51	8.58	8.51 $\pm$ 0.07
2.86	1.10	1.10	14.80	14.90	14.70	9.13	9.19	9.07	9.13 $\pm$ 0.06
3.81	0.80	0.70	14.40	16.10	15.10	9.19	9.26	9.32	9.26 $\pm$ 0.07
4.29	0.50	0.40	14.90	15.00	14.70	9.19	9.26	8.58	9.01 $\pm$ 0.37
4.70	0.30	0.30	14.50	15.00	14.90	8.95	9.19	9.26	9.13 $\pm$ 0.16
5.24	0.10	0.10	15.00	14.80	14.80	9.26	9.13	9.13	9.17 $\pm$ 0.08
5.71	0.15	0.15	14.50	14.90	16.10	9.19	8.95	9.07	9.07 $\pm$ 0.12
6.67	-	-	2.90	1.90	1.80	9.54	9.87	9.73	9.71 $\pm$ 0.17
7.62	-	-	3.40	3.10	2.70	9.79	9.91	9.97	9.89 $\pm$ 0.09

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ = 0.0977N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

pH	ปริมาณHClที่เติม(mL)		ปริมาณNaOHที่เติม(mL)			ค่าความเข้มข้นกรดบอริก เมื่อใช้สารส้ม (g/L)			ค่าบอริกที่วัดได้( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
5	-	-	18.50	18.80	20.40	11.18	11.36	12.32	11.62 ± 0.61
6	-	-	18.60	18.50	18.40	11.24	11.18	11.12	11.18 ± 0.06
7	-	-	17.80	18.00	17.90	10.75	10.87	10.81	10.81 ± 0.06
8	-	-	15.70	15.80	15.70	9.48	9.54	9.48	9.50 ± 0.03
9	2.95	2.95	15.20	15.00	15.00	9.18	9.06	9.06	9.10 ± 0.07
10	9.60	9.10	14.10	14.10	14.00	8.52	8.52	8.46	8.50 ± 0.03

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ = 0.0998N

ตารางที่ ข-12 ค่าพีเอชหลังเติมสารส้มของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม

ความเข้มข้นสารส้ม (g/L)	ค่า pH ของสารส้ม			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	7.94	7.91	7.93	7.93 ± 0.02
1.90	7.59	7.59	7.60	7.59 ± 0.01
2.86	7.42	7.41	7.41	7.41 ± 0.01
3.81	6.92	6.91	6.92	6.92 ± 0.01
4.29	6.82	6.89	6.86	6.86 ± 0.04
4.70	6.49	6.48	6.51	6.49 ± 0.02
5.24	5.87	5.92	6.00	5.93 ± 0.07
5.71	5.82	5.70	5.75	5.76 ± 0.06
6.67	4.46	4.47	4.78	4.57 ± 0.18
7.62	4.35	4.36	4.35	4.35 ± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 ค่าพีเอชหลังเติมสารส้มของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

pH	ค่า pH ของสารส้ม			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5	3.87	3.89	3.92	3.89 $\pm$ 0.03
6	3.92	3.92	3.92	3.92 $\pm$ 0.00
7	4.01	4.02	4.02	4.02 $\pm$ 0.01
8	5.14	5.21	5.21	5.19 $\pm$ 0.04
9	8.26	8.24	8.23	8.24 $\pm$ 0.02
10	9.40	9.42	9.43	9.42 $\pm$ 0.02

