

ผลของการปรับสภาพสัลดิจัลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ที่มีต่อการกรองสัลดิจัลจากระบบบำบัดน้ำเสีย

นางสาวกฤษดาภรณ์ รักษ์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF SLUDGE CONDITIONING BY ELECTROCOAGULATION PROCESS  
ON SLUDGE FILTRATION FROM WASTEWATER TREATMENT SYSTEM

Ms. Kritsadaporn Ruxwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการปรับสภาพสไลด์จี้โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อการกรองสไลด์จี้จากระบบบำบัดน้ำเสีย
โดย	นางสาวกฤษดาภรณ์ รักรัษวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากวกิจ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒมิยะ)

กฤษฎาภรณ์ รัชชวงศ์ : ผลของการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย (EFFECT OF SLUDGE CONDITIONING BY ELECTROCOAGULATION PROCESS ON SLUDGE FILTRATION FROM WASTEWATER TREATMENT SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 252 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแยกที่เวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง โดยทำการศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1-4 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5-9.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107-427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000-13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลงมากที่สุดเท่ากับ  $4.42 \times 10^{13}$  เมตรต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองร้อยละ 84.11 ค่าความขึ้นของกากตะกอนร้อยละ 75.34 และค่าใช้จ่าย 29.04 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสิโอเลคโทรไลต์ชนิดประจุบวกพบว่าปริมาณสารร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองลดลงมากที่สุดเท่ากับ  $1.77 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองร้อยละ 36.38 ค่าความขึ้นของกากตะกอนร้อยละ 79.38 และค่าใช้จ่าย 7.84 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจึงดีกว่าสารโพสิโอเลคโทรไลต์ชนิดประจุบวก แต่มีค่าใช้จ่ายสูง

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

## 5270212821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : SLUDGE CONDITIONING / ELECTROCOAGULATION / SPECIFIC RESISTANCE OF FILTRATION / ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM

KRITSADAPORN RUXWONG : EFFECT OF SLUDGE CONDITIONING BY ELECTROCOAGULATION PROCESS ON SPECIFIC RESISTANCE OF SLUDGE FILTRATION FROM ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM.

ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALAPARIT, Ph.D., 252 pp.

This research was aimed to study effects of sludge conditioning from activated sludge wastewater treatment system by electrocoagulation process on specific resistance of filtration reduction. Type of electrode : aluminum-graphite, copper-graphite and graphite-graphite were used in this study. The operating parameters were electrode distance 1-4 cm, the ratio between the total electrode area and the volume of sludge in the reactor  $3.5-9.5 \text{ m}^{-1}$ , current density  $107-427 \text{ A/m}^2$  and total solid  $7,000-13,000 \text{ mg/l}$ . The results showed that the optimum conditions were using aluminum-graphite electrodes at electrode distance of 1 cm, the ratio between the total electrode area and the volume of sludge in the reactor of  $5.5 \text{ m}^{-1}$ , current density of  $320 \text{ A/m}^2$  and total solid of  $7,000 \text{ mg/l}$ . The specific resistance of filtration (SRF), the SRF reduction efficiency, Moisture of the sludge cake and operating cost by  $4.42 \times 10^{13} \text{ m/kg}$ , 84.11%, 75.34% and  $29.04 \text{ baht/m}^3$ , respectively. The optimum cationic polyelectrolyte conditioning achieved at the dose of 0.4 % dry solid and total solid of  $7,000 \text{ mg/l}$ . The specific resistance of filtration (SRF), the SRF reduction efficiency, Moisture of the sludge cake and operating cost by  $1.77 \times 10^{14} \text{ m/kg}$ , 36.38%, 79.38% and  $7.84 \text{ baht/m}^3$ , respectively. Therefore, the efficiency of sludge conditioning by electrocoagulation process is higher than polyelectrolyte, but costly operation.

Department : Environmental Engineering Student's Signature : .....

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature : .....

Academic Year : .....2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนะแนวทางหลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขสิ่งบกพร่องมาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒมิกะ ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยรวมทั้งให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับทุกๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนประสบความสำเร็จ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....	4
2.1.1 ส่วนประกอบของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....	4
2.1.1.1 ถังปฏิกริยาหรือถังเติมอากาศ.....	4
2.1.1.2 ถังตกตะกอน .....	5
2.1.1.3 การหมุนเวียนสลัดจ์.....	5
2.1.2 สลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....	6
2.2 ปริมาณน้ำหรือความชื้นในอนุภาคสลัดจ์.....	7
2.2.1 น้ำอิสระ (Free Water).....	7
2.2.2 น้ำแทรก (Interstitial Water).....	7
2.2.3 น้ำที่ผิว (Surface Water).....	7
2.2.4 น้ำเกาะติด (Bound Water).....	7
2.3 การปรับสภาพสลัดจ์ (Sludge Conditioning).....	8
2.3.1 วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลัดจ์.....	8

	หน้า
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพสลัดจ์.....	9
2.3.3 กลไกในการปรับสภาพสลัดจ์.....	10
2.3.3.1 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาค (Destabilization) .....	11
2.3.3.2 การรวมตัวของสลัดจ์ (Flocculation) .....	13
2.3.4 สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์ .....	14
2.3.4.1 ปูนขาว .....	14
2.3.4.2 อลูมิเนียมคลอไรด์.....	14
2.3.4.3 เฟอริกคลอไรด์.....	14
2.3.4.4 โพลีอิเล็กโทรไลต์.....	15
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการกรองตะกอน.....	16
2.5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (Specific Resistance of Filtration).....	20
2.6 กระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	23
2.6.1 หลักการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	23
2.6.1.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	23
2.6.2 การควบคุมการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	25
2.6.2.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	25
2.6.2.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่.....	26
2.6.3 ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน.....	29
2.6.4 ค่าการนำไฟฟ้า.....	30
2.6.5 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ.....	31
2.6.6 กฎฟาราเดย์เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี.....	31
2.6.7 ชนิดขั้วไฟฟ้า (Electrodes).....	33
2.6.7.1 อลูมิเนียม (Aluminum).....	33
2.6.7.2 เหล็กกล้า (Steels).....	33
2.6.7.3 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel).....	34
2.6.7.4 ไทเทเนียม (Titanium).....	34
2.6.7.5 แพลตินัม (Platinum).....	35



	หน้า
2.6.7.6 แกรไฟต์ (Graphite).....	35
2.7 การประยุกต์ใช้หลักการไฟฟ้าเคมีในการปรับสภาพสลัดจ์.....	35
2.7.1 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC).....	35
2.8 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องที่ใช้ศึกษา ในการวิจัย.....	37
2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
3.1 แผนการวิจัย.....	43
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์.....	44
3.2.1.1 ชุดทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	44
3.2.1.2 ชุดทดลองอุปกรณ์กรวยบุชเนอร์.....	47
3.2.1.3 อุปกรณ์อื่นๆ.....	47
3.2.2 สารเคมี.....	48
3.3 สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
3.3.1 แหล่งที่มาของสลัดจ์.....	48
3.3.2 จุดเก็บตัวอย่าง.....	49
3.3.3 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง.....	49
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	50
3.4.1 ศึกษาลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์. ....	50
3.4.2 ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ด สลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	51
3.4.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	53
3.4.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม..	55
3.4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของ ขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม.....	58
3.4.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม	61

3.4.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของความเข้มข้นสัลต์ที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสัลต์.....	64
3.4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสัลต์โดยสารโพลีโอเลค โพลีไธซนิตประจุบวก.....	67
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	71
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	73
4.1 ลักษณะสมบัติของสัลต์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสัลต์.....	73
4.2 การปรับสภาพสัลต์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสัลต์โดย กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	79
4.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	79
4.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	92
4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า และปริมาตรสัลต์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม.....	97
4.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	102
4.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของความเข้มข้นสัลต์ที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสัลต์.....	107
4.3 การปรับสภาพสัลต์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสัลต์โดย สารโพลีโอเลคโพลีไธซนิตประจุบวก.....	111
4.4 การเปรียบเทียบการปรับสภาพสัลต์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แอกทิเวเต็ดสัลต์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีโอ เลคโพลีไธซนิตประจุบวก.....	117
4.5 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ.....	118
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	122
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	122
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	123
รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก.....	129

	หน้า
ภาคผนวก ก ผลการทดลองลักษณะสมบัติของสัลดิจจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ แยกทีเวเต็ดสัลดิจ์.....	130
ภาคผนวก ข ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วย ไฟฟ้า ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า.....	138
ภาคผนวก ค ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วย ไฟฟ้า ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า.....	153
ภาคผนวก ง ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วย ไฟฟ้า ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและ ปริมาตรสัลดิจ์ในถังปฏิกิริยา.....	171
ภาคผนวก จ ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วย ไฟฟ้า ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า.....	191
ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วย ไฟฟ้า ศึกษาความเข้มข้นสัลดิจ์.....	210
ภาคผนวก ช ผลการทดลองปรับสภาพสัลดิจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุ บวก ศึกษาปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกและความ เข้มข้นสัลดิจ์.....	227
ภาคผนวก ซ วิธีการคำนวณ.....	224
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	252

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะทางเคมีและกายภาพของสลดิจจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบ แอกทิเวเต็ดสลดิจ.....	6
2.2	วิธีการและวัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลดิจ.....	9
2.3	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ระดับความดันที่ใช้และประเภทของ สลดิจ.....	22
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1 .....	55
3.2	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2.....	58
3.3	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 3.....	61
3.4	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 4.....	64
3.5	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5.....	67
3.6	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองปรับสภาพสลดิจโดยสารโพสิอิเลคโตรไลต์ ชนิดประจุบวก.....	70
3.7	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สำหรับการทดลองปรับสภาพสลดิจโดยกระบวนการ รวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	71
3.8	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สำหรับการทดลองปรับสภาพสลดิจโดยสารโพสิอิเลค โตรไลต์ชนิดประจุบวก.....	72
4.1	ลักษณะสมบัติของสลดิจจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลดิจซึ่งได้จาก ผลการทดลองและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	74
4.2	การเปรียบเทียบการปรับสภาพสลดิจจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ด สลดิจโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพสิอิเลคโตรไลต์ชนิดประจุ บวกที่ความเข้มข้นสลดิจ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	117
4.3	การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ.....	118

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของระบบแยกทิวเต็ดสลัดจ์.....	5
2.2 ลักษณะของปริมาณน้ำหรือความชื้นในอนุภาคสลัดจ์.....	8
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของอนุภาคตะกอนกับค่าความต้านทาน จำเพาะของการกรองสลัดจ์.....	10
2.4 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory .....	11
2.5 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยโพลีเมอร์.....	13
2.6 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ .....	15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อปริมาตรของน้ำที่ผ่านการกรองกับปริมาตรน้ำที่ ผ่านการกรอง .....	21
2.8 ชุดอุปกรณ์ทดสอบกรวยบูชเนอร์.....	21
2.9 องค์ประกอบการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี.....	23
2.10 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้า คงที่ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบ ศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	26
2.11 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบ กระแสไฟฟ้าคงที่ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการ ควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่.....	27
2.12 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	36
2.13 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องที่ใช้ศึกษา ในการวิจัย.....	38
3.1 แผนการวิจัย.....	44
3.2 ชุดทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	45
3.3 ขนาดของขั้วไฟฟ้า.....	45
3.4 การจัดวางขั้วไฟฟ้า (ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านหน้า (ค) ภาพด้านข้าง.....	46
3.5 ขนาดของถังปฏิกิริยาสำหรับใส่ปริมาตรตัวอย่างสลัดจ์ (ก) 395 มิลลิลิตร (ข) 500 มิลลิลิตร (ค) 680 มิลลิลิตร (ง) 1070 มิลลิลิตร.....	46

ภาพที่	หน้า
3.6 ชุดทดลองอุปกรณ์กรวยบุงชเนออร์.....	47
3.7 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่างสลัดจ์.....	49
3.8 แผนผังการศึกษาปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	52
3.9 แผนผังการศึกษานิตของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	54
3.10 แผนผังการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	57
3.11 แผนผังการศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตร สลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม.....	60
3.12 แผนผังการศึกษาคความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม.....	63
3.13 แผนผังการศึกษาคผลของความเข้มข้นสลัดจ์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับ สภาพสลัดจ์.....	66
3.14 แผนผังการศึกษาคปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดประจุบวก.....	69
4.1 คาคความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน กรณีศึกษาปี 2555.....	75
4.2 คาคพีเอชของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555.....	75
4.3 คาคการนำไฟฟ้าของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555.....	76
4.4 คาคซีโอดีลละลายของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555.....	76
4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555.....	77
4.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน กรณีศึกษาปี 2555.....	77
4.7 คาคความชื้นของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555.....	78
4.8 ลักษณะของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษา (วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กาคำลังขยาย 2,000 เท่า)...	78
4.9 ลักษณะของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษา (วิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กาคำลังขยาย 15,000 เท่า)	79

ภาพที่	หน้า
4.10 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์.....	81
4.11 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์.....	82
4.12 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์.....	82
4.13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์.....	83
4.14 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์.....	84
4.15 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์.....	85
4.16 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์.....	85
4.17 การเรียงตัวของผลึกคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ (Spetiniite).....	86
4.18 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์.....	86
4.19 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	87
4.20 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	88
4.21 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	89
4.22 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	89

ภาพที่	หน้า
4.23 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	91
4.24 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	91
4.25 ค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์.....	92
4.26 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร.....	94
4.27 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร.....	94
4.28 ค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร.....	95
4.29 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร.....	95
4.30 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร.....	96
4.31 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร.....	96
4.32 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร.....	97
4.33 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร <sup>1</sup> .....	99
4.34 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร <sup>1</sup> .....	99



ภาพที่	หน้า
4.35 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขี้ไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร <sup>-1</sup> .....	100
4.36 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขี้ไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร <sup>-1</sup> .....	100
4.37 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขี้ไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร <sup>-1</sup> .....	101
4.38 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขี้ไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร <sup>-1</sup> .....	101
4.39 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขี้ไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร <sup>-1</sup> .....	102
4.40 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	104
4.41 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	104
4.42 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	105
4.43 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	105
4.44 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร.....	106

ภาพที่	หน้า
4.45 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการ ปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตาราง เมตร.....	106
4.46 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการ ปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตาราง เมตร.....	107
4.47 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับ สภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัม ต่อลิตร.....	108
4.48 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความ เข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	109
4.49 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของ สลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	109
4.50 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการ ปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	110
4.51 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอน จากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้น ของสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	110
4.52 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการ ปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	111
4.53 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับ สภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสิโอเลคโพรไลด์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	112
4.54 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพ สิโอเลคโพรไลด์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	113

ภาพที่	หน้า
4.55 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอริคไพโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	113
4.57 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอริคไพโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	114
4.58 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอริคไพโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	115
4.59 ลักษณะของสลัดจ์จากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอริคไพโรไลต์ชนิดประจุบวก.....	116
4.60 ลักษณะของสลัดจ์จากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอริคไพโรไลต์ชนิดประจุบวก.....	116

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการทางชีวภาพจะประกอบด้วยเซลล์จุลินทรีย์เป็นหลัก เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จุลินทรีย์ในระบบจะใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่จึงทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องระบายจุลินทรีย์บางส่วนทิ้งเพื่อคงความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบให้คงที่หรือทำให้ระบบมีสถานะคงตัว (Steady State) จุลินทรีย์ที่ระบายทิ้งดังกล่าวเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่มีลักษณะอุ้มน้ำยากต่อการแยกน้ำออก จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพสลัดจ์ (Sludge Conditioning) ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำออกจากสลัดจ์ (Sludge Dewatering) การปรับสภาพสลัดจ์ในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ประจุลบ และไม่มีประจุ การใช้สารอินทรีย์ เช่น ปูนขาว อนุเมเนียมคลอไรด์ไฮเดรต และเพอริกคลอไรด์ เป็นต้น

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพยายามค้นคว้าเพื่อพัฒนากระบวนการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้วิธีการใหม่ๆ เช่น สารเคมีเฟนตัน (Fenton's Reagent) อัลตราซาวด์ (Ultrasound) เทคโนโลยีอบแห้ง (Fry-Drying Technology) การแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (Ultra-Rapid Freezing) คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) และการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) เป็นต้น

กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation Process) เป็นกระบวนการที่ได้รับการยอมรับในการใช้เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนออกจากน้ำและน้ำเสีย ได้แก่ โลหะหนัก ความขุ่น น้ำมันและไขมัน รวมทั้ง เชื้อโรคและสาหร่าย ดังนั้นจึงเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่อาศัยกระแสไฟฟ้าเป็นตัวให้อิเล็กตรอนผ่านทางขั้วไฟฟ้าที่จมอยู่ในสลัดจ์ที่ต้องการปรับสภาพ ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

ได้ก๊าซไฮโดรเจนและโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอนช่วยจับอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำให้รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติของสลัดจ์ให้มีสภาพที่ง่ายต่อการแยกน้ำออก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยปรับเปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นสลัดจ์ และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับ การปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมและเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของชนิดขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นสลัดจ์ที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากถังเก็บสลัดจ์ที่รับสลัดจ์มาจากก้นถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋อง

2. การปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าระดับห้องปฏิบัติการเป็นการทดลองในถังปฏิกิริยาแบบทีละเท (Batch)

3. ศึกษาค่าตัวแปรต่างๆ ตามที่กำหนดดังนี้

### 3.1 การทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3.1.1 ชนิดของขั้วไฟฟ้า 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม ทองแดง และแกรไฟต์ โดยแบ่งขั้วไฟฟ้าออกเป็น 3 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 ขั้วแอโนดทำจากอลูมิเนียมและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์
- ชุดที่ 2 ขั้วแอโนดทำจากทองแดงและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์
- ชุดที่ 3 ขั้วแอโนดทำจากแกรไฟต์และขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์

3.1.2 ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า คือ ตั้งแต่ 1-4 เซนติเมตร

3.1.3 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา คือ ตั้งแต่ 3.5-9.5 เมตร<sup>-1</sup>

3.1.4 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า คือ ตั้งแต่ 107-427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

3.1.5 ความเข้มข้นสลัดจ์ คือ ตั้งแต่ 7,000-13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.2 การทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

3.2.1 ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก คือ ตั้งแต่ร้อยละ 0.2-0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง (% dry solid)

3.2.2 ความเข้มข้นสลัดจ์ คือ ตั้งแต่ 7,000-13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าซีไอดีละลาย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ค่าความชื้นของกากตะกอน และลักษณะโครงสร้างของสลัดจ์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสถานะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

2. เป็นแนวทางในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge Wastewater Treatment) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง โดยจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะอาศัยสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหาร และออกซิเจนจากการเติมอากาศ เพื่อการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนจนจับตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่มีสีน้ำตาลเรียกว่า แอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph) ที่ประกอบด้วย แบคทีเรีย โปรโตซัว โรติเฟอร์ และรา โดยแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่หลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนโปรโตซัวและโรติเฟอร์มีความสำคัญในการกำจัดแบคทีเรียที่แขวนลอยในน้ำเสียเพื่อไม่ให้หลุดลอยออกไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ในถังเติมอากาศน้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์เรียกว่า มิกซ์ลิเควอร์ (Mixed Liquor) ซึ่งจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำใส ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์ที่จมตัวอยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะสูบกลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้คงที่ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ที่เป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจะต้องนำไปทำการปรับสภาพสลัดจ์และกำจัดต่อด้วยระบบแยกน้ำออกจากสลัดจ์เพื่อนำไปทำการฝังกลบต่อไป

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ถังปฏิกริยาหรือถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และการหมุนเวียนสลัดจ์ ดังภาพที่ 2.1

##### 2.1.1.1 ถังปฏิกริยาหรือถังเติมอากาศ

ถังปฏิกริยาหรือถังเติมอากาศมีหน้าที่สำคัญคือ เติมอากาศให้กับระบบ เพื่อให้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และทำหน้าที่กวน

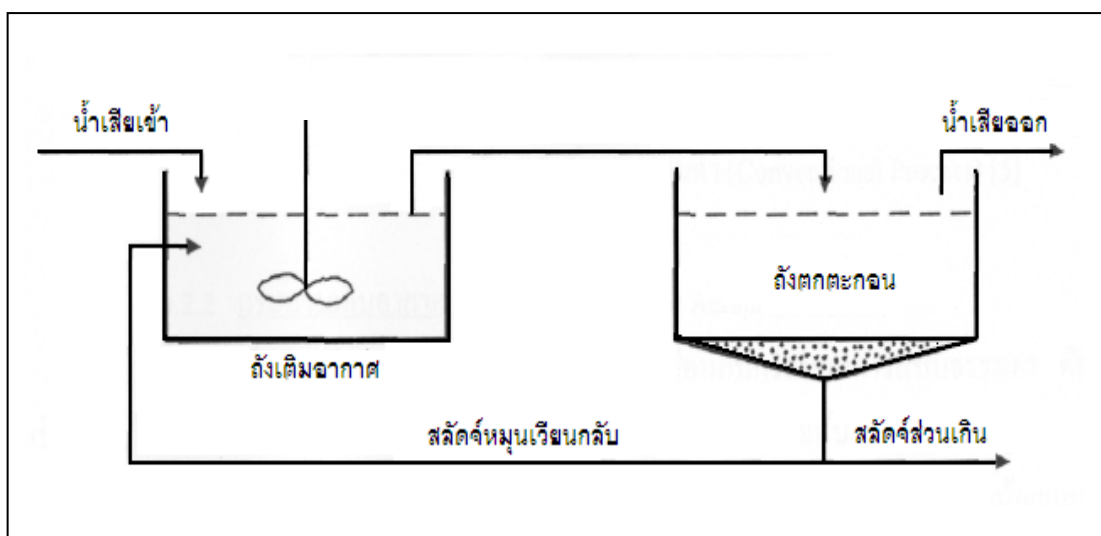
ผสมให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียได้มีโอกาสสัมผัสสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง เพื่อทำการลดค่าสารอินทรีย์ ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และทำให้เกิดฟล็อกของจุลินทรีย์ซึ่งมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย

### 2.1.1.2 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนมีหน้าที่ทำการแยกของแข็งซึ่งในที่นี้คือ ตะกอนจุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรือน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งฟล็อกที่เกิดขึ้นในถังปฏิบัติการจะตกตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน และน้ำที่แยกออกมาจะเป็นน้ำใสสามารถปล่อยออกทิ้งได้ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) จะถูกปล่อยทิ้งออกจากกันถัง เพื่อนำไปบำบัดหรือเข้าสู่ระบบหมุนเวียน สลัดจ์กลับไปยังส่วนแรกต่อไป

### 2.1.1.3 การหมุนเวียนสลัดจ์

การหมุนเวียนสลัดจ์เป็นส่วนที่สำคัญและเป็นส่วนที่บ่งบอกความเป็นระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ การหมุนเวียนสลัดจ์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระบบกล่าวคือ ในการควบคุมระบบให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเกิดความสมดุลกับสารอินทรีย์เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เช่น ถ้าในระบบมีจุลินทรีย์น้อยแต่มีสารอินทรีย์ในระบบมากเกิดความไม่สมดุลก็ต้องทำการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ให้มากขึ้นเพื่อให้ระบบสมดุล เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2525)



### 2.1.2 สลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

สลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน ในกระบวนการดังกล่าวจุลินทรีย์ในระบบจะใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ จึงทำให้จุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องระบายจุลินทรีย์บางส่วนทิ้ง เพื่อคงความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบให้คงที่หรือทำให้ระบบมีสถานะคงตัว (Steady State) จุลินทรีย์ที่ระบายทิ้งดังกล่าว เรียกว่า สลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) ซึ่งจะประกอบด้วยเซลล์จุลินทรีย์เป็นหลัก มีลักษณะเป็นฟูน ตกแห้งได้ช้าแม้จะตากเป็นชั้นบางๆ และหากระบบบำบัดทำงานได้ดี สลัดจ์จะมีสีน้ำตาล มีกลิ่นคล้ายดิน สลัดจ์ประเภทนี้จะย่อยสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส (Negulescu, 1958) ลักษณะทางเคมีและกายภาพของสลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

รายการ	สลัดจ์จากระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์
พีเอช	6.5-8
ความถ่วงจำเพาะของสลัดจ์	1.005
ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง	1.08-1.25
ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	0.5-1.2
ของแข็งระเหย (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	60-80
เซลลูโลส (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	7
น้ำมันและไขมัน (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	5-12
โปรตีน (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	32-41
ไนโตรเจน (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	4.7-6.7
ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ ( $P_2O_5$ ) (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	2.8-11
โพแทสเซียมออกไซด์ ( $K_2O$ ) (ร้อยละของแข็งทั้งหมด)	0.4

ที่มา: มั่นสิน ต้นทุลเวศม์, 2542

## 2.2 ปริมาณน้ำหรือความชื้นในอนุภาคสไลด์

สไลด์สามารถจำแนกปริมาณน้ำหรือความชื้นในอนุภาคออกเป็น 4 กลุ่ม (Tsang และ Vesilind, 1990) ดังภาพที่ 2.2

### 2.2.1 น้ำอิสระ (Free Water)

น้ำอิสระ (Free Water) เป็นปริมาณความชื้นหรือน้ำที่มีการแยกออกได้ด้วยอัตราการระเหยที่คงที่ในช่วงระยะเวลาของกราฟการทำแห้ง (Drying Curve) ความชื้นประเภทนี้จะไม่รวมอยู่ในส่วนที่เป็นของแข็ง ปริมาณความชื้นชนิดนี้จะไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างอนุภาคตะกอน สามารถกำจัดออกได้โดยปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

### 2.2.2 น้ำแทรก (Interstitial Water)

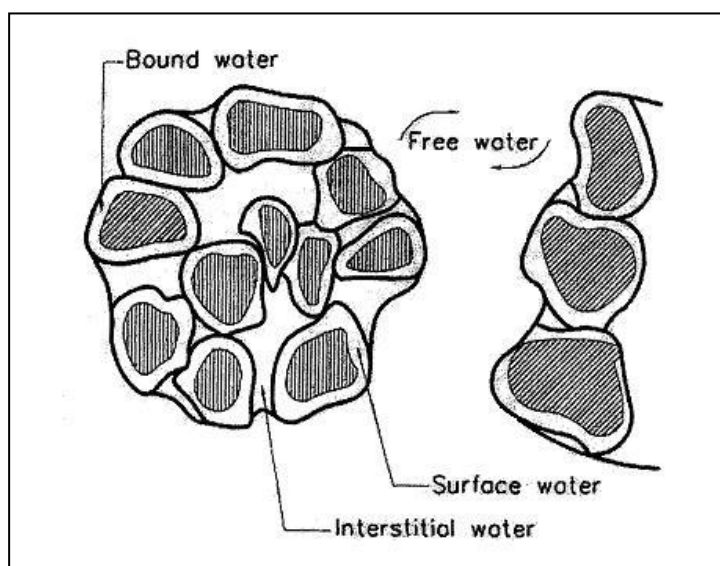
น้ำแทรก (Interstitial Water) เป็นความชื้นหรือน้ำที่สามารถแยกออกมาได้ในช่วงแรกที่มีอัตราการระเหยลดลง โดยจะเป็นน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค เมื่ออนุภาคตะกอนมีการรวมตัวกันสามารถกำจัดออกได้โดยการใช้เครื่องจักรกลในการแยกน้ำจากสไลด์

### 2.2.3 น้ำที่ผิว (Surface Water)

น้ำที่ผิว (Surface Water) เป็นความชื้นหรือน้ำที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของของแข็ง ความชื้นชนิดนี้จะแยกออกมาจากตะกอนได้ในช่วงที่ 2 ของกราฟการทำแห้ง (Drying Curve) สามารถกำจัดออกได้โดยให้ตะกอนเกิดการอัดตัวแน่น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตะกอน

### 2.2.4 น้ำเกาะติด (Bound Water)

น้ำเกาะติด (Bound Water) เป็นความชื้นหรือน้ำที่ยึดเกาะติดกับอนุภาคของของแข็งด้วยพันธะเคมี (Chemical Bound)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของปริมาณน้ำหรือความชื้นในอนุภาคสลัดจ์ (Tsang และ Vesilind, 1990)

### 2.3 การปรับสภาพสลัดจ์ (Sludge Conditioning)

การปรับสภาพสลัดจ์เป็นวิธีการบำบัดสลัดจ์ทางกายภาพหรือทางเคมี เพื่อให้มีสภาพที่ง่ายต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์ และเป็นการปรับปรุงการจับตัวเป็นของแข็งของสลัดจ์ การที่จะสามารถแยกน้ำจากสลัดจ์ได้ดีนั้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกระบวนการปรับสภาพสลัดจ์ เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ในการแยกน้ำจากสลัดจ์หลายกระบวนการจำเป็นต้องมีระบบปรับสภาพสลัดจ์ก่อน จะเห็นได้จากเกือบทุกระบบที่ติดตั้งในประเทศอังกฤษ ล้วนแต่ใช้สารเคมีในการปรับสภาพสลัดจ์ เช่น เกลือของเหล็ก ปูนขาว เกลือของอลูมิเนียม หรือพวกสารอินทรีย์พอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

#### 2.3.1 วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลัดจ์ (ซาตรี เรืองธนนันต์รักษ์, 2547)

วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลัดจ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากสลัดจ์โดยการเพิ่มขนาดอนุภาคสลัดจ์ เนื่องจากอนุภาคสลัดจ์ส่วนใหญ่จะมีประจุทางไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งจะผลักอนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันให้ออกห่าง ดังนั้นการเติมสารปรับสภาพสลัดจ์ก็เพื่อสะเทินประจุไฟฟ้าของอนุภาค เมื่อเกิดการชนกันของอนุภาคจะทำให้สามารถรวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นได้ วิธีการและวัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลัดจ์ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วิธีการและวัตถุประสงค์ของการปรับสภาพสลัดจ์

วิธีการ	หน่วยการผลิต	หน้าที่
การเติมสารโพลีเมอร์	การเพิ่มความเข้มข้นสลัดจ์	ปรับปรุงอัตราการรับภาระบรทุกสลัดจ์ ระดับความเข้มข้น และการจับตัวของของแข็ง
การเติมสารโพลีเมอร์	การนำสลัดจ์มาแยกน้ำ	ปรับปรุงอัตราการผลิต ปริมาณของแข็ง ในแผ่นสลัดจ์ และการจับตัวของของแข็ง
การเติมสารอินทรีย์เคมี	การนำสลัดจ์มาแยกน้ำ	ปรับปรุงอัตราการผลิต ปริมาณของแข็ง ในแผ่นสลัดจ์ และการจับตัวของของแข็ง
การล้างคัต (Elutriation)	การนำสลัดจ์มาแยกน้ำ	ลดความต้องการสารปรับปรุงลักษณะสลัดจ์ด้วยสารเคมี เพิ่มความเข้มข้นของสลัดจ์
การบำบัดด้วยความร้อน	การนำสลัดจ์มาแยกน้ำ	การขจัดหรือลดสารเคมีที่ใช้ โดยการปรับปรุงอัตราการผลิตปริมาณของแข็ง ในแผ่นสลัดจ์ ความคงตัวของสลัดจ์ และการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ
การเติมซีเมนต์	การนำสลัดจ์มาแยกน้ำ	ช่วยทำให้แผ่นสลัดจ์ที่ถูกปรับปรุง ออกมาจากระบบตัวกรองสุญญากาศ ชนิดสายพาน ซึ่งเป็นการอัดด้วยตัวกรอง ทำได้สะดวกขึ้น ได้ผลสูงกว่า และอาจช่วยลดปริมาณสารเคมี

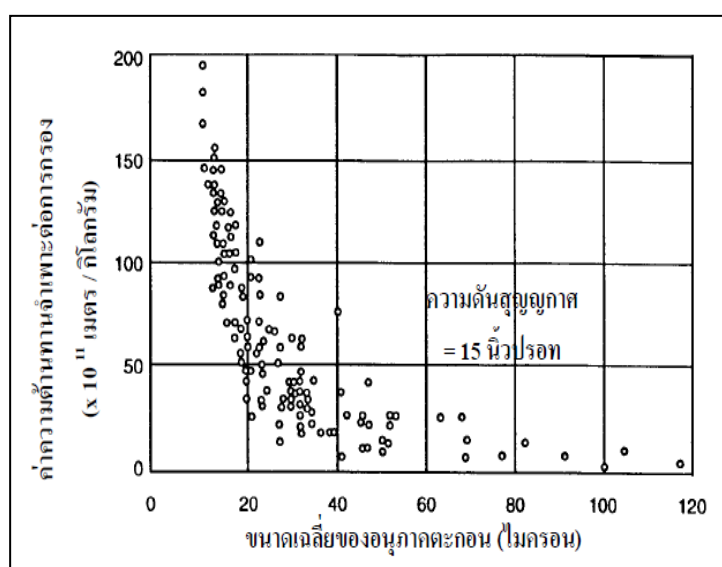
ที่มา: Eckenfelder และ Santhanam, 1981

### 2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพสลัดจ์ (อัจฉริย์รัช นุญยง, 2543)

สลัดจ์จากแต่ละแหล่งจะมีปริมาณน้ำภายใน ระดับการไฮเดรชัน (Degree of Hydration) และเคมีของพื้นผิว (Surface Chemistry) ที่แตกต่างกัน คุณลักษณะของสลัดจ์ (Sludge Characteristics) ที่มีผลต่อการปรับสภาพสลัดจ์ คือ ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค ประจุติดผิว และปฏิกิริยาของอนุภาค (Particles Interaction) นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ

เช่น การเกิดของโพลีเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer Production) อัตราการเจริญเติบโตของสไลด์จุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Filamentous) และส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในสไลด์

ขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการแยกน้ำจากสไลด์มากที่สุด ถ้าขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยลดลงจะทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) พื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น หมายถึง การผิวน้ำ (Hydration) ที่เพิ่มขึ้น ความต้องการสารเคมีที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งความต้านทานต่อการแยกน้ำจากสไลด์เพิ่มขึ้นด้วยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของอนุภาคตะกอนกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 2.3



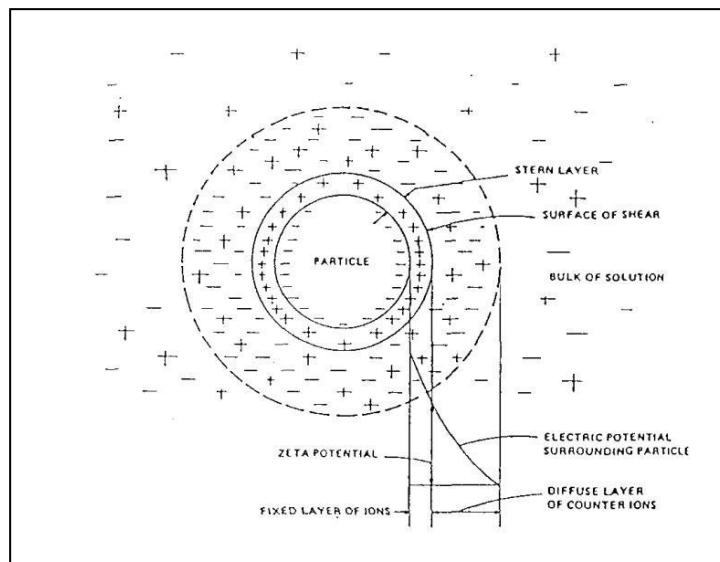
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยของอนุภาคตะกอนกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (Knocke และคณะ, 1980)

### 2.3.3 กลไกในการปรับสภาพสไลด์ (พรศักดิ์ สมรไกรสมรภิก, 2541)

ในกระบวนการปรับสภาพสไลด์จะอาศัยกลไก 2 กระบวนการ คือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคและการรวมตัวของสไลด์ เพื่อช่วยในการปรับสภาพสไลด์ให้อนุภาครวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.3.3.1 การทำลายเสถียรภาพของอนุภาค (Destabilization)

การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่บนน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเรียกว่า ฟล็อก (Floc) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์สามารถวัดได้ในรูปของค่าซีตาโพเทนเชียล ซึ่งเป็นศักย์ทางไฟฟ้าที่ผิวบนสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ โดยที่ผิวนอกนั้นเรียกว่า Plane of Shear และอยู่ในชั้นกระจาย (Diffuse Layer) ค่าซีตาโพเทนเชียลใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงจะมีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงมากและมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้ามระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำจะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำและทำให้รวมตัวกันเป็นฟล็อกได้ง่าย อนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยในน้ำมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals Force) ซึ่งเป็นแรงตามธรรมชาติของอนุภาคที่ดึงดูดกันและกัน (Attractive Force) และแรงผลักระหว่างอนุภาคชนิดเดียวกัน (Repulsive Force) บทบาทของแรงทั้งสองชนิดที่มีผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory (AWWA, 1999)

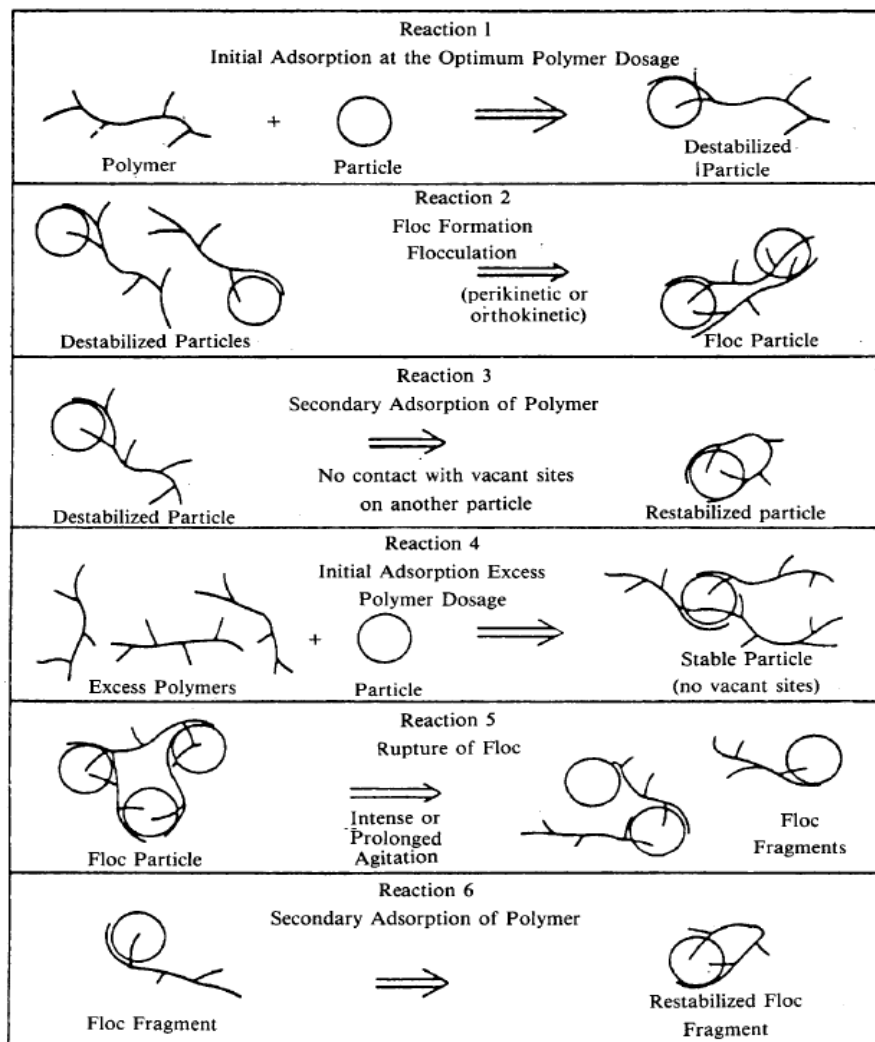
กลไกในการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ (มันซิน ต้นซูลเวสม์, 2542)  
แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ

(1) การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) เป็นการเพิ่มประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคในชั้นกระจายผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential) ลดลงตามไปด้วย

(2) กลไกการทำลายอำนาจประจุของอนุภาค และกลไกการดูดติดผิว (Adsorption or Charge Neutralization) เป็นการเติมสารเคมีที่มีประจุตรงข้ามกับประจุอนุภาคคอลลอยด์ และสามารถดูดติดผิวบนอนุภาคคอลลอยด์ได้ ซึ่งในการดูดติดผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ซึ่งกลไกดูดติดผิวนี้แตกต่างจากกลไกแบบแรก เนื่องจากกลไกแบบแรกอิออนต่างประจุจะอยู่ที่ชั้นกระจายโดยไม่ดูดติดผิว

(3) กลไกการห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลิตภัณฑ์สารประกอบที่สร้างขึ้น (Enmeshment by a Precipitate or Sweep Coagulation) เป็นการเติมสารเคมีบางชนิดซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดผลึกของสารประกอบที่สามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ได้ และเมื่อผลึกใหญ่ขึ้นเป็นผลให้น้ำหนักของอนุภาคคอลลอยด์มากขึ้นจึงสามารถเกิดการตกตะกอนได้

(4) การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging) เป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทั้ง 3 แบบแรก แต่สามารถอธิบายด้วยโมเดล Polymer Bridging Model ดังภาพที่ 2.5 ในขั้นตอนแรกอนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ขั้นตอนต่อมาคืออนุภาคดังกล่าวจะไปจับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมซึ่งจะก่อให้เกิดฟล็อกซึ่งมีขนาดใหญ่ และสามารถแยกตัวออกจากรุ่น้ำได้ง่าย แต่ถ้าการใช้โพลีเมอร์มากเกินไปจะเกิดผลเสียคือ ที่อนุภาคโพลีเมอร์หลายโมเลกุลไปจับอนุภาคเดียวกันไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับที่จะจับกับปลายของโพลีเมอร์ของอนุภาคอื่น ซึ่งเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle)



ภาพที่ 2.5 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยโพลีเมอร์ (Weber, 1972)

### 2.3.3.2 การรวมตัวของสลัดจ์ (Flocculation)

การรวมตัวของสลัดจ์เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคที่สร้างขึ้นมารวมตัวกัน โดยใช้กระบวนการผสมอย่างช้าๆ กระบวนการรวมตัวของอนุภาคเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มากะทบสัมผัสกันให้มากที่สุดจนเกาะติดกันเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่และตกตะกอนลงมาได้ง่าย



## 2.3.4 สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์ (มานิต ปานเอน, 2546)

### 2.3.4.1 ปูนขาว

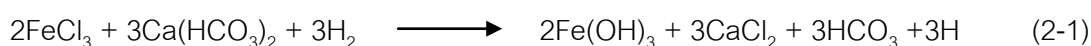
ปูนขาวโดยทั่วไปแล้วจะใช้ร่วมกับคอปเปอร์รัส (Copperas) ทุกครั้งในการบำบัดน้ำเสีย แต่ในความเข้มข้นที่เพียงพอแล้วสามารถใช้ปูนขาวชนิดเดียวได้ โดยทั่วไปปูนขาวและคอปเปอร์รัสใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์ เพื่อนำสลัดจ์ที่ปรับสภาพแล้วไปทำการแยกน้ำต่อไป ความเข้มข้นของปูนขาวชนิด Hydrated Lime ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) และคอปเปอร์รัส ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) ที่ต้องการใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์มีค่าประมาณร้อยละ 20 และ 10 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดสำหรับสลัดจ์ดิบตามลำดับ และร้อยละ 30 และ 40 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดสำหรับสลัดจ์ที่เกิดจากการย่อยสลาย (Digested Sludge) ตามลำดับ สำหรับการปรับสภาพสลัดจ์ที่ได้ประสิทธิภาพที่สุดโดยทั่วไปแล้วคอปเปอร์รัสจะใช้ได้ดีกว่าปูนขาว

### 2.3.4.2 อลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต

อลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต (Aluminum Chlorohydrate) เริ่มนำมาใช้ในประเศอังกฤษตั้งแต่ปี 1950 ในรูปของสารละลายมีความเข้มข้นสูงสุดร้อยละ 15 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) นิยมใช้กันมากในการปรับสภาพสลัดจ์ก่อนที่จะนำไปแยกน้ำออกโดยวิธีการกรองด้วยแรงอัด (Filter Presses) และการกรองด้วยสุญญากาศ (Rotary Vacuum Filter) อลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต มีข้อดีตรงที่หากต้องการใช้สามารถที่จะนำสารละลายเข้มข้น (Stock Solution) มาเจือจาง และไม่ได้มีส่วนสำคัญต่อน้ำหนักของก้อนสลัดจ์แต่อย่างใด โดยแท้จริงแล้วความต้องการสารสร้างตะกอนขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสลัดจ์และวิธีการในการแยกน้ำจากสลัดจ์

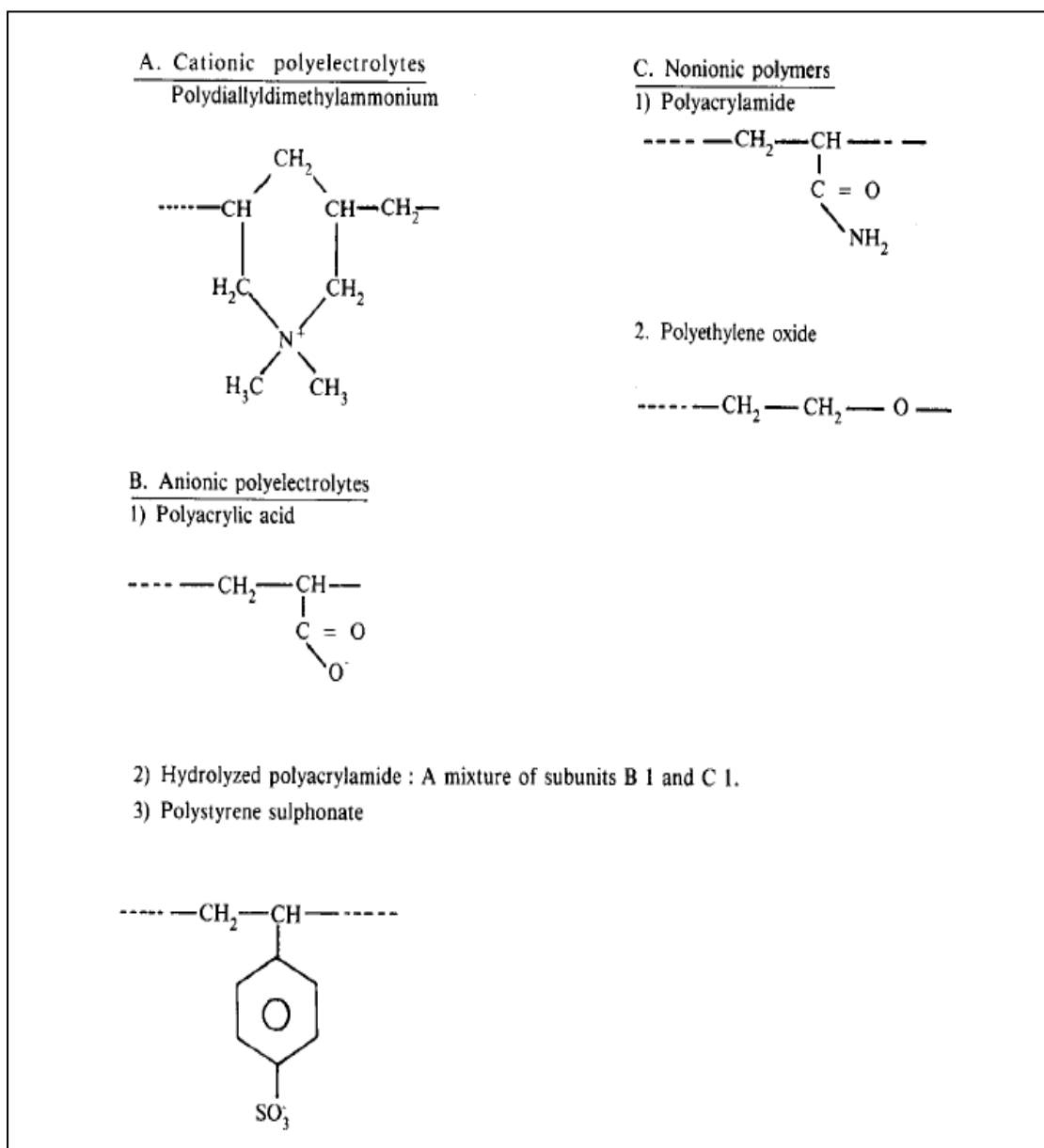
### 2.3.4.3 เฟอริกคลอไรด์

เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ รูปแบบของสารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำจะมีประจุบวก สามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้ประจุลบที่เกิดจากของแข็งในสลัดจ์ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุของการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริกคลอไรด์ และจะทำปฏิกิริยากับต่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) และเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์เกิดการรวมกลุ่มและตกตะกอนลง ดังสมการที่ 2-1 และ 2-2



### 2.3.4.4 โพลีอิเล็กโทรไลต์

องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลีอิเล็กโทรไลต์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว เป็นสารเคมีชนิดพิเศษสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จากโมโนเมอร์ซึ่งจะเป็นตัวแบ่งประเภทของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นโมโนเมอร์จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโพลีเมอร์ แขนของโมโนเมอร์ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Organic Polyelectrolyte) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2542)

สารอินทรีย์สังเคราะห์โพลีเอเลคโตรไลต์สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

(1) โพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดประจุลบ (Anionic) มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของอะคริลาไมด์ (Acrylamide) ที่ละลายอยู่ใน Acrylic Acid ชนิดของโพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดประจุลบมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำ และทำให้เกิดเป็นกลุ่ม Amide Group ( $\text{NH}_2$ ) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของโมโนเมอร์ประจุลบ (Anionic Monomer) จนเป็นอะคริลาไมด์โพลีเมอร์ (Acrylamide Polymer)

(2) โพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดประจุบวก (Cationic) มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ระดับของประจุบนโพลีเอเลคโตรไลต์ ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของ Nitrogen Group มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพสแลตจ์ซึ่งมีประจุลบ โพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดประจุบวกนิยมใช้ในการปรับสภาพสแลตจ์เนื่องจากของแข็งในสแลตจ์ดิบนั้นมีประจุลบ ซึ่งคุณลักษณะของสแลตจ์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงขบวนการและชนิดของการทำให้สแลตจ์ขึ้นขึ้นหรือกระบวนการแยกน้ำจากสแลตจ์

(3) โพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic) มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของสแลตจ์ให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติโพลีเอเลคโตรไลต์ชนิดไม่มีประจุ อาจเกิดจากการรวมกันของ Inorganic Chemicals และ Organic Polymers ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของเม็ดสแลตจ์

## 2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกรองตะกอน

ความดันที่ลดลง (Pressure drop) เนื่องจากการไหลผ่านชั้นตะกอนที่มีความต้านทานสามารถอธิบายได้โดยเปรียบเทียบกับกรไหลของน้ำที่อยู่ในท่อ ตามทฤษฎีของ Poiseuille

$$\Delta P/L = 32\mu v/D^2 \quad (2-3)$$

เมื่อ	$\Delta P$	=	ความดันลด (นิวตัน/ตารางเมตร)
	L	=	ความยาวท่อ (เมตร)
	$\mu$	=	ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำ (นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร)
	v	=	ความเร็วของการไหล (เมตร/วินาที)
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

ในกรณีการไหลของน้ำผ่านชั้นตะกอนแบบราบเรียบ (Laminar flow) จะได้ว่า

$$\Delta P/L = k_1 \mu v (1-\epsilon)^2 S_0^2 / \epsilon^3 \quad (2-4)$$

เมื่อ	$k_1$	=	ค่าคงที่ 4.17 สำหรับอนุภาคแบบสุ่มใดๆ
	$\epsilon$	=	ค่าความพรุนของชั้นตะกอน
	$L$	=	ความหนาของชั้นตะกอน (เมตร)
	$S_0$	=	พื้นที่ผิวจำเพาะของเม็ดตะกอน (ตารางเมตร/ ลูกบาศก์เมตร)

อัตราเร็วของการกรองตะกอน (Filtration velocity)

$$v = dV/Adt \quad (2-5)$$

เมื่อ	$V$	=	ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (ลูกบาศก์เมตร)
	$A$	=	พื้นที่ผิวในการกรอง (ตารางเมตร)
	$t$	=	เวลาในการกรอง (วินาที)

จากสมการมวลสารของอนุภาคของแข็งจะได้ว่า

มวลเนื่องจากความหนาแน่นของเม็ดตะกอน = มวลเนื่องจากความเข้มข้นของตะกอน

$$LA(1-\epsilon)\rho_p = Cs(V+\epsilon LA) \quad (2-6)$$

เมื่อ	$\rho_p$	=	ความหนาแน่นของเม็ดตะกอน (กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร)
	$Cs$	=	ความเข้มข้นของของแข็งในตะกอนที่ผ่านการกรอง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

แทนค่าสมการที่ 2-5 และ 2-6 ลงในสมการของ Kozeny – Carman สมการที่ 2-4  
จะได้ว่า

$$dV/Adt = \Delta P c / [k_1 (1-\epsilon) S_0^2 / \rho_p \epsilon^3 \cdot \mu Cs V/A] \quad (2-7)$$

กำหนดให้  $\alpha$  = ความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของตะกอน (เมตร/กิโลกรัม)

$$\alpha = k_1(1-\epsilon) S_0^2 / \rho_p \epsilon^3 \quad (2-8)$$

แทนค่าสมการที่ 2-8 ลงในสมการที่ 2-7 จะได้ว่า

$$dV/Adt = \Delta P_c / [\alpha \cdot \mu C_s V/A] \quad (2-9)$$

ในกรณีที่ไม่มีชั้นตะกอนมีเพียงวัสดุกรองสะอาด (Filter Medium Resistance) จะได้ว่า

$$dV/Adt = \Delta P_f / [\mu \cdot R_m] \quad (2-10)$$

เมื่อ  $R_m$  = ความต้านทานของวัสดุกรองสะอาด  
(Filter medium resistance, เมตร<sup>-1</sup>)

เมื่อพิจารณาการเรียงต่อความต้านทานทั้งสองแบบอนุกรมจะได้ว่า

$$dV/Adt = \Delta P / [\alpha \cdot \mu C_s V/A + \mu \cdot R_m] \quad (2-11)$$

เมื่อ  $\Delta P$  =  $\Delta P_c + \Delta P_f$

พิจารณาการทำงานของเครื่อง Filter Press เป็นการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch process) เมื่อกำหนดให้ความดันในการกรองคงที่ (Constant pressure filtration) และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองของชั้นตะกอนไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะได้ว่า

เมื่อปรับสมการที่ 2-11 เป็น 1/(สมการที่ 2-11) จะได้รูปสมการดังนี้

$$dt/dV = [\alpha \cdot \mu C_s / A^2 \Delta P] \cdot V + [\mu \cdot R_m / A \Delta P] \quad (2-12)$$

กำหนดให้

$$K_p = \alpha \cdot \mu C_s / A^2 \Delta P \quad (2-13)$$

$$B = \mu \cdot R_m / A \Delta P \quad (2-14)$$

แทนค่าสมการที่ 2-13 และสมการที่ 2-14 ลงในสมการที่ 2-12 จะได้สมการ

$$dt/dV = KpV + B \quad (2-15)$$

จัดรูปสมการจะได้ว่า

$$dt = (KpV + B) dV \quad (2-16)$$

อินทิเกรตจำกัดขอบเขต สมการที่ 2-16 จาก 0-t และ 0-V

$$x dt = x (KpV + B) dV \quad (2-17)$$

$$t = KpV^2/2 + BV \quad (2-18)$$

จัดรูปสมการจะได้ว่า

$$t/V = Kp/2 \cdot V + B \quad (2-19)$$

เมื่อพิจารณาการทดสอบด้วยกรวยบูชเนอร์จากสมการที่ 2-19 จะได้

$$t/V = [\alpha \cdot \mu Cs/A^2 \Delta P]/2 \cdot V + [\mu \cdot Rm/A \Delta P] \quad (2-20)$$

เมื่อกำหนดให้ค่าความต้านทานของกระดาษกรองมีค่า  $Rm = 0$  จะได้

$$t/V = [\alpha \cdot \mu Cs/A^2 \Delta P]/2 \cdot V \quad (2-21)$$

ดังนั้น ค่าความชันจากสมการที่ 2-21 จะเท่ากับ

$$b = [\alpha \cdot \mu Cs/A^2 \Delta P]/2 \quad (2-22)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ 2-22 และกำหนดให้  $r = \alpha$  โดยที่  $r$  คือ ความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง

$$r = [2 \Delta P A^2 b]/[\mu Cs] \quad (2-23)$$

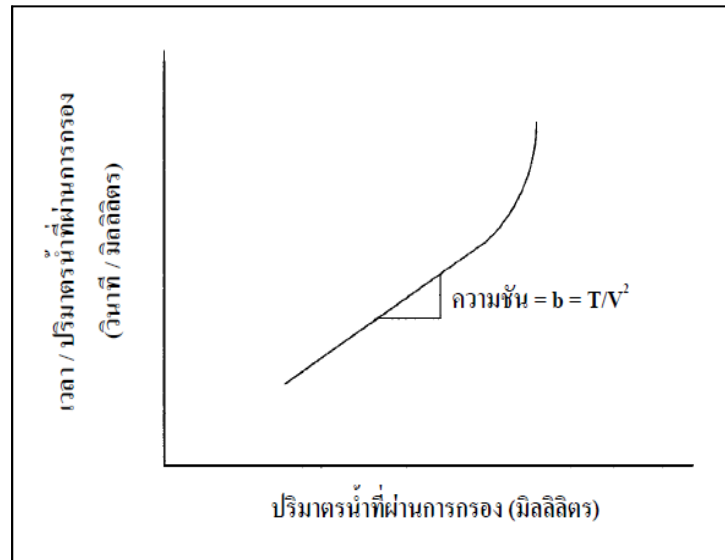
## 2.5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (Specific Resistance of Filtration)

ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (Specific Resistance of Filtration) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการแยกน้ำจากสลัดจ์ (Dewatering) ซึ่งจะเป็นดัชนีตัวชี้ว่าสลัดจ์ชนิดใดสามารถแยกน้ำจากสลัดจ์ได้ยากกว่ากันมีหน่วยเป็นเมตรต่อกิโลกรัม และยังเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์อีกด้วย โดยยึดหลักการที่ว่าสารเคมีตัวใดที่ใช้แล้วสามารถทำให้ความต้านทานจำเพาะต่อการกรองต่ำจะทำให้สลัดจ์นั้นมีความสามารถในการกรองสูงหรือมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากสลัดจ์ได้ดี (มานิต ปานเอม, 2546) โดยสามารถหาได้จากการวัดอัตราการแยกน้ำจากสลัดจ์ ซึ่งค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของสลัดจ์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่อยู่ในสลัดจ์นั้นโดยการวัดค่าอาจเริ่มต้นด้วยการวัดค่าอัตราการกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter) ซึ่งค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดค่าได้สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำจากสลัดจ์ได้ เช่น ลานตากสลัดจ์ (Drying Bed) บ่อกักสลัดจ์ (Sludge Lagoon) เครื่องอัดกรอง(Filter Press) เครื่องสายพานรีดน้ำ (Belt Press) เครื่องกรองด้วยสุญญากาศ (Vacuum Filter) และเครื่องหมุนเหวี่ยง (Scroll Centrifuge) (ชาติวี เรืองธนันต์รักษ์, 2547) ซึ่งค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-24) การวัดค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสามารถวัดได้โดยใช้ชุดอุปกรณ์ทดสอบกรวยบุชเนอร์ (Buchner Funnel Test) ดังภาพที่ 2.8 และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ระดับความดันที่ใช้ของสลัดจ์และประเภทของสลัดจ์ ดังตารางที่ 2.3

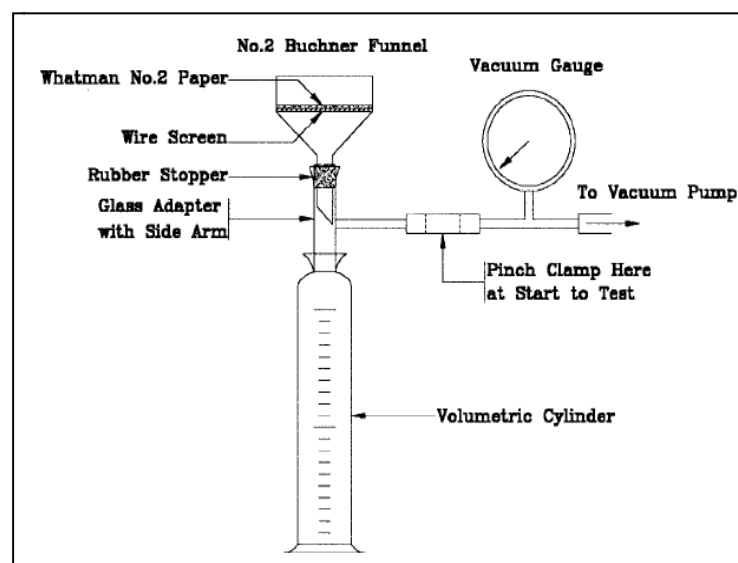
$$r = 2PA^2b/(\mu C) \quad (2-24)$$

เมื่อ	r	=	ความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง (เมตร/กิโลกรัม)
	P	=	ความดันลดที่ใช้ในการกรอง (นิวตัน/ตารางเมตร)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดการกรอง (ตารางเมตร)
	b	=	ความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา/ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง กับปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (วินาที/เมตร <sup>6</sup> ) ดังภาพที่ 2.7
	T	=	เวลาที่ใช้ในการกรอง (วินาที)
	V	=	ปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (ลูกบาศก์เมตร)

- $\mu$  = ความหนืดของน้ำที่ผ่านการกรอง (นิวตัน.วินาที/ตารางเมตร)
- C = อัตราส่วนของน้ำหนักของแข็งแห้งกับปริมาตรของน้ำที่ผ่านการกรอง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อปริมาตรของน้ำที่ผ่านการกรองกับปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (USEPA, 1989)



ภาพที่ 2.8 ชุดอุปกรณ์ทดสอบกรวยบุชเนอร์ (USEPA, 1989)



ตารางที่ 2.3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ระดับความดันที่ใช้และประเภทของสลัดจ์

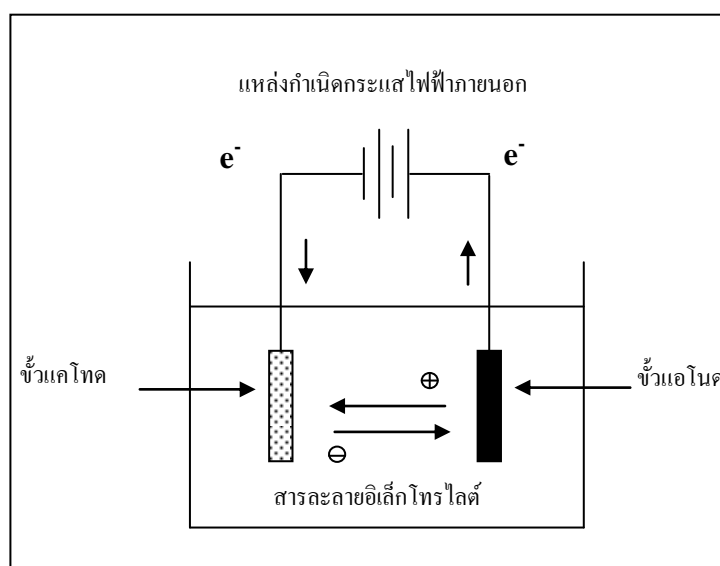
ประเภทของสลัดจ์	ความดัน		ค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง	
	กิโลกรัม/ ซม. <sup>2</sup>	ปอนด์/ นิ้ว <sup>2</sup>	เมตร/ กรัม	เมตร/ กิโลกรัม
สลัดจ์จากระบบแยกทิวเต็ดสลัดจ์	0.52	0.74	2.88E+10	2.83E+14
สลัดจ์จากแหล่งชุมชนที่ย่อยสลายแล้ว	0.52	0.74	1.42E+10	1.39E+14
สลัดจ์ดิบจากแหล่งชุมชน	0.52	0.74	4.70E+09	4.61E+13
สลัดจ์ที่เกิดจากการตกตะกอนด้วยสารส้ม	1.02	14.5	5.30E+09	5.20E+13
วุ้นเจลของสารประกอบ Al(OH) <sub>3</sub>	3.59	51	2.20E+09	2.16E+13
วุ้นเจลของสารประกอบ Fe(OH) <sub>3</sub>	3.59	51	1.50E+09	1.47E+13
สลัดจ์ที่เกิดจากการตกตะกอนในน้ำ	0.70	10	5.10E+08	5.00E+12
คอลลอยด์ของดินเหนียว	3.59	51	5.00E+08	4.91E+12
การระบายแร่ที่ถูกทำให้เป็นกลางโดยปูนขาว	1.02	7.4	3.00E+08	2.94E+12
วุ้นเจลของสารประกอบ Mg(OH) <sub>2</sub>	3.59	14.5	3.00E+08	2.94E+12
สลัดจ์จากระบบแยกทิวเต็ดสลัดจ์ที่ถูกปรับสภาพ	0.52	7.4	1.65E+08	1.62E+12
สลัดจ์จากระบบแยกทิวเต็ดสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยนำมาปรับสภาพ	0.52	5.1	1.46E+08	1.43E+12
สลัดจ์ที่ผ่านการย่อยนำมาปรับสภาพ	0.52	7.4	1.05E+08	1.03E+12
เพอร์ริคคอลลอยด์	3.59	51	8.00E+08	7.85E+12
สลัดจ์ดิบจากแหล่งชุมชนที่ถูกปรับสภาพ	0.52	7.4	3.10E+08	3.04E+12
แคลเซียมคาร์บอเนต	3.59	51	2.00E+08	1.96E+12

ที่มา: Eckenfelder และ Santhanam, 1981

## 2.6 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

### 2.6.1 หลักการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี

กระบวนการไฟฟ้าเคมีจะใช้เซลล์ไฟฟ้าเคมีซึ่งประกอบด้วย ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าสองครึ่ง เซลล์ ครึ่งเซลล์หนึ่งทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน และอีกครึ่งเซลล์หนึ่งทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน โดยครึ่งเซลล์อันหนึ่งๆ จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นโลหะจุ่มอยู่ในสารละลายของไอออนโลหะนั้น เมื่อนำครึ่งเซลล์ไฟฟ้าสองชนิดมาประกอบกันเป็นเซลล์ไฟฟ้า โดยต่อสารละลายทั้งสองด้วยสะพานเกลือ (Salt Bridge) นอกจากนี้เซลล์ไฟฟ้าเคมีอาจไม่ใช้สะพานเกลือได้ โดยให้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจุ่มในสารละลายเดียวกัน ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 องค์ประกอบการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี (วรรณรัตน์ วัฒนชัย, 2547)

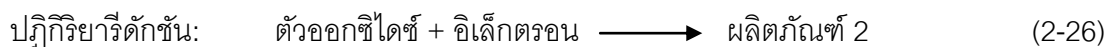
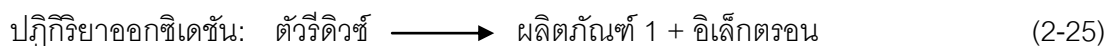
#### 2.6.1.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

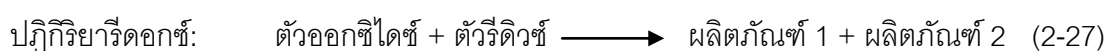
1) **เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์โวลตาอิก** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ให้พลังงานไฟฟ้า อันเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเซลล์อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าแอโนดไปยังขั้วแคโทด โดยผ่านตัวนำไฟฟ้าภายนอก ตัวอย่างของเซลล์ไฟฟ้ากัลวานิกในทางการค้า คือ แบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น

2) เซลล์อิเล็กโทรไลติก เป็นเซลล์ที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารอิเล็กโทรไลต์ตามต้องการ การดำเนินไปของปฏิกิริยาไม่ต่อเนื่อง สม่่าเสมอขึ้นกับพลังงานไฟฟ้าในรูปของศักย์ที่ได้รับ การใช้ประโยชน์จากเซลล์อิเล็กโทรไลติก ในทางการค้าเป็นการแยกหรือสังเคราะห์โลหะที่ต้องการ เช่น การสังเคราะห์โลหะอลูมิเนียม การแยกของโลหะเงินหรือทอง การชุบโลหะ เป็นต้น

ในการใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์อิเล็กโทรไลติก ปฏิกิริยาในกระบวนการไฟฟ้าเคมีส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าโดยจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนมวลสารและอิเล็กตรอน โดยเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน จะมีสารหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเรียกสารนี้ว่าเป็นสารรีดิวซ์ (Reducing Agent) หากแบ่งปฏิกิริยารีดอกซ์ออกเป็นสองส่วนจะได้ครึ่งปฏิกิริยา (Half Reaction) สองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยารีดักชัน (ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาที่มีการจ่ายอิเล็กตรอน) ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังนี้



ถ้ารวมครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองขั้วเข้าด้วยกันโดยดุลจำนวนอิเล็กตรอนที่ให้และรับเท่ากันจะได้ปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังนี้



เนื่องจากอิเล็กโทรไลติกเซลล์เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานจากแหล่งภายนอก ความยากง่ายในการทำให้เกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นอยู่ความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนของไอออนที่อยู่ในสารละลายนั้น ซึ่งดูได้จากแรงเคลื่อนไฟฟ้า และค่า  $E^0$  ถ้าสารละลายอยู่ในสภาวะมาตรฐาน ในกรณีของสารละลายที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะเกิดการแข่งขันในการให้หรือรับอิเล็กตรอนของไอออนต่างๆ ในสารละลายและโมเลกุลของน้ำด้วย ในการพิจารณาจะแยกอธิบายการแข่งขันในการเกิดปฏิกิริยาที่แคโทดและแอโนดออกจากกันดังนี้

(1) ปฏิกิริยาที่แคโทด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วปฏิกิริยารีดักชันจะเกิดได้ 2 กรณี

- ไอออนบวกถูกรีดิวซ์เกิดเป็นสารที่ไม่มีประจุ เช่น ไอออนโลหะถูกรีดิวซ์เป็นโลหะ

- โมเลกุลของน้ำอาจถูกรีดิวซ์ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน

(2) ปฏิริยาที่แอโนด ในทำนองเดียวกันกับปฏิริยาที่แคโทด ปฏิริยาออกซิเดชันอาจเกิดขึ้นในสารละลายจากโมเลกุลของน้ำหรือไอออนลบ

- ไอออนลบถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นสารที่ไม่มีประจุ เช่น คลอไรด์ไอออนเป็นก๊าซคลอรีน

- โมเลกุลของน้ำอาจถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของออกซิเจนและไฮโดรเจนไอออน

ในการทำนายปฏิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์อิเล็กโทรไลติกนั้น อาจแยกพิจารณาเป็นปฏิริยาที่แอโนดและที่แคโทด หรือพิจารณาปฏิริยารวมของทั้งสองครึ่งปฏิริยานั้นว่า คูใดที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยที่สุดปฏิริยาคูนั้นจะเกิดขึ้นก่อนซึ่งการพิจารณาทั้งสองแบบนี้ มีความจำเป็นต้องใช้ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิริยา และหากทราบค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวจะทำให้การทำนายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

ตัวแปรที่มีผลต่อปฏิริยาที่ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ ชนิดของขั้วไฟฟ้า ลักษณะรูปร่างและสถานะพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า ลักษณะการถ่ายโอนมวล ( Mass transfer) ไปยังขั้วไฟฟ้า ความเข้มข้นของไอออนที่ผิว ชนิดและความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ สารอื่นๆ ที่ปนอยู่ในสารละลาย ค่าการนำไฟฟ้า ความเร็วจำกัดของไอออนในสารละลาย ค่าศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความดัน และเวลา

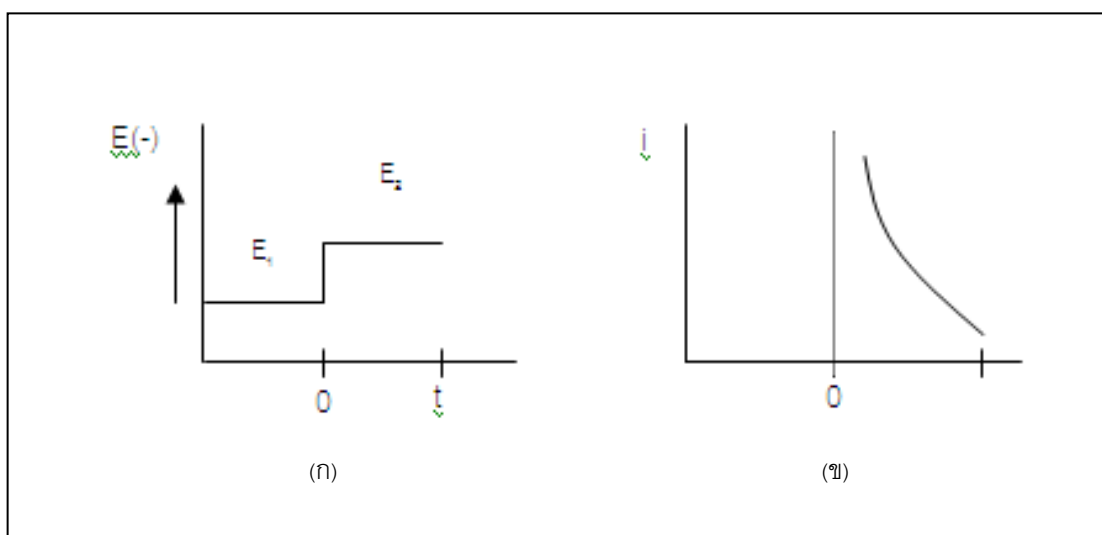
## 2.6.2 การควบคุมการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

### 2.6.2.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่

การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ (Controlled Potential Method or Potentiostatic Mode) เป็นการควบคุมค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วไฟฟ้าอ้างอิงให้มีค่าคงที่ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา โดยเมื่อปรับค่าความต่างศักย์เพียงพอ ไอออนบวกของโลหะที่อยู่ในสารละลายจะเกิดปฏิริยารีดักชันที่ผิวของขั้วแคโทด

และเมื่อเวลาผ่านไปจะทำให้ความเข้มข้นของไอออนที่บริเวณผิวหน้าของขั้วแคโทดมีค่าต่ำลง ทำให้ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วไฟฟ้าอ้างอิงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าจึงต้องลดต่ำลง เพื่อควบคุมค่าความต่างศักย์ให้มีค่าคงที่ ผลที่เกิดจากการทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้ากับเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์จาก  $E_1$  เป็น  $E_2$  ที่ขั้วแคโทด

$E_1$  คือ ค่าความต่างศักย์ที่เริ่มต้นก่อนการเกิดปฏิกิริยา และ  $E_2$  คือ ค่าความต่างศักย์ที่เป็น diffusion limited rate หรือเป็น mass transfer limited ซึ่งตัวออกซิไดซ์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ความเข้มข้นของไอออนบวกที่ผิวหน้าของขั้วแคโทดลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ การลดลงของความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะมีผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าของระบบลดลง ดังภาพ (ข) เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น ( $i = kC$ )



ภาพที่ 2.10 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบศักย์ไฟฟ้าคงที่

(Friedrich, 1962)

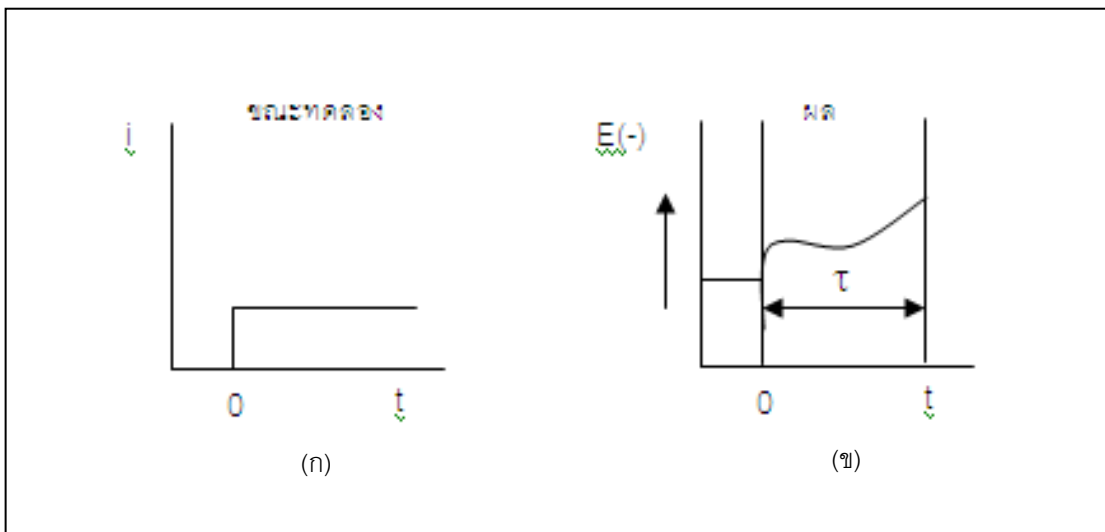
### 2.6.2.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่

การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ (Controlled Current Method or Galvanostatic Mode) รูปแบบการควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่นี้ อาจเรียกว่า Chronopotentiometry หรือ Chronopotentiometric technique โดยเป็นการควบคุมให้ปริมาณ

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วไฟฟ้าให้คงที่ ทำให้ค่าความต่างศักย์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อควบคุมให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองคงที่ ทำให้สารออกซิไดซ์ ( $M^{n+}$ ) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน กลายเป็นสารรีดิวซ์ (M) ด้วยอัตราที่คงที่



ดังนั้นค่าความต่างศักย์จะแปรตามค่าความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง  $M^{n+}/M$  ที่ผิวขั้วไฟฟ้ากับเวลา เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ  $M^{n+}$  ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าจะลดลง ค่าความต่างศักย์ที่ผิวของขั้วไฟฟ้าก็จะลดลงเช่นกันตามสมการของเนินส์ ในช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์โดยกระแสไฟฟ้าคงที่เรียกว่า Transition Time ( $\tau$ ) ซึ่งค่านี้สัมพันธ์กับความเข้มข้นและสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

(Friedrich, 1962)

ค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์สามารถแสดงได้ตามสมการของเนินส์ (Nernst equation)

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]} \quad (2-29)$$

เมื่อ	$E$	=	ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ณ สภาวะใดๆ (โวลต์)
	$E^0$	=	ค่าความต่างศักย์มาตรฐานระหว่างขั้วแคโทดและ สารละลาย (โวลต์)
	$R$	=	ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8.314 (จูลต่อโมลต่อเคลวิน)
	$T$	=	อุณหภูมิ (เคลวิน)
	$n$	=	จำนวนอิเล็กตรอนที่ใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยา (ประจุต่อ โมล)
	$F$	=	ค่าคงที่ฟาราเดย์ 96,500 (แอมแปร์.วินาทีต่อประจุ)
	$[Ox], [Red]$	=	ความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ (โมลต่อ ลิตร)

เพื่อให้ได้อัตราในการกำจัดสูงสุด การรีดักชันของไอออนโลหะควรเป็นการควบคุมแบบถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transport Control) สมการแสดงอัตราในการนำกลับโลหะออกจากสารละลาย เขียนได้ดังนี้

$$-V \frac{dc}{dt} = \frac{-I_L}{nF} = k_m A_e \quad (2-30)$$

เมื่อ	$V$	=	ปริมาตรของสารละลาย (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	$C$	=	ความเข้มข้นของไอออนโลหะ (โมลต่อลิตร)
	$t$	=	เวลา (วินาที)
	$I_L$	=	กระแสจำกัด (Limiting Current) (แอมแปร์)
	$k_m$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (Mass Transfer Coefficient)
	$A_e$	=	พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า (ตารางเมตร)

เมื่ออินทิเกรตสมการที่ 2-30 เทียบกับเวลาจะได้สมการดังนี้

$$\frac{C_t}{C_0} = \exp\left(\frac{-k_m A_e t}{V}\right) \quad (2-31)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } C(0) &= \text{ความเข้มข้นของไอออนโลหะในสารละลายเริ่มต้น (โมลต่อลิตร)} \\ C(t) &= \text{ความเข้มข้นของไอออนโลหะในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อเวลาเปลี่ยนไป (โมลต่อลิตร)} \end{aligned}$$

จากสมการกล่าวได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนโลหะขึ้นกับตัวแปรที่สำคัญ คือ

- 1) การถ่ายโอนมวลสารจากสารละลายสู่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ขึ้นกับสมบัติของอิเล็กโทรไลต์ และขั้วไฟฟ้าการกวนจะช่วยเพิ่มการถ่ายโอนมวลสาร
- 2) พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า

### 2.6.3 ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดเดี่ยวและศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ คือ ผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าของแต่ละขั้วอิเล็กโทรด ในทางปฏิบัติไม่มีวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าเฉพาะแต่ละขั้วเดี่ยวได้โดยตรง แต่ต้องวัดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดมาตรฐานขึ้น คือ กำหนดให้อิเล็กโทรดไฮโดรเจนเมื่ออยู่ที่สภาวะมาตรฐาน เมื่อต้องการทราบศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดอื่น เช่น  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  เป็นต้น ต้องนำอิเล็กโทรดเหล่านั้นมาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจนที่มีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับศูนย์ และวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ต้องการทราบ แต่ถ้าอิเล็กโทรดนั้นอยู่ในสภาวะมาตรฐานด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน ( $E^0_{\text{cell}}$ ) และเป็นค่าเดียวกับศักย์มาตรฐานของอิเล็กโทรดเดี่ยว ( $E^0_{\text{cell}}$ ) ที่มาจับคู่กับอิเล็กโทรดไฮโดรเจนมาตรฐาน โดยการทำเช่นนี้กับอิเล็กโทรดอื่นๆ ทำให้ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดต่างๆ

ศักย์ไฟฟ้าแสดงให้เห็นแนวโน้มของขั้วอิเล็กโทรดที่จะรับอิเล็กตรอนว่า มีความสามารถมากน้อยเพียงใด หรือเรียกว่า เป็นการแสดงความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ (หรือตัวรีดิวซ์) เช่น  $\text{MnO}_4^-$  กับ  $\text{Fe}^{2+}$  ในสารละลายกรดพบว่า ค่า  $E^0$  ของระบบ  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = +0.77$  โวลต์ และค่า  $E^0$  ของ  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+} = +1.52$  โวลต์ แสดงว่าระบบ  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  มีแนวโน้มที่จะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าระบบ  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  จึงเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า จากสูตรการหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน คือ



$$E_{\text{cell}}^{\circ} = E^{\circ}(\text{ขั้วบวก}) - E^{\circ}(\text{ขั้วลบ}) \quad (2-32)$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้าวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ที่สภาวะใดๆ จะได้ความสัมพันธ์คล้ายกับสมการที่ 2-33 คือ

$$E_{\text{cell}} = E(\text{ขั้วบวก}) - E(\text{ขั้วลบ}) \quad (2-33)$$

#### 2.6.4 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และมีผลต่อปริมาณประจุที่ปล่อยออกมาในปฏิกิริยา ตามกฎของฟาราเดย์ที่ว่า 1 ฟาราเดย์ ของประจุที่ผ่านเข้าวงจร จะชะลอประจุอิเล็กตรอนออกมาจากขั้วไฟฟ้า 96,487 วัตต์-ชั่วโมง ซึ่งถ้าจำนวนประจุมากขึ้นก็จะทำให้มีประจุอิเล็กตรอนหรืออิเล็กตรอนออกมาจากอิเล็กโทรดเพียงพอที่จะทำให้โลหะไฮดรอกไซด์ตกตะกอนได้มากขึ้น จากกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปในวงจรได้ จะมีค่าเท่ากับ ผลคูณของกระแสไฟฟ้า และความต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังสมการที่ 2-34

$$V = IR \quad (2-34)$$

เมื่อ	V	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
	I	=	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
	R	=	ค่าความต้านทาน (โอห์ม)

ความสัมพันธ์กับงานทางไฟฟ้า ดังสมการที่ 2-35

$$\text{งานไฟฟ้าสุทธิ } (W_{\text{elect}}) = \text{คูลอมบ์} \times \text{โวลต์} = nE \times 96,487 \quad (2-35)$$

ดังนั้นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี คือ ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นั่นเอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการที่ 2-36

$$R = \frac{1}{CA} \quad (2-36)$$

เมื่อ	R	=	ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (โอห์ม)
	I	=	ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (เซนติเมตร)
	C	=	ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (โอห์มหรือซีเมน)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ตารางเซนติเมตร)

### 2.6.5 การแลกเปลี่ยนประจุและการเคลื่อนที่ของประจุ

การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งวัดได้ในหน่วยแอมแปร์ (Ampere) จำนวนกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดจะถูกวัดในรูปของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Intensity, I) การวัดปริมาณของกระแสซึ่งผ่านเข้าไปในวัสดุเรียกว่า การนำไฟฟ้าของวัสดุ (Conductivity) ในโลหะส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้กฎของโอห์ม ซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปความเข้มของสนามไฟฟ้า ( $E_f$ ) มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเซนติเมตรได้ คือ

$$I = \sigma E_f \quad (2-37)$$

$$E_f = \frac{I}{\sigma} = \frac{V}{R\sigma} \quad (2-38)$$

เมื่อ	$\sigma$	=	ค่าการนำไฟฟ้า (โอมห์ต่อเซนติเมตร)
	V	=	ความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุด (โวลต์)
	R	=	ความต้านทานระหว่างจุดสองจุด (โอห์ม)
	I	=	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (แอมแปร์)

### 2.6.6 กฎฟาราเดย์เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องผ่านเข้าไปในสารละลายในเซลล์อิเล็กโทรไลติก เพื่อให้อิเล็กตรอนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือคือ ผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็กตรอน 1 โมล

$$1 \text{ F (Faraday)} = eN = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})(6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})$$

$$\begin{aligned} &= 96,487 \text{ C mol}^{-1} \text{ (C = coulomb)} \\ \text{จะได้ X coulomb} &= I \text{ (ampere)} \times t \text{ (second)} \end{aligned}$$

หรือ 1 ฟาราเดย์ คือ ไฟฟ้าฟาราเดย์ทำให้เกิดสารแต่ละชนิดที่ขั้วอิเล็กโทรดจำนวน 1 โมลเท่ากัน เช่น

$$\begin{aligned} \text{ผ่านกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ลงใน } \text{Al}^{+3} \text{ จะได้ } \text{Al}_{(s)} \text{ 1 โมล} &= \text{น.น.กรัมโมลต่อประจุ} \\ &= 26.98/3 \\ &= 9 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผ่านกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ลงใน } \text{Fe}^{+2} \text{ จะได้ } \text{Fe}_{(s)} \text{ 1 โมล} &= \text{น.น.กรัมโมลต่อประจุ} \\ &= 55.85/2 \\ &= 27.9 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและปริมาณของขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะสามารถอธิบายด้วยกฎฟาราเดย์ ดังต่อไปนี้

$$W = \frac{ItM}{ZF} \quad (2-39)$$

เมื่อ	W	=	ปริมาณโลหะที่ละลายน้ำ (กรัม)
	I	=	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง (แอมแปร์)
	M	=	น้ำหนักโมเลกุลที่ขั้วแอโนด (กรัม)
	t	=	เวลาที่ใช้ (วินาที)
	Z	=	จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์
	F	=	ค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 (คูลอมป์)

มวลของสารที่คำนวณได้จากกฎฟาราเดย์ คือ มวลของสารที่ควรเกิดปฏิกิริยาตามทฤษฎีหมายความว่า กระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ให้แก่ระบบถูกนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะทั้งหมด ซึ่งในทางปฏิบัติปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้กับระบบไม่ได้ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด เนื่องจากการสูญเสียไปในการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำเป็นก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนด หรืออาจเกิดจากความต้านทานต่างๆเนื่องจากมีตัวออกซิไดซ์หลายชนิดละลายอยู่รวมกันในสารละลาย ดังนั้นจึงต้องมีการวัดประสิทธิภาพเชิงกระแส

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงกระแส} = \frac{\text{มวลที่ได้จริงจากกระบวนการ}}{\text{มวลที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี}} \quad (2-40)$$

### 2.6.7 ชนิดขั้วไฟฟ้า (Electrodes)

ขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบของแต่ละครึ่งเซลล์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าต่อเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า โดยวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้ามีหลายชนิด ได้แก่

#### 2.6.7.1 อลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียม (Aluminum) มีลักษณะสีขาวเหมือนเงิน เนื้อเป็นมันเงาไม่หมอง มีน้ำหนักเบา นำความร้อนได้ดี ไม่สึกกร่อนได้ง่าย ทำปฏิกิริยากับกรดและด่างบางชนิดเท่านั้น แข็งมากไม่ค่อยมีรอยแตก ร้าวสามารถทำให้มีรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยอลูมิเนียมจัดว่าว่องไวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะอื่นๆ ได้ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 มักจะเป็นสารประกอบโควาเลนต์ การใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลติกเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสขึ้นทำให้อลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนและจะละลายในสารละลาย ซึ่งไฮดรอกไซด์ของอลูมิเนียมจะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในสารละลายอาจจะมีคอลลอยด์อยู่มาก

#### 2.6.7.2 เหล็กกล้า (Steels)

เหล็กกล้า (Steels) เป็นโลหะหนัก มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาปานกลาง สารประกอบของเหล็กมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 เลขออกซิเดชันสูงๆ มีบ้าง แต่ไม่เสถียรและเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้นมักจะกลายเป็นสนิมที่ผิวที่เรียกว่าสนิมเหล็ก เหล็กทำปฏิกิริยารวมกับโลหะทั้งหลายได้เกือบทั้งหมด เมื่อทำให้ร้อนเล็กน้อยแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน เมื่ออยู่ในสารละลาย เหล็กมักอยู่ในรูปของ  $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Fe}^{3+}$  ปนกัน เหล็กที่มีเลขออกซิเดชัน +2 นั้นเสถียรมากและสามารถเกิดเกลือต่างๆ กับแอนไอออนที่เสถียรได้ สารประกอบที่ปราศจากน้ำของ  $\text{Fe}^{2+}$  ไม่มีสี แต่ถ้ามีน้ำหรืออยู่ในสารละลายจะมีสีเขียวอ่อนของไฮดรอกไซด์  $(\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6)^{2+}$  สารละลาย  $\text{Fe}^{2+}$  นี้ถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศกลายเป็น  $\text{Fe}^{3+}$  ได้  $\text{Fe}^{3+}$  อยู่ใน

สารละลายของน้ำเป็น hydratedion เนื่องจาก  $Fe^{3+}$  มีขนาดไอออนเล็กและมีประจุมากจึงแสดงสมบัติเป็นกรด ทั้ง  $Fe^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  ทำปฏิกิริยากับสารที่ให้อิเล็กตรอนและเกิดสารเชิงซ้อนได้

การใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลติกเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสขึ้นที่ผิวของแผ่นขั้วไฟฟ้าแอโนด จะเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาพร้อมเหล็กในรูป  $Fe^{2+}$  ที่ขั้วแคโทดจะมีการให้ไฮดรอกไซด์ไอออนที่ทำให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้นได้ ทำให้เหล็กที่มาจากแผ่นขั้วไฟฟ้าแอโนดสามารถตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ เช่น  $Fe(OH)_2$  ได้ ปริมาณการตกตะกอนของเหล็กจึงขึ้นกับปริมาณไฮดรอกไซด์ที่ได้จากขั้วแคโทดและค่า pH ของน้ำเสีย ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนแผ่นเหล็กในอิเล็กโทรไลต์เซลล์ เมื่อใช้ไประยะหนึ่ง โดยมากแผ่นเหล็กจะหาซื้อง่ายและราคาถูกลงไปกว่านั้นมันมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายไอออนโลหะหนักได้ดี จึงเป็นที่นิยม

### 2.6.7.3 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เป็นเหล็กกล้าที่นำมาผสมกับธาตุ โดยธาตุผสมที่สำคัญ คือ โครเมียมซึ่งจะมีตั้งแต่ร้อยละ 11 ขึ้นไป โครเมียมที่อยู่ในเนื้อเหล็กกล้าจะก่อให้เกิดฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ( $Cr_2O_3$ ) ซึ่งมีเสถียรภาพสูงอยู่ที่ผิวของเหล็กกล้า ฟิล์มอันนี้มีความเงางามและป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชันกับเหล็กซึ่งอยู่ภายในเหล็กกล้าไร้สนิม ให้คุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน และผิวมีความเงาแวววาว

### 2.6.7.4 ไทเทเนียม (Titanium)

ไทเทเนียม (Titanium) มีลักษณะขาวเทาคล้ายเงิน จุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง แข็ง และเหนียว สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ไฮดรอกไซด์และไฮโดรเจน ไทเทเนียมมีเลขออกซิเดชัน +2 +3 และจะเสถียรที่ +4 ไทเทเนียมขาวถูกนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลติกเซลล์และไม่ทำให้โลหะตัวอื่นกัดกร่อนในระหว่างเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส ยิ่งไปกว่านั้นที่ขั้วลบพบว่าจะมีโลหะหนักเกิดขึ้นมาก สารละลายใสไม่มีตะกอน อีกทั้งยังเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงในสภาวะปกติ ดังนั้นจึงเป็นที่ยอมรับ แต่ข้อเสีย คือ ไทเทเนียมมีราคาสูงและหาซื้อได้ยาก

### 2.6.7.5 แพลตินัม (Platinum)

แพลตินัม (Platinum) เป็นธาตุที่มีสีขาวและอ่อน มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าตั้งแต่ +2 ถึง +8 แต่ที่สำคัญคือ +2 ถึง +4 มีความแข็งแรงของพันธะโลหะและไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา นอกจากนี้สารประกอบของแพลตินัมมักไม่ค่อยเสถียร โดยเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะสลายตัวเป็นโลหะ แพลตินัมหายากและมีราคาแพง สามารถนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาจึงมีประโยชน์ในการทำอิเล็กทรอนิกส์ เบ้าทนไฟ และภาชนะสำหรับงานที่อุณหภูมิสูงและต้องการความต้านทานการกัดกร่อนสูง

### 2.6.7.6 แกรไฟต์ (Graphite)

แกรไฟต์ (Graphite) เป็นอีกรูปหนึ่งของธาตุคาร์บอนซึ่งเกิดตามธรรมชาติ มีชื่อสามัญเรียกว่า พลัมเบโก (Plumbago) หรือแร่ดินสอดำ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปผลึกเป็นแผ่นบาง ๆ ทึบแสงและเป็นเงามันเหมือนโลหะเล็กน้อย สีเทาเข้มถึงดำ เนื้ออ่อน เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมากในทิศทางที่ขนานกับระนาบของอะตอม แต่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบของอะตอมจะนำไฟฟ้าได้น้อย อะตอมของแกรไฟต์ยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ มีระยะห่างระหว่างอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเท่ากับ 1.415 อังสตรอม ซึ่งสั้นพอที่จะทำให้เชื่อว่าอะตอมคาร์บอน น่าจะยึดกับอะตอมข้างเคียงด้วยพันธะแกรไฟต์มักใช้ทำไส้ดินสอดำ เบ้าหลอมโลหะ น้ำมันหล่อลื่นบางชนิด ไส้ถ่านไฟฉาย ไส้ไฟอาร์ก ใช้เป็นตัวลดความเร็ว ช่วยควบคุมจำนวนอนุภาคนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