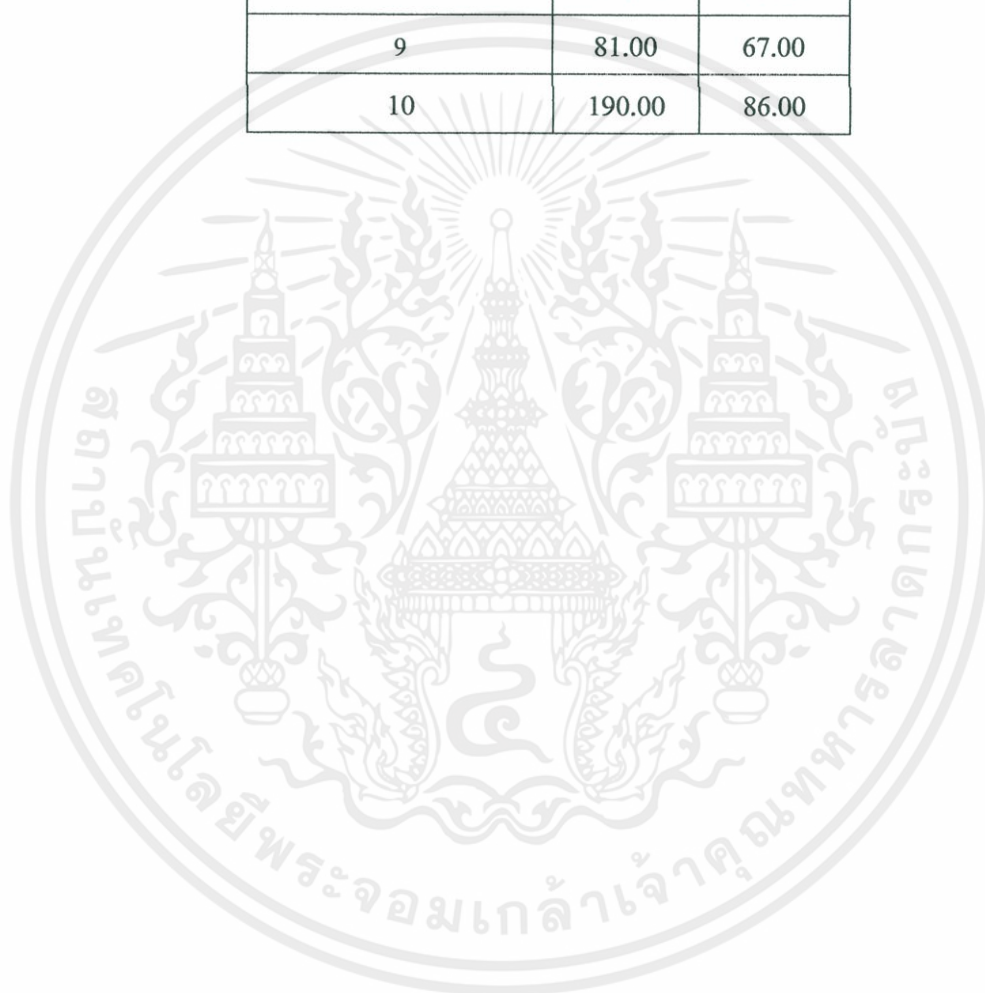
ตารางที่ ข-14 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม (สารส้ม 4.76 g/L)

ความเข้มข้นสารส้ม (g/L)	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
0.95	35.00	30.00
1.90	46.00	40.00
2.86	80.00	69.00
3.81	140.00	110.00
4.29	220.00	180.00
4.70	200.00	160.00
5.24	220.00	160.00
5.71	240.00	190.00
6.67	195.00	165.00
7.62	170.00	145.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-15 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของสารส้ม

pH	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
5	26.00	24.00
6	44.00	43.00
7	42.00	42.00
8	160.00	135.00
9	81.00	67.00
10	190.00	86.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-16 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI

ความเข้มข้น PACI (g/L)	ค่าความขุ่นของ PACI (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	22.30	22.40	21.70	22.13 $\pm$ 0.37
1.90	15.20	15.60	15.40	15.40 $\pm$ 0.20
2.38	10.80	11.09	11.03	10.97 $\pm$ 0.15
2.86	7.00	8.00	7.50	7.50 $\pm$ 0.50
3.33	2.28	2.14	2.17	2.20 $\pm$ 0.07
3.81	7.72	9.98	9.28	9.00 $\pm$ 1.16
4.76	9.48	8.90	9.31	9.23 $\pm$ 0.30
5.71	12.40	14.20	14.90	13.83 $\pm$ 1.29
6.67	100.00	103.00	102.00	101.67 $\pm$ 1.53

ตารางที่ ข-17 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

pH	ค่าความขุ่นของ PACI (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5.09	64.23	64.98	64.60	64.60 $\pm$ 0.38
6.09	80.00	77.20	79.80	79.00 $\pm$ 1.56
7.01	124.00	117.00	120.00	120.33 $\pm$ 3.51
8.04	3.33	2.62	3.31	3.09 $\pm$ 0.40
9.00	18.20	17.10	17.10	17.47 $\pm$ 0.63
10.02	16.19	18.00	16.35	16.85 $\pm$ 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-18 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI

ความเข้มข้น PACI (g/L)	ค่าความเข้มข้นของ PACI (ADMI)			ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	227.73	227.73	268.25	241.27±23.39
1.90	107.64	107.64	104.59	106.62±1.76
2.38	130.44	129.50	112.92	124.29±9.86
2.86	57.85	71.29	63.88	64.34±6.73
3.33	21.87	33.77	25.89	27.18±6.05
3.81	34.96	45.75	39.77	40.16±5.41
4.76	26.39	36.37	28.92	30.56±5.12
5.71	17.09	21.84	18.18	19.04±2.45
6.67	879.33	881.80	881.15	880.76±1.28

ตารางที่ ข-19 ค่าความเข้มข้นของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

pH	ค่าความเข้มข้นของ PACI (ADMI)			ค่าความความเข้มข้นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5.09	864.38	868.17	863.28	865.28±2.57
6.09	784.85	778.86	783.75	782.49±3.19
7.01	770.41	770.41	771.67	770.83±0.73
8.04	30.74	22.89	27.58	27.07±3.95
9.00	121.06	115.67	117.38	117.84±2.75
10.02	160.91	162.67	160.78	161.45±1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-20 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI

ความเข้มข้น PACI (g/L)	TOC (mg-C/L)			ค่า TOC ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	54.83	50.26	51.93	51.93 $\pm$ 2.31
1.90	47.25	53.25	50.12	50.21 $\pm$ 3.00
2.38	42.90	43.29	42.35	42.85 $\pm$ 0.47
2.86	34.72	34.18	34.72	34.54 $\pm$ 0.31
3.33	34.40	36.21	39.63	36.75 $\pm$ 2.66
3.81	29.31	29.80	29.49	29.53 $\pm$ 0.25
4.76	38.37	39.04	37.99	38.47 $\pm$ 0.53
5.71	38.96	39.72	38.72	39.13 $\pm$ 0.52
6.67	43.06	42.22	42.38	42.55 $\pm$ 0.44

ตารางที่ ข-21 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

pH	TOC (mg-C/L)			ค่า TOC ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5.09	56.15	44.08	44.36	48.20 $\pm$ 6.89
6.09	42.83	42.42	42.35	42.53 $\pm$ 0.26
7.01	45.80	45.40	46.40	45.87 $\pm$ 0.50
8.04	17.34	17.62	19.92	18.29 $\pm$ 1.42
9.00	18.51	27.42	26.11	24.01 $\pm$ 4.81
10.02	29.72	34.95	26.40	30.37 $\pm$ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-22 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACl

ความเข้มข้นPACl (g/L)	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
0.95	68.61	70.32	79.29
1.90	78.16	86.88	79.97
2.38	84.44	92.41	82.91
2.86	89.36	92.09	86.22
3.33	96.88	96.67	85.34
3.81	87.25	95.06	88.22
4.76	87.15	96.24	84.66
5.71	80.38	97.66	84.40
6.67	87.70	-8.35	83.30

ตารางที่ ข-23 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACl

pH	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
5.09	8.37	-6.44	80.78
6.09	12.06	3.74	83.04
7.01	70.68	5.18	81.73
8.04	95.62	96.67	92.71
9.00	75.22	85.50	90.42
10.02	76.10	80.14	87.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-24 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI

ความเข้มข้น PACI (g/L)	ปริมาณHClที่ เติม (mL)		ปริมาณNaOHที่เติม (mL)			ความเข้มข้น กรดบอริก (g/L)			ความ เข้มข้น กรดบอริก ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
0.95	2.20	2.20	15.80	16.70	16.00	9.54	9.67	9.67	9.63±0.08
1.90	1.70	2.00	15.50	15.70	15.60	9.36	9.48	9.42	9.42±0.06
2.38	1.50	1.0	14.80	14.80	14.90	9.00	9.00	9.07	9.02±0.04
2.86	1.30	1.30	15.10	15.10	15.20	9.12	9.12	9.18	9.14±0.03
3.33	0.90	1.20	14.40	14.50	14.40	8.76	8.82	8.76	8.78±0.03
3.81	0.80	0.80	14.50	14.60	14.50	8.82	8.88	8.82	8.84±0.03
4.76	0.40	0.30	13.80	13.90	13.90	8.40	8.46	8.46	8.44±0.03
5.71	0.2	0.2	14.50	14.50	14.50	8.82	8.82	8.82	8.82±0.00
6.67	-	-	15.00	14.80	14.90	9.13	9.00	9.07	9.07±0.07