## 2.7 การประยุกต์ใช้หลักการไฟฟ้าเคมีในการปรับสภาพสลัดจ์

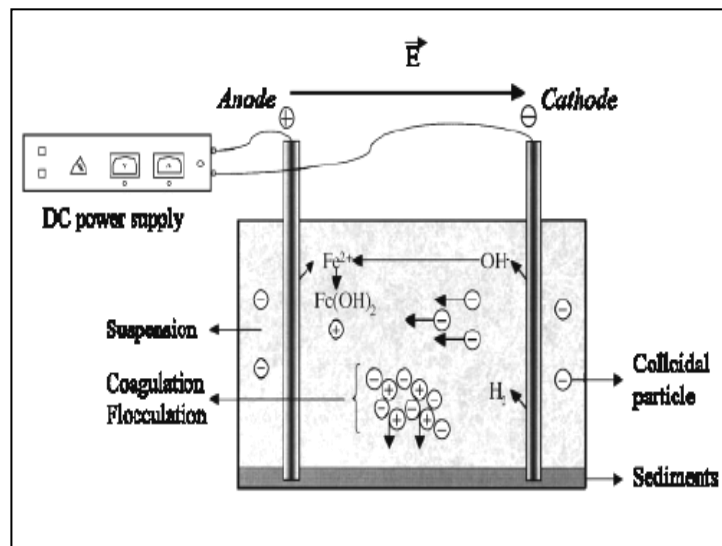
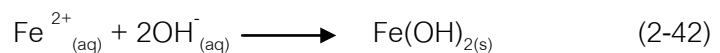
### 2.7.1 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC)

กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC) เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับสภาพสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดภายนอก ส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการนี้ ได้แก่ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากภายนอก สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และขั้วไฟฟ้าสองขั้ว (รัตน จิระรัตนานนท์, 2541)

แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอกเป็นส่วนที่ใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งควบคุมปริมาณของกระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านเข้าระบบตามที่กำหนด ส่วนสารละลายอิเล็กโทร

ไลต์ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้า โดยผ่านทางไอออนต่างๆ ที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนเหล่านี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเดินทางของกระแสผ่านไปยังขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว

เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้า จะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ของขั้วไฟฟ้า เช่น เหล็ก โดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (ขั้วแอโนด) ทำให้โลหะเกิดการสึกกร่อนและละลาย อยู่ในน้ำ ในขณะที่ขั้วลบ (แคโทด) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัว ให้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง เนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในน้ำ และทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) และเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ในรูปเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_{2(s)}$ ) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_{3(s)}$ ) ดังสมการที่ 2-41 ถึง 2-44 และภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Larue และ Vorobiev, 2003)

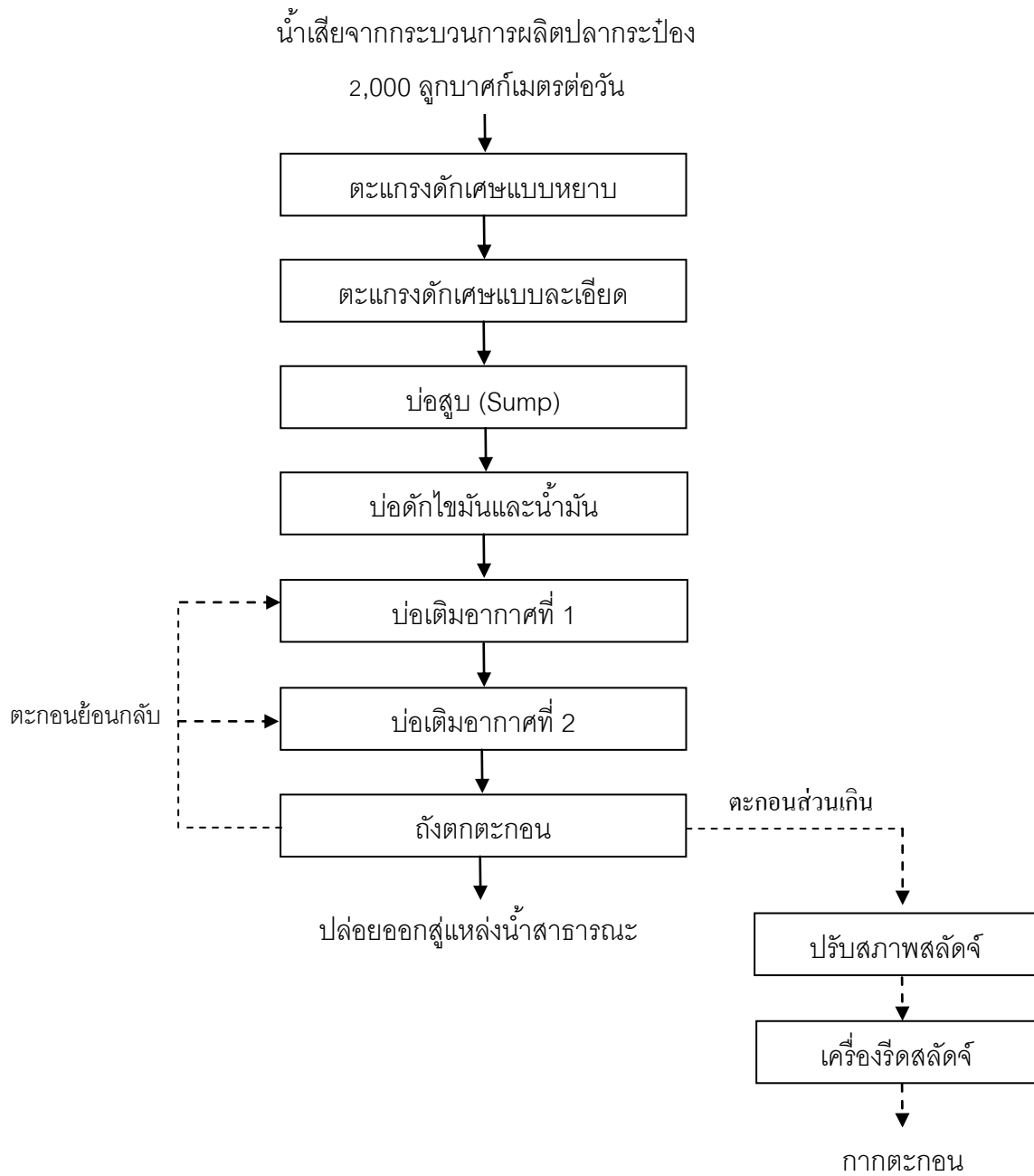
การปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดย กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นกระบวนการที่ใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดภายนอก

เป็นตัวให้อิเล็กตรอนผ่านทางขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสลัดจ์ที่ต้องการปรับสภาพ ซึ่งจะใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดที่กัดกร่อนได้ (Sacrificial Electrode) เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียมในการสร้างสารรวมตะกอน ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสลัดจ์กับผิวของขั้วไฟฟ้าแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) โดยโลหะที่เป็นขั้วแอโนดจะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นโลหะไอออนละลายอยู่ในสลัดจ์ ซึ่งโลหะไอออนเหล่านี้จะรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า Polynuclear Metal Hydroxyl Complexes ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน ทำหน้าที่ช่วยจับอนุภาคที่อยู่ในสลัดจ์ให้รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองของสลัดจ์ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากสลัดจ์

## 2.8 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องที่ใช้ศึกษาในการวิจัย

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องที่ใช้ศึกษาในการวิจัย เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) มีปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยเป็นน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ เช่น การละลายน้ำแข็ง การเตรียมปลา ตัดหัวปลา ผ่าท้องควักไส้ การนึ่งปลา การล้างทำความสะอาดภาชนะ และการล้างพื้น เป็นต้น ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการผลิตทั้งหมดเหล่านี้จะถูกนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน โดยน้ำเสียจะไหลผ่านตะแกรงดักเศษแบบหยาบ (Coarse Screen) และเครื่องดักเศษแบบละเอียด (Mechanical Fine Screen) เพื่อดักเศษสิ่งสกปรกที่ลอยมากับน้ำอันจะทำให้เครื่องสูบน้ำและท่อระบายอุดตันได้ก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่บ่อสูบ (Sump) บ่อดักน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease Trap) บ่อเติมอากาศ (Aerated Ponds) ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ซึ่งน้ำใสส่วนบนที่ผ่านการบำบัดได้คุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งแล้วจะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ส่วนสลัดจ์ที่กั้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะนำกลับเข้าถังเติมอากาศ (Return Sludge) และอีกส่วนหนึ่งที่เกินความต้องการ (Excess Sludge) จะนำไปกำจัดต่อด้วยกระบวนการปรับสภาพสลัดจ์ และการแยกน้ำออกจากสลัดจ์ด้วยเครื่องรีดสลัดจ์ (Belt Press) ความจุ 160 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีแผนผังระบบบำบัดน้ำเสีย ดังภาพที่ 2.13





ภาพที่ 2.13 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋อง  
ที่ใช้ศึกษาในการวิจัย

## 2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yuan และคณะ (2010) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ที่มีต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าพีเอช เท่ากับ 9,629 มิลลิกรัมต่อลิตร 6,028 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.59 ตามลำดับ โดยทำการทดลองใช้ตะแกรงไททาเนียมเป็นทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทด จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์คือ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 21 โวลต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 5 เซนติเมตร และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 12 นาที

Yuan และคณะ (2011\_a) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ด้วยไฟฟ้าที่มีต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากกันดั๊กตตะกอนชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ-กึ่งไร้อากาศ-เติมอากาศ (Anaerobic-Anoxic-Aerobic) โดยทำการทดลองใช้ตะแกรงไททาเนียมเป็นทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทด จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์คือ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 15-20 โวลต์ และระยะเวลาทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 15-20 นาที ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลง คือ ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองเท่ากับ  $8.67 \times 10^{11}$  เมตรต่อกิโลกรัม และหลังทำการปรับสภาพสลัดจ์ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลงเท่ากับ  $4.56 \times 10^{11}$  เมตรต่อกิโลกรัม

Yuan และคณะ (2011\_b) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ที่ส่งผลต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทำการทดลองปรับสภาพสลัดจ์ด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าก่อนแล้วจึงตามด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด ได้แก่ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (ชนิดประจุบวก) Sodium Dodecyl Sulphate (ชนิดประจุลบ) และ Triton X-100 (ชนิดไม่มีประจุ) จากการศึกษาพบว่า การใช้สาร Sodium Dodecyl Sulphate และ Triton X-100 เป็นสารปรับสภาพสลัดจ์ทั้งที่ใช้และไม่ใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีร่วมด้วย จะให้ประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากตะกอนไม่ดึ้นัก เมื่อเทียบกับการใช้สาร Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide เป็นสารปรับสภาพสลัดจ์ โดยการใช้สาร Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide ร่วมกับกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากตะกอนดีกว่าการใช้สาร Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide ในการปรับสภาพสลัดจ์เพียงอย่างเดียว

Gharibi และคณะ (2013) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสรวมกับกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrolysis/Electrocoagulation) โดยมีการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากก้นถังตกตะกอนชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ชนิดของขั้วไฟฟ้าแอโนดและขั้วแคโทด คือ ไททาเนียม-ไททาเนียมและอลูมิเนียม-เหล็ก จากการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองมีค่าลดลงคือ ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองเท่ากับ  $2 \times 10^{13}$  เมตรต่อกิโลกรัม และหลังทำการปรับสภาพสลัดจ์ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลงเท่ากับ  $8 \times 10^{10}$  เมตรต่อกิโลกรัม คิดเป็นประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 99

Vesilind (1973) ได้กล่าวถึงการเลือกใช้สารโพลีเมอร์ในการปรับสภาพสลัดจ์ว่า ในโรงบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกในการปรับสภาพสลัดจ์ เนื่องจากต้องการใช้ประจุบวกในการทำลายประจุลบของสลัดจ์ แต่ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ ได้แก่ การเติมสารที่ให้ประจุบวก เช่น ไฮโดรเจนไอออน ลงไปในสลัดจ์ เพื่อลดการรบกวนจากอำนาจของประจุลบของสลัดจ์ ก่อนนำมาปรับสภาพด้วยสารโพลีเมอร์ประจุลบ โดยใช้กระบวนการสร้างสะพานด้วยโพลีเมอร์

Sarikaya และ Marshoud (1993) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยทางแอโรบิกพบว่าโพลีเมอร์ประจุบวกจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าโพลีเมอร์ชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการดูดติดผิวและทำลายประจุ ส่วนโพลีเมอร์ประจุลบจะมีความยาวของลูกโซ่ (Chain Lengths) มากกว่าโพลีเมอร์ชนิดอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพของกลไกการสร้างสะพานเชื่อมดีกว่าโพลีเมอร์ชนิดอื่นๆ และศึกษาผลของการกวนเร็วที่ใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์ โดยเปรียบเทียบการกวนเร็วที่ความเร็ว 100 และ 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที พบว่าสามารถทำการแยกน้ำจากสลัดจ์ได้ดี เมื่อใช้ปริมาณโพลีเมอร์ที่เหมาะสม โดยเมื่อใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของโพลีเมอร์ที่ใช้เป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณที่เหมาะสมของโพลีเมอร์ที่ใช้ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที

Foster (1985) ได้ทำการรวบรวมค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองของสลัดจ์หลายชนิด พบว่ามีค่าระหว่าง  $1.4 \times 10^{12}$  -  $4 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม และได้ให้ข้อสังเกตว่า สลัดจ์ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองมากกว่า  $5 \times 10^{12}$  เมตรต่อกิโลกรัม เป็นสลัดจ์ที่มีความสามารถในการกรองต่ำ โดยเมื่อนำสลัดจ์ดังกล่าวมากรองจะต้องใช้เวลาในการกรองนาน หรือแผ่นสลัดจ์ที่กรองได้มีปริมาณของแข็งต่ำ

Robhun และคณะ (1989) กล่าวว่าค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะใช้ในการตัดสินใจประสิทธิภาพของการปรับสภาพสลัดจ์ สารปรับสภาพสลัดจ์ที่ทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองต่ำลง จะทำให้ความสามารถต่อการกรองดีขึ้น และยังใช้ในการเลือกหาอัตราการใช้สารปรับสภาพสลัดจ์ที่เหมาะสมสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองต่ำสุด

อัจฉรีย์รัช บุญยง (2543) ศึกษาปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมในการแยกน้ำจากสลัดจ์ที่ผ่านการหมักจากถังหมักแบบไร้อากาศของโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชนห้วยขวาง โดยเปรียบเทียบโพลีเมอร์ 2 ประเภท ได้แก่ BESTFLOC และ KENFLOC 709 ด้วยวิธีการยวดยูนิคเนอรัลจากการศึกษาพบว่าปริมาณของสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.6-1.0 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและสภาวะการย่อยสลายทางชีวภาพของสลัดจ์ และทดลองการแยกน้ำจากสลัดจ์ด้วยเครื่องแยกน้ำจากสลัดจ์แบบสายพานอัตโนมัติ โดยใช้สารโพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณสารโพลีเมอร์ BESTFLOC และ KENFLOC 709 ที่เหมาะสมสำหรับสลัดจ์จากถังหมักไร้อากาศที่มีความเข้มข้นสลัดจ์ร้อยละ 2 คือ ร้อยละ 0.6 และ 0.4 ซึ่งให้ปริมาณของแข็งรวมสูงที่สุด คือ ร้อยละ 20.49 และ 21.83 ตามลำดับ

Kannan และคณะ (2006) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกลั่นสุราด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยทำการทดลองแบบทีละเท และใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดและเหล็กเป็นขั้วแคโทด พบว่าที่ความหนาแน่นกระแส 182 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เวลาที่ทำปฏิกิริยา 60 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 75.52 ความขุ่นร้อยละ 99.37 ซัลเฟตร้อยละ 90.27 ของแข็งละลายน้ำร้อยละ 55.8

Ayhan และ Mahmut (2006) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตนมที่มีค่าซีโอดี น้ำมันและไขมันในปริมาณที่สูงโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี พบว่าซีโอดี น้ำมันและไขมันในน้ำเสียจะถูกกำจัดได้ดีเมื่อใช้ขั้วเหล็ก โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเท่ากับ 18,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณน้ำมันและไขมันเท่ากับ 4,570 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ ที่สภาวะความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.06 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร พีเอชเท่ากับ 7 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมเท่ากับ 1 นาที โดยสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 98 และกำจัดน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 99 ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานเท่ากับ 0.003 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมซีโอดี

Raghu และ Basha (2007) ศึกษาการกำจัดสีและซีไอดีจากน้ำเสียโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีทำการทดลองแบบทีละเท ใช้กระแสไฟฟ้าตรงต่อขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ โดยใช้อลูมิเนียมและเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าที่สภาวะเดียวกันที่ดีที่สุดขั้วเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 97.06 และซีไอดีร้อยละ 100 สูงกว่าใช้ขั้วอลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 94.27 และซีไอดีร้อยละ 80

ณัฐพล กสิวัฒน์ (2552) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีการเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ โดยเป็นการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง และใช้ขั้วไฟฟ้า 2 แบบ คือ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ และ แกรไฟต์-แกรไฟต์ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล คือ การใช้ขั้วไฟฟ้าแบบอลูมิเนียม-แกรไฟต์ และมีระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 22 นาที กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบเท่ากับ 8 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดไขมันและน้ำมัน สารแขวนลอย และซีไอดี ได้ร้อยละ 97.58 81.74 และ 18.19 ตามลำดับ

เอกรัฐ มีวาสนา (2552) ศึกษาการกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานผลิตเครื่องสำอางด้วยระบบแยกด้วยไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบขั้วอิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ขั้วอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ขั้วไทเทเนียม-แกรไฟต์ และขั้วแกรไฟต์-แกรไฟต์ จากผลการศึกษาพบว่าขั้วอิเล็กโทรดชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.3 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 30 นาที สามารถกำจัดซีไอดี สารแขวนลอย และไขมันและน้ำมัน ได้ร้อยละ 97 และ 100 ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีแผนการวิจัย ดังภาพที่ 3.1 ดังนี้

- 1) ศึกษาลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
- 2) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

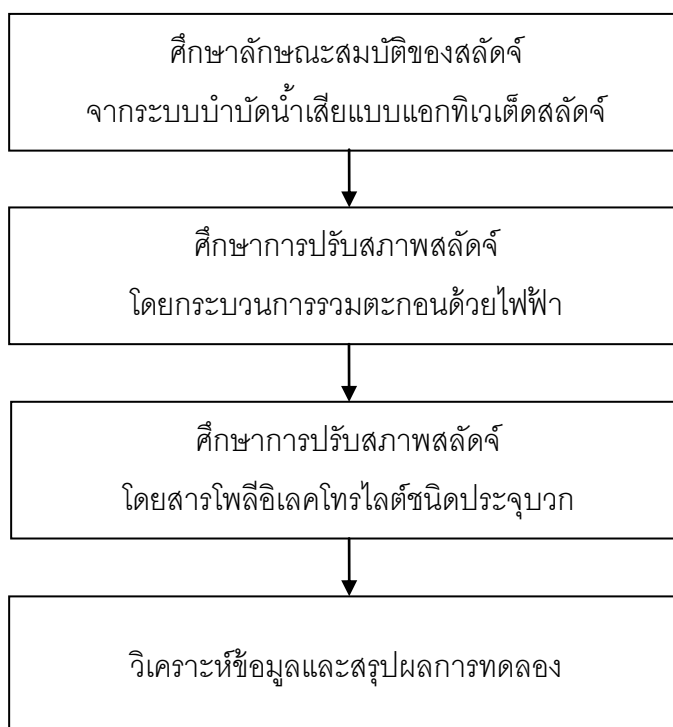
การทดลองที่ 3 ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม

การทดลองที่ 4 ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของความเข้มข้นสลัดจ์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์

- 3) ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก และความเข้มข้นสลัดจ์

4) วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก



ภาพที่ 3.1 แผนการวิจัย

### 3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ชุดทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ชุดทดลองอุปกรณ์กรวยบุชเนอร์ (Buchner Funnel Test) และอุปกรณ์อื่นๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 3.2.1.1 ชุดทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.2-3.5

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ยี่ห้อ GW รุ่น GPR-6060D เป็นเครื่องเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งให้ค่าความต่างศักย์สูงสุด 60 โวลต์

2) ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ทำจากอลูมิเนียม ทองแดง และแกรไฟต์ ลักษณะเป็นรูปตัวที โดยมีขนาดในส่วนของพื้นที่ทำปฏิกิริยาเท่ากับ ความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 7.5 เซนติเมตร และความหนา 0.3 เซนติเมตร

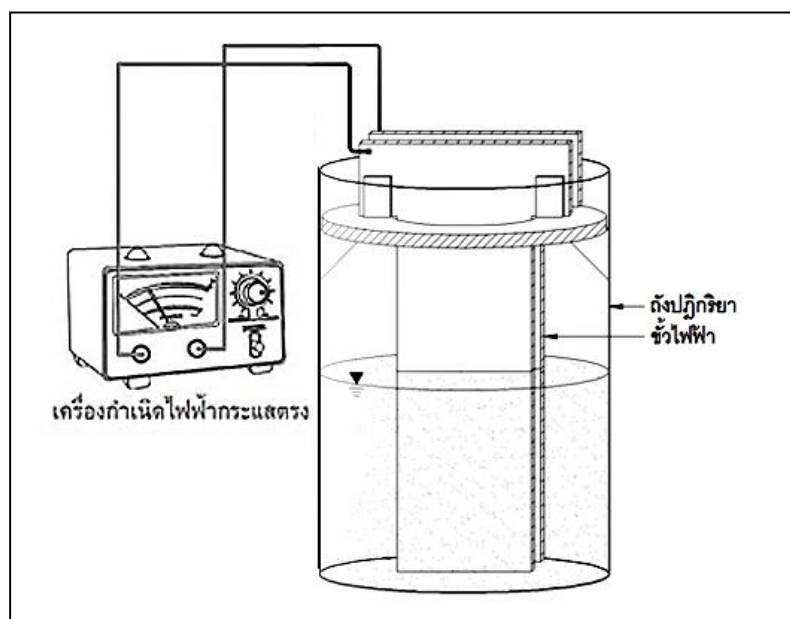
3) ถังปฏิกิริยา (Reactor) ลักษณะทรงกระบอก จำนวน 4 ถัง ได้แก่

(1) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.2 เซนติเมตร ความสูง 15 เซนติเมตร ปริมาตรถัง 792 มิลลิลิตร และปริมาตรตัวอย่างสลัดจ์ 395 มิลลิลิตร

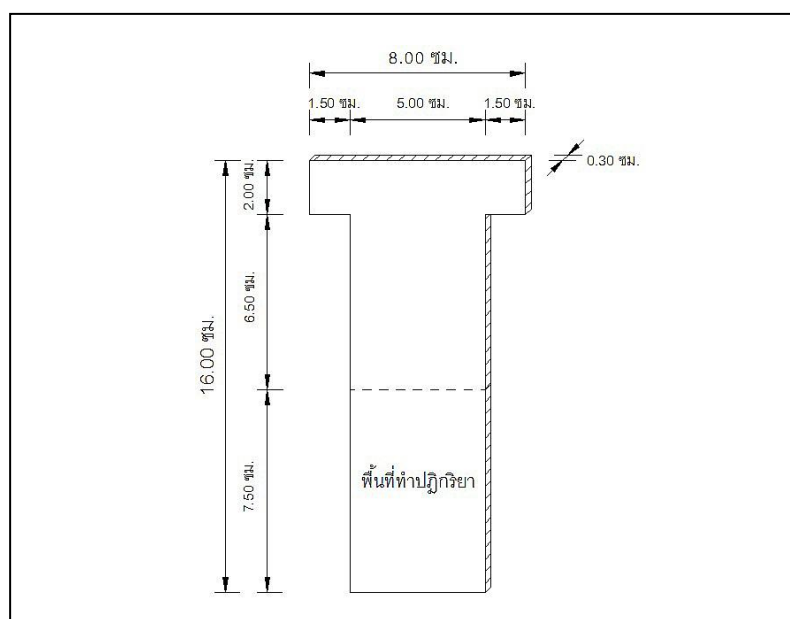
(2) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.1 เซนติเมตร ความสูง 15 เซนติเมตร ปริมาตรถัง 975 มิลลิลิตร และปริมาตรตัวอย่างสไลด์จ์ 500 มิลลิลิตร

(3) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.7 เซนติเมตร ความสูง 15 เซนติเมตร ปริมาตรถัง 1350 มิลลิลิตร และปริมาตรตัวอย่างสไลด์จ์ 680 มิลลิลิตร

(4) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร ความสูง 15 เซนติเมตร ปริมาตรถัง 2145 มิลลิลิตร และปริมาตรตัวอย่างสไลด์จ์ 395 มิลลิลิตร

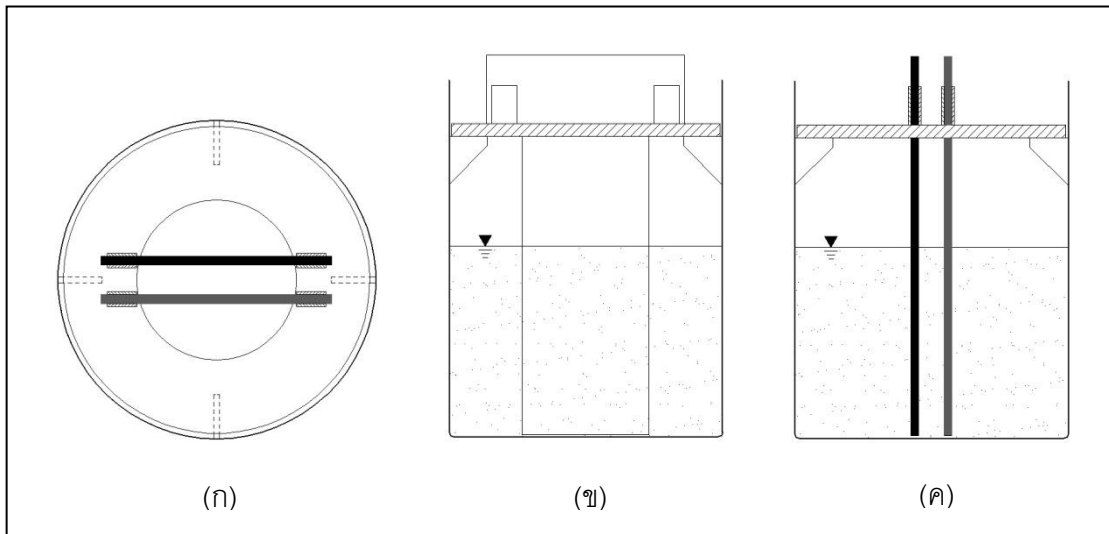


ภาพที่ 3.2 ชุดทดลองกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

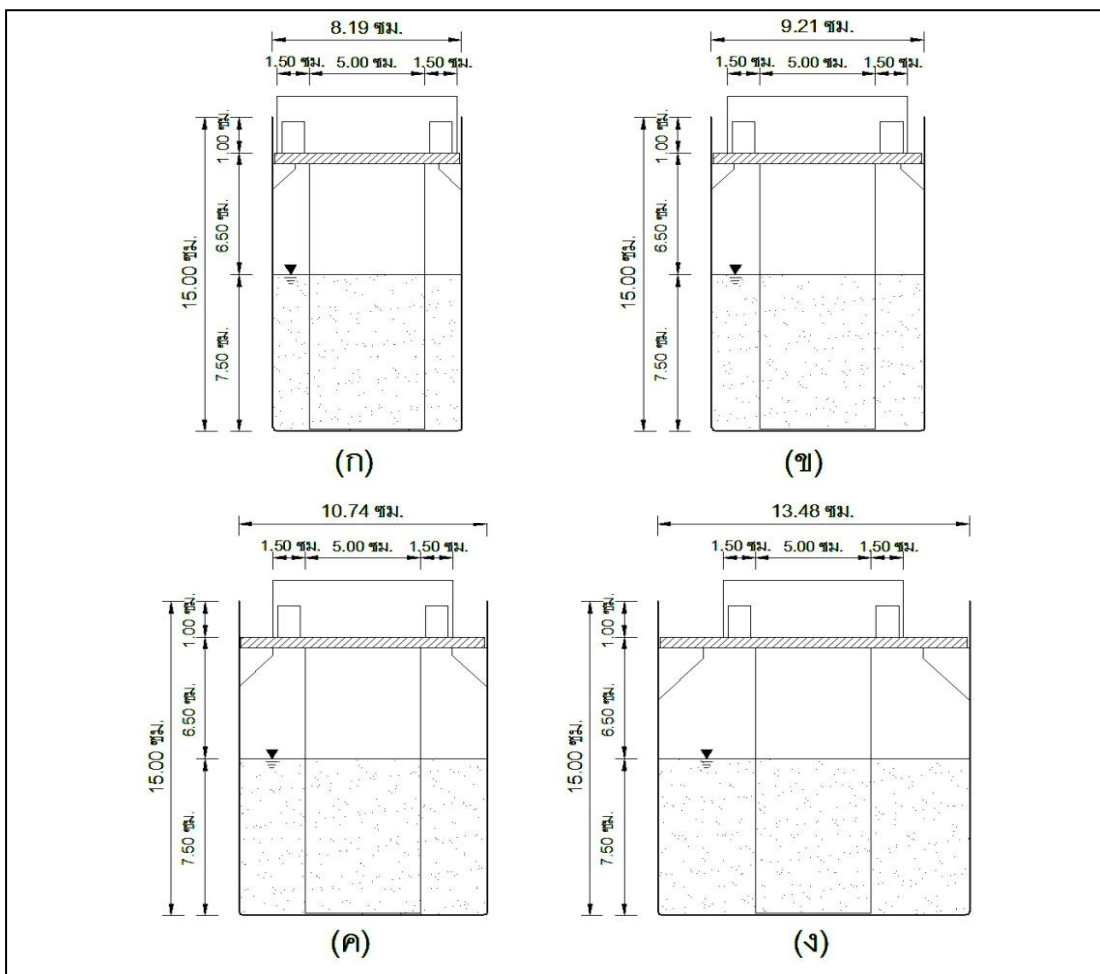


ภาพที่ 3.3 ขนาดของขั้วไฟฟ้า





ภาพที่ 3.4 การจัดวางขั้วไฟฟ้า (ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านหน้า (ค) ภาพด้านข้าง



ภาพที่ 3.5 ขนาดของขั้วไฟฟ้าสำหรับใส่ปริมาตรตัวอย่างสดัดจ์  
 (ก) 395 มิลลิลิตร (ข) 500 มิลลิลิตร (ค) 680 มิลลิลิตร (ง) 1070 มิลลิลิตร

### 3.2.1.2 ชุดทดลองอุปกรณ์กรวยบุชเนอร์ ดังภาพที่ 3.6

- 1) กรวยบุชเนอร์ (Buchner Funnel) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร
- 2) กระจกตวงวัดปริมาตร (Volumetric Cylinder) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3) จุกยาง (Rubber Stopper)
- 4) กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman รุ่นเบอร์ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร
- 5) ข้อต่อทำด้วยวัสดุประเภทแก้ว (Glass Adapter with Side Arm) เชื่อมระหว่างกรวยบุชเนอร์ กระจกตวงวัดปริมาตร และสายยางต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



ภาพที่ 3.6 ชุดทดลองอุปกรณ์กรวยบุชเนอร์

### 3.2.1.3 อุปกรณ์อื่นๆ

- 1) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Easy
- 2) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Orion 4 stars
- 3) เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED224S

- 4) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ยี่ห้อ Weipro รุ่น MT-10
- 5) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ยี่ห้อ GAST รุ่น G21DX
- 6) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ยี่ห้อ Sanplatec Japan รุ่น C-3W
- 7) นาฬิกาจับเวลา (Stopwatch) ยี่ห้อ SEIKO รุ่น S23589
- 8) เตาอบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNB500
- 9) ชุดอุปกรณ์จาร์เทส (Jar Test) ยี่ห้อ VELP รุ่น JLT6
- 10) ถ้วยกระเบื้องระเหย (Evaporating Dish)
- 11) เครื่องแก้ว (บีกเกอร์ ปิเปต บิวเรต กระจกตวง)
- 12) หลอดทดสอบวัดค่าซีไอดี ขนาด 20 x 150 มิลลิเมตร พร้อมฝาจุก  
เกลียวทำด้วยเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Tetrafluoroethylene, TFE)
  - 1) กระจกทรง ยี่ห้อ Whatman รุ่น GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7  
เซนติเมตร
  - 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning  
Electron Microscopy, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV

### 3.2.2 สารเคมี

- 1) สารโพลิอีเลคโตรไลต์ชนิดประจุบวก บริษัท PRO-EQUIPMENT
- 2) สารเคมีวัดค่าซีไอดี
  - กรดซัลฟิวริกเข้มข้น บริษัท J.T. Baker
  - สารซิลเวอร์ซัลเฟต บริษัท Carlo Erba
  - สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ บริษัท Carlo Erba
  - สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต บริษัท Carlo Erba
  - สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต บริษัท Carlo Erba
  - สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต บริษัท Carlo Erba

## 3.3 สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.3.1 แหล่งที่มาของสลัดจ์

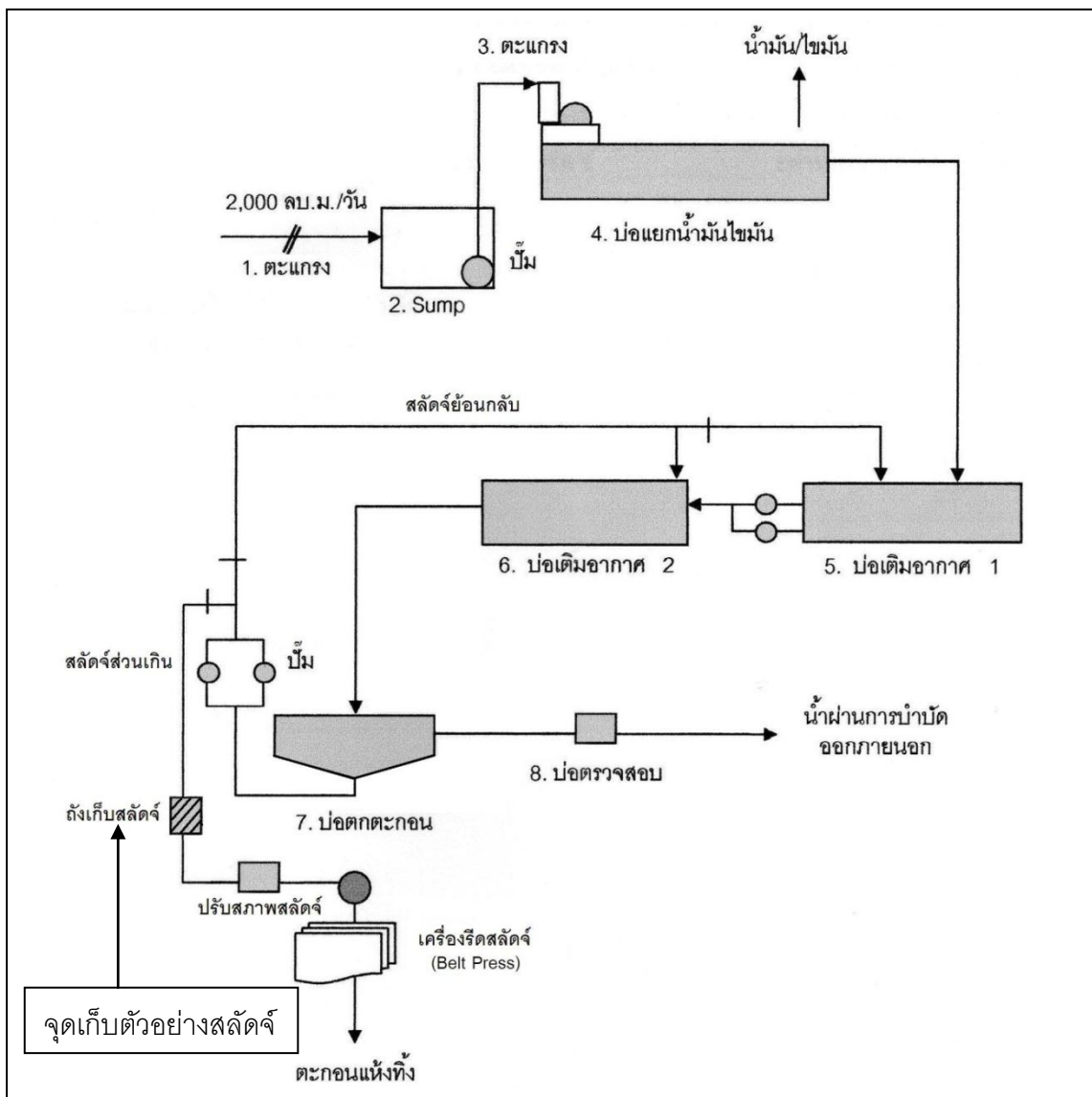
สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องแห่งหนึ่ง

### 3.3.2 จุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง คือ บริเวณถังเก็บสลัดจ์ที่รับสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) มาจาก กิ่งถังตกตะกอน ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการปรับสภาพสลัดจ์ ดังภาพที่ 3.7

### 3.3.3 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง

การเก็บรักษาสลัดจ์โดยการเก็บในตู้แช่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทำการเก็บตัวอย่าง และก่อนทำการทดลองจะต้องนำสลัดจ์ออกจากตู้แช่ ตั้งทิ้งไว้ จนอุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิห้อง จึงจะสามารถนำมาทำการทดลองได้ (Zhen, 2013)



ภาพที่ 3.7 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่างสลัดจ์

### 3.4 การดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของ สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดย กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของขั้วไฟฟ้า ระยะห่าง ระหว่างขั้วไฟฟ้า สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาณสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นสลัดจ์ ส่วนที่ 3 เป็นการทดลองปรับสภาพสลัดจ์ โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ ชนิดประจุบวก และความเข้มข้นสลัดจ์ ซึ่งมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

#### 3.4.1 ศึกษาลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ด สลัดจ์

การศึกษาลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ค่าพีเอช ค่าการ นำไฟฟ้า ค่าซีไอดีละลาย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ค่าความชื้น ของกากตะกอน และลักษณะโครงสร้างของสลัดจ์ โดยทำการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ ของสลัดจ์เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2555 เพื่อให้ครอบคลุมถึงลักษณะ สมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และนำช่วงความเข้มข้นสลัดจ์ที่ได้ ไปทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสลัดจ์ในการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นสลัดจ์ที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีอิเล็กโทร ไลต์ชนิดประจุบวก

#### การหาค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

การหาค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง โดยการใช้ชุดทดลองอุปกรณ์กรวย บุษเนอ์ (Buchner Funnel Test) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมชุดอุปกรณ์กรวยบุษเนอ์ โดยวางกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2 ลงใน กรวยบุษเนอ์ หลังจากนั้นทำให้กระดาษกรองขึ้นด้วยน้ำกลั่นแล้วเปิดเครื่องกรองสุญญากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวยบุษเนอ์

2) เทสลัดจ์ที่เตรียมไว้ปริมาตร 100-200 มิลลิลิตร (เลือกใช้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร) ลงในกรวยบุษเนอ์ และปล่อยให้มีการกรองโดยธรรมชาติประมาณ 2 นาที

3) เปิดเครื่องกรองสูญญากาศแล้วเริ่มจับเวลาและวัดปริมาตรน้ำที่กรองได้ในกระบอกตวงทุกๆ ช่วงปริมาตรน้ำ 10 มิลลิลิตร อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงจุดยุติของสูญญากาศ (Vacuum Break) หรือเมื่อน้ำส่วนเกินไม่สามารถออกมาได้อีก และบันทึกค่าความดันของเครื่องกรองสูญญากาศที่ใช้ในการกรอง

4) นำส่วนของสลัดจ์ที่ค้างบนกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ จดบันทึกน้ำหนักของสลัดจ์แห้ง เพื่อวิเคราะห์หาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง

5) นำน้ำที่กรองได้มาวัดอุณหภูมิ เพื่อวิเคราะห์หาค่าความหนืด

6) นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง โดยนำค่าที่ได้จากการจับเวลาและวัดปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรองไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (TV) และปริมาตรน้ำที่ผ่านการกรอง (V) เพื่อใช้หาค่าความชัน  $b$  ดังภาพที่ 2.16 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ข้างต้นนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังสมการที่ 2-36

### 3.4.2 ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบทีละเท (Batch) เพื่อศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ดังภาพที่ 3.8 โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1.1) ชนิดของขั้วไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม ทองแดง และแกรไฟต์ โดยแบ่งขั้วไฟฟ้าออกเป็น 3 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 ขั้วแอโนดทำจากอลูมิเนียมและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์
- ชุดที่ 2 ขั้วแอโนดทำจากทองแดงและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์
- ชุดที่ 3 ขั้วแอโนดทำจากแกรไฟต์และขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์

1.2) ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 ค่า ได้แก่ 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร

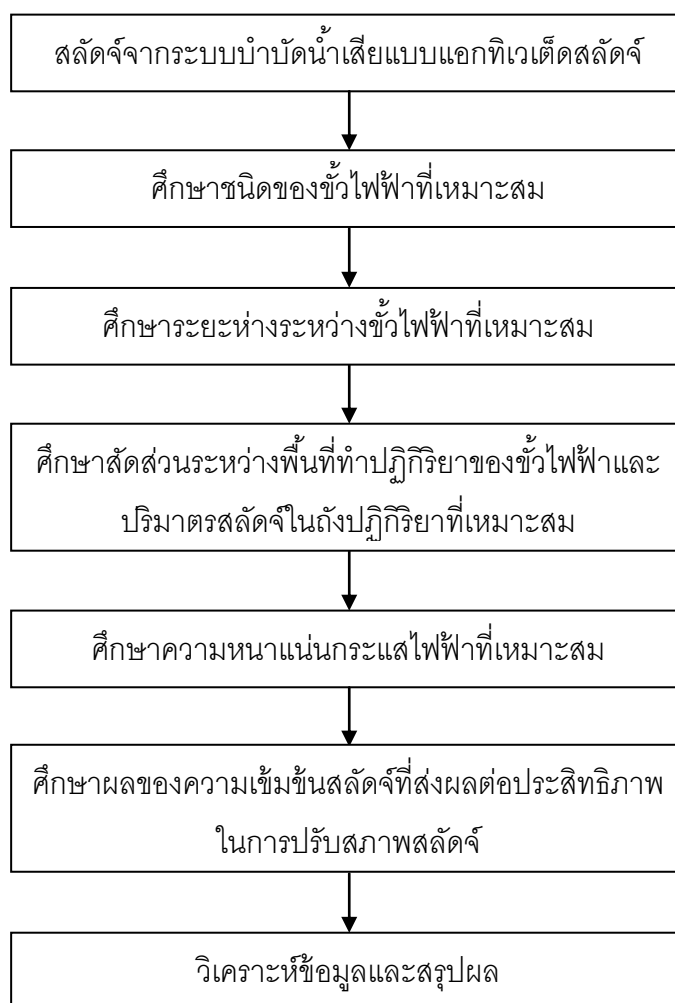
1.3) สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา (A/V) 4 ค่า ได้แก่ 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup>

1.4) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 4 ค่า ได้แก่ 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

1.5) ความเข้มข้นสลัดจ์ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด) 3 ค่า ได้แก่ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ค่าความขึ้นของกากตะกอน อุณหภูมิ ค่าความหนืด และลักษณะโครงสร้างของสลัดจ์

3) วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล โดยนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองถึงสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์



ภาพที่ 3.8 แผนผังการศึกษาปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

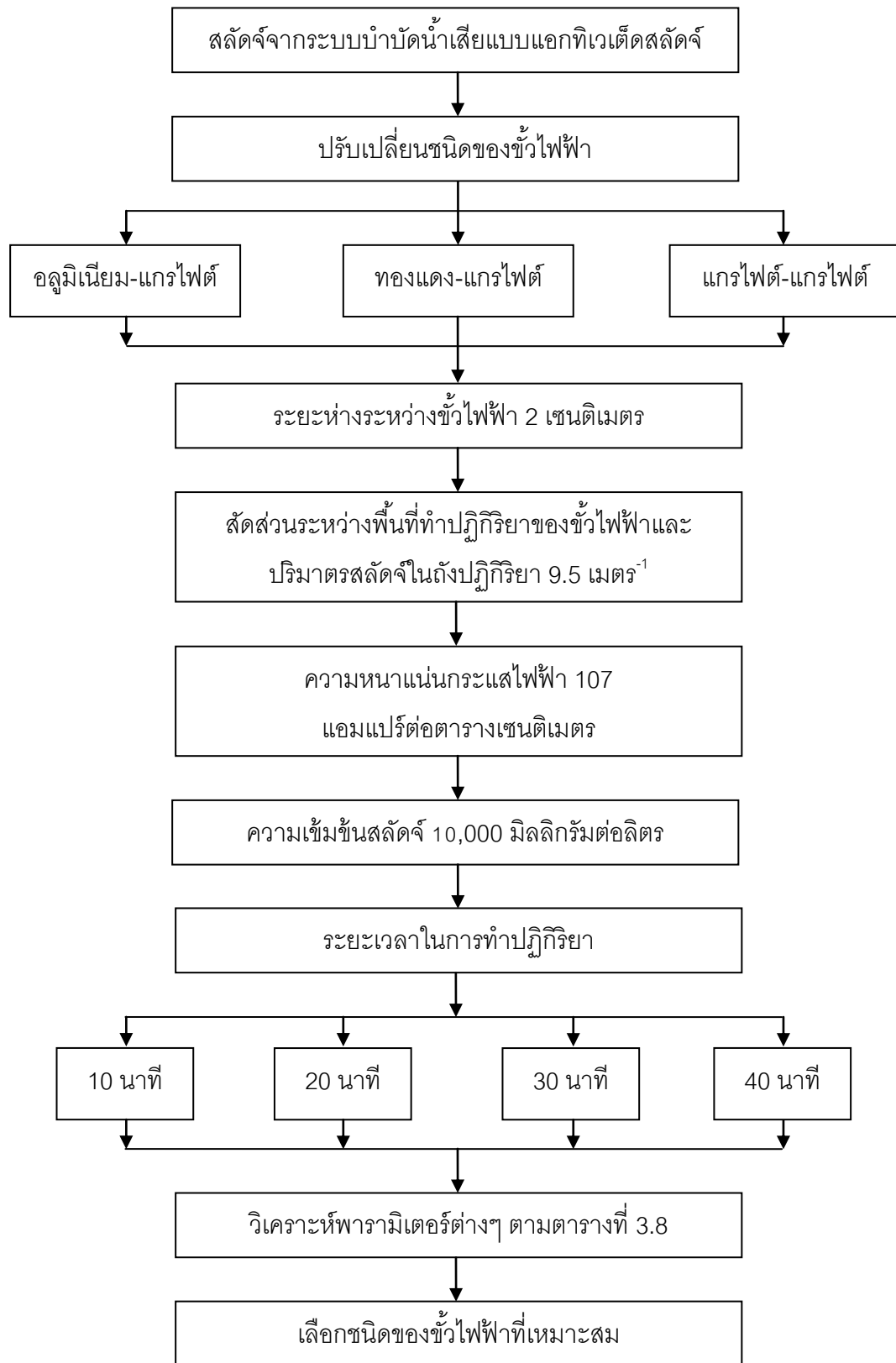
### 3.4.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสไลด์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์ โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสไลด์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที และทำการทดลองปรับเปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ โดยแผนผังการศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.9 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.1

#### วิธีการทดลอง

- 1) จัดเรียงขั้วไฟฟ้าในถังปฏิกิริยาโดยใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดที่ทำจากอลูมิเนียมและแกรไฟต์ ตามลำดับ พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า 7.5 x 5 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) นำสไลด์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์ปริมาตร 395 มิลลิตร โดยมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>1</sup> ไสลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ปรับค่ากระแสไฟฟ้าไปที่ 0.4 แอมแปร์ ซึ่งจะให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิเริ่มต้น
- 4) จับเวลาโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสุดท้าย จากนั้นปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 5) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.7
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้าเป็น ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ ตามลำดับ
- 8) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป





ภาพที่ 3.9 แผนผังการศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1

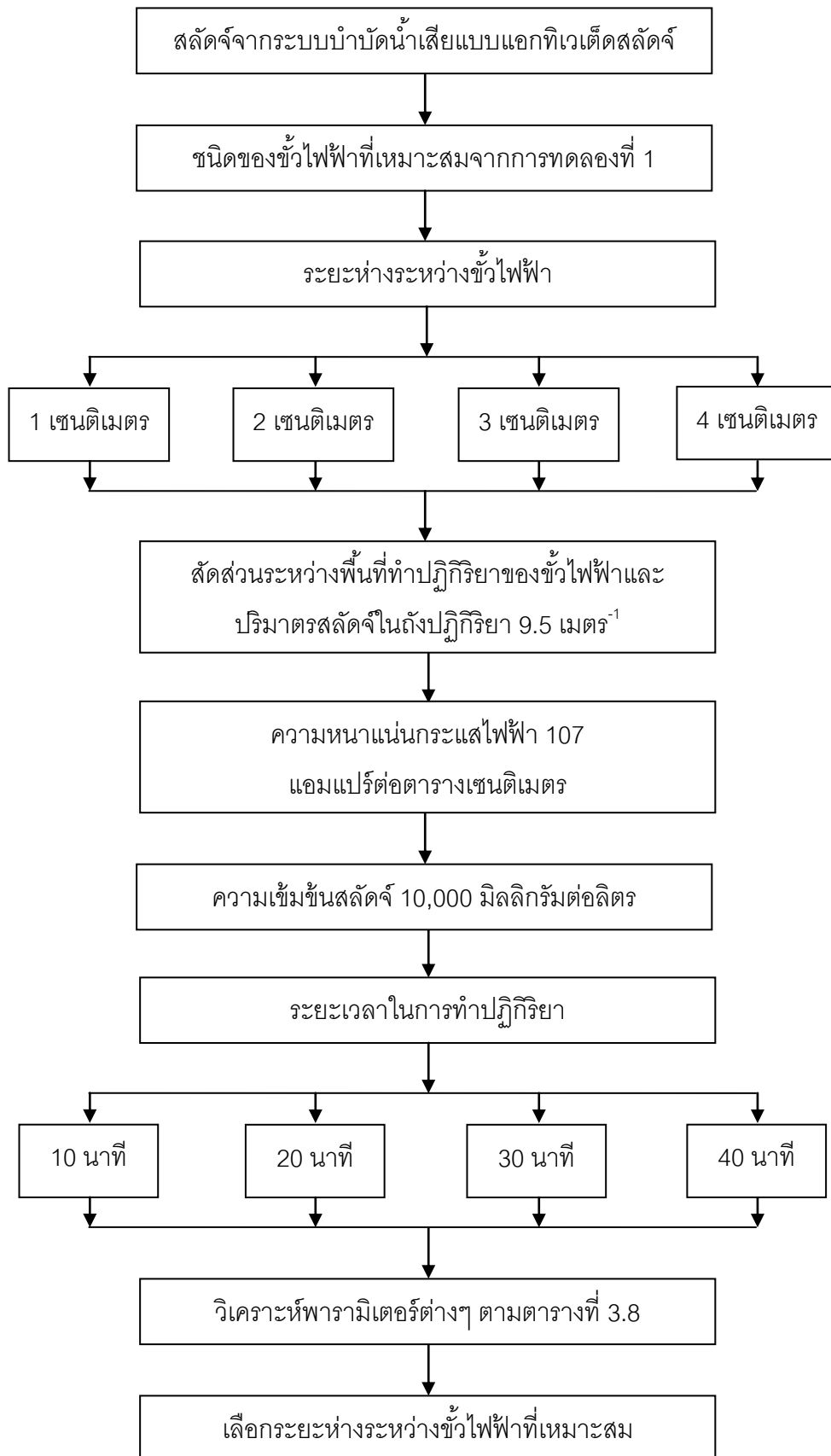
<b>การทดลอง</b>	ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม
<b>ตัวแปรอิสระ</b>	1. ชนิดของขั้วไฟฟ้า ได้แก่ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 40 นาที
<b>ตัวแปรควบคุม</b>	1. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร 2. สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร <sup>-1</sup> 3. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 4. ความเข้มข้นสไลด์จี้ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
<b>ตัวแปรตาม</b>	1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง 2. ค่าความชื้นของกากตะกอน 3. อุณหภูมิ 4. ค่าความหนืด 5. ลักษณะโครงสร้างของสไลด์จี้

#### 3.4.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสไลด์จี้โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์จี้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์จี้ โดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>-1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสไลด์จี้ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที และทำการทดลองปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 ค่า ได้แก่ 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร โดยแผนผังการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.10 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.2

### วิธีการทดลอง

- 1) จัดเรียงขั้วไฟฟ้าในถังปฏิกิริยาโดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า  $7.5 \times 5$  ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) นำสลัดจ์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ปริมาตร 395 มิลลิตร โดยมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา  $9.5 \text{ เมตร}^2$  ใสลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ปรับค่ากระแสไฟฟ้าไปที่ 0.4 แอมแปร์ ซึ่งจะทำให้มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิเริ่มต้น
- 4) จับเวลาโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสุดท้าย จากนั้นปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 5) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.7
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเป็น 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ
- 9) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 3 ต่อไป



ภาพที่ 3.10 แผนผังการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2

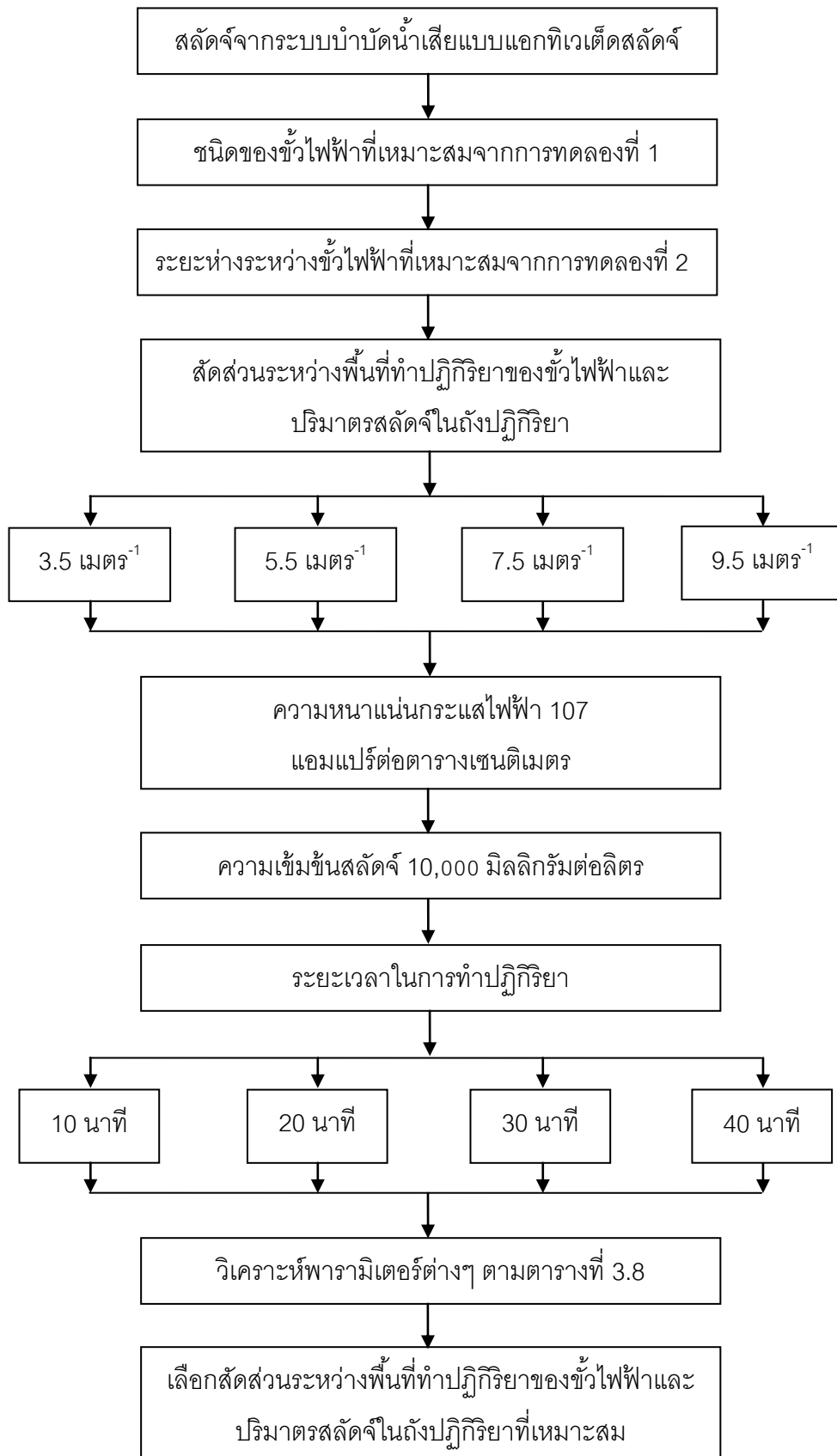
การทดลอง	ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม
ตัวแปรอิสระ	1. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 40 นาที
ตัวแปรควบคุม	1. ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร <sup>-1</sup> 3. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 4. ความเข้มข้นสไลด์จิ้ง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง 2. ค่าความชื้นของกากตะกอน 3. อุณหภูมิ 4. ค่าความหนืด

### 3.4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม ในการปรับสภาพสไลด์จิ้งโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์จิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์จิ้ง โดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสไลด์จิ้ง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที และทำการทดลองปรับเปลี่ยนสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยา (AV) 4 ค่า ได้แก่ 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup> โดยแผนผังการศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.11 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.3

### วิธีการทดลอง

- 1) จัดเรียงขั้วไฟฟ้าในถังปฏิกิริยาโดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า  $7.5 \times 5$  ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) นำสลัดจ์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ปริมาตร 395 มิลลิตร โดยมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา (AV)  $9.5 \text{ เมตร}^{-1}$  ใส่ลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ปรับค่ากระแสไฟฟ้าไปที่ 0.4 แอมแปร์ ซึ่งจะทำให้มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิเริ่มต้น
- 4) จับเวลาโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสุดท้าย จากนั้นปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 5) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.7
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา (AV) เป็น 5.5, 7.5 และ  $9.5 \text{ เมตร}^{-1}$  ตามลำดับ หรือปริมาตรสลัดจ์เป็น 500, 680 และ 1070 มิลลิตร ตามลำดับ
- 8) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 4 ต่อไป



ภาพที่ 3.11 แผนผังการศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาณสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 3

<b>การทดลอง</b>	ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถึงปฏิกิริยาที่เหมาะสม
<b>ตัวแปรอิสระ</b>	1. สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถึงปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร <sup>1</sup> 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 40 นาที
<b>ตัวแปรควบคุม</b>	1. ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 3. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร 4. ความเข้มข้นสไลด์จี้ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
<b>ตัวแปรตาม</b>	1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง 2. ค่าความชื้นของกากตะกอน 3. อุณหภูมิ 4. ค่าความหนืด

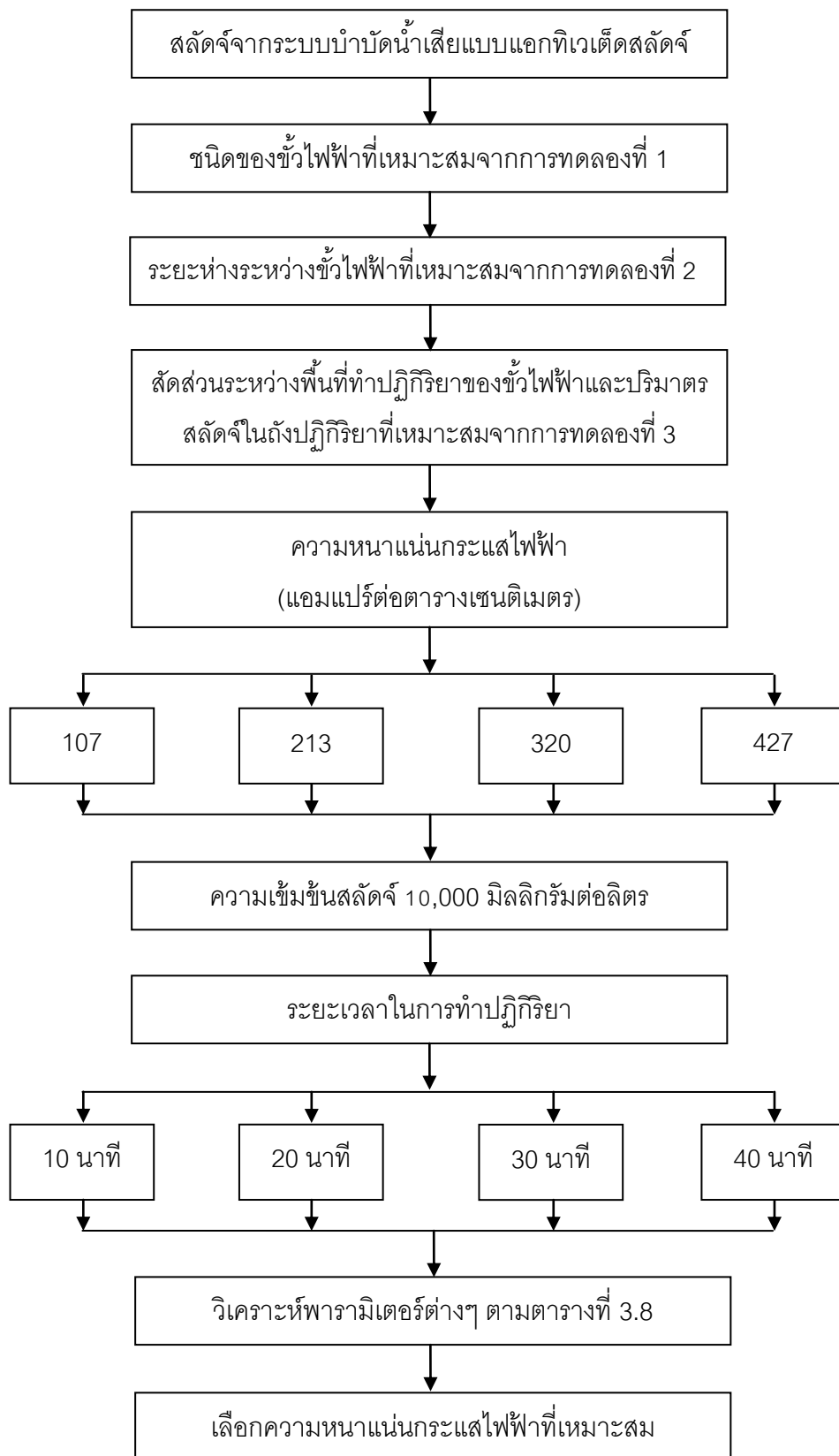
#### 3.4.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสไลด์จี้โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์จี้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์จี้ โดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถึงปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นสไลด์จี้ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที และทำการทดลองปรับเปลี่ยนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 4 ค่า ได้แก่ 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยแผนผังการศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.12 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.4



### วิธีการทดลอง

- 1) จัดเรียงขั้วไฟฟ้าในถังปฏิกิริยาโดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า  $7.5 \times 5$  ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) นำสลัดจ์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 ใส่ลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ปรับค่ากระแสไฟฟ้าไปที่ 0.4 แอมแปร์ ซึ่งจะทำให้มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิเริ่มต้น
- 4) จับเวลาโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสุดท้าย จากนั้นปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 5) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.7
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเป็น 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ หรือมีค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 0.8, 1.2 และ 1.6 แอมแปร์ ตามลำดับ
- 8) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 5 ต่อไป



ภาพที่ 3.12 แผนผังการศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 4

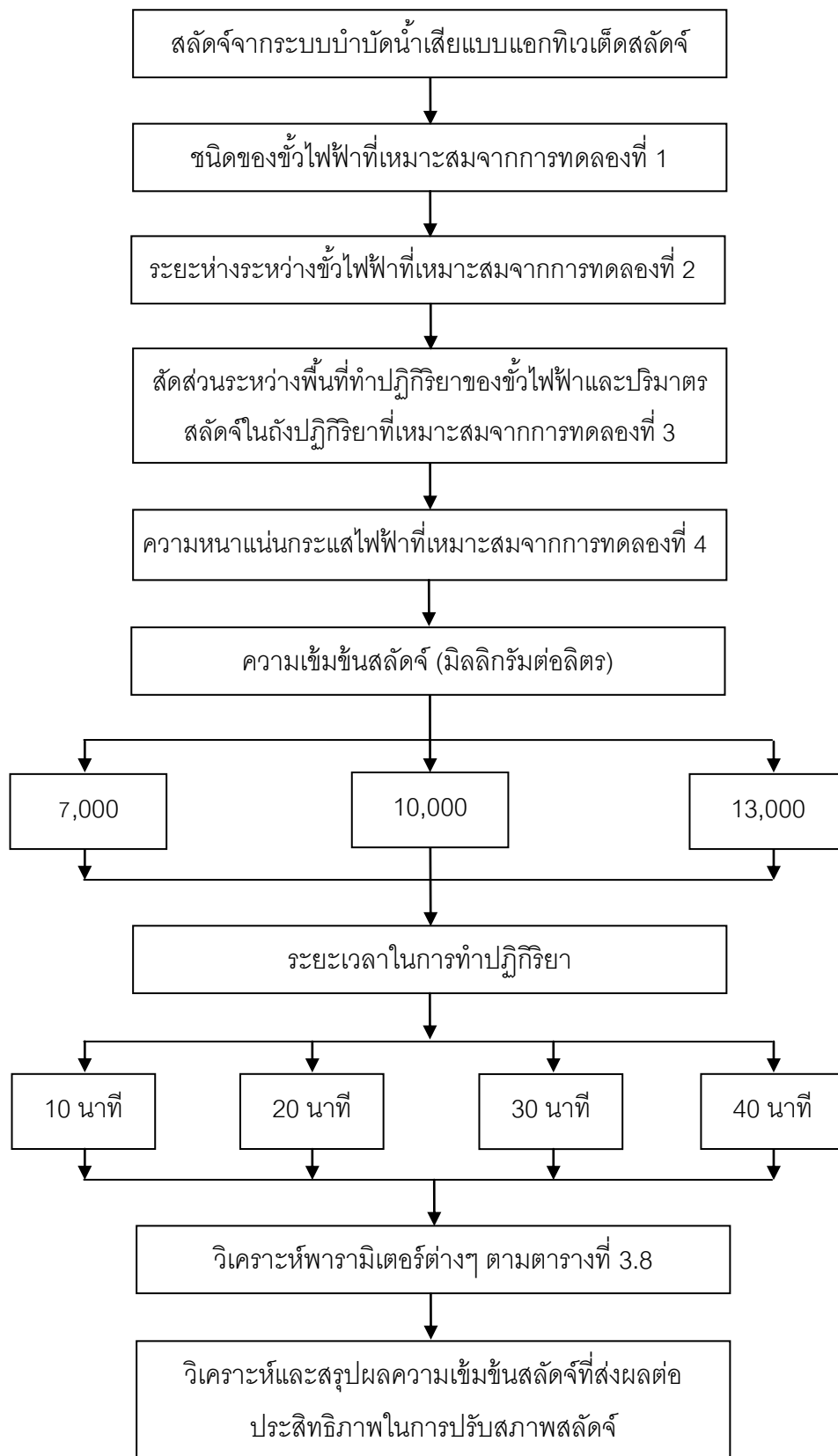
<b>การทดลอง</b>	ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม
<b>ตัวแปรอิสระ</b>	1. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 40 นาที
<b>ตัวแปรควบคุม</b>	1. ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 3. สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 4. ความเข้มข้นสไลด์จิ้ง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
<b>ตัวแปรตาม</b>	1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง 2. ค่าความชื้นของกากตะกอน 3. อุณหภูมิ 4. ค่าความหนืด

3.4.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของความเข้มข้นสไลด์จิ้งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์จิ้ง

ศึกษาผลของความเข้มข้นสไลด์จิ้งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์จิ้ง โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์จิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสไลด์จิ้ง โดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จิ้งในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4 และทำการทดลองปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสไลด์จิ้ง 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแผนผังการศึกษาผลของความเข้มข้นสไลด์จิ้งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์จิ้ง ดังภาพที่ 3.13 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.5

### วิธีการทดลอง

- 1) จัดเรียงขั้วไฟฟ้าในถังปฏิกิริยาโดยใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้า  $7.5 \times 5$  ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) นำสัลฟัดความเข้มข้น 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสัลฟัดส์ส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสัลฟัดส์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 ใส่ลงในถังปฏิกิริยา
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4 บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิเริ่มต้น
- 4) จับเวลาโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสุดท้าย จากนั้นปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 5) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.7
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสัลฟัดส์ 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- 8) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลความเข้มข้นสัลฟัดส์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสัลฟัดส์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 3.13 แผนผังการศึกษาผลของความเข้มข้นสลัดจ์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5

<b>การทดลอง</b>	ศึกษาผลของความเข้มข้นสลดจ์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลดจ์
<b>ตัวแปรอิสระ</b>	1. ความเข้มข้นสลดจ์ 7,000 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 40 นาที
<b>ตัวแปรควบคุม</b>	1. ชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 3. สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 4. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4
<b>ตัวแปรตาม</b>	1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง 2. ค่าความชื้นของกากตะกอน 3. อุณหภูมิ 4. ค่าความหนืด

### 3.4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบทีละเท (Batch) เพื่อศึกษาการปรับสภาพสลดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลดจ์ โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพสลดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

1.1) ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก 4 ค่า ได้แก่ ร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง (% dry solid)

1.2) ความเข้มข้นสลดจ์ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด) 3 ค่า ได้แก่ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

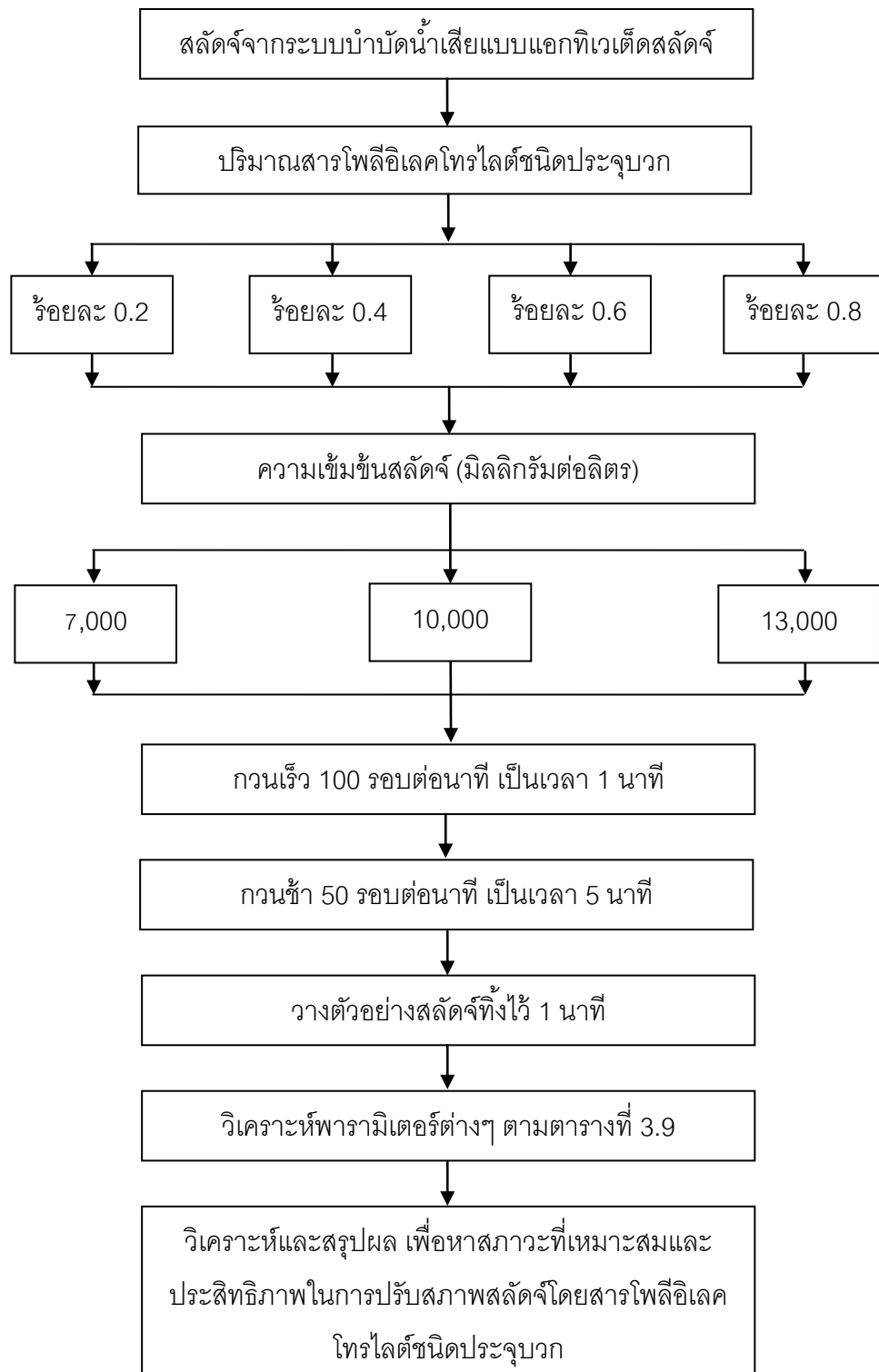
2) พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้นของกากตะกอน อุณหภูมิ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และลักษณะโครงสร้างของสลดจ์

3) วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล โดยนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองถึงสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

### วิธีการทดลอง

- 1) นำสลัดจ์ความเข้มข้น 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์
- 2) ทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง
- 3) กวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้า 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และวางตัวอย่างสลัดจ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที
- 4) ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.8
- 5) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกเป็นร้อยละ 0.4, 0.6 และ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง ตามลำดับ
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสลัดจ์เป็น 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- 7) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

โดยแผนผังการศึกษาปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ดังภาพที่ 3.14 และตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.6



ภาพที่ 3.14 แผนผังการศึกษาปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก



ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

<b>การทดลอง</b>	ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก
<b>ตัวแปรอิสระ</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง</li> <li>2. ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร</li> </ol>
<b>ตัวแปรควบคุม</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก</li> <li>2. ความเร็วในการกวนจาร์เทสต์ ได้แก่ กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนช้า 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที</li> <li>3. ระยะเวลาในการวางตัวอย่างสลัดจ์ทิ้งไว้ 1 นาที</li> </ol>
<b>ตัวแปรตาม</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง</li> <li>2. คุณภาพน้ำ</li> <li>3. ค่าความหนืด</li> <li>4. ค่าความชื้นของกากตะกอน</li> <li>5. ลักษณะโครงสร้างของสลัดจ์</li> </ol>

### 3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สำหรับการทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ก่อนทดลอง	หลังการทดลอง	
			ทุกครั้ง	ชุดที่เหมาะสม
ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง	ชุดอุปกรณ์กรองยูนิต	✓	✓	
ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช	✓		
ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	✓		
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	วิธีวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (Total Solid Dried) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส	✓		
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Suspended Solids Dried) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส	✓		
ค่าความชื้นของกากตะกอน	วิธีวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Content) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง	✓	✓	
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	✓	✓	
ค่าความหนืด	วัดอุณหภูมิและเปรียบเทียบกับตารางค่าความหนืด	✓	✓	
ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)	✓		
ลักษณะโครงสร้างของสลัดจ์	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด			✓
น้ำหนักขั้วไฟฟ้า	เครื่องชั่งละเอียด			✓

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สำหรับการทดลองปรับสภาพสัลดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ก่อนทดลอง	หลังการทดลอง	
			ทุกครั้ง	ชุดที่เหมาะสม
ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง	ชุดอุปกรณ์กรวยบุชเนอร์	✓	✓	
ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช	✓		
ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	✓		
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	วิธีวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (Total Solid Dried) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส	✓		
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Suspended Solids Dried) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส	✓		
ค่าความชื้นของกากตะกอน	วิธีวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Content) อบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง	✓	✓	
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	✓	✓	
ค่าความหนืด	วัดอุณหภูมิและเปรียบเทียบกับตารางค่าความหนืด	✓	✓	
ลักษณะโครงสร้างของสัลดจ์	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด			✓

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ในถึงปฏิบัติการแบบทีละเท โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
2. ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถึงปฏิบัติการ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นสลัดจ์
3. ศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยสารโพลีเอคไทรไลดซ์ชนิดประจุบวก ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารโพลีเอคไทรไลดซ์ชนิดประจุบวก และความเข้มข้นสลัดจ์

#### 4.1 ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องแห่งหนึ่ง จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาการแปรเปลี่ยนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแต่ละเดือนตลอดปี 2555 สลัดจ์มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองอยู่ในช่วงระหว่าง  $2.82 \times 10^{14}$  -  $4.12 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม ค่าพีเอช 6.68-7.02 ค่าการนำไฟฟ้า 2,167-3,913 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าซีไอดีละลาย 97-193 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 7,147-12,727 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 5,760-10,380 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความชื้นของกากตะกอนร้อยละ 81.94-87.83 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $3.38 \times 10^{14} \pm 3.74 \times 10^{13}$  เมตรต่อกิโลกรัม,  $6.89 \pm 0.10$ ,  $3,314 \pm 547$  ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร,  $151 \pm 28$  มิลลิกรัมต่อลิตร,  $10,012 \pm 1,645$  มิลลิกรัมต่อลิตร,  $7,689 \pm 1,387$  มิลลิกรัมต่อลิตร และร้อยละ 85.39  $\pm 1.77$  ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1-4.7 และเมื่อนำสลัดจ์มา

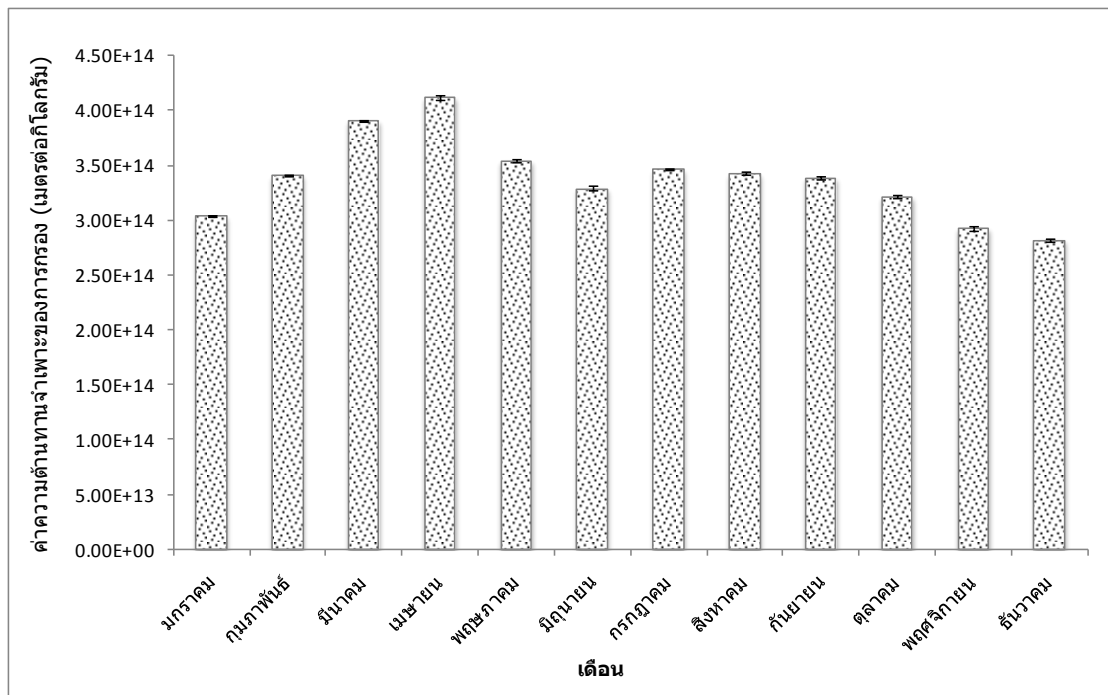
วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) จะมีลักษณะดังภาพที่ 4.8 และ 4.9

ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งได้จากผลการทดลองและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น แหล่งที่มา ชนิดของของแข็ง อายุสลัดจ์ และกรรมวิธีที่ทำให้เกิดสลัดจ์ โดยสลัดจ์จากถังเติมอากาศจะมีสีน้ำตาล ลักษณะเป็นปุย ไม่มีกลิ่น แต่หากหยุดเติมอากาศจะกลายเป็นสีเทาอย่างรวดเร็ว เปลี่ยนเป็นสีดำ และมีกลิ่นเหม็นของการหมัก (วงศ์พันธ์ ลิมปะเสนีย์, 2537)

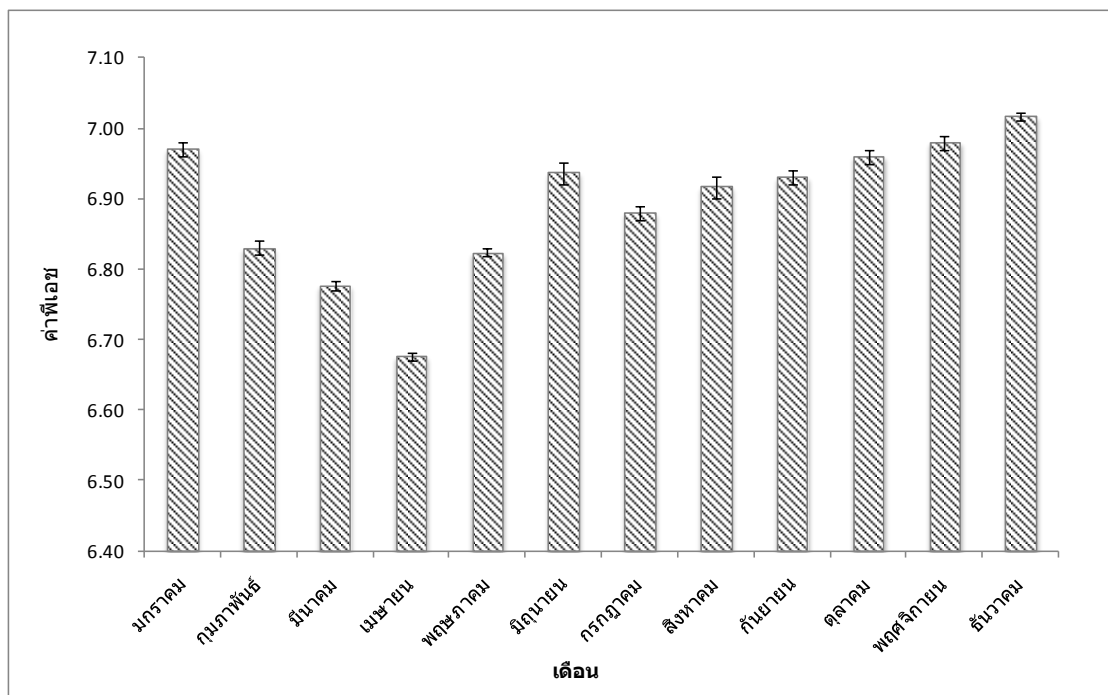
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งได้จากผลการทดลองและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์			
	ผลการทดลอง	น้ำเสียชุมชน <sup>(ก)</sup>	น้ำเสียชุมชน <sup>(ข)</sup>	น้ำเสียชุมชน <sup>(ค)</sup>
ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	2.82 x 10 <sup>14</sup> - 4.12 x 10 <sup>14</sup>	-	-	2.83 x 10 <sup>14</sup>
ค่าพีเอช	6.68-7.02	6.5-8.0	6.69-7.07	-
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	2,167-3,913	-	794-1,148	-
ค่าซีไอละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	97-193	-	36-52	-
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	7,147-12,727	5,000-12,000	8,000-18,200	-
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5,760-10,380	-	7,600-17,000	-
ค่าความชื้นของกากตะกอน (ร้อยละ)	81.94-87.83	-	92.20-98.20	-

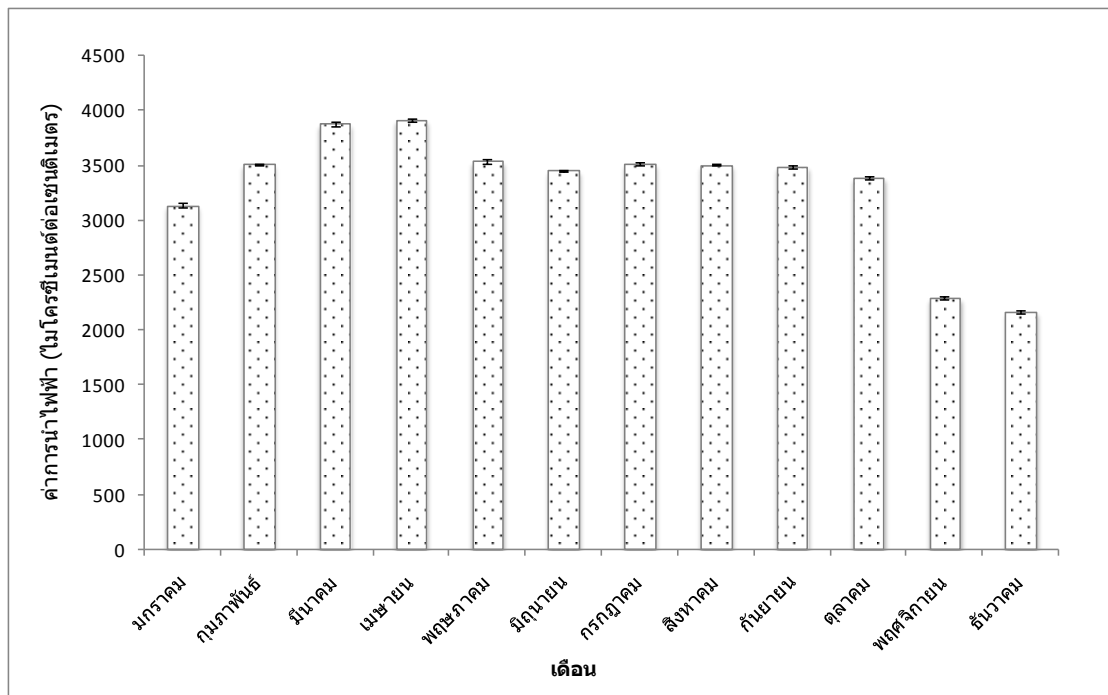
ที่มา: (ก) มั่นสิน ต้นทุลเวศม์, 2542 (ข) Song และคณะ, 2010 (ค) Eckenfelder และ Santhanam, 1981



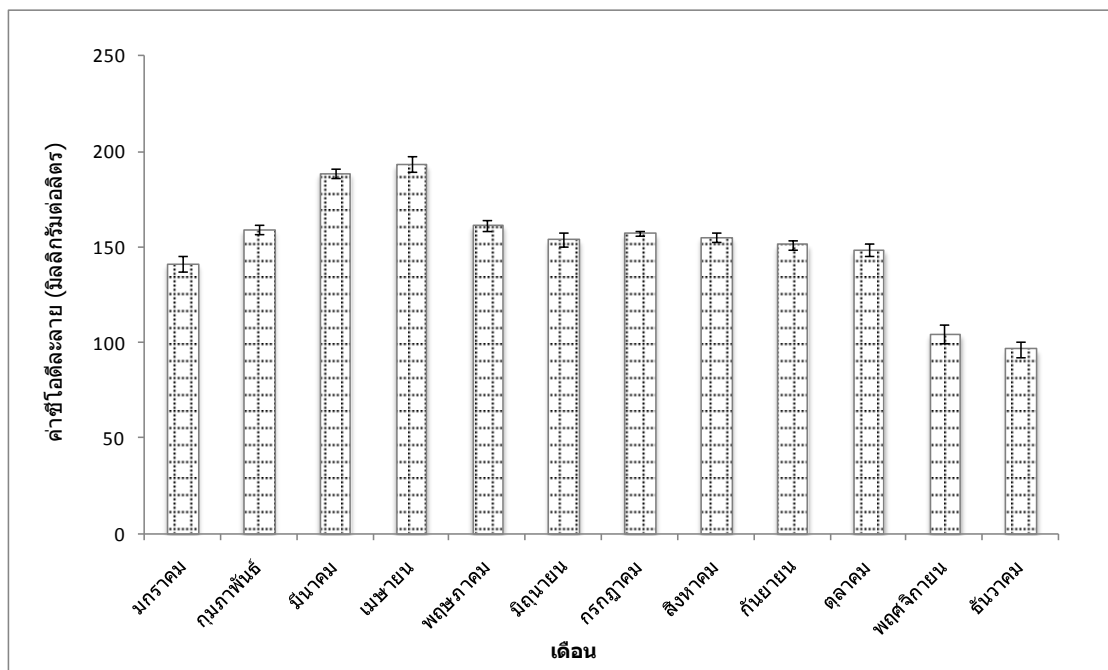
ภาพที่ 4.1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555



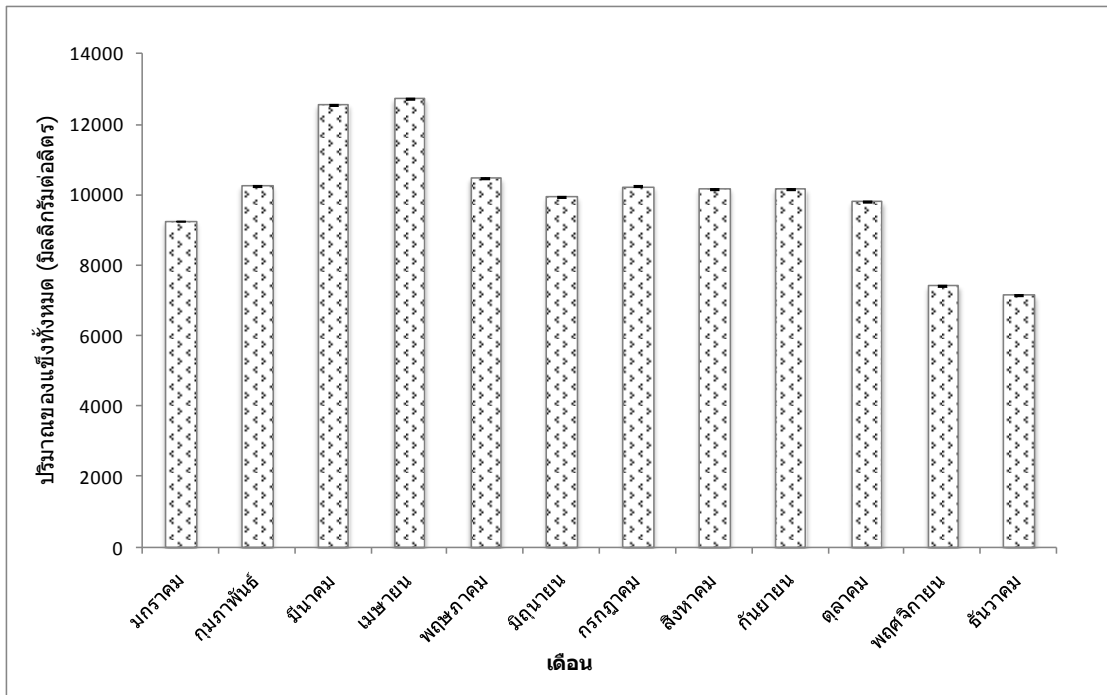
ภาพที่ 4.2 ค่าพีเอชของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555



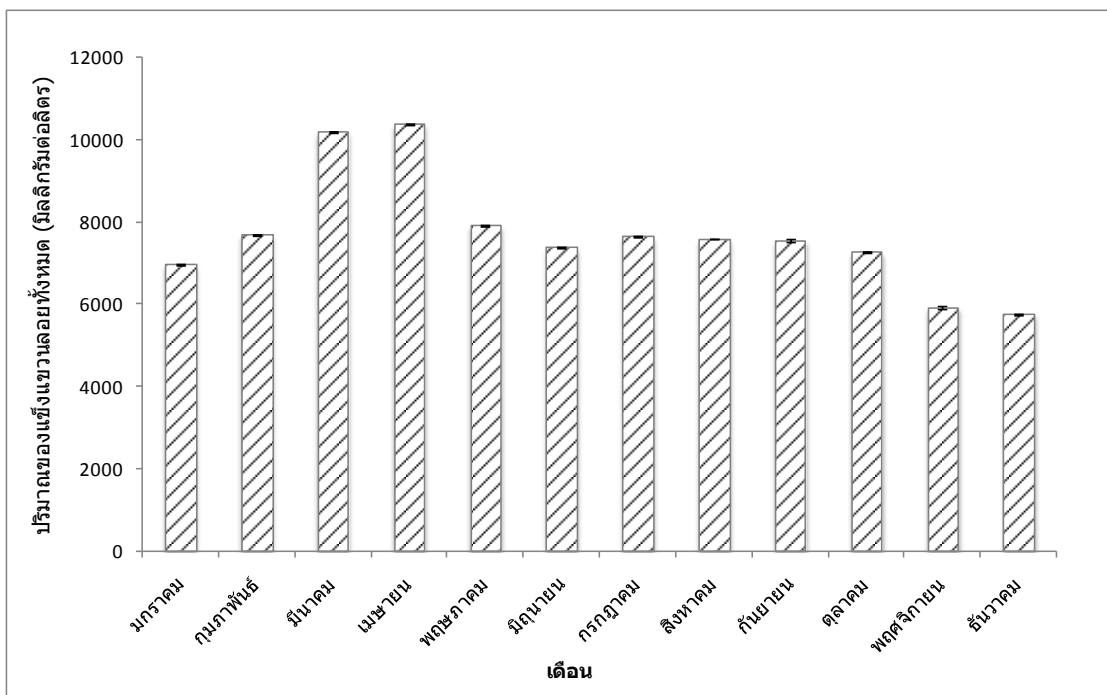
ภาพที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555



ภาพที่ 4.4 ค่าซีโอดีละลายของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555

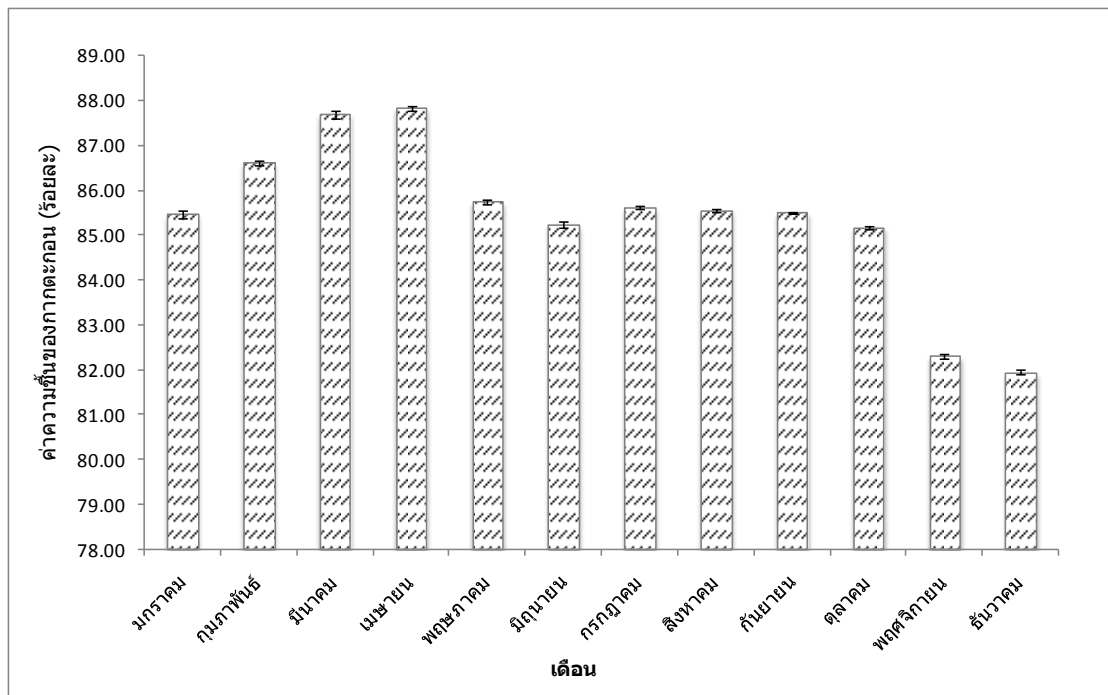


ภาพที่ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์  
จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555



ภาพที่ 4.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของสลัดจ์  
จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555

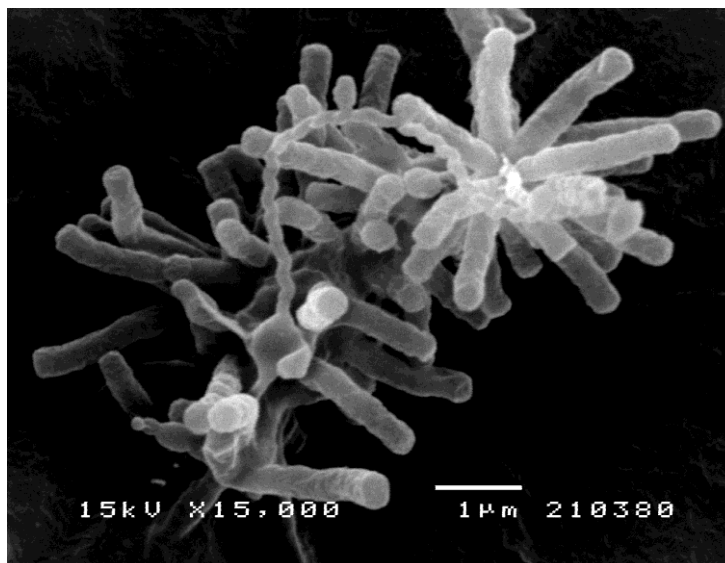




ภาพที่ 4.7 ค่าความขุ่นของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาปี 2555



ภาพที่ 4.8 ลักษณะของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษา  
(วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า)



ภาพที่ 4.9 ลักษณะของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษา  
(วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 15,000 เท่า)

#### 4.2 การปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

การศึกษาการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

##### 4.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

ชนิดของขั้วไฟฟ้ามักมีบทบาทสำคัญในการกำหนดกลไกของการปรับสภาพสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงไปยังขั้วไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ตามลำดับ โดยที่ขั้วแอโนดจะเกิดการกัดกร่อนและละลายน้ำออกมาในรูปโลหะไฮดรอกไซด์ เป็นประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน (Coagulant) ส่วนที่ขั้วแคโทดจะมีการให้ไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์และเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจน ดังนั้นถ้าขั้วไฟฟ้าต่างชนิดกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนดและสารรวมตะกอนที่ได้ก็จะต่างกัน ดังสมการที่ 4-1-4.8 ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์

การทดลองนี้จึงทำการศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับปรุงสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยศึกษาขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 3 ชุด คือ

ชุดที่ 1 ขั้วแอโนดทำจากอลูมิเนียมและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์

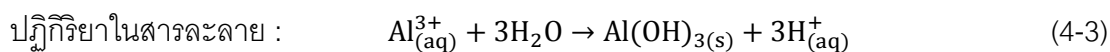
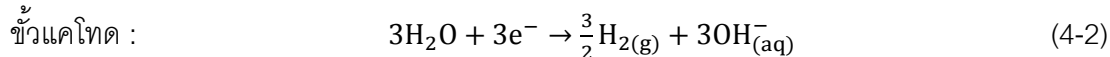
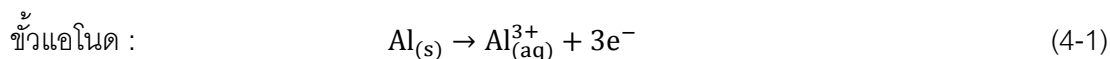
ชุดที่ 2 ขั้วแอโนดทำจากทองแดงและขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์

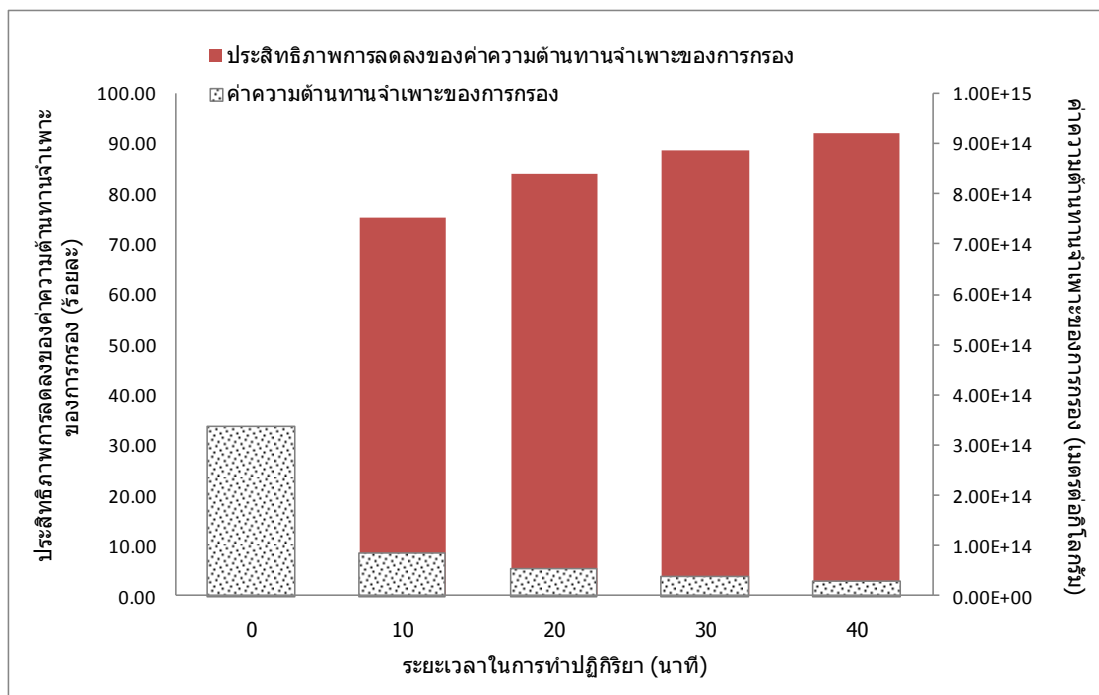
ชุดที่ 3 ขั้วแอโนดทำจากแกรไฟต์และขั้วแคโทดทำจากแกรไฟต์

ที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสัลดิจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสัลดิจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับปรุงสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งผลการทดลองของแต่ละชุดการทดลองมีดังนี้

#### การทดลองชุดที่ 1 การปรับปรุงสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์

จากผลการทดลองการปรับปรุงสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการลดของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าลดลง ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.10 เนื่องจากการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ จะทำให้เกิดสารรวมตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)<sub>3</sub>) ดังสมการที่ 4-1 ถึง 4-3 (Abdelwahab และคณะ, 2009) ซึ่งสารดังกล่าวสามารถทำลายเสถียรภาพอนุภาคสัลดิจ์และเกิดการรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสัลดิจ์มีค่าลดลงหรือมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสภาพสัลดิจ์ขึ้นนั่นเอง



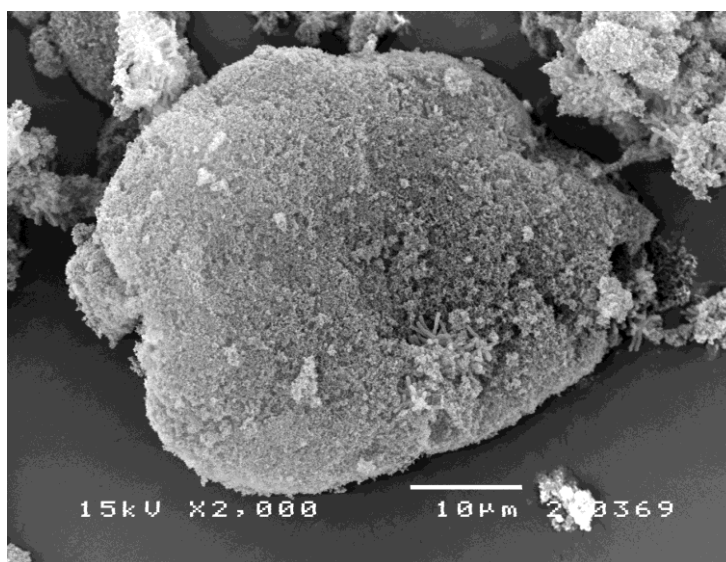


ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์จ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์

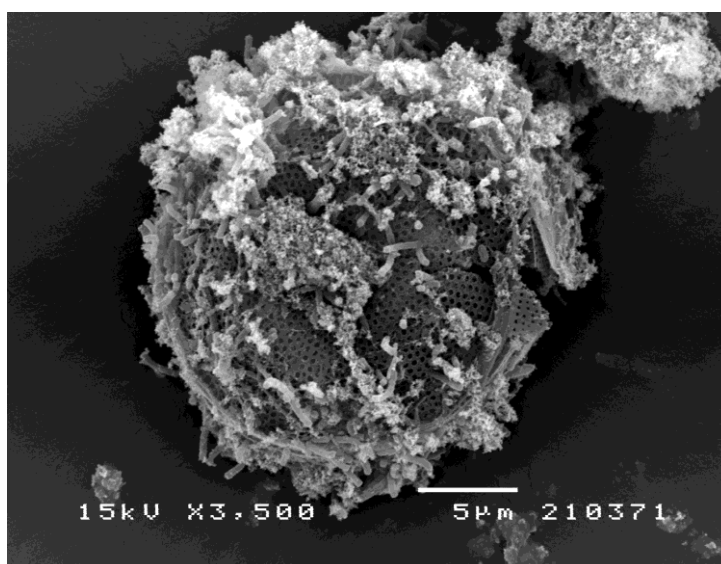
เมื่อนำสไลด์จ์หลังจากทำการปรับสภาพสไลด์จ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) พบว่าลักษณะของเซลล์จุลินทรีย์ในสไลด์จ์จะถูกห่อหุ้มด้วยสารรวมตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบไม่เป็นผลึก (Amorphous) ดังภาพที่ 4.11

การปรับสภาพสไลด์จ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของขั้วไฟฟ้า โดยอลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (ขั้วแอโนด) ทำให้อลูมิเนียมเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ในขณะที่ขั้วลบ (แคโทด) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ส่งผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการแตกตัว เมื่อเซลล์แตกน้ำที่อยู่ในรูปน้ำเกาะติด (Bound Water) หรือน้ำที่ยึดเกาะติดกับอนุภาคของของแข็งด้วยพันธะเคมี (Chemical Bound) จะหลุดออกกลายเป็นน้ำอิสระ (Free Water) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะไม่ยึดติดกับอนุภาคสไลด์จ์ (Zhen และคณะ, 2013) ดังนั้นเมื่อทำการกรองสไลด์จ์ประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากตะกอนจึงมีค่าดีขึ้น พิจารณาได้จากประสิทธิภาพ

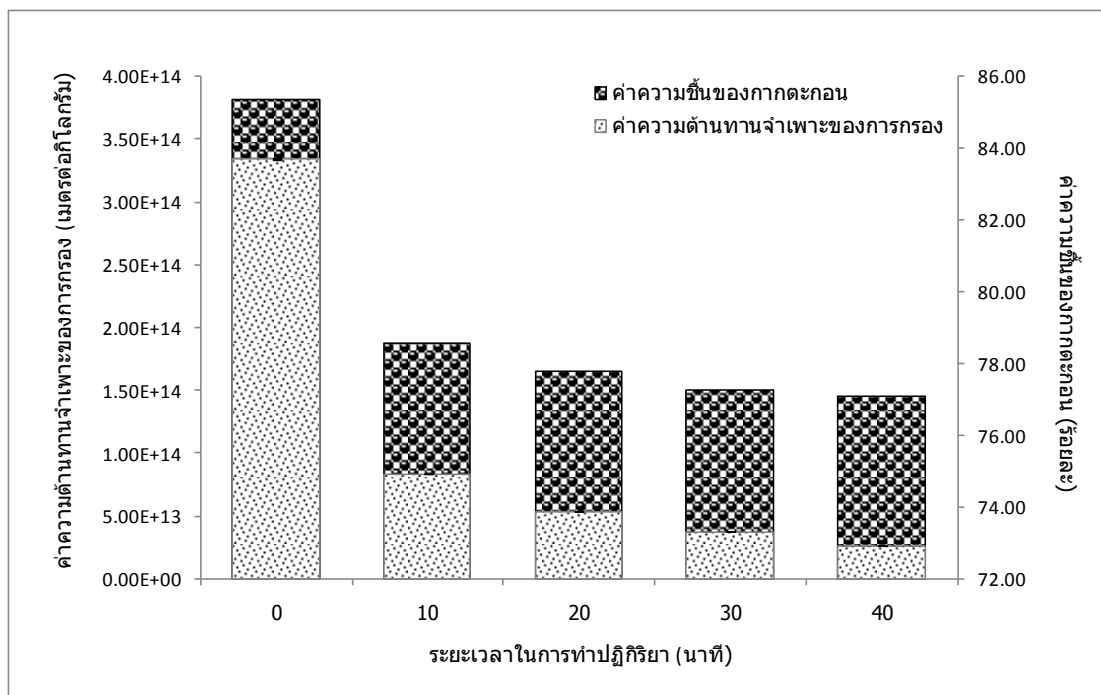
การลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความชื้นของกากตะกอนที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.11 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า)



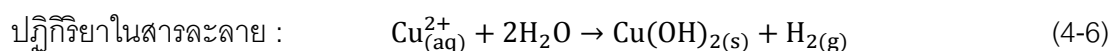
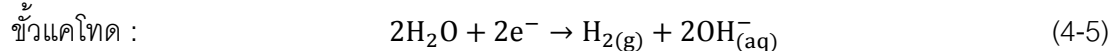
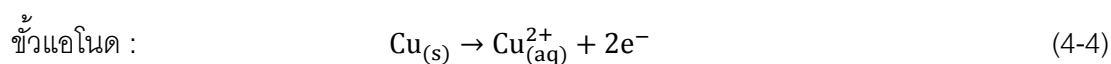
ภาพที่ 4.12 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3,500 เท่า)

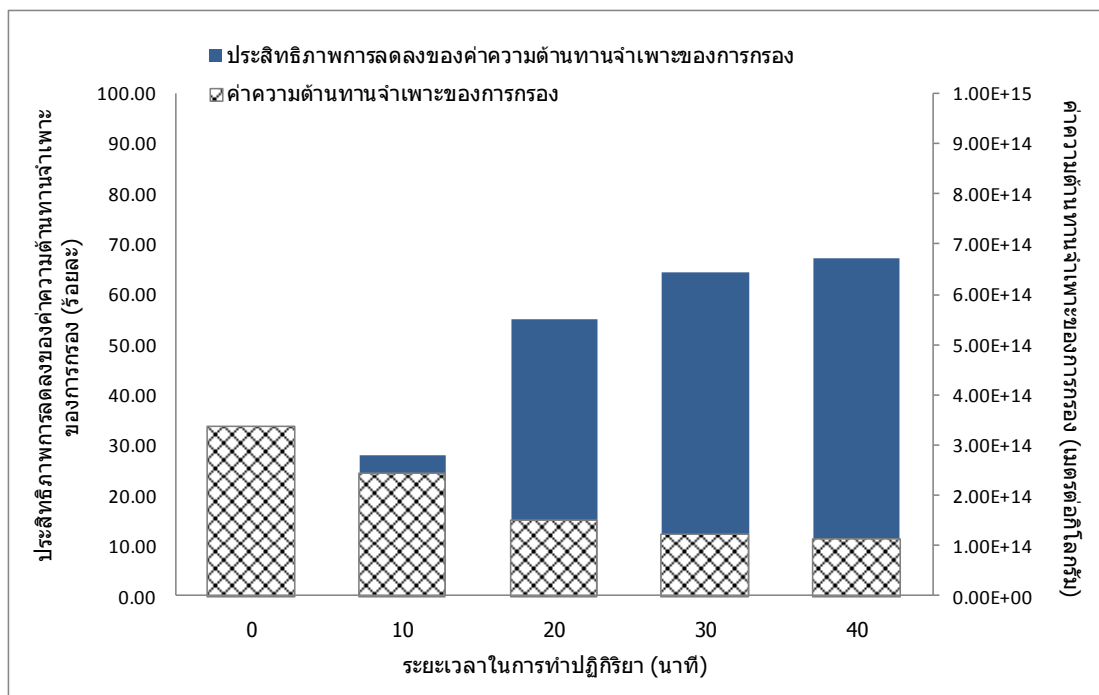


ภาพที่ 4.13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความดันของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์

### การทดลองชุดที่ 2 การปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์

จากผลการทดลองการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าลดลง ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14 เนื่องจากในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ จะทำให้เกิดสารรวมตะกอนคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) ดังสมการที่ 4-4 ถึง 4-6 (Prasad และคณะ, 2010) ซึ่งสารรวมตะกอนดังกล่าวจะทำหน้าที่ช่วยจับอนุภาคที่อยู่ในสลัดจ์ให้รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์มีค่าลดลงหรือมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์ดีขึ้นนั่นเอง



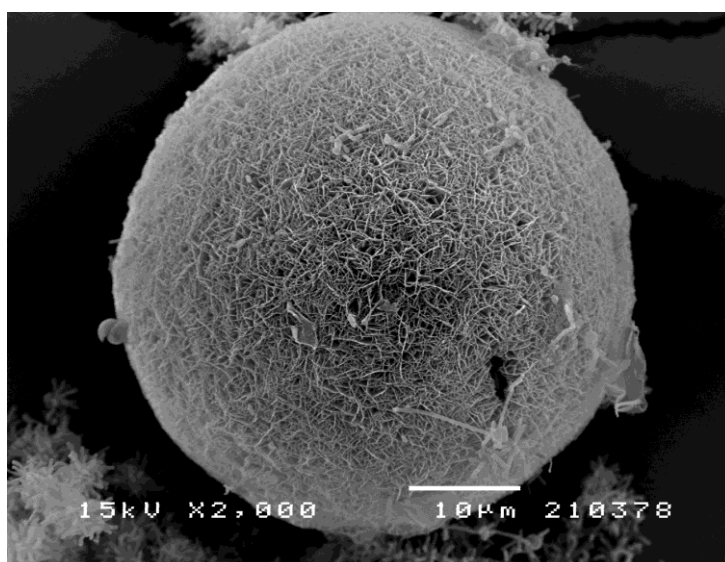


ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสัลดิจโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์

เมื่อนำสัลดิจหลังจากทำการปรับสภาพสัลดิจโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) พบว่าลักษณะของเซลล์จุลินทรีย์ในสัลดิจจะถูกปกคลุมด้วยสารรวมตะกอนคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ดังภาพที่ 4.15 และ 4.16 โดยมีโครงสร้างของผลึกเป็นรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม (Square pyramid) และมีการจัดเรียงผลึก ดังภาพที่ 4.17 (Cudennec และ Lecerf, 2003)

การปรับสภาพสัลดิจโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของขั้วไฟฟ้า โดยทองแดงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก (ขั้วแอโนด) ทำให้ทองแดงเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ในขณะที่เดียวกันที่ขั้วลบ (แคโทด) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) จากนั้นจะทำให้เกิดสารรวมตะกอนคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ( $Cu(OH)_2$ ) ขึ้นในระบบ แต่มีความสามารถในการรวมตะกอนต่ำกว่าอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $Al(OH)_3$ ) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองมีค่าเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ และค่าความขึ้น

ของภาคตะกอนที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.18 เนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเช่นเดียวกับกรณีใช้ไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์

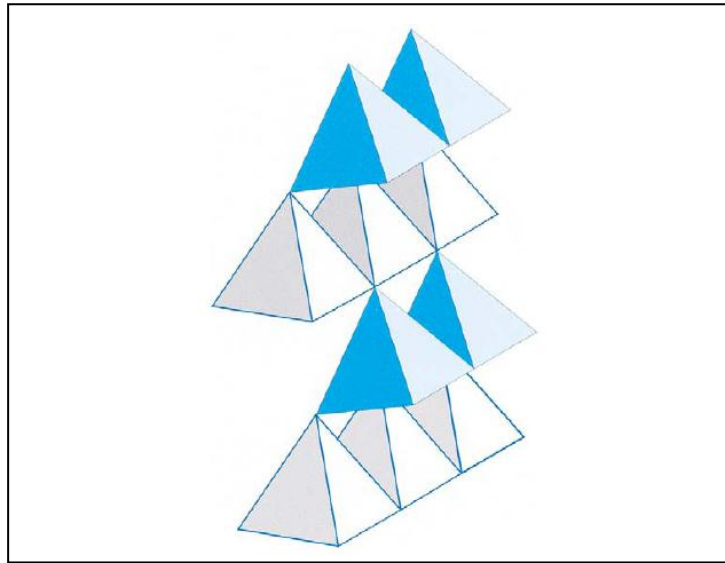


ภาพที่ 4.15 ลักษณะของสัลดจ์จากการปรับสภาพสัลดจ์โดยใช้ไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า)

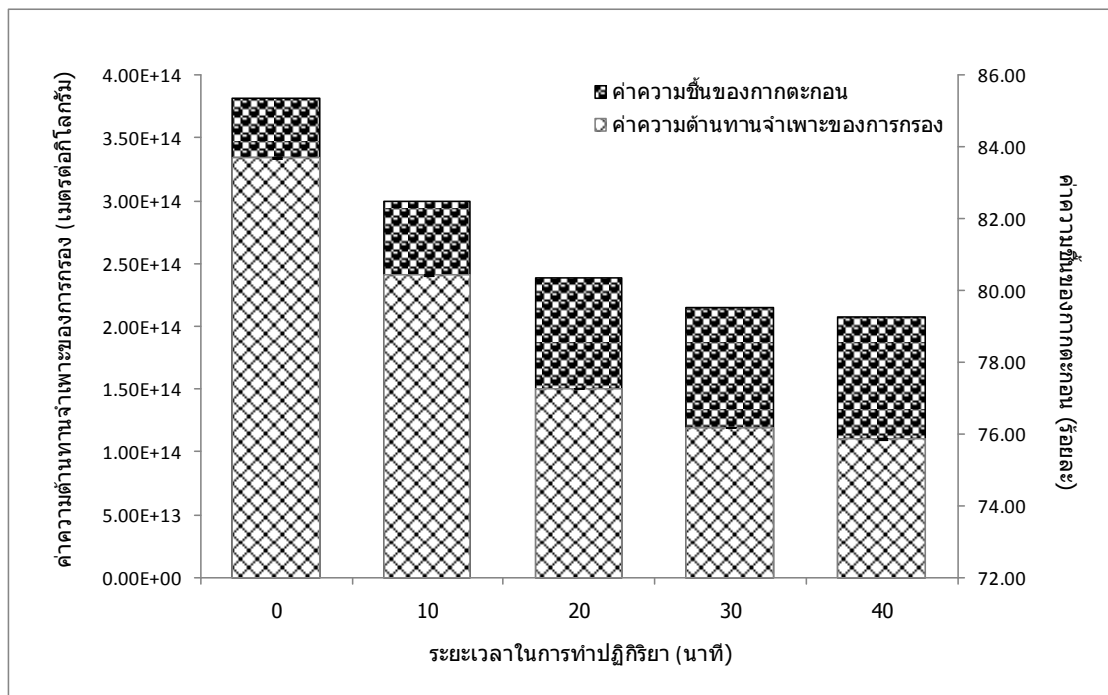


ภาพที่ 4.16 ลักษณะของสัลดจ์จากการปรับสภาพสัลดจ์โดยใช้ไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 15,000 เท่า)





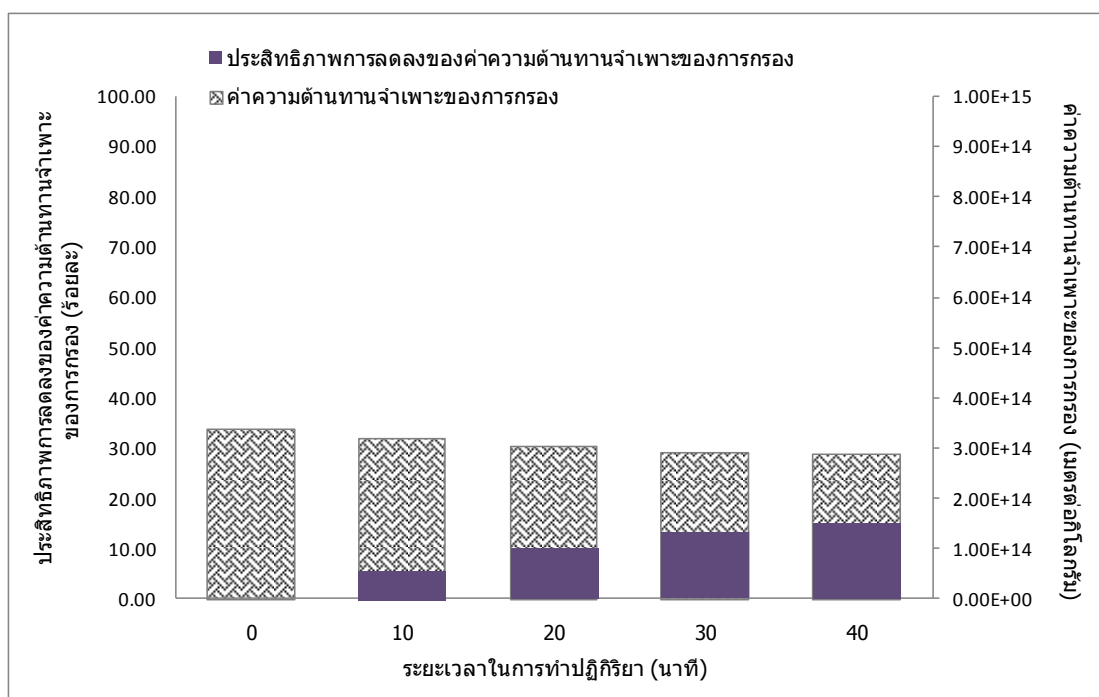
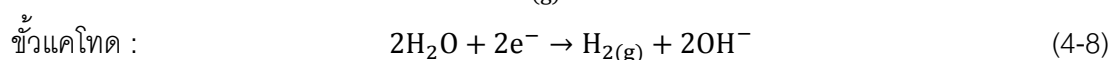
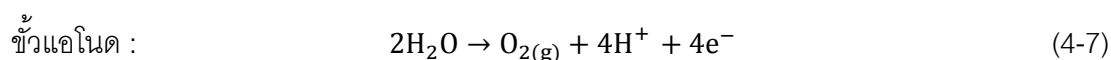
ภาพที่ 4.17 การเรียงตัวของผลึกคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ (Spetiniite)



ภาพที่ 4.18 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความเข้มข้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ขี้ไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์

### การทดลองชุดที่ 3 การปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์

จากผลการทดลองการปรับสภาพสัลดิจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน เมื่อเทียบกับการปรับสภาพสัลดิจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ และทองแดง-แกรไฟต์ ดังภาพที่ 4.19 เนื่องจากในการเดินระบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์นั้นจะไม่ก่อให้เกิดสารรวมตะกอนขึ้นมาเพื่อใช้ในการจับอนุภาคสัลดิจ์ให้รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเมื่อทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงสู่ระบบก็จะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นมาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น (อัญชลี ศรีรังสรรค์, 2551) ดังสมการที่ 4-7 และ 4-8 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสัลดิจ์ของขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ข้างต้น



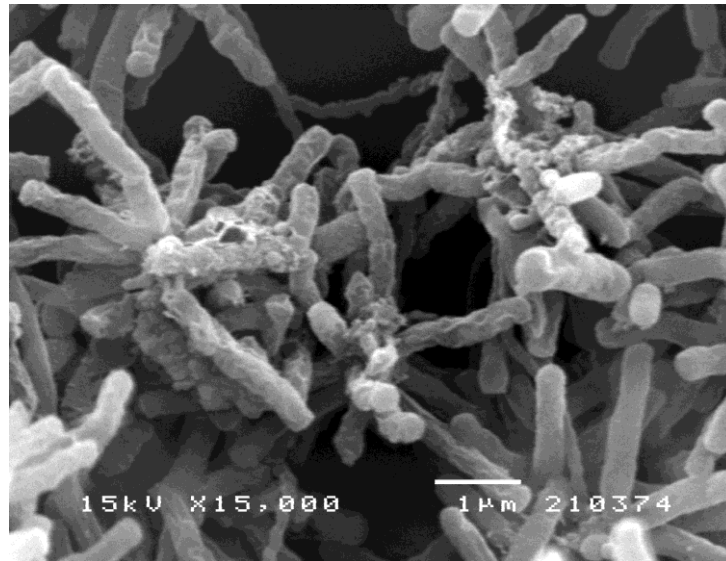
ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสัลดิจ์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์

เมื่อนำสไลด์หลังจากทำการปรับสภาพสไลด์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) พบว่าเซลล์จุลินทรีย์ในสไลด์จะมีลักษณะเหี่ยวและมีรูปร่างเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.20 และ 4.21

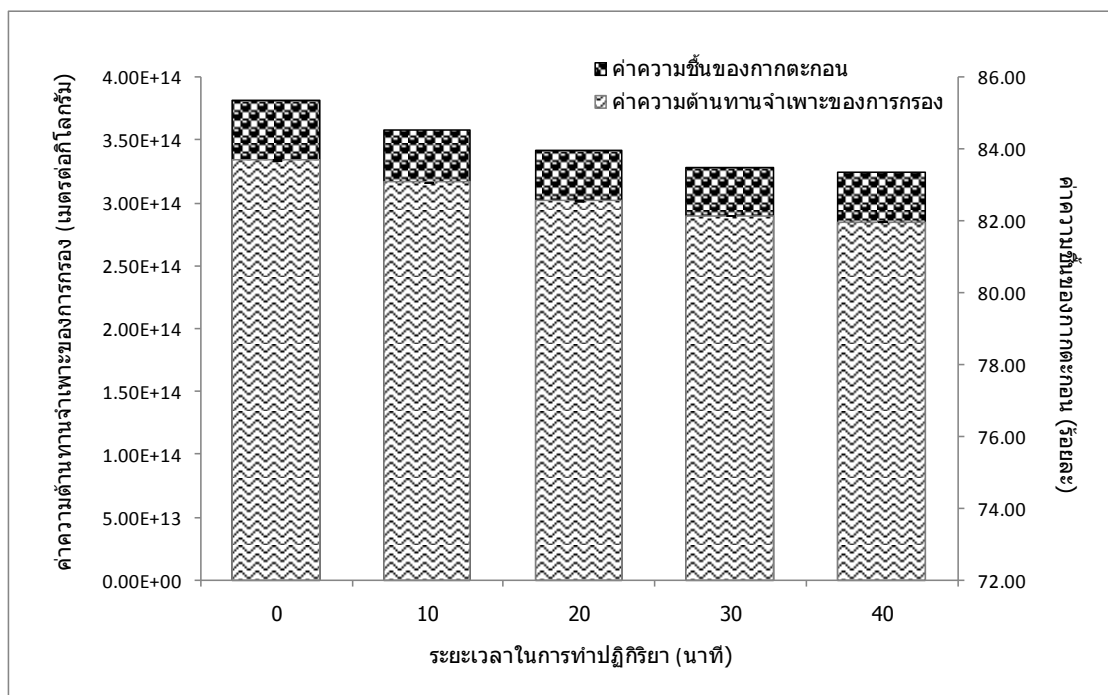
การปรับสภาพสไลด์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาจะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยที่ขั้วบวก (ขั้วแอโนด) โมเลกุลของน้ำจะถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของออกซิเจน ( $O_2$ ) และไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ในขณะที่ขั้วลบ (แคโทด) โมเลกุลของน้ำจะถูกรีดิวซ์ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ส่งผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการแตกตัว เมื่อเซลล์แตกน้ำที่อยู่ในรูปน้ำเกาะติด (Bound Water) หรือน้ำที่ยึดเกาะติดกับอนุภาคของแข็งด้วยพันธะเคมี (Chemical Bound) จะหลุดออกกลายเป็นน้ำอิสระ (Free Water) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะไม่ยึดติดกับอนุภาคสไลด์ ดังนั้นเมื่อทำการกรองสไลด์ประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากตะกอนจึงมีค่าดีขึ้น พิจารณาได้จากประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความขึ้นของกากตะกอนที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรองมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.20 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 7,500 เท่า)



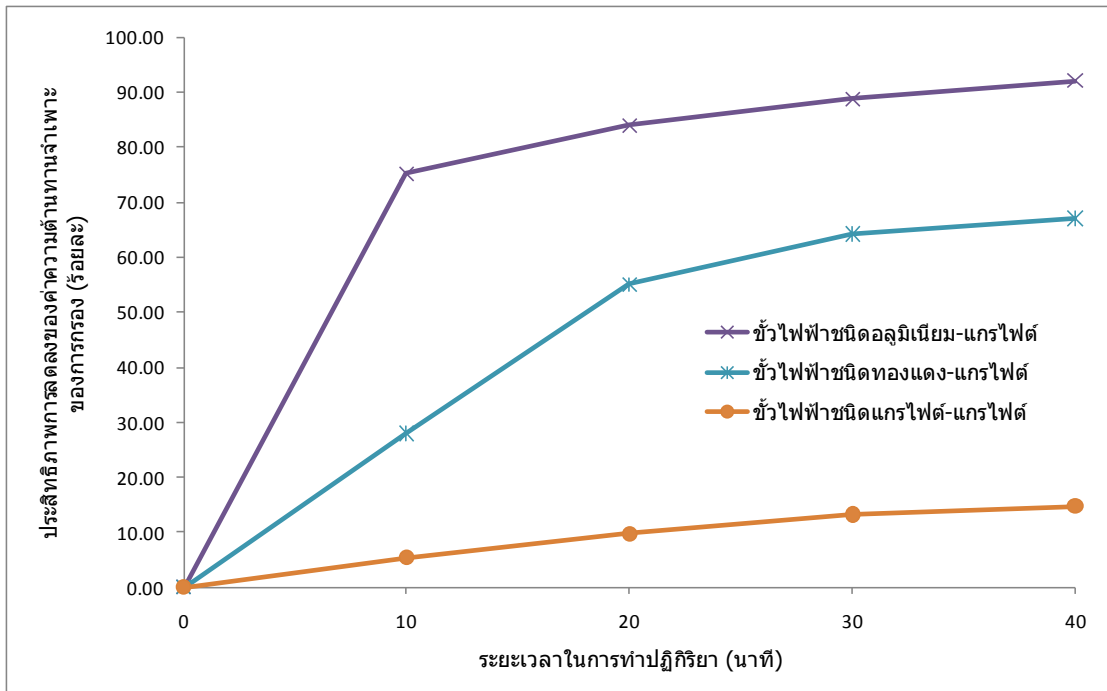
ภาพที่ 4.21 ลักษณะของสไลด์จากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ (วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 15,000 เท่า)



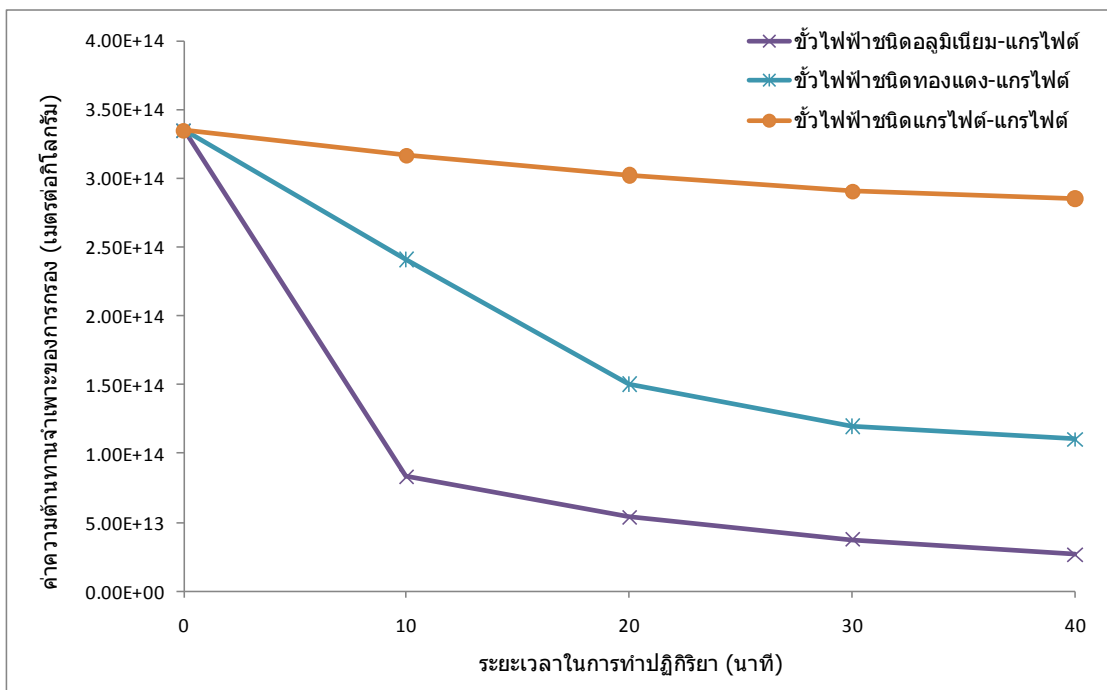
ภาพที่ 4.22 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสไลด์โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ของแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ จากการทดลองชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ มีประสิทธิภาพการลดของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสูงสุด รองลงมาคือ ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.23 และ 4.24 และค่าความขึ้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสลดจ์ ดังภาพที่ 4.25 ทั้งนี้เนื่องจากขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์จะทำให้เกิดสารรวมตะกอนคือ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ซึ่งสามารถทำลายเสถียรภาพอนุภาคสลดจ์และเกิดการรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์จะทำให้เกิดสารรวมตะกอนคือ คอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) แต่มีความสามารถในการรวมตะกอนต่ำกว่าอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ส่วนขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์จะไม่สร้างสารรวมตะกอน แต่จะทำให้เกิดฟองก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) เกิดขึ้นในระบบ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมในการปรับสภาพสลดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

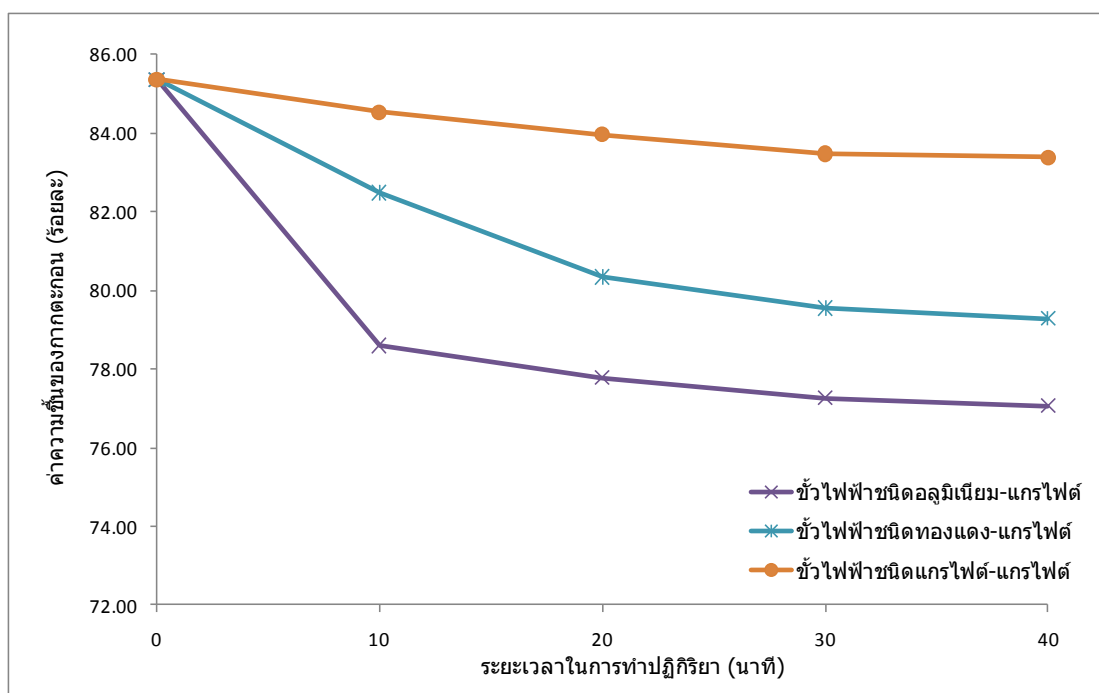
จากผลการทดลองการปรับสภาพสลดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ของแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ พบว่ามีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของอัญชลี ศรีรังสรรค์ (2551) ซึ่งทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า คือ เหล็ก-เหล็ก, เหล็ก-แกรไฟต์, แกรไฟต์-แกรไฟต์, อลูมิเนียม-แกรไฟต์ และอลูมิเนียม-อลูมิเนียม จากการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลได้ดีที่สุด ณัฐพล กสิวัฒน์ (2552) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีการเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ โดยศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า คือ อลูมิเนียม-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์ จากการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ และกานต์ ตุ่มศรี (2553) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายจากน้ำรีไซเคิลในระบบผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์



ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสัลดิจโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์



ภาพที่ 4.24 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสัลดิจโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์



ภาพที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นของภาคตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ทองแดง-แกรไฟต์ และแกรไฟต์-แกรไฟต์

#### 4.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม

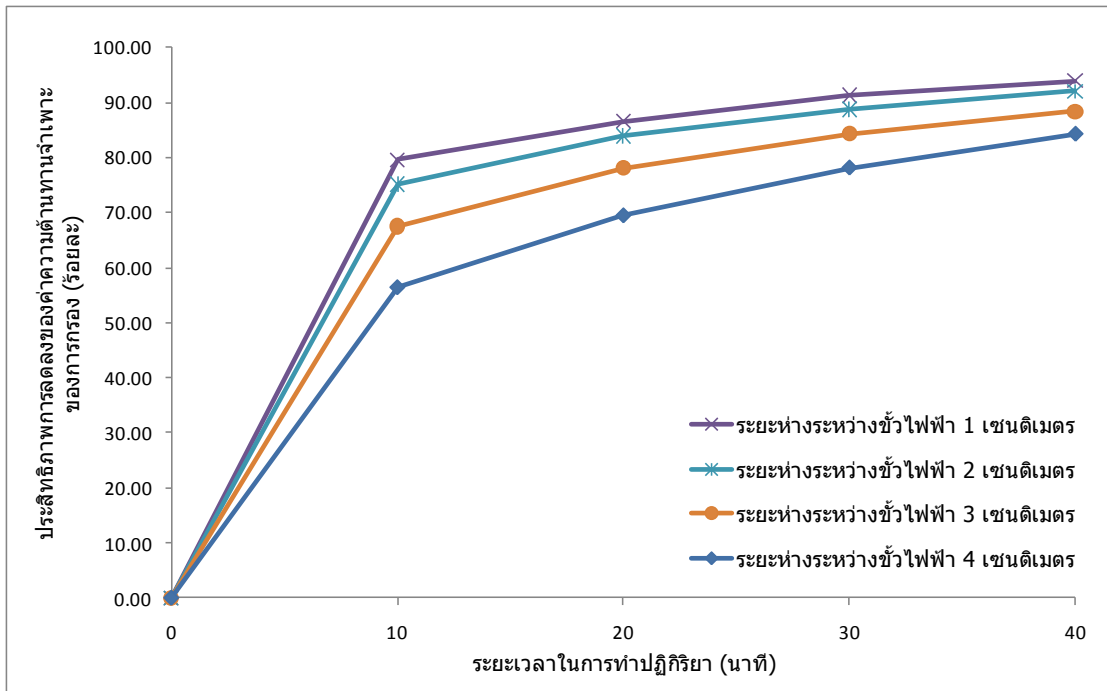
ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการควบคุมกลไกการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) เนื่องจากจำนวนกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้า (ปริเมธ เจริญนพคุณ, 2545) ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งทำการศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 4 ค่า คือ 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาระยะเวลาห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงเริ่มต้นของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นการทดลอง สลัดจ์จะมีอนุภาคอยู่อย่างหนาแน่นและมีปริมาณมาก ซึ่งทำให้สารรวมตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

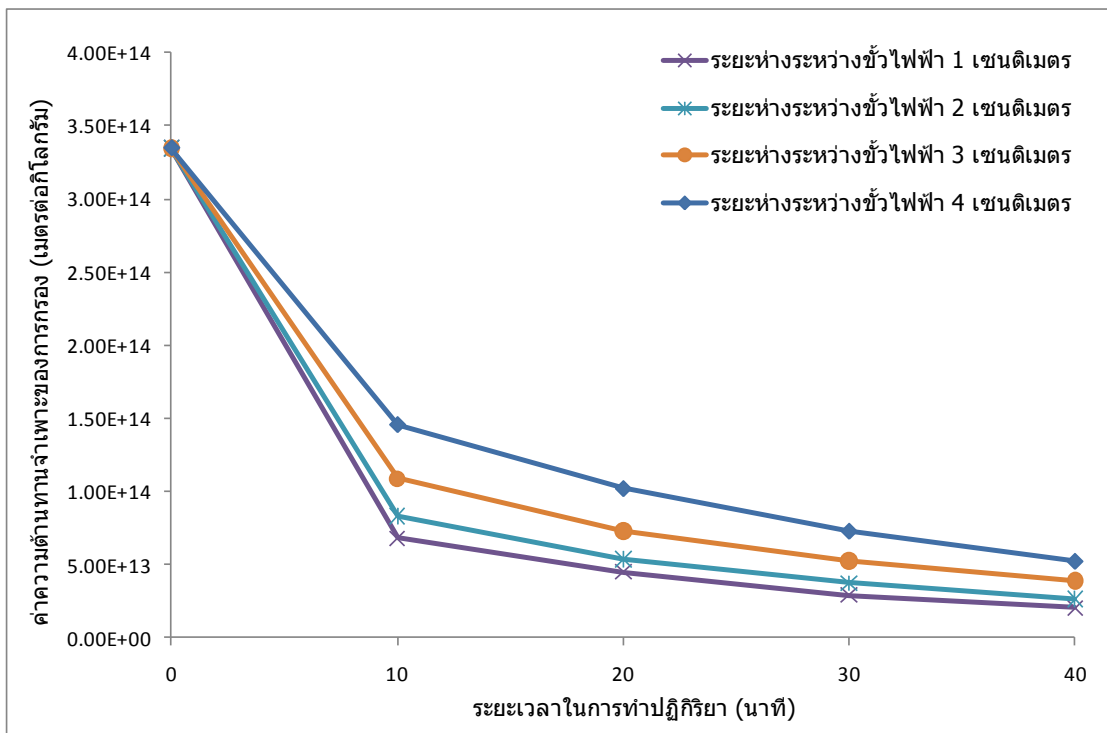
ไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) สามารถทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสไลด์ได้มาก ฟลอคที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ และมีปริมาณมากส่งผลทำให้เพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างอนุภาคของสไลด์กับสารรวมตะกอน และเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าช่วงแรก เนื่องจากการลดลงของอนุภาคสไลด์ ส่งผลให้ปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์ (Ichikawa T และคณะ, 2004) เมื่อพิจารณาผลกระทบของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์จะลดลง เนื่องจากการวางขั้วไฟฟ้าที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคสไลด์ โดยเป็นการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างสารรวมตะกอนกับอนุภาคของสไลด์ ทำให้สามารถรวมตัวกันเป็นฟลอคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสไลด์มีค่าลดลงหรือมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์ดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจะทำให้โอกาสในการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคสไลด์กับสารรวมตะกอนลดลง รวมถึงการห่อหุ้มอนุภาคสไลด์ก็จะลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์ลดลง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการปรับสภาพสไลด์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่าระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสูงสุด รองลงมาคือ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2, 3 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.26 และ 4.27 และค่าความขึ้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสไลด์แล้วจะมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.28-4.32 ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร เป็นระยะห่างที่มีความเหมาะสมในการปรับสภาพสไลด์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