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ (0.95-2.86g/L) = 0.0977N , (3.33-6.67g/L)=0.0984

ตารางที่ ข-25 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

pH	ปริมาณHClที่ เติม (mL)		ปริมาณNaOHที่เติม (mL)			ความเข้มข้น กรดบอริก (g/L)			ความเข้มข้น กรดบอริกที่วัด ได้( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
5.09	-	-	17.50	17.40	17.40	10.65	10.59	10.59	10.61±0.03
6.09	-	-	16.80	16.80	16.90	10.22	10.22	10.28	10.24±0.03
7.01	-	-	16.20	16.20	16.30	9.86	9.92	9.88	9.88±0.03
8.04	1.00	1.10	13.50	13.50	13.50	8.21	8.21	8.21	8.21±0.00
9.00	4.50	4.60	8.70	9.10	9.10	5.29	5.54	5.54	5.46±0.14
10.02	10.20	10.30	2.60	2.70	2.80	1.58	1.64	1.70	1.64±0.06

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ = 0.0984N

ตารางที่ ข-26 ค่าพีเอชหลังเติม PACI ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

ความเข้มข้น PACI(g/L)	ค่า pH ของ PACI			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.95	7.98	7.97	7.97	7.93±0.01
1.90	7.92	7.92	7.92	7.92±0.00
2.38	7.48	7.47	7.48	7.48±0.01
2.86	7.71	7.71	7.71	7.71±0.00
3.33	7.18	7.21	7.18	7.19±0.02
3.81	7.21	7.21	7.21	7.21±0.00
4.76	6.70	6.70	6.77	6.72±0.04
5.71	6.32	6.34	6.36	6.34±0.02
6.67	5.03	5.03	5.03	5.03±0.00

ตารางที่ ข-27 ค่าพีเอชหลังเติม PACI ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACI (PACI 3.33 g/L)

pH	ค่า pH ของ PACI			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5.09	4.02	4.02	4.03	4.02±0.01
6.09	4.16	4.15	4.18	4.16± 0.02
7.01	4.48	4.47	4.52	4.49± 0.03
8.04	7.12	7.16	7.15	7.14± 0.02
9.00	8.58	8.54	8.58	8.57± 0.02
10.02	9.65	9.64	9.65	9.65± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-28 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ PACl

ความเข้มข้น PACl (g/L)	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
0.95	130	110
1.90	270	210
2.38	280	235
2.86	270	220
3.33	290	240
3.81	290	240
4.76	310	260
5.71	325	275
6.67	310	245

ตารางที่ ข-29 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ PACl (PACl 3.33 g/L)

pH	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
5.09	17	15
6.09	20	18
7.01	39	35
8.04	280	225
9.00	345	280
10.02	250	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-30 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ FeCl<sub>3</sub>

ความเข้มข้น FeCl <sub>3</sub> (g/L)	ค่าความขุ่นของ FeCl <sub>3</sub> (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
0.48	39.10	36.90	38.50	38.17 $\pm$ 1.14
0.95	33.30	32.40	34.50	33.40 $\pm$ 1.05
1.19	20.30	21.30	20.40	20.67 $\pm$ 0.55
1.43	7.52	8.15	7.49	7.72 $\pm$ 0.37
1.67	6.10	6.20	6.80	6.37 $\pm$ 0.38
1.90	58.90	58.50	59.00	58.80 $\pm$ 0.26

ตารางที่ ข-31 ค่าความขุ่นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ FeCl<sub>3</sub> (FeCl<sub>3</sub> 1.67 g/L)

pH	ค่าความขุ่นของ FeCl <sub>3</sub> (NTU)			ค่าความขุ่นที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm S.D.$ )
	1	2	3	
5.02	9.78	10.40	8.60	9.59 $\pm$ 0.91
6.02	8.62	6.09	7.42	7.32 $\pm$ 1.27
7.01	10.40	10.80	11.90	11.03 $\pm$ 0.78
8.04	5.20	5.98	5.43	5.54 $\pm$ 0.40
9.01	40.00	40.30	40.10	40.13 $\pm$ 0.15
10.00	30.90	30.90	31.20	31.00 $\pm$ 0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-32 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$

ความเข้มข้น $\text{FeCl}_3$ (g/L)	ค่าความเข้มข้นของ $\text{FeCl}_3$ (ADMI)			ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ ( $\bar{X} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
0.48	919.08	905.48	908.86	911.14 $\pm$ 7.08
0.95	584.76	587.72	593.63	588.54 $\pm$ 4.52
1.19	279.74	312.35	303.83	298.64 $\pm$ 16.91
1.43	50.54	49.65	61.99	56.06 $\pm$ 6.88
1.67	11.41	18.32	28.70	19.58 $\pm$ 8.70
1.90	266.76	227.74	204.56	253.75 $\pm$ 31.43

ตารางที่ ข-33 ค่าความเข้มข้นของน้ำยา โบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$  ( $\text{FeCl}_3$  1.67 g/L)

pH	ค่าความเข้มข้นของ $\text{FeCl}_3$ (ADMI)			ค่าความความเข้มข้นที่วัดได้ ( $\bar{X} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
5.02	340.65	337.44	361.74	346.61 $\pm$ 13.20
6.02	401.50	409.36	389.56	400.14 $\pm$ 9.97
7.01	1705.70	1698.10	1686.36	1696.72 $\pm$ 9.74
8.04	19.74	17.38	17.42	18.18 $\pm$ 1.35
9.01	953.64	468.12	431.67	451.14 $\pm$ 291.41
10.00	596.29	588.67	598.25	594.40 $\pm$ 5.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-34 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$

ความเข้มข้น $\text{FeCl}_3$ (g/L)	TOC (mg-C/L)			ค่า TOC ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
0.48	72.03	72.54	71.49	72.02 $\pm$ 0.53
0.95	69.48	68.56	65.64	67.89 $\pm$ 2.00
1.19	61.41	60.78	60.78	60.99 $\pm$ 0.36
1.43	38.55	36.83	37.58	37.65 $\pm$ 0.86
1.67	13.24	11.72	11.01	11.66 $\pm$ 1.14
1.90	5.51	5.88	5.34	5.58 $\pm$ 0.28

ตารางที่ ข-35 ค่า TOC ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$  ( $\text{FeCl}_3$  1.67 g/L)

pH	TOC (mg-C/L)			ค่า TOC ที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
5.02	12.62	12.75	12.54	12.64 $\pm$ 0.11
6.02	12.07	12.45	12.23	12.25 $\pm$ 0.19
7.01	16.17	16.39	15.70	16.09 $\pm$ 0.35
8.04	7.55	7.36	7.63	7.51 $\pm$ 0.14
9.01	26.25	27.20	26.72	26.54 $\pm$ 0.48
10.00	36.09	35.83	37.58	36.50 $\pm$ 0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-36 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ FeCl<sub>3</sub>

ความเข้มข้น FeCl <sub>3</sub> (g/L)	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
0.48	45.89	3.68	71.28
0.95	51.06	17.35	72.92
1.19	70.28	62.92	75.68
1.43	89.05	88.19	84.98
1.67	90.96	96.34	95.35
1.90	16.60	86.38	97.77

ตารางที่ ข-37 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ FeCl<sub>3</sub>

pH	ความขุ่น (%)	สี (%)	TOC (%)
5.02	86.40	63.06	94.96
6.02	89.62	57.35	95.11
7.01	84.35	-80.83	93.58
8.04	92.14	98.06	97.00
9.01	43.08	51.92	89.41
10.00	56.03	36.65	85.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-38 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$