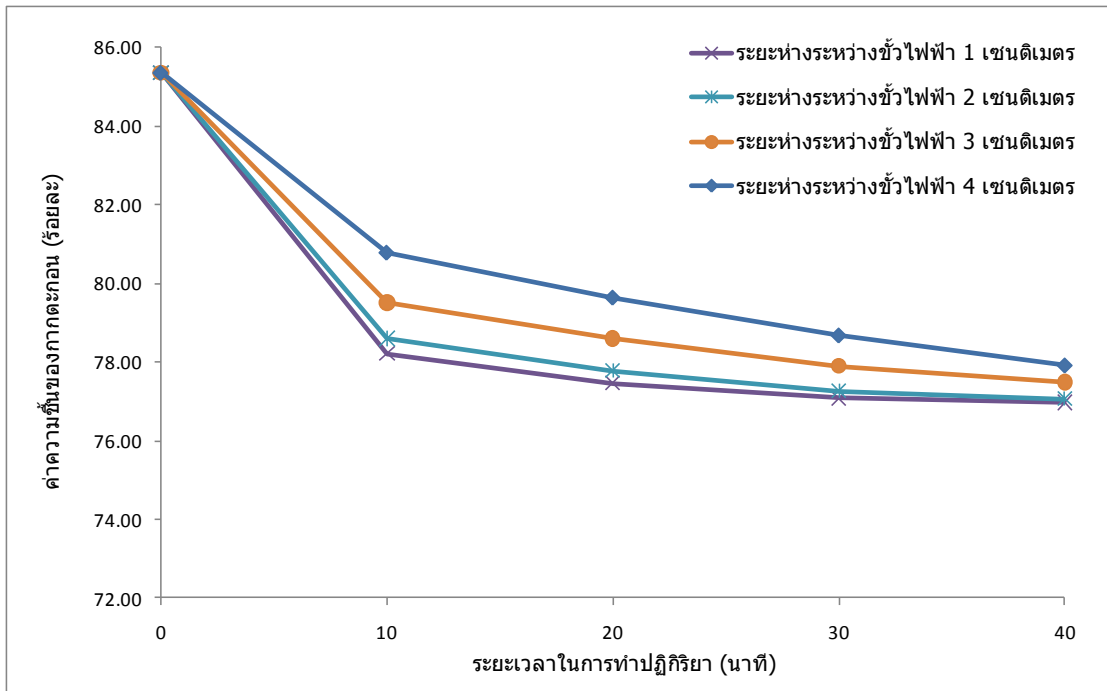




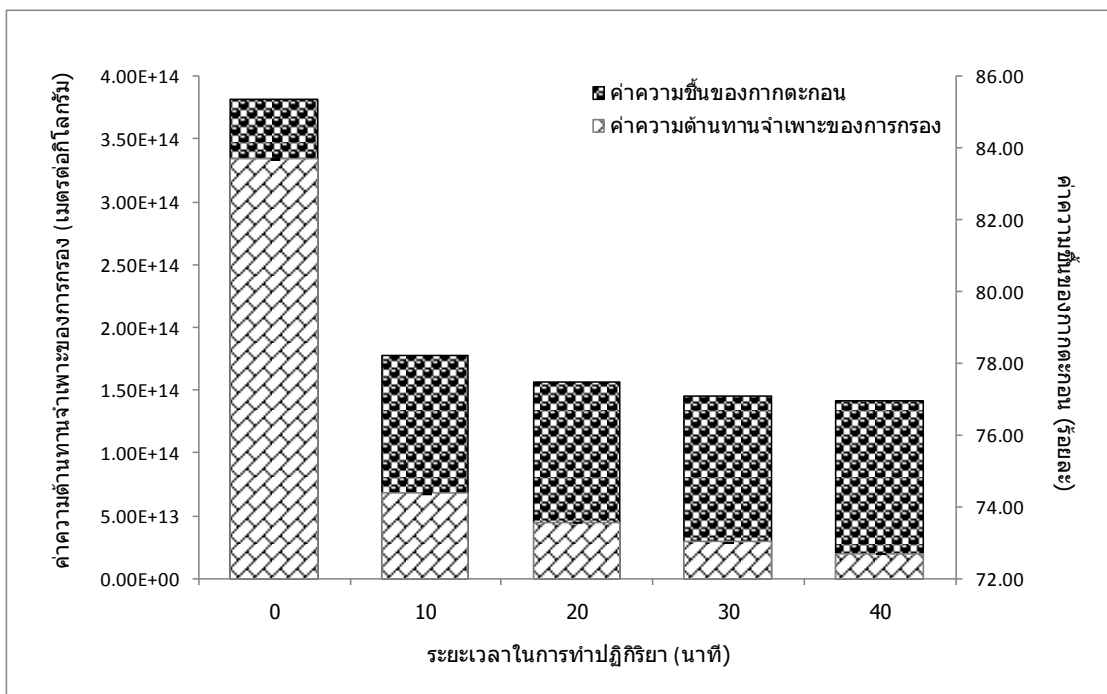
ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร



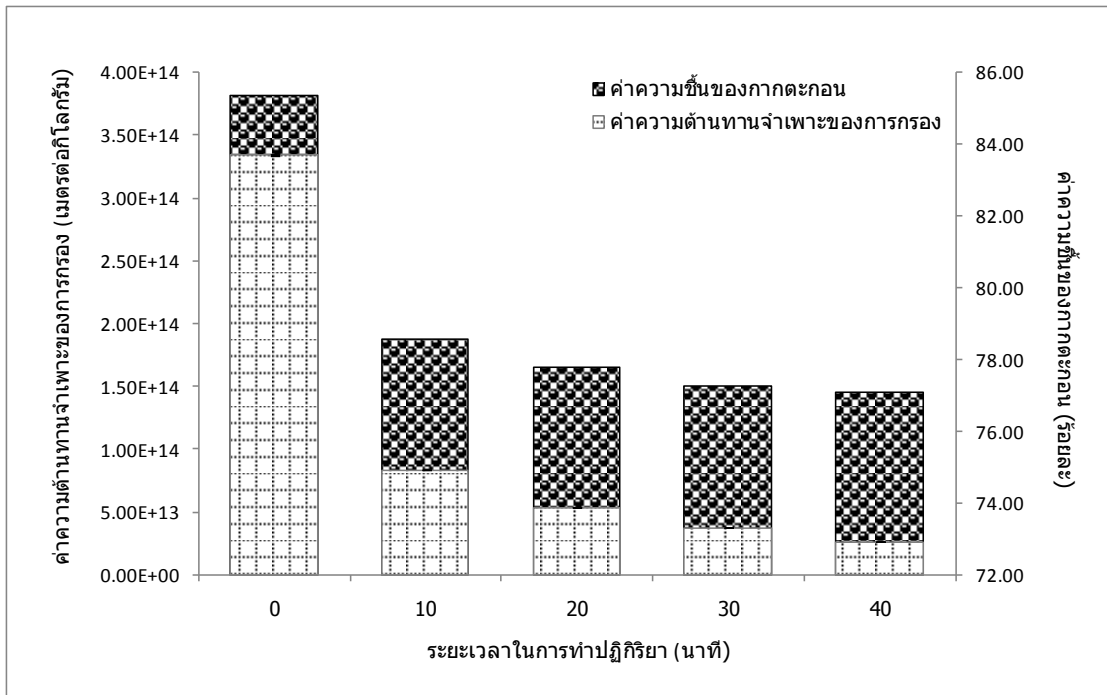
ภาพที่ 4.27 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร



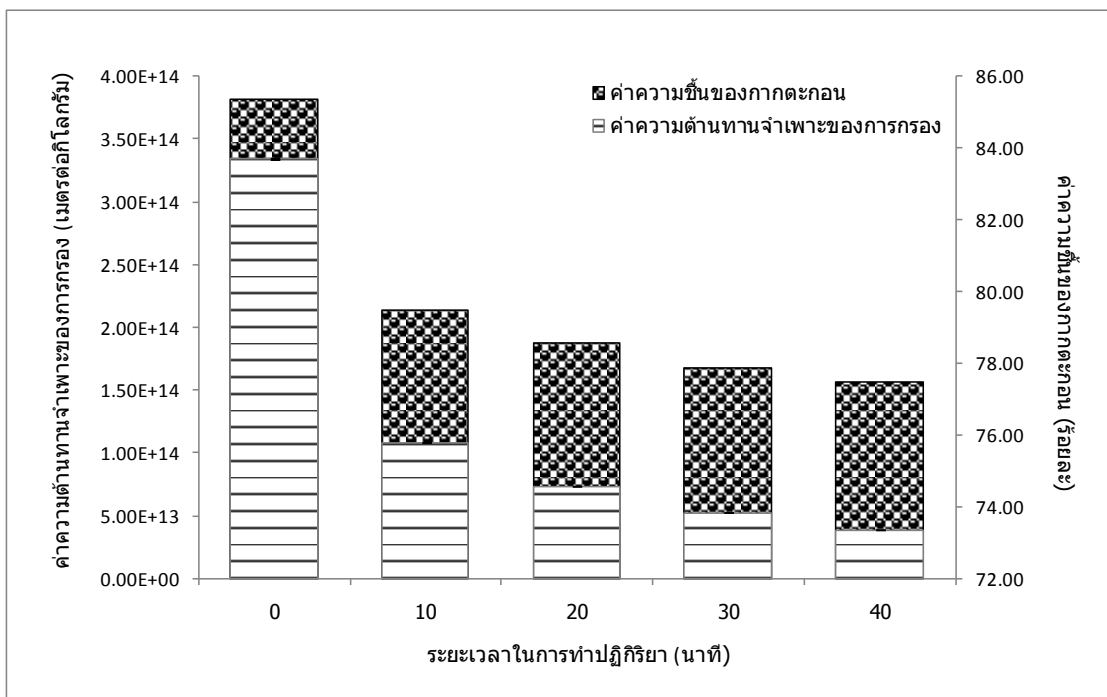
ภาพที่ 4.28 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์ โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 4 เซนติเมตร



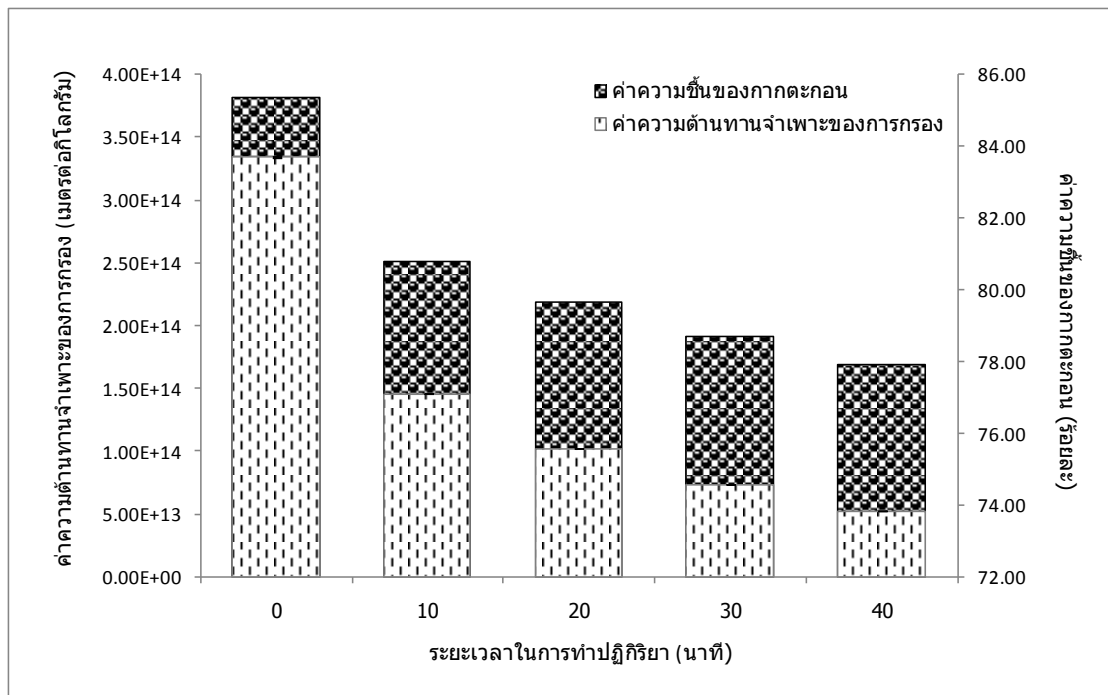
ภาพที่ 4.29 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.30 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.31 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.32 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความเข้มข้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร

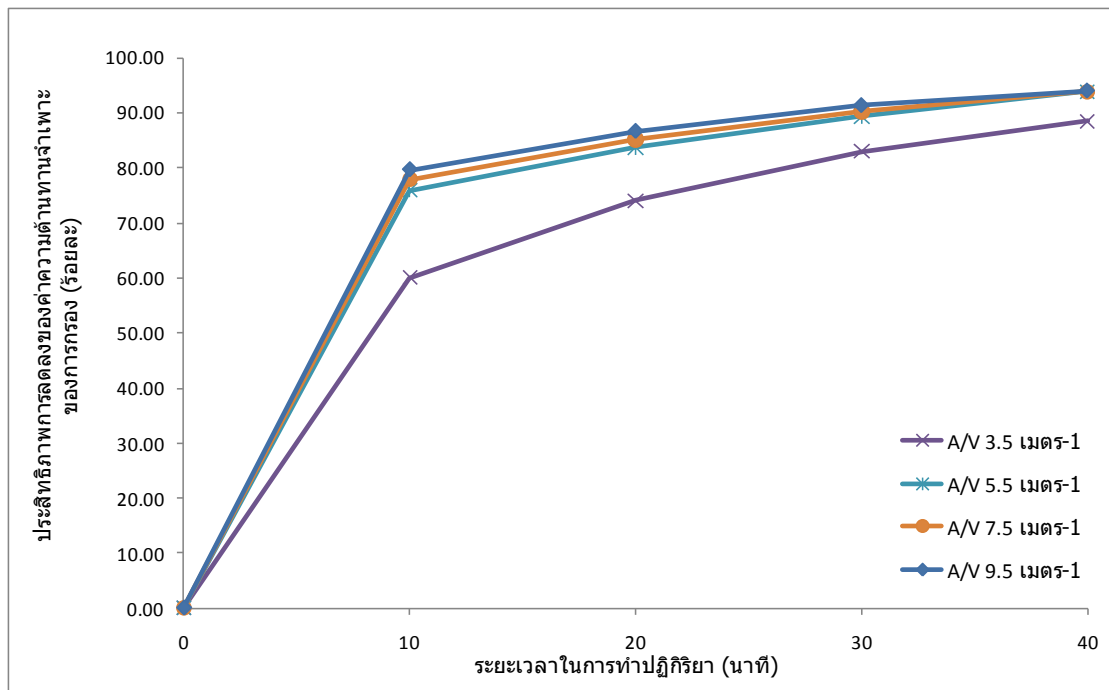
#### 4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม

พื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการควบคุมกลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า กล่าวคือ ขั้วไฟฟ้าที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสใหญ่จะดีสำหรับการถ่ายเท และรับอิเล็กตรอน โดยที่ปริมาณสารรวมตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) จะมีสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวสัมผัสของขั้วไฟฟ้า ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งทำการศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา (A/V) ทั้งหมด 4 ค่า คือ 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>1</sup> โดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและ

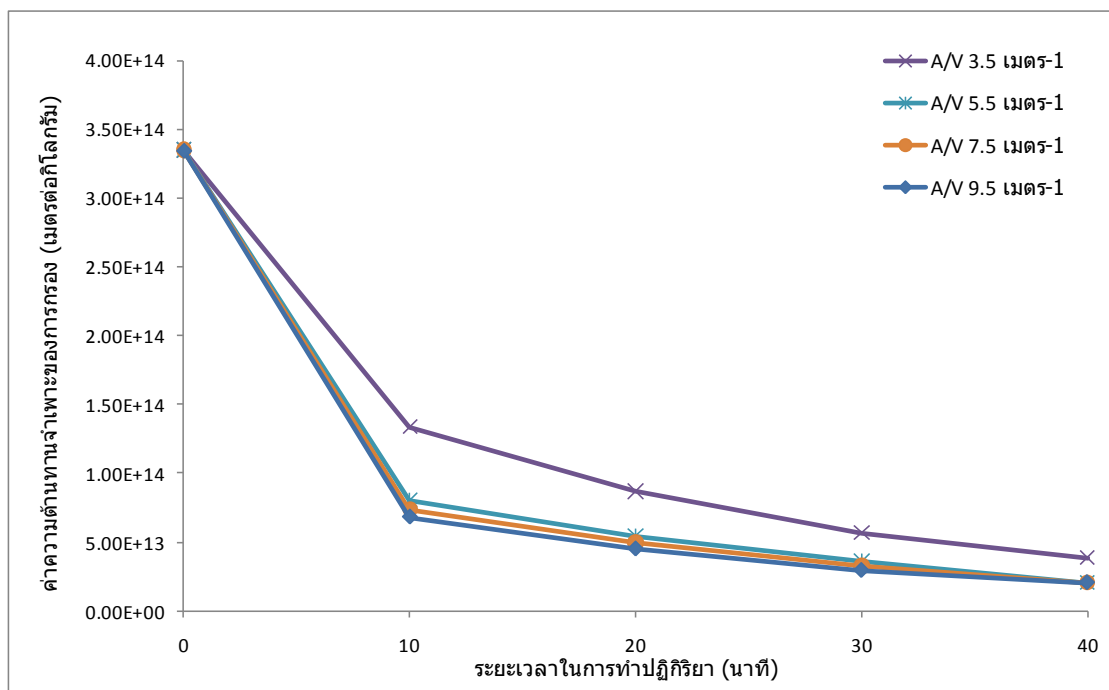
ปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยาที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จะแปรผันตรงกับสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยา ดังภาพที่ 4.33 และ 4.34 ซึ่งประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์ที่สูงขึ้นนั้น จะสัมพันธ์กับปริมาณของสารรวมตะกอนที่เกิดจากปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของสารรวมตะกอนในระบบจะสูงขึ้น เมื่อเดินระบบด้วยสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยาที่สูงขึ้น และเมื่อเดินระบบด้วยสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยาที่ต่ำ (ปริมาตรสลัดจ์สูง) ส่งผลให้ปริมาณสารรวมตะกอนที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสลัดจ์ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จึงลดลง และค่าความขึ้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์แล้วจะมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.35-4.39

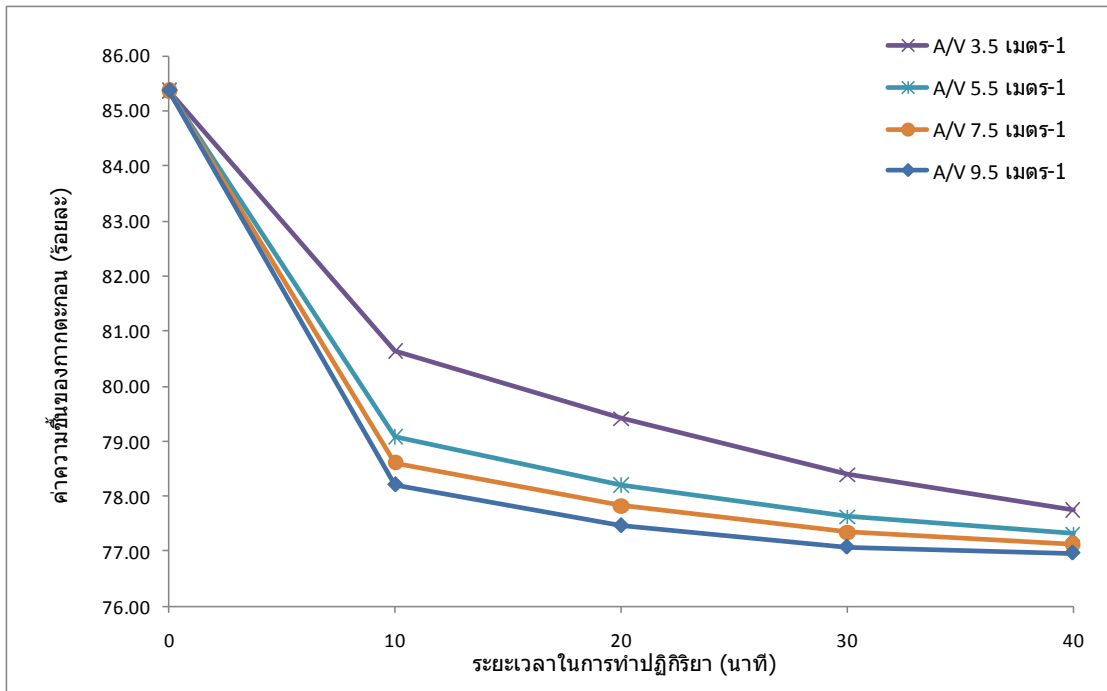
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยา (AV) 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup> พบว่าประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยา แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่าสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยาเท่ากับ 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup> พบว่าไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารรวมตะกอนที่เพิ่มมากขึ้นมีปริมาณมากเกินไปกว่าการทำปฏิริยากับอนุภาคสลัดจ์ ส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ดังภาพที่ 4.33 และ 4.34 และค่าความขึ้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์แล้วจะมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.35-4.39 ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิริยา 5.5 เมตร<sup>-1</sup> เป็นค่าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



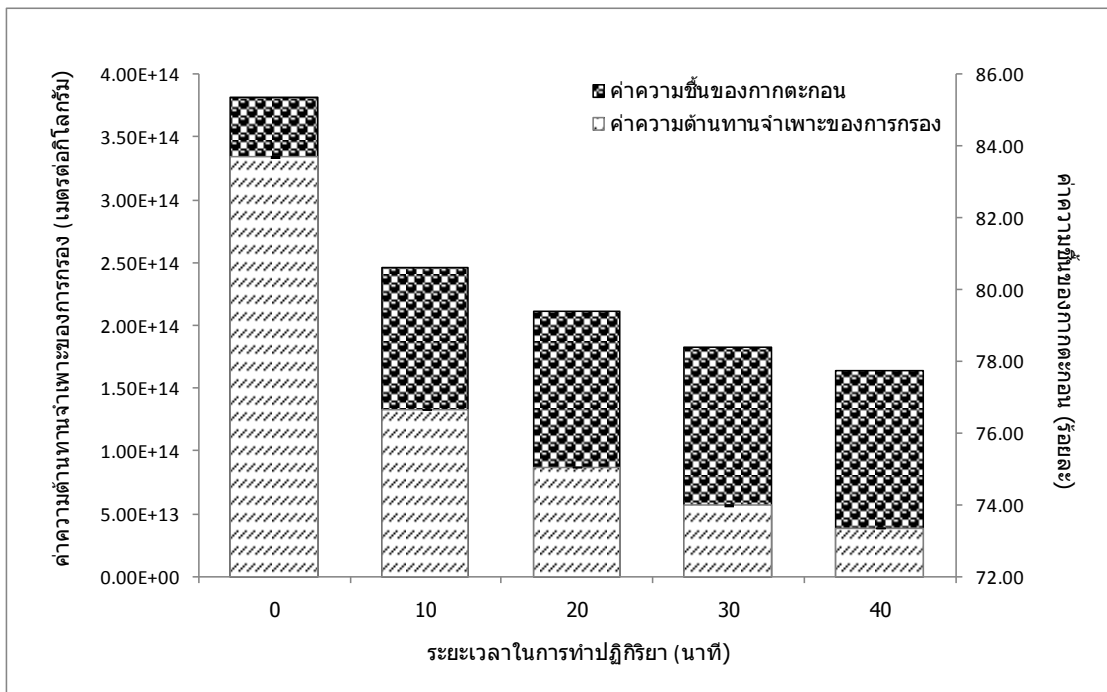
ภาพที่ 4.33 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของชีวไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup>



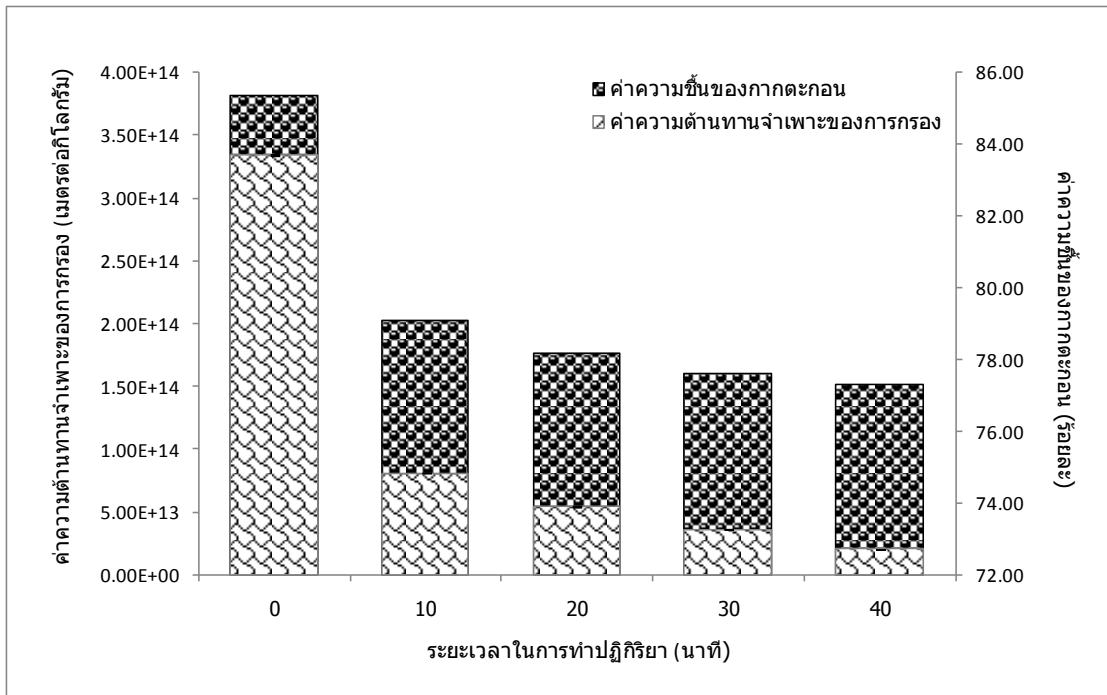
ภาพที่ 4.34 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของชีวไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup>



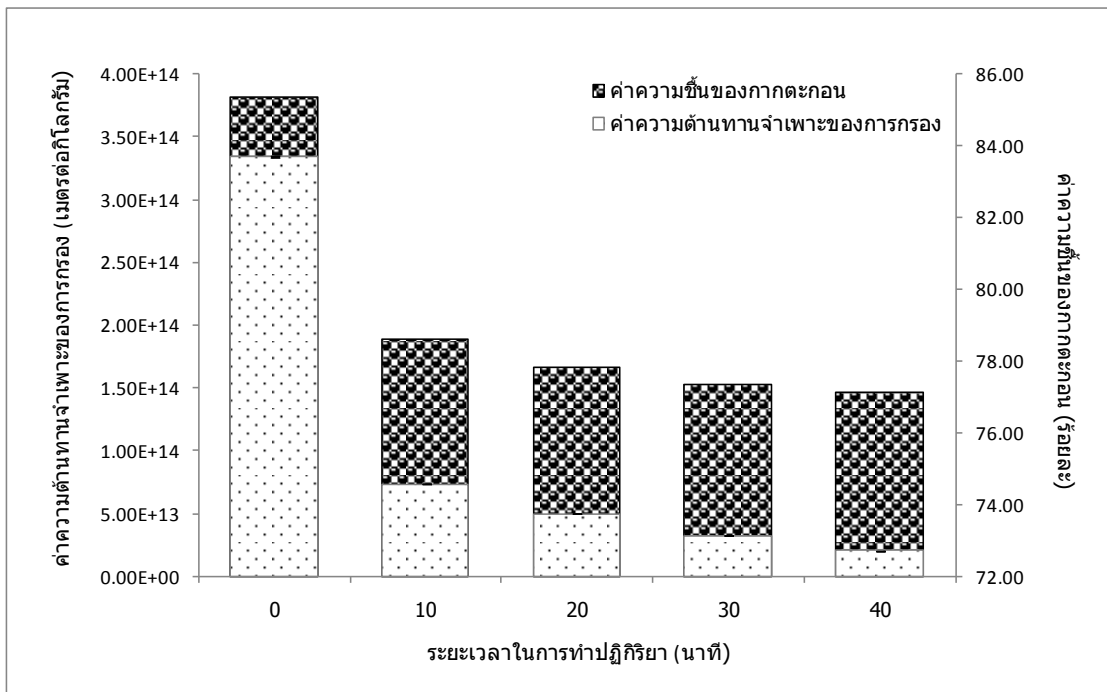
ภาพที่ 4.35 ค่าความขึ้นของกาคะกอนจากการปรับสภาพสัจโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสัจจนถึงปฏิกิริยา 3.5, 5.5, 7.5 และ 9.5 เมตร<sup>-1</sup>



ภาพที่ 4.36 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกาคะกอนจากการปรับสภาพสัจโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสัจจนถึงปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>-1</sup>

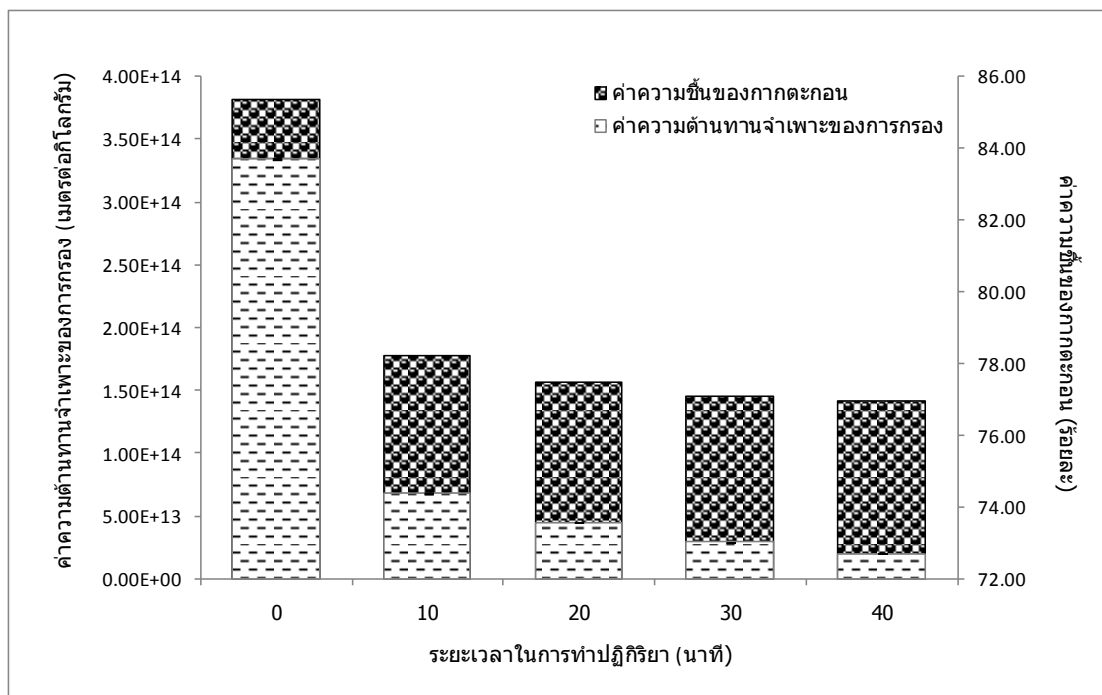


ภาพที่ 4.37 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกาคตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกริยา 5.5 เมตร<sup>1</sup>



ภาพที่ 4.38 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกาคตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกริยา 7.5 เมตร<sup>1</sup>





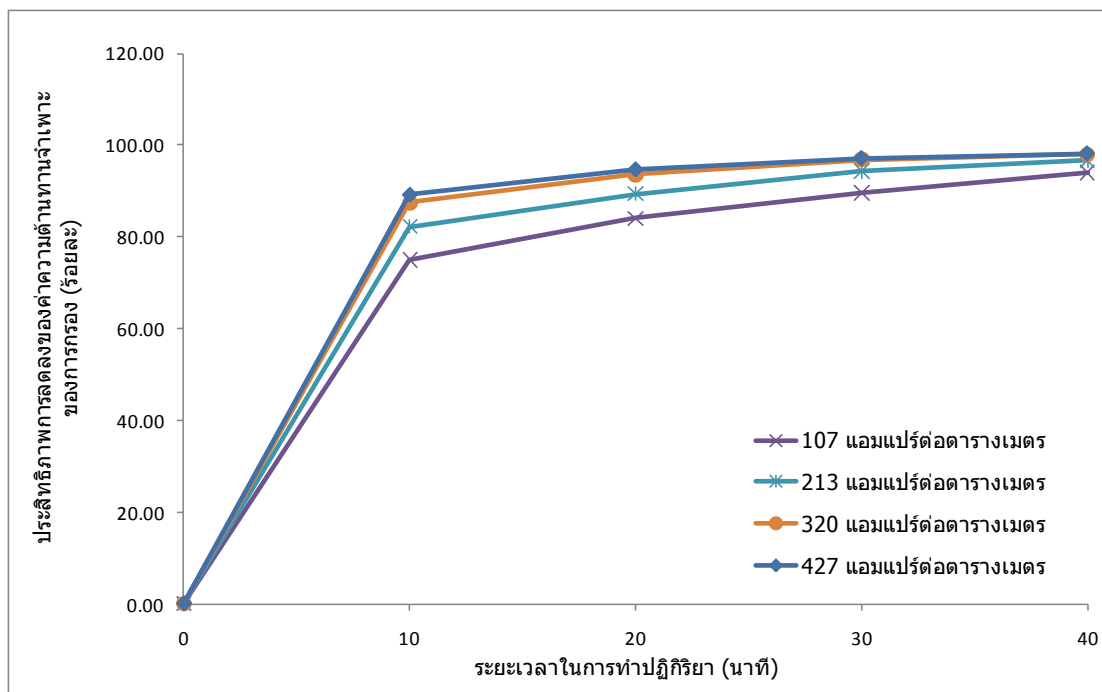
ภาพที่ 4.39 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>1</sup>

#### 4.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

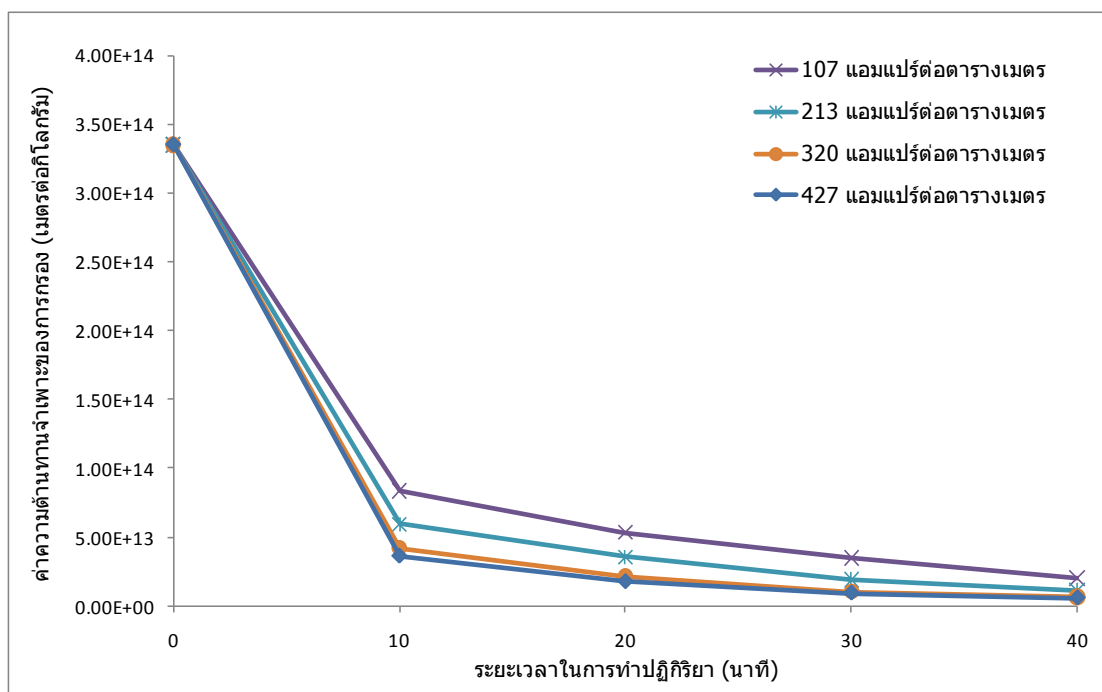
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านการออกแบบระบบทำให้ระบบมีขนาดเล็กและลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Ricodel และคณะ, 2010) แต่การใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไป ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปในรูปพลังงานความร้อน (Chen และคณะ, 2004) ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งทำการศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 4 ค่า คือ 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>1</sup> ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

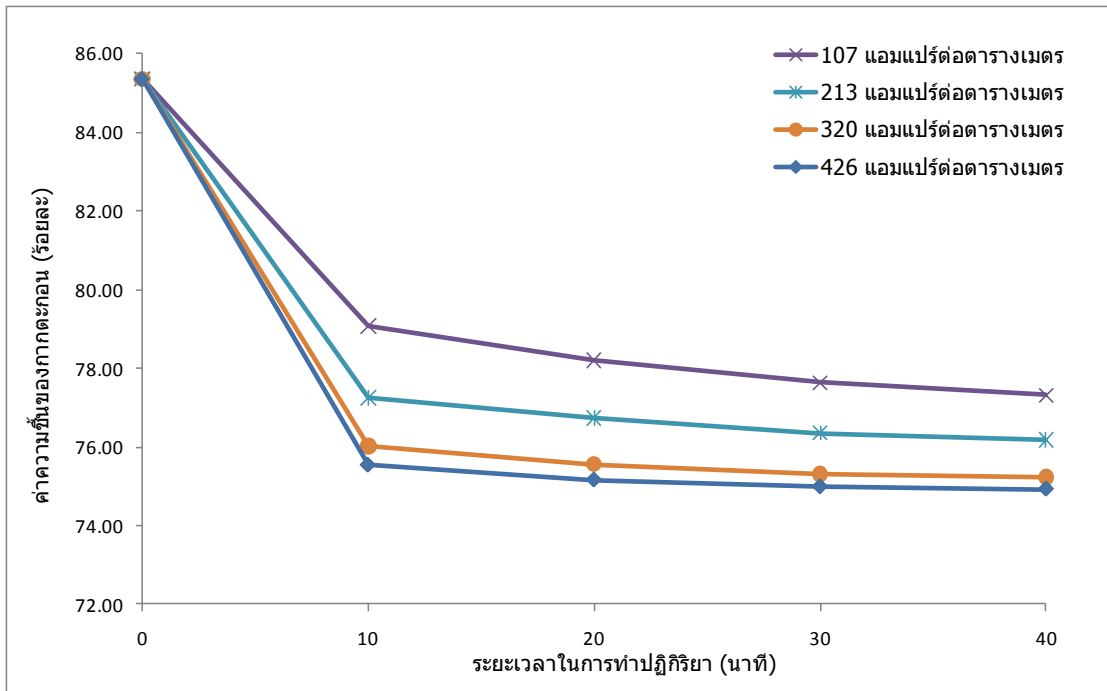
จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จะเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ดังภาพที่ 4.40 และ 4.41 และค่าความขึ้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์แล้วจะมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ดังภาพที่ 4.42-4.46 โดยช่วงแรกของการทดลองจะมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จะเพิ่มขึ้นช้าลง เนื่องจากเหตุผลเดียวกับการทดลองในช่วงต้นที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านไปยังขั้วไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้ขั้วไฟฟ้าเกิดการกัดกร่อนสูง ทำให้โลหะไอออนที่ขั้วแอโนดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮดรอกไซด์ไอออนกับฟองก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทดจากปฏิกิริยารีดักชันที่ผลิตออกจากขั้วไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้สารรวมตะกอนมีโอกาสในการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสลัดจ์เพิ่มมากขึ้น เพื่อทำลายเสถียรภาพอนุภาคของสลัดจ์ด้วยกลไกทำลายประจุติดผิว และรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออน เพื่อสร้างตะกอนฟล็อก ( $Al(OH)_3$ ) ในการห่อหุ้มอนุภาคของสลัดจ์ เพื่อรวมอนุภาคของสลัดจ์ด้วยกลไกแบบกวาด (Sweep Flocc Coagulation) โดยประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร พบว่าไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์โดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารรวมตะกอนที่เพิ่มมากขึ้นนี้มีปริมาณมากเกินกว่าการทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสลัดจ์ ส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า และนำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



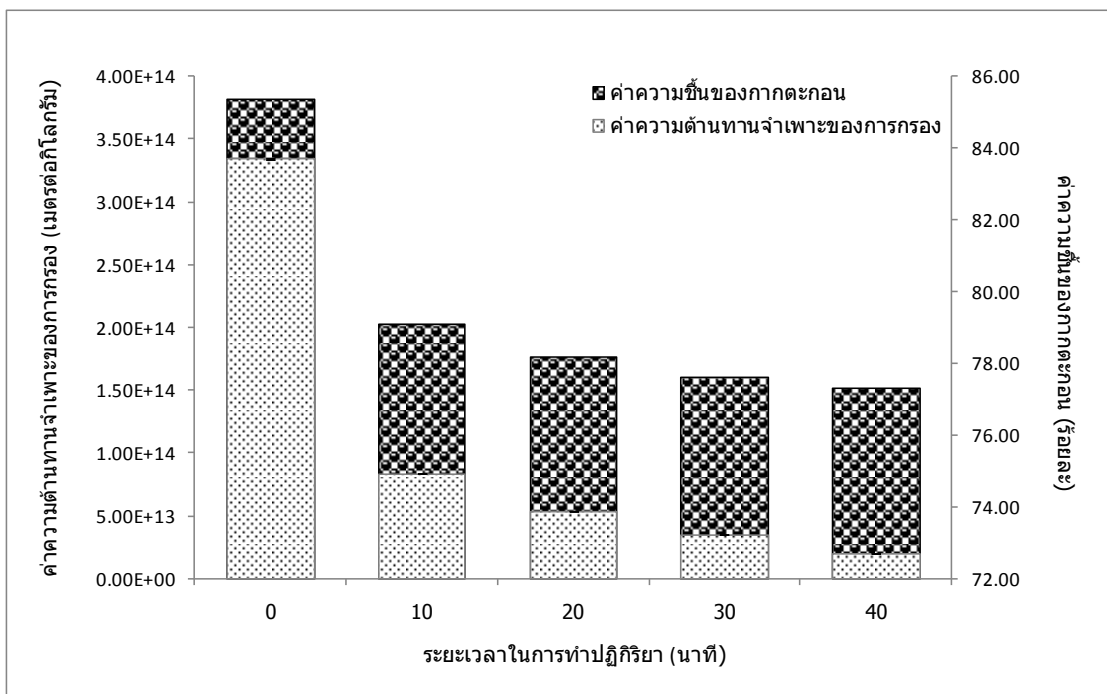
ภาพที่ 4.40 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์จ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



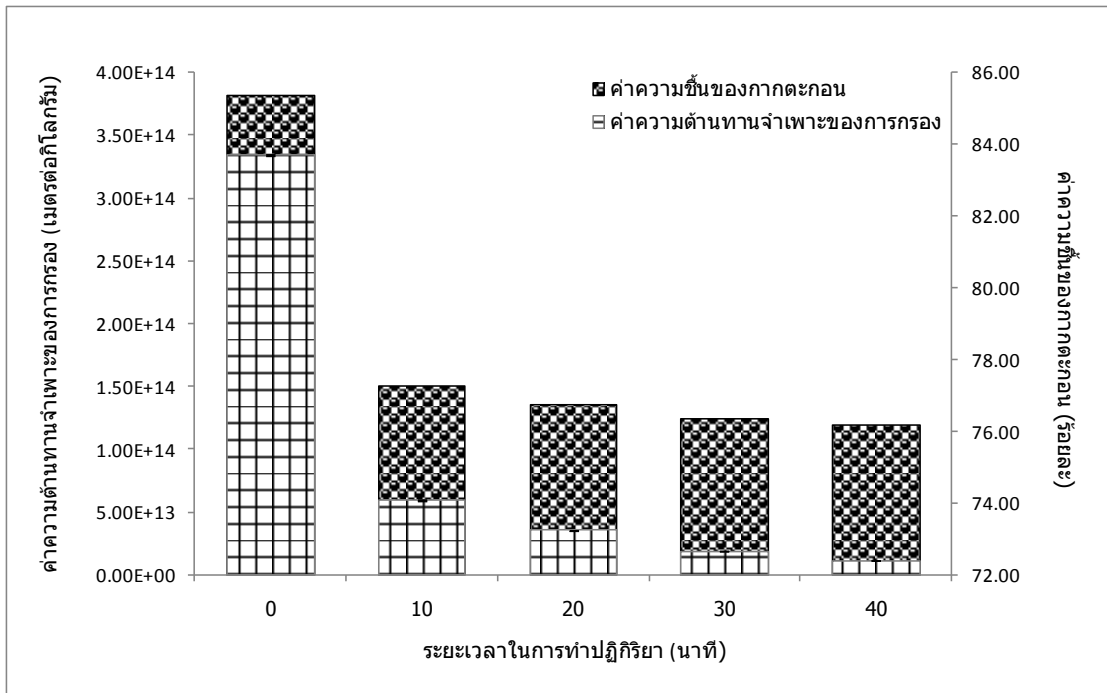
ภาพที่ 4.41 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสไลด์จ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



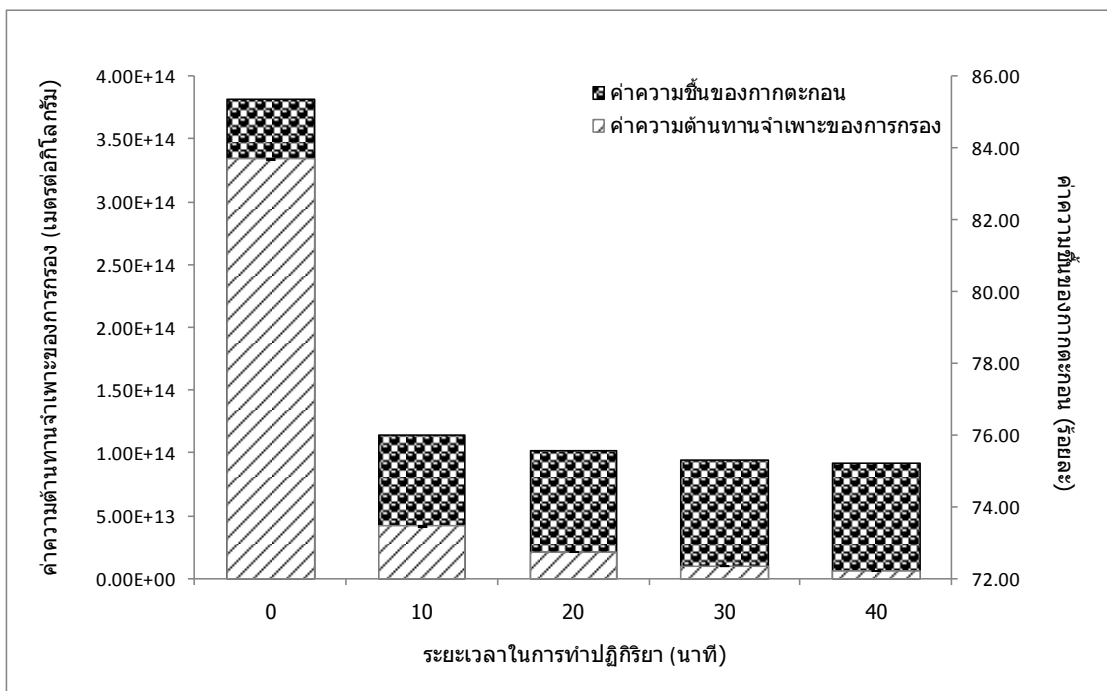
ภาพที่ 4.42 ค่าความขึ้นของกักตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107, 213, 320 และ 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