ความเข้มข้น $\text{FeCl}_3$ (g/L)	ปริมาณHCl ที่เติม (mL)		ปริมาณNaOHที่เติม (mL)			ความเข้มข้นกรดบอริก (g/L)			ความเข้มข้นกรดบอริกที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
0.48	2.40	2.10	15.40	14.60	14.50	9.34	8.88	8.82	9.01 $\pm$ 0.28
0.95	1.70	1.70	14.40	14.40	14.40	8.72	8.76	8.76	8.76 $\pm$ 0.02
1.19	0.80	0.80	14.10	14.20	14.10	8.58	8.64	8.58	8.60 $\pm$ 0.03
1.43	0.50	0.50	14.10	14.10	14.40	8.58	8.58	8.64	8.64 $\pm$ 0.03
1.67	0.10	0.10	14.40	14.70	14.60	8.76	8.94	8.88	8.86 $\pm$ 0.09
1.90	-	-	14.3	14.30	14.30	8.70	8.70	8.70	8.70 $\pm$ 0.00

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ = 0.0984N

ตารางที่ ข-39 ความเข้มข้นของกรดบอริก เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$  ( $\text{FeCl}_3$  1.67 g/L)

pH	ปริมาณHCl ที่เติม (mL)		ปริมาณNaOHที่เติม (mL)			ความเข้มข้นกรดบอริก (g/L)			ความเข้มข้นกรดบอริกที่วัดได้ ( $\bar{x} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	1	2	3	1	2	3	
5.02	-	-	18.20	18.00	18.00	11.07	10.95	10.95	10.99 $\pm$ 0.06
6.02	-	-	17.80	18.20	18.00	10.83	11.07	10.95	10.95 $\pm$ 0.12
7.01	-	-	17.40	17.40	17.40	10.59	10.59	10.59	10.59 $\pm$ 0.00
8.04	0.10	0.10	13.50	14.20	14.50	8.21	8.24	8.42	8.29 $\pm$ 0.11
9.01	3.40	3.50	14.60	14.60	14.70	8.48	8.48	8.53	8.50 $\pm$ 0.03
10.00	7.90	7.30	13.50	13.10	13.70	7.84	7.61	7.95	7.80 $\pm$ 0.17

\*ความเข้มข้นNaOHที่ใช้ในการคำนวณ = 0.0984N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-40 ค่าพีเอชหลังเติม  $\text{FeCl}_3$  ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$

ความเข้มข้น $\text{FeCl}_3(\text{g/L})$	ค่า pH ของ $\text{FeCl}_3$			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{X} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
0.48	7.84	7.87	7.85	7.85 $\pm$ 0.02
0.95	7.73	7.71	7.73	7.72 $\pm$ 0.01
1.19	7.26	7.27	7.27	7.27 $\pm$ 0.01
1.43	6.92	6.91	69.2	6.92 $\pm$ 35.96
1.67	6.42	6.42	6.42	6.44 $\pm$ 0.00
1.90	4.14	4.15	4.13	4.13 $\pm$ 0.01

ตารางที่ ข-41 ค่าพีเอชหลังเติม  $\text{FeCl}_3$  ของน้ำยาโบรอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$   
( $\text{FeCl}_3$ , 1.67 g/L)

pH	ค่า pH ของ $\text{FeCl}_3$			ค่า pH ที่วัดได้ ( $\bar{X} \pm \text{S.D.}$ )
	1	2	3	
5.02	2.62	2.64	2.62	2.63 $\pm$ 0.01
6.02	2.61	2.62	2.60	2.61 $\pm$ 0.01
7.01	2.47	2.48	2.48	2.48 $\pm$ 0.01
8.04	5.67	5.65	5.71	5.68 $\pm$ 0.03
9.01	8.43	8.45	8.46	8.45 $\pm$ 0.01
10.00	9.47	9.46	9.47	9.47 $\pm$ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-42 ปริมาณตะกอน เมื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$

ความเข้มข้น $\text{FeCl}_3$ (g/L)	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
0.48	40	35
0.95	64	54
1.19	110	93
1.43	130	105
1.67	94	77
1.90	130	110

ตารางที่ ข-43 ปริมาณตะกอน เมื่อหาพีเอชที่เหมาะสมของ  $\text{FeCl}_3$  ( $\text{FeCl}_3$  1.67 g/L)

pH	ปริมาณตะกอน (mL)	
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง
5.02	24	21
6.02	27	24
7.01	23	21
8.04	88	81
9.01	160	155
10.00	163	160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้