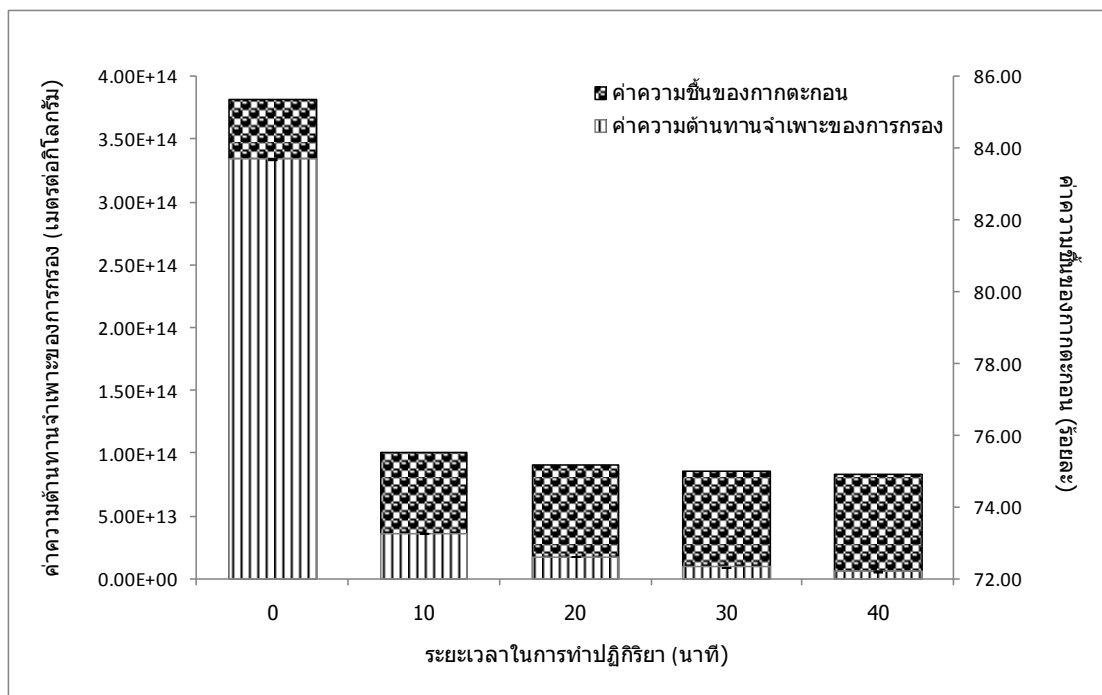
ภาพที่ 4.43 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกักตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.44 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.45 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความขึ้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



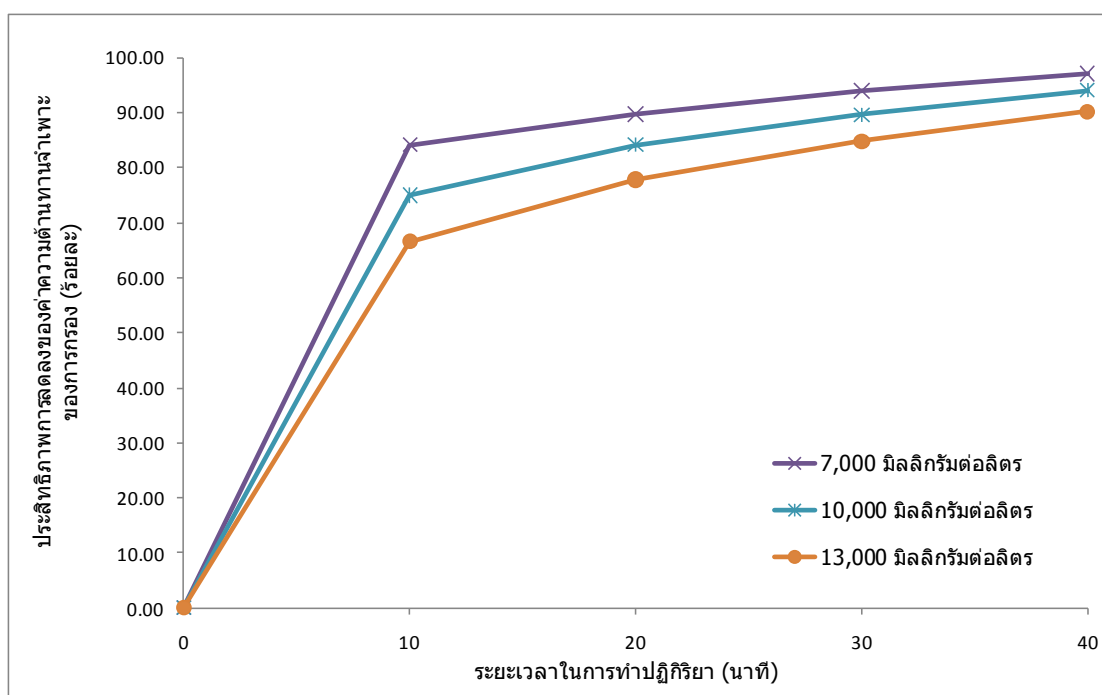
ภาพที่ 4.46 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

#### 4.2.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของความเข้มข้นสลัดจ์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์

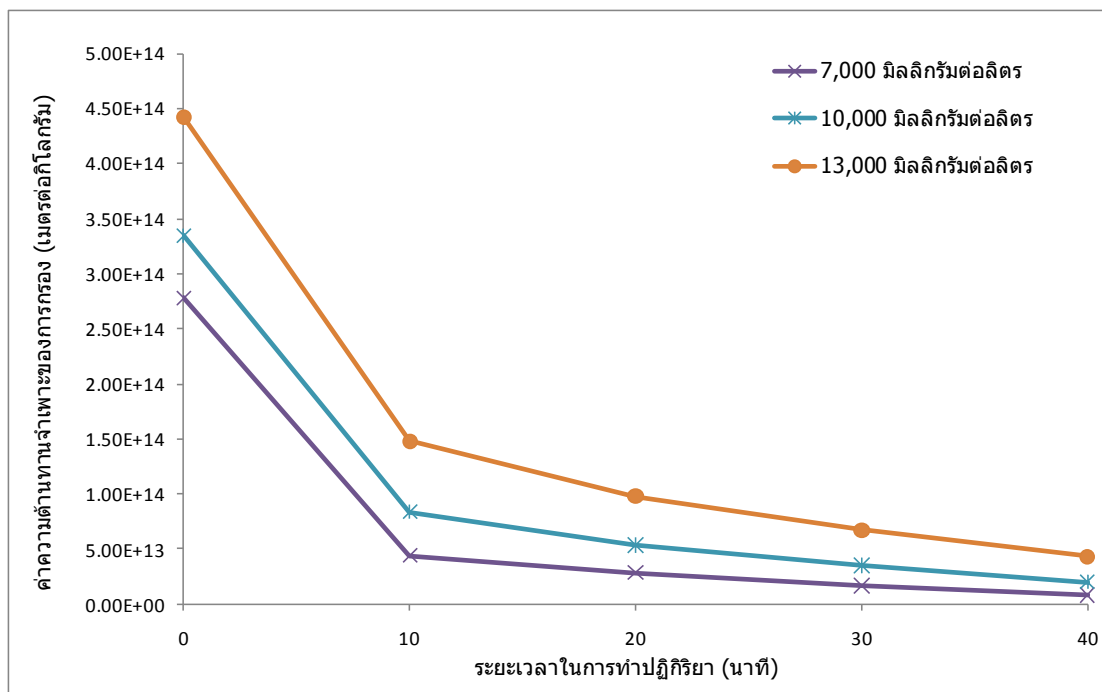
จากผลของลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแยกชีวเคมีดีดสลัดจ์ตลอดทั้งปี 2555 พบว่าความเข้มข้นของสลัดจ์ (ปริมาณของแข็งทั้งหมด) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7,147-12,727 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $10,012 \pm 1,645$  มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมความเข้มข้นของสลัดจ์ตลอดทั้งปี โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของสลัดจ์ทั้งหมด 3 ค่า คือ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา  $5.5 \text{ เมตร}^{-1}$  ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที

ความเข้มข้นสลัดจ์เริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์ และพบว่าประสิทธิภาพการปรับสภาพสลัดจ์จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสลัดจ์มีค่าน้อยลง ปริมาณสารรวมตะกอนที่เกิดขึ้นจากการกร่อนตัวของขั้วอลูมิเนียม (Aluminum Dissolution) ถูกกำหนดโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการเดินระบบ ดังนั้นการ

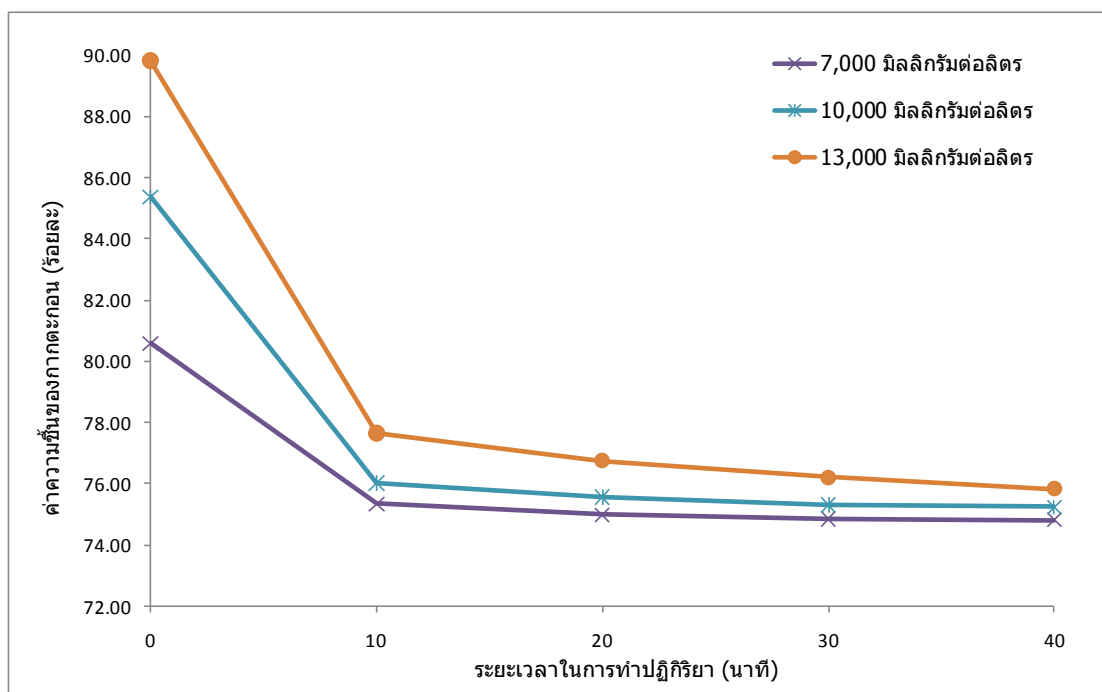
เดินระบบที่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาเท่ากัน ส่งผลให้มีสารรวมตะกอนปริมาณเท่ากันในระบบ ทำให้เมื่อความเข้มข้นสลัดจ์มีค่าสูงปริมาณสารรวมตะกอนที่เกิดขึ้นมีไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสลัดจ์ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพสลัดจ์จึงลดลง ดังรูปที่ 4.47 และ 4.48 และค่าความชื้นของกากตะกอนหลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์แล้วจะมีค่าลดลงสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะของกากกรอง ดังภาพที่ 4.49-4.52



ภาพที่ 4.47 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของกากกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

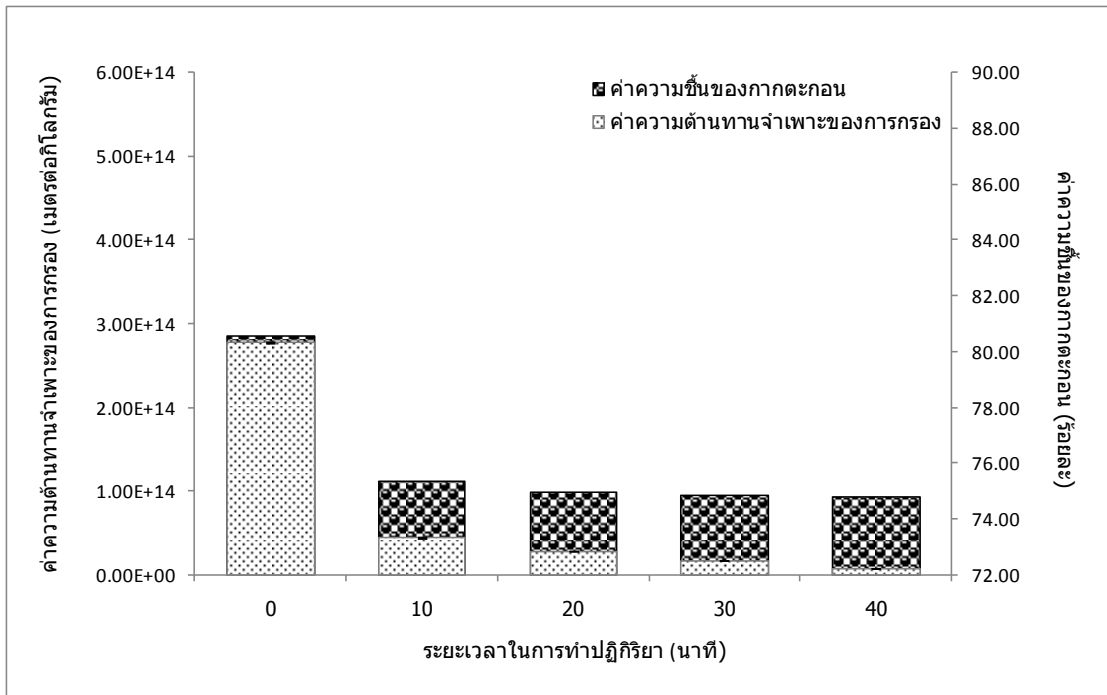


ภาพที่ 4.48 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

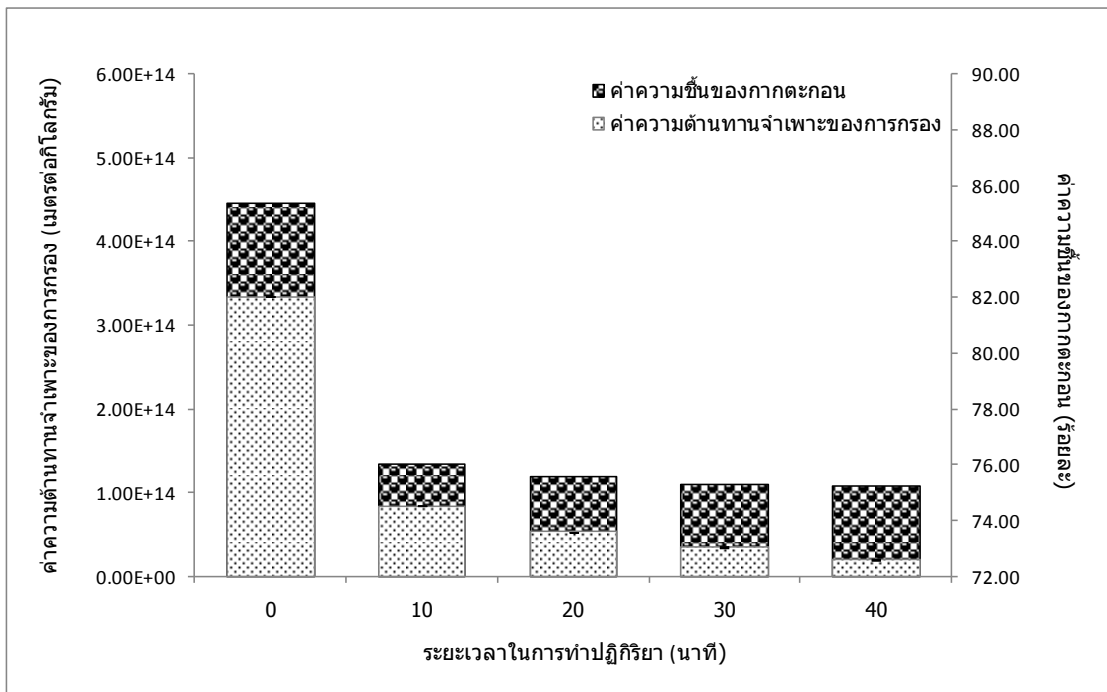


ภาพที่ 4.49 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

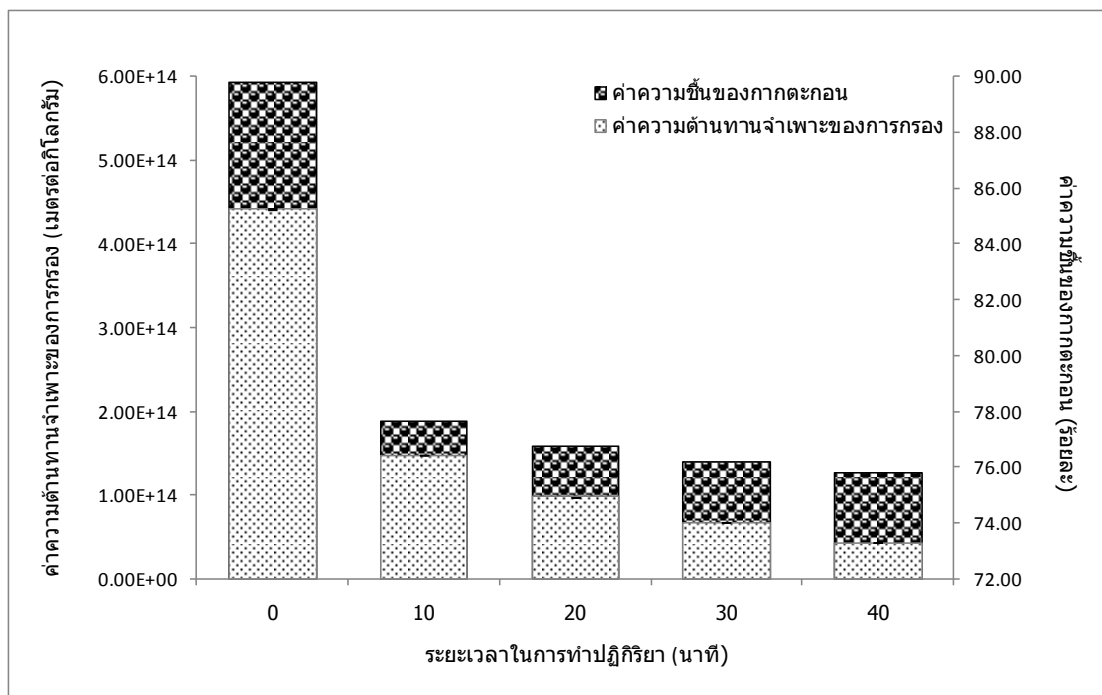




ภาพที่ 4.50 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.51 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



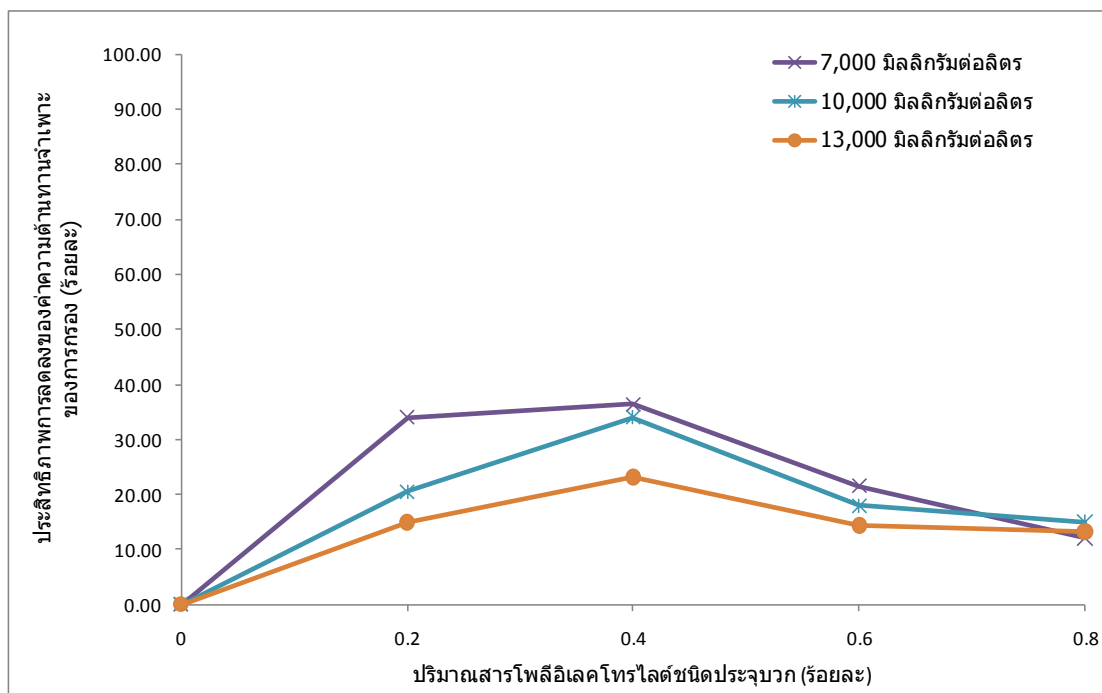
ภาพที่ 4.52 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอน จากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.3 การปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

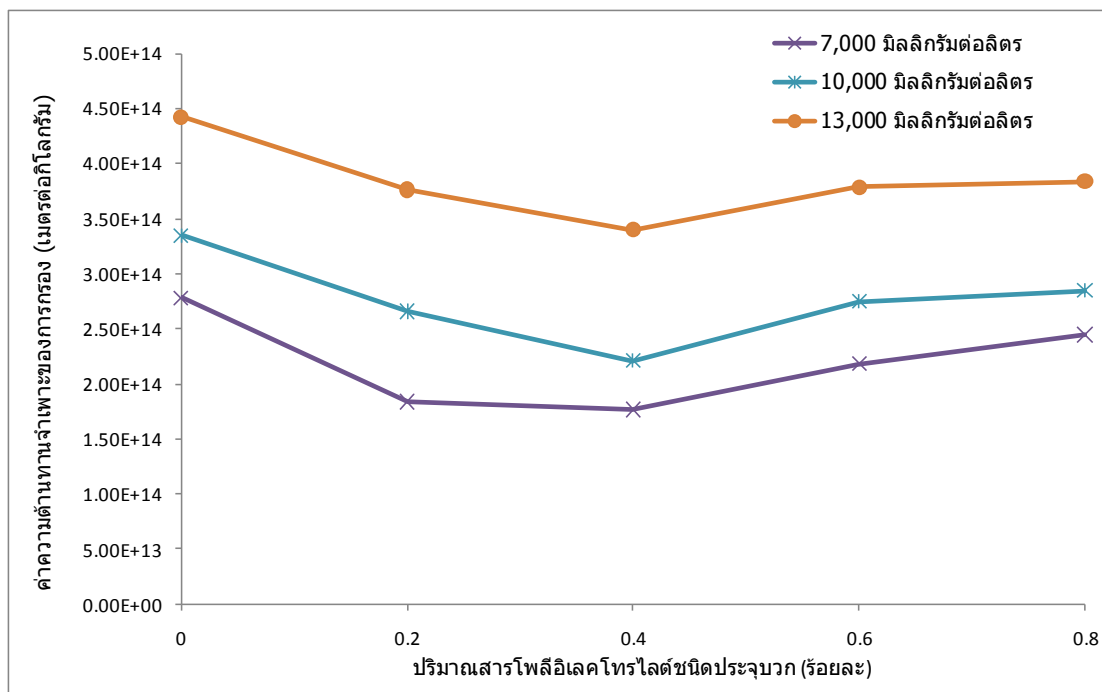
การศึกษากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่ส่งผลต่อค่าความดันทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยใช้ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก 4 ค่า คือ ร้อยละ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง (% dry solid) และความเข้มข้นสลัดจ์ 3 ค่า คือ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพสลัดจ์ คือ ร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง ซึ่งจะให้ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองต่ำสุดเท่ากับ  $1.77 \times 10^{14}$ ,  $2.21 \times 10^{14}$  และ  $3.40 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.53 และ 4.54 และค่าความชื้นของกากตะกอนลดลงต่ำสุดเท่ากับ ร้อยละ 79.38, 81.76 และ 83.55 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.55-4.58 ทั้งนี้เนื่องจากถ้าใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกมากเกินไปจะทำให้

อนุภาคโพลีอิเล็กโทรไลต์หลายโมเลกุลไปจับอนุภาคเดี่ยวจนไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับที่จะจับกับปลายของโพลีอิเล็กโทรไลต์ของอนุภาคอื่น ซึ่งเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle)



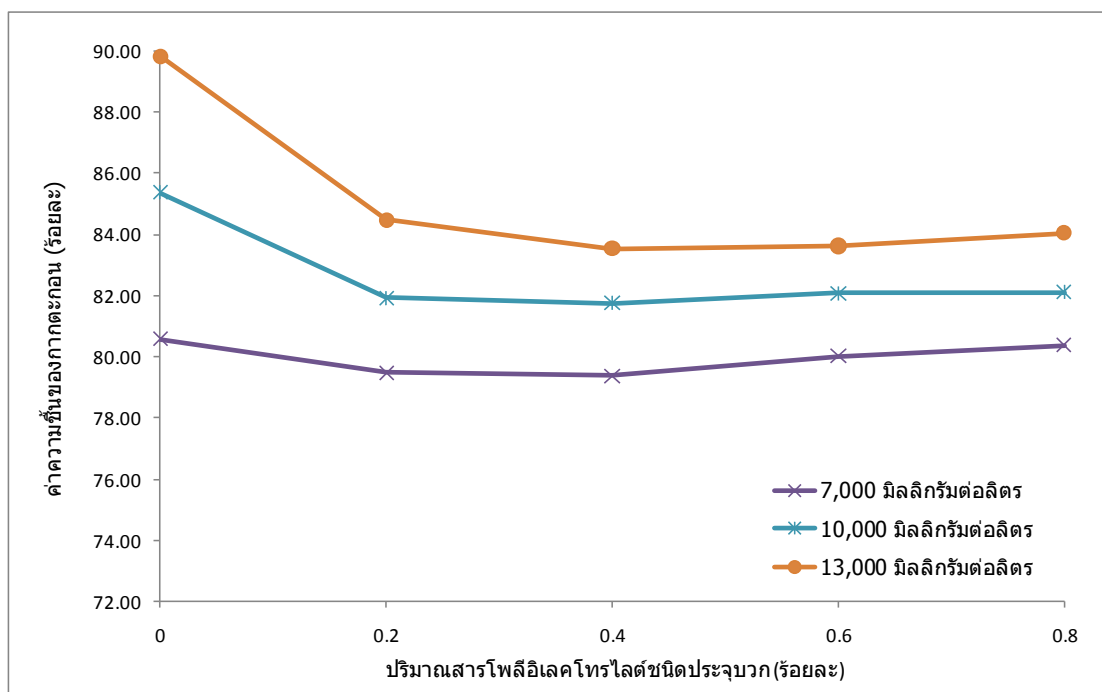
ภาพที่ 4.53 ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.54 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์

โดยใช้สารโพสลิเคคโทรไลต์ชนิดประจุบวก

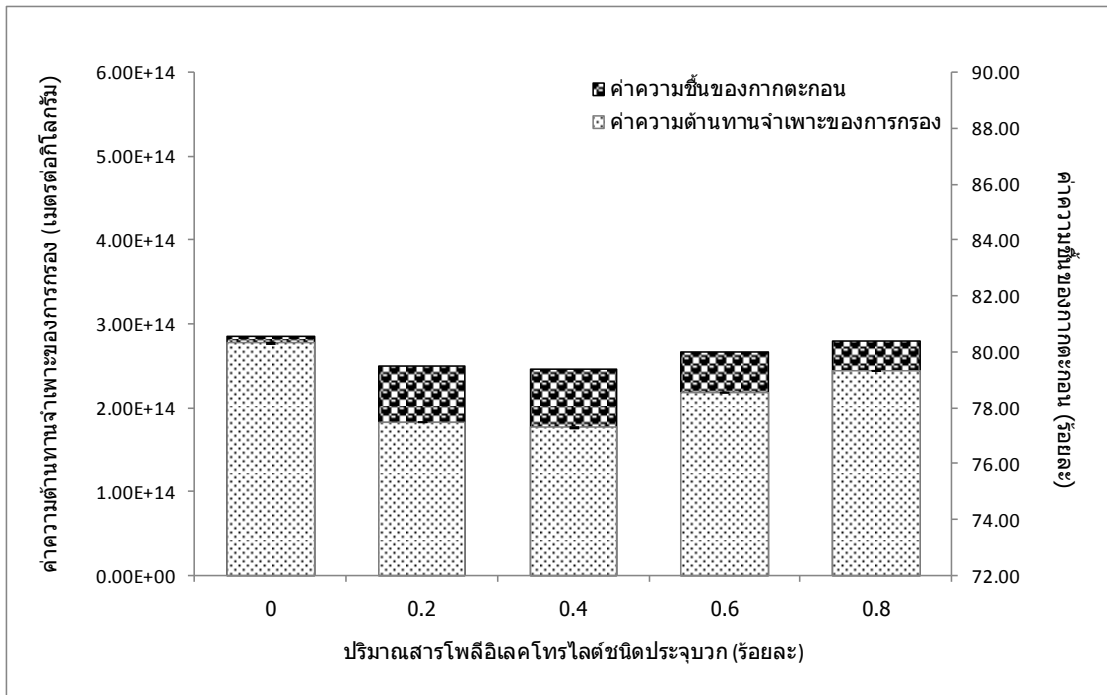
ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



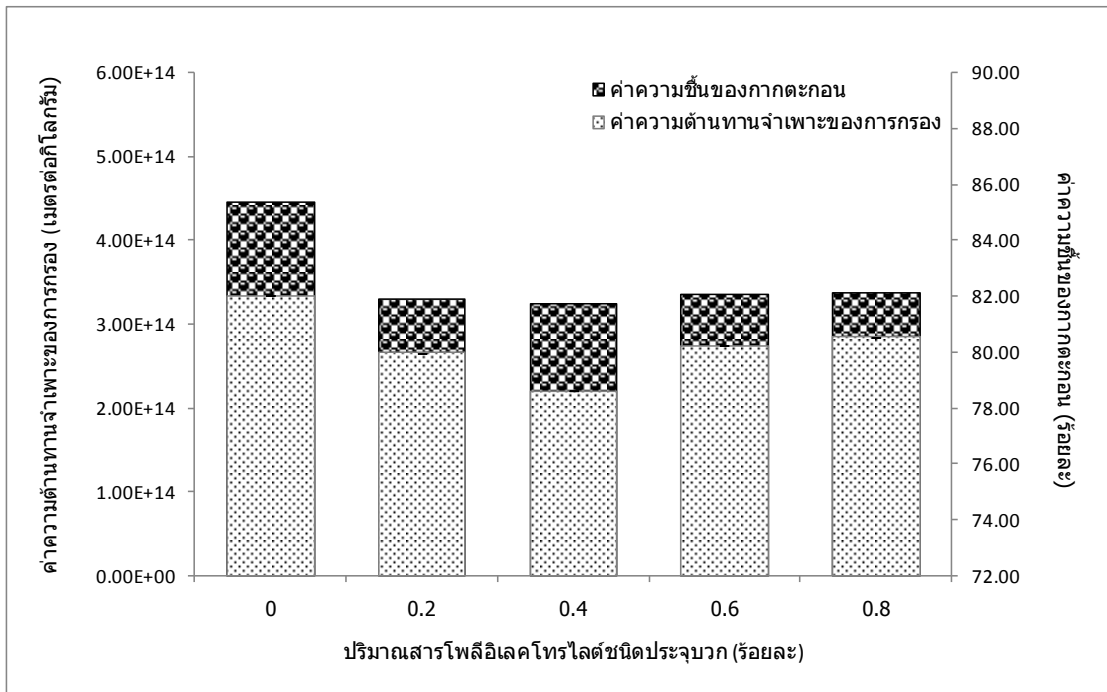
ภาพที่ 4.55 ค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์

โดยใช้สารโพสลิเคคโทรไลต์ชนิดประจุบวก

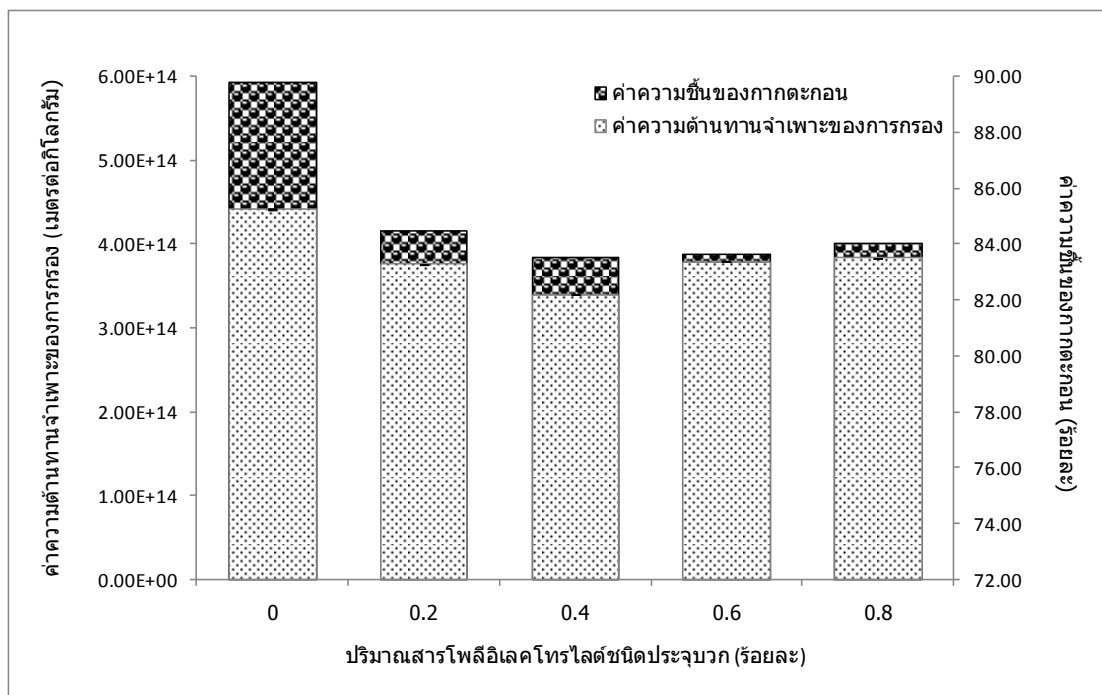
ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.56 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอรัสโดยให้สารโพสฟอรัส 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



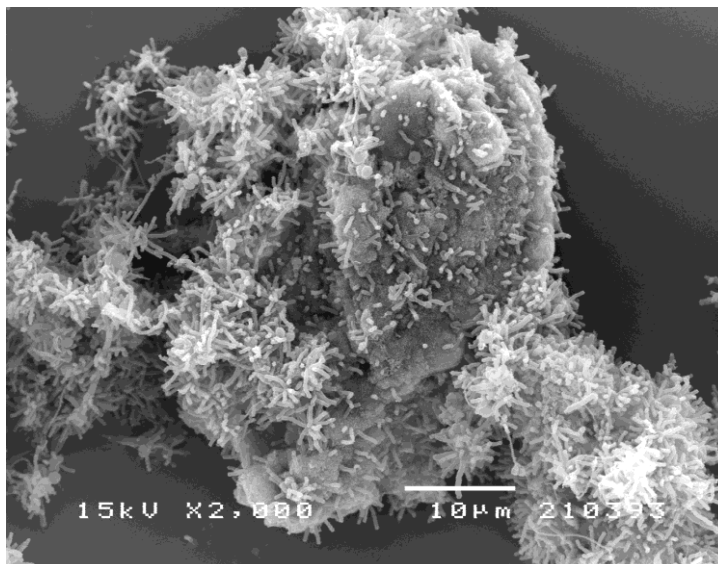
ภาพที่ 4.57 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพสฟอรัสโดยให้สารโพสฟอรัส 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



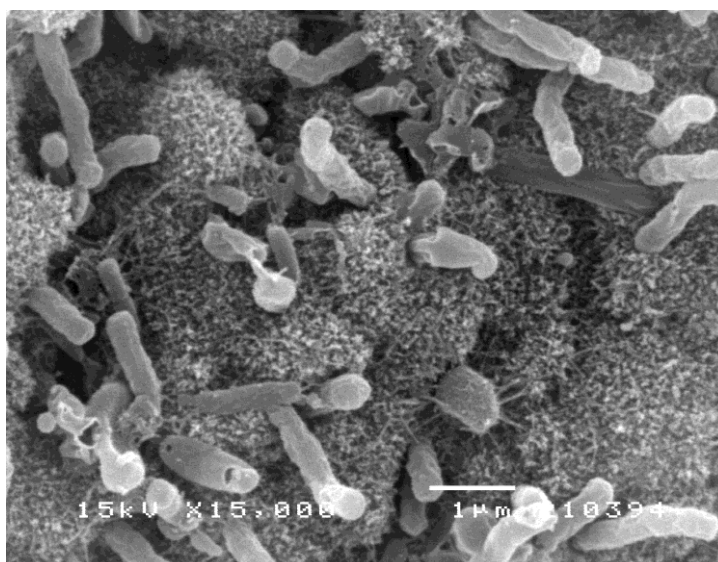
ภาพที่ 4.58 ค่าความดันทานจำเพาะของการกรองและค่าความชื้นของกากตะกอนจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพลีเอทิลีนไกลคอลชนิดประจุบวก ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำสลัดจ์หลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีเอทิลีนไกลคอลชนิดประจุบวก มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) พบว่าลักษณะของเซลล์จุลินทรีย์ในสลัดจ์จะถูกปกคลุมด้วยสารโพลีเอทิลีนไกลคอลชนิดประจุบวก ดังภาพที่ 4.46 และ 4.47 โดยลักษณะของสลัดจ์ที่ได้จะต่างจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เนื่องจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะทำให้เกิดการสร้างสารรวมตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ขึ้นในระบบเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสลัดจ์และรวมสลัดจ์ให้มีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้โมเลกุลของน้ำจะถูกรีดิวซ์ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ส่งผลทำให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการแตกตัว น้ำเกาะติด (Bound Water) หรือน้ำที่ยึดเกาะติดกับอนุภาคของแข็งด้วยพันธะเคมี (Chemical Bound) จะหลุดออกกลายเป็นน้ำอิสระ (Free Water) แต่การปรับสภาพโดยสารโพลีเอทิลีนไกลคอลชนิดประจุบวกเป็นการปรับสภาพโดยใช้สารอินทรีย์โพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคสลัดจ์ (Polymer Bridging) ในขั้นตอนแรกอนุภาคที่มีสารโพลีเอทิลีนไกลคอลเกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ขั้นตอนต่อมาคืออนุภาค

ดังกล่าวจะไปจับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีสารโพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นสะพานเชื่อมซึ่งจะก่อให้เกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ และสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ง่าย



ภาพที่ 4.59 ลักษณะของสไลด์จจากการปรับสภาพสไลด์  
โดยใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก  
(วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า)



ภาพที่ 4.60 ลักษณะของสไลด์จจากการปรับสภาพสไลด์  
โดยใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก  
(วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 15,000 เท่า)

#### 4.4 การเปรียบเทียบการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

การเปรียบเทียบการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกพบว่า ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง และค่าความชื้นของกากตะกอน หลังจากทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีค่าดีกว่าการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่ทุกค่าของความเข้มข้นสลัดจ์ แต่มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่สูง ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะประเมินค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้าและค่าขั้วไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป ซึ่งขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม (ขั้วแอโนด) ที่ถูกใช้ไปจากการกัดกร่อนในแต่ละครั้งการทดลองเมื่อนำมาประเมินค่าใช้จ่ายแล้วจะมีราคาที่สูงกว่าสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกอยู่มาก

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการปรับสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000, 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

พารามิเตอร์	กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (10 นาที)			สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก (ร้อยละ 0.4)		
	7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)	84.11	75.01	66.54	36.38	33.96	23.19
ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	4.42 $\times 10^{13}$	8.36 $\times 10^{13}$	1.48 $\times 10^{14}$	1.77 $\times 10^{14}$	2.21 $\times 10^{14}$	3.40 $\times 10^{14}$
ค่าความชื้นของกากตะกอน (ร้อยละ)	75.34	76.02	77.65	79.38	81.76	83.55
ค่าใช้จ่าย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	29.04	29.04	29.04	7.84	11.20	14.56



#### 4.5 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ

งานวิจัย	การทดลอง	สภาวะการทดลอง	พารามิเตอร์หลังจากทำการปรับปรุงสภาพ		
			ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	ค่าความขึ้นของกากตะกอน (ร้อยละ)
ผลการทดลอง (กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า 10 นาที)	การปรับปรุงสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากก้นถังตกตะกอน ชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋อง ชนิดของขั้วไฟฟ้าคืออลูมิเนียม-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา (A/V) 5.5 เมตร <sup>-1</sup> และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร	ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	84.11	$4.42 \times 10^{13}$	75.34
		ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	75.01	$8.36 \times 10^{13}$	76.02
		ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	66.54	$1.48 \times 10^{14}$	77.65
Buyukkamaci (2004)	การปรับปรุงสภาพสลัดจ์โดยสารเคมีเฟนตัน สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยสลัดจ์ที่นำมาศึกษาถูกปรับให้มีค่าพีเอชต่ำกว่า 3.5 เนื่องจากปฏิกิริยาเฟนตันจะสามารถเกิดได้ดีที่สภาวะเป็นกรด	อัตราส่วนระหว่าง $H_2O_2:Fe^{2+}$ คือ 6,000:6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	92.13	$7.23 \times 10^9$	-

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ (ต่อ)

งานวิจัย	การทดลอง	สภาวะการทดลอง	พารามิเตอร์หลังจากทำการปรับสภาพ		
			ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	ค่าความชื้นของกากตะกอน (ร้อยละ)
Wojciechowska (2005)	การปรับสภาพสลัดจ์โดยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) และสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ทำการทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ และพลังงาน 500 วัตต์	สลัดจ์ชั้นแรก ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 180 วินาที	8	-	-
		สลัดจ์ผสม (สลัดจ์ชั้นแรกและสลัดจ์ชั้นสอง) ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 180 วินาที	10	-	-
		สลัดจ์ย่อยแล้วที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 วินาที	13	-	-
Feng และคณะ (2009)	การปรับสภาพสลัดจ์โดยอัลตราซาวด์ (Ultrasound) สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์	พลังงานจำเพาะ 4,400 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองก่อนปรับสภาพ $2.35 \times 10^{10}$ เมตรต่อกิโลกรัม	48.94	$1.20 \times 10^{10}$	-

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ (ต่อ)

งานวิจัย	การทดลอง	สภาวะการทดลอง	พารามิเตอร์หลังจากทำการปรับสภาพ		
			ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	ค่าความขึ้นของกากตะกอน (ร้อยละ)
Yuan และคณะ (2011)	การปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากก้นถังตกตะกอนชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ-กึ่งไร้อากาศ-เติมอากาศ (Anaerobic-Anoxic-Aerobic) และใช้ตะแกรงไททาเนียมเป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด	ควบคุมระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที และทำการปรับสภาพสลัดจ์ที่ 20 โวลต์ และสลัดจ์มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองก่อนการปรับสภาพ $8.67 \times 10^{11}$ เมตรต่อกิโลกรัม	47.40	$4.56 \times 10^{11}$	-
		ควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ และทำการปรับสภาพสลัดจ์ที่ 15 นาที และสลัดจ์มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองก่อนการปรับสภาพ $2.06 \times 10^{12}$ เมตรต่อกิโลกรัม	58.44	$8.56 \times 10^{11}$	-

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ (ต่อ)

งานวิจัย	การทดลอง	สภาวะการทดลอง	พารามิเตอร์หลังจากทำการปรับปรุงสภาพ		
			ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)	ค่าความชื้นของกากตะกอน (ร้อยละ)
Zhang และคณะ (2012)	การปรับปรุงสภาพสลัดจ์โดยสารโพแทสเซียมเฟอร์เรท ( $K_2FeO_4$ ) สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบไร้อากาศ-กึ่งไร้อากาศ-เติมอากาศ ลักษณะสมบัติของสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ pH 6.68 ค่าความชื้นร้อยละ $98.58 \pm 0.01$ ค่าซีไอดีละลาย $63.83 \pm 2.4$ มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง $7.08 \times 10^9 \pm 2.71 \times 10^7$ เมตรต่อกิโลกรัม	$K_2FeO_4$ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำปฏิกิริยาที่ pH 3	30.51	$4.92 \times 10^9$	75.35
Gharibi และคณะ (2013)	การปรับปรุงสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสรวมกับกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (EL/EC) มีการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ สลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากกั้นถังตกตะกอนชั้นที่ 2 ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ชนิดของขั้วไฟฟ้าแอโนดและขั้วแคโทด คือ ไททาเนียม-ไททาเนียม และอลูมิเนียม-เหล็ก	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ และสลัดจ์มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองก่อนการปรับปรุงสภาพ $2 \times 10^{13}$ เมตรต่อกิโลกรัม	99	$8 \times 10^{10}$	-

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ตลอดปี 2555 สลัดจ์มีค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองอยู่ในช่วงระหว่าง  $2.82 \times 10^{14}$  -  $4.12 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม ค่าพีเอช 6.68-7.02 ค่าการนำไฟฟ้า 2,167-3,913 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าซีไอดีละลาย 97-193 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 7,147-12,727 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 5,760-10,380 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความชื้นของกากตะกอนร้อยละ 81.94-87.83 ตามลำดับ

5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า คือ ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>1</sup> ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลงมากที่สุดเท่ากับ  $4.42 \times 10^{13}$  เมตรต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองร้อยละ 84.11 ค่าความชื้นของกากตะกอนร้อยละ 75.34 และค่าใช้จ่าย 29.04 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

5.1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพสลัดจ์โดยใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ชนิดประจุบวก คือ ปริมาณสารร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองลดลงมากที่สุดเท่ากับ  $1.77 \times 10^{14}$  เมตรต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองร้อยละ 36.38 ค่าความชื้นของกากตะกอนร้อยละ 79.38 และค่าใช้จ่าย 7.84 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำผลการวิจัยการปรับสภาพสัลดิจโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ ไปพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสัลดิจ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อการพัฒนากระบวนการปรับสภาพสัลดิจเป็นอย่างมาก

2. ศึกษาเพิ่มเติมตัวอย่างสัลดิจที่ใช้ในการวิจัยจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ หรือระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน

3. ศึกษาเพิ่มเติมการปรับสภาพสัลดิจโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยทำการจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบหลายเซลล์ (Multiple Polar) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2539. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- ชาติรี เรืองธนนต์วิรัช. 2547. วิธีการลดความต้านทานจำเพาะต่ออาการของตะกอนสำหรับ  
โรงงานผลิตน้ำตาลบางเขน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐพล กลีวัฒน์. 2552. การบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีการเรียง  
ขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชา  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เต็มศักดิ์ โชติวรรณวิรัช. 2538. หลักสูตร Water Purification and Advanced Water Treatment.  
กรุงเทพมหานคร: การประสานครหลวง
- ปริเมธ เจริญนพคุณ. 2545. การกำจัดไนเตรทในน้ำทิ้งชุมชนด้วยไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
โทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหา  
นคร.
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2541. การใช้ลานตากตะกอนในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบบำบัด  
ตะกอนโรงงานผลิตน้ำตาลสวัสดิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรม  
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันดิน ตัณฑุลเวศน์. 2542. วิศวกรรมประปา. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์  
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานิต ปานเอม. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบระบบกำจัดตะกอนชนิดบ่อตากตะกอนบนพื้นที่ทราย  
และชนิดการกรองด้วยแรงอัดของโรงงานผลิตน้ำตาลสวัสดิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
โทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์. 2546. การกำจัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยการให้กระบวนการรวมตะกอน  
ด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชา  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรรณรัตน์ วัฒนชัย. 2547. กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสำหรับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากโรงงานประกอบรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาวิตรี ตาสุดิน. 2552. การกำจัดความขุ่นจากน้ำผิวดินด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อดพล กนกรัตนา. 2539. ผลของการปรับภาวะด้วยสารเคมีต่อความต้านทานจำเพาะต่อการกรองของตะกอนสารส้มจากโรงกรองน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกรัฐ มีวาสนา. 2552. การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำเสียโรงงานผลิตเครื่องสำอางด้วยระบบแยกด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

- Ayhan, I., and Mahmut, O., 2006. Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation using mild steel electrodes. Journal of Hazardous Materials. 137: 1197-1205.
- Barlow, H., and Jesse, H., 1973. Sludge handling and disposal. Journal of the American Water Works Association. 65: 395-399.
- Brien, J.H., and Novak, J.T., 1977. Effect of pH and mixing on polymer conditioning of chemical sludge. Journal of the American Water Works Association. 69: 600-605.
- Calkins, R.J., and Novak, J.T., 1973. Characterization of chemical sludges. Journal of the American Water Works Association. 65: 423-1973.
- Chen, G., 2004. Electrocoagulation technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. 38: 11-44.
- Cornwell, D., Bishop, M.M., Gould, R.G., and Vandermeijder, C., 1987. Handbook of practice water treatment plant waste management. American Water Works Association Research Foundation, Denver.



- Eckenfelder, W.W., and Santhanam, C.J., 1981. Sludge Treatment. Marcel Dekker, New York and Basel.
- Feng, X., Deng, J.C., Lei, H.Y., Bai, T., Fan, Q.J. and Li, Z.X., 2009. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning. Bioresource Technology. 100: 1074-1081.
- Friedrich, H., 1962. Ion Exchange. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Gate, L.D., and McDermott, R.F., 1968. Characterization and conditioning of water treatment plant sludge. Journal of the American Water Works Association. 60: 388-397.
- Hammer, L.G., 1977. Water and wastewater technology. 1st ed. John Wiley and Sons, New York.
- HDR Engineering, Inc., 2001. Handbook of public water systems. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Israilides, C.J., Vlyssides, A.G., Mourafeti, V.N., and Karvouni, G., 1997. Olive oil wastewater treatment with the use of an electrolysis system. Bioresource Technology. 61: 163-170.
- Kannan, N., Karthikeyan, G., and Tamilselvan, N., 2006. Comparison of treatment potential of electrocoagulation of distillery effluent with and with and without activated Areca catechu nut carbon. Journal of Hazardous Materials. 137: 1803-1809.
- Kawamura, S., 2000. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Knocke, W.R., Ghosh, M.M., and Novak, J.T., 1980. Vacuum filtration of metal hydroxide sludges. Journal of the Environmental Engineering Division. 106: 363-376.
- Knocke, W.R., Harmon, J.R., and Dublin, B.F., 1987. Effect of Coagulation on sludge thickening and dewatering. Journal of the American Water Works Association. 79: 89-98.

- Kobta, M., Can, O.T., and Bayrumoglu, M., 2003. Treatment of textile wastewater by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials. 100: 189-199.
- Koppers, H.M.M., 1989. Sludge Disposal. KIWA – Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen, Nieuwegein, Holland.
- Laure, O., Vorobiev, E., Vu, C., and Durand, B., 2003. Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. Separation and Purification Technology. 31: 177-192.
- Lu, M.C., Lin, C.J., Liao, C.H., Huang, R.Y. and Ting, W.P., 2003. Dewatering of activated sludge by Fenton's reagent. Advances in Environmental Research. 7: 667-670.
- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J.A.G., Kesmes, M., Parga, J., and Cocke, D.L., 2004. Fundamentals present and future perspective of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials. 114: 189-199.
- Murugananthan, M., Raju, G.B., and Prabhakar, S., 2004. Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials. 109: 37-44.
- Na, S., Kim, Y.U. and Khim, J., 2007. Physiochemical properties of digested sewage sludge with ultrasonic treatment. Ultrasonics Sonochemistry. 14: 281-285.
- Ohm, T.I., Chae, J.S., Kim, J.E., Kim, H.K. and Moon, S.H., 2009. A study on the dewatering of industrial waste sludge by fry-drying technology. Journal of Hazardous Materials. 168: 445-450.
- Parker, P.J. and Collins, A.G., 1999. Ultra-rapid freezing of water treatment residuals. Water Research. 33: 2239-2246.
- Raghu, S., and Basha, C.A., 2007. Chemical or electrochemical technique, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater. Journal of Hazardous Materials. 149: 324-330.
- Tony, M.A., Zhao, Y.Q., Fu, J.F. and Tayeb, A.M., 2008. Conditioning of aluminum-based water treatment sludge with Fenton's reagent: Effectiveness and optimizing study to improve dewaterability. Chemosphere. 72: 673-677.

- Tsang, K.R., and Vesilind, P.A., 1990. Moisture distribution in sludges. Journal of Water Science and Technology. 22: 135-142.
- USEPA. 1979. Process design manual for sludge treatment and disposal. Center for environmental research information technology transfer, Ohio.
- USEPA. 1996. Technology transfer handbook management of water treatment plant residuals. Office of research and development, Washington D.C.
- Weber, W.J. Jr., 1972. Physicochemical Processes for Water Quality Control. 1st ed. John Wiley and Sons, New York.
- Yuan, H., Zhu, N., and Song, L., 2010. Conditioning of sewage sludge with electrolysis: Effectiveness and optimizing study to improve dewaterability. Bioresource Technology. 101: 4285-4290.
- Yuan, H., Song, L.J., Zhu, N.W., Hong, Y., and Ding, J., 2011. Enhancement of waste activated sludge aerobic digestion by electrochemical pre-treatment. Water Research. 44: 4371-4378.
- Yuan, H., Zhu, N., and Song, F., 2011. Dewaterability characteristics of sludge conditioned with surfactants pretreatment by electrolysis. Bioresource Technology. 102: 2308-2315.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองลักษณะสมบัติของสไลด์จ์  
จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

ตารางที่ ก-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีเว  
เต็ดสลัดจ์ปี 2555

เดือน	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	$3.05 \times 10^{14}$	$3.03 \times 10^{14}$	$3.04 \times 10^{14}$	$3.04 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
กุมภาพันธ์	$3.41 \times 10^{14}$	$3.40 \times 10^{14}$	$3.42 \times 10^{14}$	$3.40 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
มีนาคม	$3.92 \times 10^{14}$	$3.91 \times 10^{14}$	$3.90 \times 10^{14}$	$3.91 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
เมษายน	$4.13 \times 10^{14}$	$4.14 \times 10^{14}$	$4.10 \times 10^{14}$	$4.12 \times 10^{14}$	$2.08 \times 10^{12}$
พฤษภาคม	$3.56 \times 10^{14}$	$3.54 \times 10^{14}$	$3.53 \times 10^{14}$	$3.54 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
มิถุนายน	$3.29 \times 10^{14}$	$3.31 \times 10^{14}$	$3.27 \times 10^{14}$	$3.29 \times 10^{14}$	$2.00 \times 10^{12}$
กรกฎาคม	$3.46 \times 10^{14}$	$3.47 \times 10^{14}$	$3.46 \times 10^{14}$	$3.46 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
สิงหาคม	$3.43 \times 10^{14}$	$3.44 \times 10^{14}$	$3.41 \times 10^{14}$	$3.43 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
กันยายน	$3.40 \times 10^{14}$	$3.38 \times 10^{14}$	$3.38 \times 10^{14}$	$3.39 \times 10^{14}$	$1.15 \times 10^{12}$
ตุลาคม	$3.22 \times 10^{14}$	$3.23 \times 10^{14}$	$3.20 \times 10^{14}$	$3.22 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
พฤศจิกายน	$2.95 \times 10^{14}$	$2.93 \times 10^{14}$	$2.91 \times 10^{14}$	$2.93 \times 10^{14}$	$2.00 \times 10^{12}$
ธันวาคม	$2.84 \times 10^{14}$	$2.82 \times 10^{14}$	$2.80 \times 10^{14}$	$2.82 \times 10^{14}$	$2.00 \times 10^{12}$
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	$3.38 \times 10^{14}$				
ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน ปี 2555	$3.74 \times 10^{13}$				

ตารางที่ ก-2 ค่าพีเอชของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ปี 2555

เดือน	ค่าพีเอช				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	6.97	6.98	6.96	6.97	0.01
กุมภาพันธ์	6.82	6.83	6.84	6.83	0.01
มีนาคม	6.77	6.78	6.78	6.78	0.01
เมษายน	6.68	6.68	6.67	6.68	0.01
พฤษภาคม	6.82	6.83	6.82	6.82	0.01
มิถุนายน	6.94	6.92	6.95	6.94	0.02
กรกฎาคม	6.89	6.87	6.88	6.88	0.01
สิงหาคม	6.90	6.92	6.93	6.92	0.02
กันยายน	6.94	6.93	6.92	6.93	0.01
ตุลาคม	6.95	6.97	6.96	6.96	0.01
พฤศจิกายน	6.98	6.99	6.97	6.98	0.01
ธันวาคม	7.01	7.02	7.02	7.02	0.01
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	6.89				
ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน ปี 2555	0.10				

ตารางที่ ก-3 ค่าการนำไฟฟ้าของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ปี 2555

เดือน	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	3,140	3,150	3,110	3,133	20.82
กุมภาพันธ์	3,500	3,510	3,520	3,510	10.00
มีนาคม	3,880	3,850	3,900	3,877	25.17
เมษายน	3,920	3,900	3,920	3,913	11.55
พฤษภาคม	3,530	3,560	3,520	3,537	20.82
มิถุนายน	3,460	3,450	3,440	3,450	10.00
กรกฎาคม	3,510	3,500	3,530	3,513	15.28
สิงหาคม	3,510	3,500	3,500	3,503	5.77
กันยายน	3,500	3,490	3,480	3,490	10.00
ตุลาคม	3,390	3,380	3,400	3,390	10.00
พฤศจิกายน	2,280	2,290	2,300	2,290	10.00
ธันวาคม	2,160	2,180	2,160	2,167	11.55
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	3,314				
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปี 2555	547				



ตารางที่ ก-4 ค่าซีไอตีละลายของสัจจจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ปี 2555

เดือน	ค่าซีไอตีละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	
มกราคม	140	146	138	141	4.16
กุมภาพันธ์	162	158	158	159	2.31
มีนาคม	190	186	190	189	2.31
เมษายน	198	192	190	193	4.16
พฤษภาคม	160	160	165	162	2.89
มิถุนายน	154	150	158	154	4.00
กรกฎาคม	158	158	156	157	1.15
สิงหาคม	154	158	154	155	2.31
กันยายน	150	154	150	151	2.31
ตุลาคม	146	148	152	149	3.06
พฤศจิกายน	104	100	110	105	5.03
ธันวาคม	98	92	100	97	4.16
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	151				
ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน ปี 2555	28				

ตารางที่ ก-5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ปี 2555

เดือน	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	9,260	9,240	9,260	9,253	11.55
กุมภาพันธ์	10,240	10,260	10,280	10,260	20.00
มีนาคม	12,580	12,560	12,540	12,560	20.00
เมษายน	12,760	12,700	12,720	12,727	30.55
พฤษภาคม	10,440	10,480	10,480	10,467	23.09
มิถุนายน	9,900	9,960	9,960	9,940	34.64
กรกฎาคม	10,260	10,220	10,220	10,233	23.09
สิงหาคม	10,180	10,160	10,180	10,173	11.55
กันยายน	10,140	10,160	10,180	10,160	20.00
ตุลาคม	9,820	9,820	9,780	9,807	23.09
พฤศจิกายน	7,440	7,400	7,420	7,420	20.00
ธันวาคม	7,140	7,140	7,160	7,147	11.55
ค่าเฉลี่ยปี 2555	10,012				
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปี 2555	1,645				

ตารางที่ ก-6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ด  
สลัดจ์ปี 2555

เดือน	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	6,980	6,980	6,960	6,973	11.55
กุมภาพันธ์	7,680	7,720	7,700	7,700	20.00
มีนาคม	10,180	10,200	10,180	10,187	11.55
เมษายน	10,380	10,400	10,360	10,380	20.00
พฤษภาคม	7,920	7,920	7,900	7,913	11.55
มิถุนายน	7,380	7,360	7,400	7,380	20.00
กรกฎาคม	7,660	7,640	7,660	7,653	11.55
สิงหาคม	7,580	7,580	7,600	7,587	11.55
กันยายน	7,580	7,540	7,520	7,547	30.55
ตุลาคม	7,240	7,280	7,280	7,267	23.09
พฤศจิกายน	5,920	5,900	5,960	5,927	30.55
ธันวาคม	5,760	5,780	5,740	5,760	20.00
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	7,689				
ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน ปี 2555	1,387				

ตารางที่ ก-7 ค่าความชื้นของกากตะกอนของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์  
ปี 2555

เดือน	ค่าความชื้นของกากตะกอน (ร้อยละ)				
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
มกราคม	85.48	85.52	85.37	85.46	0.08
กุมภาพันธ์	86.68	86.60	86.55	86.61	0.07
มีนาคม	87.76	87.72	87.60	87.69	0.08
เมษายน	87.78	87.89	87.81	87.83	0.06
พฤษภาคม	85.75	85.78	85.69	85.74	0.05
มิถุนายน	85.30	85.18	85.24	85.24	0.06
กรกฎาคม	85.58	85.60	85.66	85.61	0.04
สิงหาคม	85.52	85.56	85.58	85.55	0.03
กันยายน	85.50	85.47	85.53	85.50	0.03
ตุลาคม	85.14	85.16	85.22	85.17	0.04
พฤศจิกายน	82.30	82.35	82.24	82.30	0.06
ธันวาคม	81.95	81.88	81.98	81.94	0.05
ค่าเฉลี่ย ปี 2555	85.39				
ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน ปี 2555	1.77				

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองปรับสภาพสัณฐานผลึกโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า

### สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

ตารางที่ ข-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	437,46,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ ข-2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	40.03	1,334,333	1	21.48	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$1.0167 \times 10^{11}$	10.49	78.52	$8.34 \times 10^{13}$		
	40	69.57	1,739,250												
	50	137.40	2,748,000												
	60	226.64	3,777,333												
	70	345.02	4,928,857												
	80	476.69	5,958,625												
	90	630.54	7,006,000												
	100	798.90	7,989,000												
	110	1,004.41	9,131,000												
	120	1,214.80	10,123,333												
	130	1,702.69	13,097,615												
	136	2,319.53	17,055,368												
2	30	42.61	1,420,333	1	21.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$1.0178 \times 10^{11}$	10.49	78.68	$8.31 \times 10^{13}$	$8.32 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	71.28	1,782,000												
	50	140.72	2,814,400												
	60	230.24	3,837,333												
	70	349.09	4,987,000												
	80	480.38	6,004,750												
	90	636.87	7,076,333												
	100	804.67	8,046,700												
	110	1,011.58	9,196,182												
	120	1,225.61	10,213,417												
	130	1,711.27	13,163,615												
	136	2,330.23	17,134,044												
3	30	45.02	1,500,667	1	21.42	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.6	$1.0164 \times 10^{11}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.49	85.33	$8.32 \times 10^{13}$		
	40	74.35	1,858,750												
	50	144.57	2,891,400												
	60	234.24	3,904,000												
	70	354.91	5,070,143												
	80	486.23	6,077,875												
	90	642.24	7,136,000												
	100	811.14	8,111,400												
	110	1,019.02	9,263,818												
	120	1,234.31	10,285,917												
	130	1,720.64	13,235,692												
	136	2,339.14	17,199,559												



ตารางที่ ข-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	39.66	1,322,000	1	22.24	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$6.6056 \times 10^{10}$	10.47	77.76	$5.37 \times 10^{13}$		
	40	70.24	1,756,000												
	50	120.59	2,411,800												
	60	184.68	3,078,000												
	70	255.69	3,652,714												
	80	350.14	4,376,750												
	90	449.16	4,990,667												
	100	574.28	5,742,800												
	110	711.89	6,471,727												
	120	863.51	7,195,917												
	130	1,293.53	9,950,231												
	136	2,056.05	15,118,015												
2	30	38.56	1,285,333	1	22.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$6.5733 \times 10^{10}$	10.47	77.87	$5.36 \times 10^{13}$	$5.36 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	69.14	1,728,500												
	50	118.67	2,373,400												
	60	182.49	3,041,500												
	70	253.71	3,624,429												
	80	347.11	4,338,875												
	90	445.38	4,948,667												
	100	570.49	5,704,900												
	110	704.28	6,402,545												
	120	856.21	7,135,083												
	130	1,289.98	9,922,923												
	136	2,050.34	15,076,029												
3	30	35.98	1,199,333	1	22.31	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$6.5830 \times 10^{10}$	10.47	77.69	$5.35 \times 10^{13}$		
	40	66.75	1,668,750												
	50	114.54	2,290,800												
	60	178.31	2,971,833												
	70	249.94	3,570,571												
	80	342.71	4,283,875												
	90	440.28	4,892,000												
	100	564.23	5,642,300												
	110	695.17	6,319,727												
	120	848.34	7,069,500												
	130	1281.27	9,855,923												
	136	2048.64	15,063,529												

ตารางที่ ข-4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	35.65	1,188,333	1	22.85	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.6	$8.41 \times 10^{-4}$	$4.4528 \times 10^{10}$	10.46	77.15	$3.74 \times 10^{13}$		
	40	64.03	1,600,750												
	50	105.16	2,103,200												
	60	152.59	2,543,167												
	70	212.06	3,029,429												
	80	279.42	3,492,750												
	90	343.73	3,819,222												
	100	437.01	4,370,100												
	110	524.67	4,769,727												
	120	618.12	5,151,000												
	130	980.31	7,540,846												
136	1,503.97	10,898,333													
2	30	32.11	1,070,333	1	22.64	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.8	$8.37 \times 10^{-4}$	$4.4641 \times 10^{10}$	10.46	77.36	$3.76 \times 10^{13}$	$3.76 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	61.98	1,549,500												
	50	101.31	2,026,200												
	60	148.64	2,477,333												
	70	207.58	2965,429												
	80	273.71	3,421,375												
	90	336.14	3,734,889												
	100	429.9	4,299,000												
	110	513.18	4,665,273												
	120	611.84	5,098,667												
	130	978.21	7,524,692												
136	1499.38	11,106,519													
3	30	30.21	1,007,000	1	22.71	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.9	$8.35 \times 10^{-4}$	$4.4616 \times 10^{10}$	10.46	77.29	$3.77 \times 10^{13}$		
	40	59.64	1,491,000												
	50	99.23	1,984,600												
	60	144.25	2,404,167												
	70	203.91	2,913,000												
	80	268.77	3,359,625												
	90	330.84	3,676,000												
	100	423.39	4,233,900												
	110	507.38	4,612,545												
	120	604.27	5,035,583												
	130	972.32	7,479,385												
136	1490.58	10,960,147													

ตารางที่ ข-5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดอลูมิเนียม-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	14.54	484,667	1	23.00	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.1	$8.31 \times 10^{-4}$	$3.1381 \times 10^{10}$	10.45	77.00	$2.67 \times 10^{13}$		
	40	26.62	665,500												
	50	46.26	925,200												
	60	72.54	1,209,000												
	70	105.38	1,505,429												
	80	143.34	1,791,750												
	90	192.67	2,140,778												
	100	246.1	2,461,000												
	110	310.08	2,818,909												
	120	404.1	3,367,500												
	130	768.98	5,915,231												
136	1,304.34	9,733,881													
2	30	12.87	429,000	1	22.93	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.7	$8.20 \times 10^{-4}$	$3.0865 \times 10^{10}$	10.45	77.07	$2.66 \times 10^{13}$	$2.66 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	24.59	614,750												
	50	43.95	879,000												
	60	69.61	1,160,167												
	70	101.58	1,451,143												
	80	140.67	1,758,375												
	90	187.29	2,081,000												
	100	240.78	2,407,800												
	110	304.56	2,768,727												
	120	386.64	3,222,000												
	130	760.98	5,853,692												
136	1,297.44	9,540,000													
3	30	11.98	399,333	1	22.86	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.5	$8.24 \times 10^{-4}$	$3.0935 \times 10^{10}$	10.46	77.14	$2.65 \times 10^{13}$		
	40	22.46	561,500												
	50	39.78	795,600												
	60	65.49	1,091,500												
	70	98.47	1,406,714												
	80	137.82	1,722,750												
	90	183.49	2,038,778												
	100	236.74	2,367,400												
	110	299.51	2,722,818												
	120	379.89	3,165,750												
	130	758.34	5,833,385												
136	1,289.97	9,485,074													

ตารางที่ ข-6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	171.03	5,701,000	1	17.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.1	$8.89 \times 10^{-4}$	$3.0844 \times 10^{11}$	10.61	82.53	$2.41 \times 10^{14}$		
	40	342.45	8,561,250												
	50	587.83	11,756,600												
	60	910.84	15,180,667												
	70	1,289.98	18,428,286												
	80	1,681.89	21,023,625												
	90	2,189.88	24,332,000												
	100	2,740.26	27,402,600												
	110	3,343.66	30,396,909												
	120	3,988.07	33,233,917												
	130	5,959.94	45,845,692												
	136	8,065.62	59,306,029												
2	30	172.88	5,762,667	1	17.52	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$3.0823 \times 10^{11}$	10.60	82.48	$2.42 \times 10^{14}$	$2.41 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
	40	358.30	8,957,500												
	50	589.63	11,792,600												
	60	913.03	15,217,167												
	70	1,281.35	18,305,000												
	80	1,696.68	21,208,500												
	90	2,186.80	24,297,778												
	100	2,742.06	27,420,600												
	110	3,369.77	30,634,273												
	120	4,005.74	33,381,167												
	130	5,659.94	43,538,000												
	136	7,805.62	57,394,265												
3	30	171.36	5,712,000	1	17.54	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$3.0624 \times 10^{11}$	10.60	82.46	$2.40 \times 10^{14}$		
	40	357.85	8,946,250												
	50	589.78	11,795,600												
	60	911.13	15,185,500												
	70	1,288.56	18,408,000												
	80	1,693.45	21,168,125												
	90	2,173.65	24,151,667												
	100	2,727.35	27,273,500												
	110	3,338.02	30,345,636												
	120	3,998.14	33,317,833												
	130	5,649.55	43,458,077												
	136	7,787.67	57,262,279												

ตารางที่ ข-7 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	162.14	5,404,667	1	19.68	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.9034 \times 10^{11}$	10.53	80.32	$1.50 \times 10^{14}$		
	40	255.34	6,383,500												
	50	411.68	8,233,600												
	60	605.87	10,097,833												
	70	841.46	12,020,857												
	80	1,119.51	13,993,875												
	90	1,421.73	15,797,000												
	100	1,786.27	17,862,700												
	110	2,183.46	19,849,636												
	120	2,682.91	22,357,583												
	130	4,029.24	30,994,154												
	136	5,880.65	43,240,074												
2	30	165.32	5,510,667	1	19.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.8994 \times 10^{11}$	10.53	82.48	$1.50 \times 10^{14}$	$1.50 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	258.64	6,466,000												
	50	414.21	8,284,200												
	60	609.34	10,155,667												
	70	859.16	12,273,714												
	80	1,124.87	14,060,875												
	90	1,427.43	15,860,333												
	100	1,792.31	17,923,100												
	110	2,190.15	19,910,455												
	120	2,690.64	22,422,000												
	130	4,035.89	31,045,308												
	136	5,883.14	43,258,382												
3	30	161.71	5,390,333	1	19.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$1.9045 \times 10^{11}$	10.54	80.37	$1.51 \times 10^{14}$		
	40	254.92	6,373,000												
	50	409.35	8,187,000												
	60	604.84	10,080,667												
	70	840.42	12,006,000												
	80	1,118.73	13,984,125												
	90	1,420.26	15,780,667												
	100	1,784.34	17,843,400												
	110	2,182.61	19,841,909												
	120	2,681.44	22,345,333												
	130	4,031.76	31,013,538												
	136	5,879.24	43,229,706												

ตารางที่ ข-8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	150.65	5,021,667	1	20.49	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.5125 \times 10^{11}$	10.51	79.51	$1.20 \times 10^{14}$		
	40	255.25	6,381,250												
	50	395.13	7,902,600												
	60	557.45	9,290,833												
	70	754.83	10,783,286												
	80	981.60	12,270,000												
	90	1,233.35	13,703,889												
	100	1,554.25	15,542,500												
	110	1,856.32	16,875,636												
	120	2,245.00	18,708,333												
	130	3,964.28	30,494,462												
136	5,828.89	42,859,485													
2	30	151.13	5,037,667	1	20.45	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.6	$8.79 \times 10^{-4}$	$1.5089 \times 10^{11}$	10.51	79.55	$1.20 \times 10^{14}$	$1.20 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	257.32	6,433,000												
	50	397.88	7,957,600												
	60	561.45	9,357,500												
	70	758.24	10,832,000												
	80	986.69	12,333,625												
	90	1,238.48	13,760,889												
	100	1,561.76	15,617,600												
	110	1,862.21	16,929,182												
	120	2,237.55	18,646,250												
	130	3,956.47	30,434,385												
136	5,820.36	42,796,765													
3	30	155.48	5,182,667	1	20.43	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$8.87 \times 10^{-4}$	10.51	79.57	$1.19 \times 10^{14}$		
	40	261.65	6,541,250												
	50	403.25	8,065,000												
	60	566.84	9,447,333												
	70	764.51	10,921,571												
	80	992.36	12,404,500												
	90	1,248.65	13,873,889												
	100	1,568.21	15,682,100												
	110	1,869.56	16,996,000												
	120	2,245.84	18,715,333												
	130	3,964.65	30,497,308												
136	5,836.47	42,915,221													

ตารางที่ ข-9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	143.65	4,788,333	1	20.76	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.3907 \times 10^{11}$	10.51	79.24	$1.10 \times 10^{14}$		
	40	243.25	6,081,250												
	50	372.48	7,449,600												
	60	533.53	8,892,167												
	70	715.24	10,217,714												
	80	921.58	11,519,750												
	90	1,153.25	12,813,889												
	100	1,422.31	14,223,100												
	110	1,733.12	15,755,636												
	120	2,105.45	17,545,417												
	130	3,904.82	30,037,077												
	136	5,820.11	42,794,926												
2	30	140.13	4,671,000	1	20.71	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$1.3936 \times 10^{11}$	10.51	79.29	$1.11 \times 10^{14}$	$1.10 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	239.54	5,988,500												
	50	368.22	7,364,400												
	60	528.65	8,810,833												
	70	710.12	10,144,571												
	80	917.35	11,466,875												
	90	1,147.62	12,751,333												
	100	1,415.24	14,152,400												
	110	1,724.38	15,676,182												
	120	2,094.56	17,454,667												
	130	3,900.21	30,001,615												
	136	5,818.35	42,781,985												
3	30	139.54	4,651,333	1	20.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$1.3877 \times 10^{11}$	10.51	79.33	$1.10 \times 10^{14}$		
	40	237.61	5,940,250												
	50	365.14	7,302,800												
	60	524.68	8,744,667												
	70	705.87	10,083,857												
	80	911.32	11,391,500												
	90	1,140.54	12,672,667												
	100	1,405.61	14,056,100												
	110	1,716.50	15,604,545												
	120	2,084.26	17,368,833												
	130	3,902.53	30,019,462												
	136	5,822.47	42,812,279												

ตารางที่ ข-10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	152.12	5,070,667	1	15.50	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.9	$7.83 \times 10^{-4}$	$3.5821 \times 10^{11}$	10.69	84.50	$3.16 \times 10^{14}$		
	40	356.52	8,913,000												
	50	597.11	11,942,200												
	60	920.88	15,348,000												
	70	1,298.64	18,552,000												
	80	1,744.23	21,802,875												
	90	2,299.95	25,555,000												
	100	2,975.03	29,750,300												
	110	3,728.97	33,899,727												
	120	4,518.15	37,651,250												
	130	5,688.12	43,754,769												
	136	7,835.62	57,614,853												
2	30	151.52	5,050,667	1	15.45	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$3.6010 \times 10^{11}$	10.69	84.55	$3.17 \times 10^{14}$	$3.17 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	357.12	8,928,000												
	50	594.78	11,895,600												
	60	923.74	15,395,667												
	70	1,302.15	18,602,143												
	80	1,748.85	21,860,625												
	90	2,298.45	25,538,333												
	100	2,965.51	29,655,100												
	110	3,733.12	33,937,455												
	120	4,560.87	38,007,250												
	130	5,683.45	43,718,846												
	136	7,842.35	57,664,338												
3	30	150.45	5,015,000	1	15.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.9	$7.83 \times 10^{-4}$	$3.5945 \times 10^{11}$	10.69	84.53	$3.17 \times 10^{14}$		
	40	356.31	8,907,750												
	50	596.02	11,920,400												
	60	929.45	15,490,833												
	70	1,301.98	18,599,714												
	80	1,749.23	21,865,375												
	90	2,333.45	25,927,222												
	100	2,982.01	29,820,100												
	110	3,736.36	33,966,909												
	120	4,516.58	37,638,167												
	130	5,687.52	43,750,154												
	136	7,849.85	57,719,485												



ตารางที่ ข-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	168.58	5,619,333	1	16.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.6	$7.88 \times 10^{-4}$	$3.4262 \times 10^{11}$	10.66	83.97	$3.01 \times 10^{14}$		
	40	363.15	9,078,750												
	50	603.15	12,063,000												
	60	923.52	15,392,000												
	70	1,294.32	18,490,286												
	80	1,732.54	21,656,750												
	90	2,261.35	25,126,111												
	100	2,866.11	28,661,100												
	110	3,618.45	32,895,000												
	120	4,451.03	37,091,917												
	130	6,567.21	50,517,000												
136	7,829.65	57,570,956													
2	30	158.35	5,278,333	1	15.98	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$3.4292 \times 10^{11}$	10.67	84.04	$3.03 \times 10^{14}$	$3.17 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	352.15	8,803,750												
	50	598.45	11,969,000												
	60	911.25	15,187,500												
	70	1,281.24	18,303,429												
	80	1,720.85	21,510,625												
	90	2,248.64	24,984,889												
	100	2,844.61	28,446,100												
	110	3,588.50	32,622,727												
	120	4,421.52	36,846,000												
	130	6,516.65	50,128,077												
136	7,808.64	57,416,471													
3	30	162.85	5,428,333	1	16.08	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.9	$7.83 \times 10^{-4}$	$3.4205 \times 10^{11}$	10.66	83.92	$3.02 \times 10^{14}$		
	40	356.44	8,911,000												
	50	603.64	12,072,800												
	60	916.50	15,275,000												
	70	1,285.64	18,366,286												
	80	1,725.35	21,566,875												
	90	2,254.12	25,045,778												
	100	2,850.41	28,504,100												
	110	3,595.36	32,685,091												
	120	4,428.65	36,905,417												
	130	6,524.15	50,185,769												
136	7,812.65	57,445,956													

ตารางที่ ข-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	140.95	4,698,333	1	16.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.4	$7.91 \times 10^{-4}$	$3.3061 \times 10^{11}$	10.64	83.45	$2.90 \times 10^{14}$		
	40	296.13	7,403,250												
	50	516.36	10,327,200												
	60	795.63	13,260,500												
	70	1,165.02	16,643,143												
	80	1,591.31	19,891,375												
	90	2,089.45	23,216,111												
	100	2,682.65	26,826,500												
	110	3,313.38	30,121,636												
	120	4,175.35	34,794,583												
	130	5,192.85	39,945,000												
	136	6,695.55	49,231,985												
2	30	146.06	4,868,667	1	16.48	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.0	$7.98 \times 10^{-4}$	$3.3336 \times 10^{11}$	10.64	83.52	$2.90 \times 10^{14}$	$2.90 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	299.98	7,499,500												
	50	525.10	10,502,000												
	60	820.30	13,671,667												
	70	1,170.05	16,715,000												
	80	1,597.86	19,973,250												
	90	2,106.86	23,409,556												
	100	2,709.71	27,097,100												
	110	3,385.20	30,774,545												
	120	4,206.63	35,055,250												
	130	5,495.49	42,273,000												
	136	7,683.83	56,498,750												
3	30	142.13	4,737,667	1	16.53	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.3	$7.93 \times 10^{-4}$	$3.3283 \times 10^{11}$	10.64	83.47	$2.91 \times 10^{14}$		
	40	297.11	7,427,750												
	50	548.05	10,961,000												
	60	812.32	13,538,667												
	70	1,189.85	16,997,857												
	80	1,602.61	20,032,625												
	90	2,111.36	23,459,556												
	100	2,705.01	27,050,100												
	110	3,382.41	30,749,182												
	120	4,204.30	35,035,833												
	130	5,505.01	42,346,231												
	136	7,694.86	56,579,853												

ตารางที่ ข-13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์-แกรไฟต์ ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	134.06	4,468,667	1	16.62	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.2605 \times 10^{11}$	10.64	83.38	$2.84 \times 10^{14}$		
	40	280.50	7,012,500												
	50	519.52	10,390,400												
	60	790.02	13,167,000												
	70	1,135.80	16,225,714												
	80	1,562.71	19,533,875												
	90	2,066.63	22,962,556												
	100	2,639.87	26,398,700												
	110	3,288.65	29,896,818												
	120	4,070.41	33,920,083												
	130	5,218.05	40,138,846												
2	30	142.21	4,740,333	1	16.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.2726 \times 10^{11}$	10.64	83.40	$2.86 \times 10^{14}$	$2.85 \times 10^{14}$	$1.15 \times 10^{12}$
	40	287.34	7,183,500												
	50	523.46	10,469,200												
	60	795.10	13,251,667												
	70	1,162.13	16,601,857												
	80	1,586.57	19,832,125												
	90	2,071.91	23,021,222												
	100	2,668.16	26,681,600												
	110	3,321.80	30,198,182												
	120	4,105.82	34,215,167												
	130	5,229.65	40,228,077												
3	30	140.98	4,699,333	1	16.65	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.4	$7.91 \times 10^{-4}$	$3.2579 \times 10^{11}$	10.64	83.34	$2.86 \times 10^{14}$		
	40	295.61	7,390,250												
	50	526.01	10,520,200												
	60	792.32	13,205,333												
	70	1,159.36	16,562,286												
	80	1,582.85	19,785,625												
	90	2,067.12	22,968,000												
	100	2,663.31	26,633,100												
	110	3,316.71	30,151,909												
	120	4,099.30	34,160,833												
	130	5,219.64	40,151,077												
	30	140.98	4,699,333	1	16.65	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.4	$7.91 \times 10^{-4}$	$3.2579 \times 10^{11}$	10.64	83.34	$2.86 \times 10^{14}$		
	40	295.61	7,390,250												
	50	526.01	10,520,200												
	60	792.32	13,205,333												
	70	1,159.36	16,562,286												
	80	1,582.85	19,785,625												
	90	2,067.12	22,968,000												
	100	2,663.31	26,633,100												
	110	3,316.71	30,151,909												
	120	4,099.30	34,160,833												
	130	5,219.64	40,151,077												

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองปรับสภาพสัณฐานโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ศึกษาระยะเวลาห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

### สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

ตารางที่ ค-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	437,46,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ ค-2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	30.87	1,029,000	1	21.80	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.3	$7.76 \times 10^{-4}$	$7.4988 \times 10^{10}$	10.48	78.20	$6.81 \times 10^{13}$		
	40	62.97	1,574,250												
	50	114.03	2,280,600												
	60	178.27	2,971,167												
	70	257.28	3,675,429												
	80	349.73	4,371,625												
	90	466.83	5,187,000												
	100	600.87	6,008,700												
	110	754.62	6,860,182												
	120	933.40	7,778,333												
	130	1,160.45	8,926,538												
	136	2,417.20	17,773,529												
2	30	35.63	1,187,667	1	21.74	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.7	$7.70 \times 10^{-4}$	$7.4436 \times 10^{10}$	10.48	78.26	$6.81 \times 10^{13}$	$6.82 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	67.29	1,682,250												
	50	119.15	2,383,000												
	60	182.18	3,036,333												
	70	261.78	3,739,714												
	80	359.65	4,495,625												
	90	478.53	5,317,000												
	100	610.23	6,102,300												
	110	765.03	6,954,818												
	120	938.75	7,822,917												
	130	1,265.77	9,736,692												
	136	2,501.56	18,393,824												
3	30	32.88	1,096,000	1	21.83	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.9	$7.67 \times 10^{-4}$	$7.4403 \times 10^{10}$	10.48	78.17	$6.83 \times 10^{13}$		
	40	64.45	1,611,250												
	50	114.87	2,297,400												
	60	177.35	2,955,833												
	70	256.87	3,669,571												
	80	352.71	4,408,875												
	90	471.39	5,237,667												
	100	602.73	6,027,300												
	110	753.86	6,853,273												
	120	929.34	7,744,500												
	130	1,259.16	9,685,846												
	136	2,498.64	18,372,353												

ตารางที่ ค-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	28.46	948,667	1	22.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$4.9873 \times 10^{10}$	10.47	77.53	$4.49 \times 10^{13}$		
	40	52.34	1,308,500												
	50	84.63	1,692,600												
	60	127.64	2,127,333												
	70	183.92	2,627,429												
	80	254.37	3,179,625												
	90	336.28	3,736,444												
	100	425.96	4,259,600												
	110	524.61	4,769,182												
	120	645.20	5,376,667												
	130	849.34	6,533,385												
	136	1,341.53	9,864,191												
2	30	27.35	911,667	1	22.53	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.0	$7.81 \times 10^{-4}$	$4.9553 \times 10^{10}$	10.46	77.47	$4.48 \times 10^{13}$	$4.49 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	51.99	1,299,750												
	50	82.38	1,647,600												
	60	125.87	2,097,833												
	70	180.32	2,576,000												
	80	251.28	3,141,000												
	90	332.21	3,691,222												
	100	420.35	4,203,500												
	110	519.98	4,727,091												
	120	638.01	5,316,750												
	130	841.71	6,474,692												
	136	1,330.09	9,780,074												
3	30	24.87	829,000	1	22.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.1	$7.79 \times 10^{-4}$	$4.9674 \times 10^{10}$	10.46	77.40	$4.50 \times 10^{13}$		
	40	48.35	1,208,750												
	50	79.48	1,589,600												
	60	122.15	2,035,833												
	70	176.37	2,519,571												
	80	246.62	3,082,750												
	90	324.39	3,604,333												
	100	413.40	4,134,000												
	110	512.67	4,660,636												
	120	630.26	5,252,167												
	130	832.64	6,404,923												
	136	1,322.57	9,724,779												



ตารางที่ ค-4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	19.85	661,667	1	22.96	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$3.2282 \times 10^{10}$	10.45	77.04	$2.91 \times 10^{13}$		
	40	33.85	846,250												
	50	54.72	1,094,400												
	60	83.54	1,392,333												
	70	120.09	1,715,571												
	80	164.66	2,058,250												
	90	216.08	2,400,889												
	100	273.04	2,730,400												
	110	341.49	3,104,455												
	120	424.86	3,540,500												
	130	595.51	4,580,846												
	136	963.86	7,087,206												
2	30	20.12	670,667	1	22.89	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.6	$8.22 \times 10^{-4}$	$3.4110 \times 10^{10}$	10.46	77.11	$2.93 \times 10^{13}$	$2.92 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	35.90	897,500												
	50	60.91	1,218,200												
	60	90.03	1,500,500												
	70	127.18	1,816,857												
	80	172.82	2,160,250												
	90	227.44	2,527,111												
	100	290.11	2,901,100												
	110	359.93	3,272,091												
	120	451.43	3,761,917												
	130	658.85	5,068,077												
	136	1,075.15	7,905,515												
3	30	17.57	585,667	1	22.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.0	$8.15 \times 10^{-4}$	$3.3792 \times 10^{10}$	10.46	77.08	$2.93 \times 10^{13}$		
	40	32.16	804,000												
	50	57.34	1,146,800												
	60	86.47	1,441,167												
	70	123.37	1,762,429												
	80	167.54	2,094,250												
	90	221.23	2,458,111												
	100	284.89	2,848,900												
	110	349.37	3,176,091												
	120	433.74	3,614,500												
	130	650.98	5,007,538												
	136	1,066.75	7,843,750												

ตารางที่ ค-5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	18.87	629,000	1	23.06	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.7	$8.03 \times 10^{-4}$	$2.3171 \times 10^{10}$	10.45	76.94	$2.04 \times 10^{13}$		
	40	31.03	775,750												
	50	48.88	977,600												
	60	73.02	1,217,000												
	70	99.44	1,420,571												
	80	134.23	1,677,875												
	90	169.84	1,887,111												
	100	214.90	2,149,000												
	110	264.26	2,402,364												
	120	325.10	2,709,167												
	130	462.12	3,554,769												
2	30	19.58	652,667	1	23.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.0	$8.15 \times 10^{-4}$	$2.3460 \times 10^{10}$	10.45	77.00	$2.03 \times 10^{13}$	$2.04 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	32.55	813,750												
	50	50.75	1,015,000												
	60	74.39	1,239,833												
	70	102.72	1,467,429												
	80	135.97	1,699,625												
	90	175.35	1,948,333												
	100	220.15	2,201,500												
	110	271.33	2,466,636												
	120	329.64	2,747,000												
	130	470.98	3,622,923												
3	30	18.34	611,333	1	23.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.9	$8.17 \times 10^{-4}$	$2.3631 \times 10^{10}$	10.46	76.97	$2.04 \times 10^{13}$		
	40	31.64	791,000												
	50	49.31	986,200												
	60	73.22	1,220,333												
	70	101.98	1,456,857												
	80	135.25	1,690,625												
	90	174.22	1,935,778												
	100	219.67	2,196,700												
	110	269.65	2,451,364												
	120	325.84	2,715,333												
	130	469.33	3,610,231												
	30	18.34	611,333	1	23.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.9	$8.17 \times 10^{-4}$	$2.3631 \times 10^{10}$	10.46	76.97	$2.04 \times 10^{13}$		
	40	31.64	791,000												
	50	49.31	986,200												
	60	73.22	1,220,333												
	70	101.98	1,456,857												
	80	135.25	1,690,625												
	90	174.22	1,935,778												
	100	219.67	2,196,700												
	110	269.65	2,451,364												
	120	325.84	2,715,333												
	130	469.33	3,610,231												
	30	18.34	611,333	1	23.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.9	$8.17 \times 10^{-4}$	$2.3631 \times 10^{10}$	10.46	76.97	$2.04 \times 10^{13}$		
	40	31.64	791,000												
	50	49.31	986,200												
	60	73.22	1,220,333												
	70	101.98	1,456,857												
	80	135.25	1,690,625												
	90	174.22	1,935,778												
	100	219.67	2,196,700												
	110	269.65	2,451,364												
	120	325.84	2,715,333												
	130	469.33	3,610,231												

ตารางที่ ค-6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	40.03	1,334,333	1	21.48	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$1.0167 \times 10^{11}$	10.49	78.52	$8.34 \times 10^{13}$		
	40	69.57	1,739,250												
	50	137.40	2,748,000												
	60	226.64	3,777,333												
	70	345.02	4,928,857												
	80	476.69	5,958,625												
	90	630.54	7,006,000												
	100	798.90	7,989,000												
	110	1,004.41	9,131,000												
	120	1,214.80	10,123,333												
	130	1,702.69	13,097,615												
	136	2,319.53	17,055,368												
2	30	42.61	1,420,333	1	21.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$1.0178 \times 10^{11}$	10.49	78.68	$8.31 \times 10^{13}$	$8.32 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	71.28	1,782,000												
	50	140.72	2,814,400												
	60	230.24	3,837,333												
	70	349.09	4,987,000												
	80	480.38	6,004,750												
	90	636.87	7,076,333												
	100	804.67	8,046,700												
	110	1,011.58	9,196,182												
	120	1,225.61	10,213,417												
	130	1,711.27	13,163,615												
	136	2,330.23	17,134,044												
3	30	45.02	1,500,667	1	21.42	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.6	$8.60 \times 10^{-4}$	$1.0164 \times 10^{11}$	10.49	78.58	$8.32 \times 10^{13}$		
	40	74.35	1,858,750												
	50	144.57	2,891,400												
	60	234.24	3,904,000												
	70	354.91	5,070,143												
	80	486.23	6,077,875												
	90	642.24	7,136,000												
	100	811.14	8,111,400												
	110	1,019.02	9,263,818												
	120	1,234.31	10,285,917												
	130	1,720.64	13,235,692												
	136	2,339.14	17,199,559												

ตารางที่ ค-7 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	39.66	1,322,000	1	22.24	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$6.6056 \times 10^{10}$	10.47	77.76	$5.37 \times 10^{13}$		
	40	70.24	1,756,000												
	50	120.59	2,411,800												
	60	184.68	3,078,000												
	70	255.69	3,652,714												
	80	350.14	4,376,750												
	90	449.16	4,990,667												
	100	574.28	5,742,800												
	110	711.89	6,471,727												
	120	863.51	7,195,917												
	130	1,293.53	9,950,231												
136	2,056.05	15,118,015													
2	30	38.56	1,285,333	1	22.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$1.0178 \times 10^{11}$	10.47	77.87	$5.36 \times 10^{13}$	$5.36 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	69.14	1,728,500												
	50	118.67	2,373,400												
	60	182.49	3,041,500												
	70	253.71	3,624,429												
	80	347.11	4,338,875												
	90	445.38	4,948,667												
	100	570.49	5,704,900												
	110	704.28	6,402,545												
	120	856.21	7,135,083												
	130	1,289.98	9,922,923												
136	2,050.34	15,076,029													
3	30	35.98	1,199,333	1	22.31	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$6.5830 \times 10^{10}$	10.47	77.69	$5.35 \times 10^{13}$		
	40	66.75	1,668,750												
	50	114.54	2,290,800												
	60	178.31	2,971,833												
	70	249.94	3,570,571												
	80	342.71	4,283,875												
	90	440.28	4,892,000												
	100	564.23	5,642,300												
	110	695.17	6,319,727												
	120	848.34	7,069,500												
	130	1281.27	9,855,923												
136	2048.64	15,063,529													

ตารางที่ ค-8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	35.65	1,188,333	1	22.85	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.6	$8.41 \times 10^{-4}$	$4.4528 \times 10^{10}$	10.46	77.15	$3.74 \times 10^{13}$		
	40	64.03	1,600,750												
	50	105.16	2,103,200												
	60	152.59	2,543,167												
	70	212.06	3,029,429												
	80	279.42	3,492,750												
	90	343.73	3,819,222												
	100	437.01	4,370,100												
	110	524.67	4,769,727												
	120	618.12	5,151,000												
	130	980.31	7,540,846												
	136	1,503.97	10,898,333												
2	30	32.11	1,070,333	1	22.64	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.8	$8.37 \times 10^{-4}$	$4.4641 \times 10^{10}$	10.46	77.36	$3.76 \times 10^{13}$	$5.36 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	61.98	1,549,500												
	50	101.31	2,026,200												
	60	148.64	2,477,333												
	70	207.58	2,965,429												
	80	273.71	3,421,375												
	90	336.14	3,734,889												
	100	429.9	4,299,000												
	110	513.18	4,665,273												
	120	611.84	5,098,667												
	130	978.21	7,524,692												
	136	1499.38	11,106,519												
3	30	30.21	1,007,000	1	22.71	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.9	$8.35 \times 10^{-4}$	$4.4616 \times 10^{10}$	10.46	77.29	$3.77 \times 10^{13}$		
	40	59.64	1,491,000												
	50	99.23	1,984,600												
	60	144.25	2,404,167												
	70	203.91	2,913,000												
	80	268.77	3,359,625												
	90	330.84	3,676,000												
	100	423.39	4,233,900												
	110	507.38	4,612,545												
	120	604.27	5,035,583												
	130	972.32	7,479,385												
	136	1490.58	10,960,147												

ตารางที่ ค-9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	14.54	484,667	1	23.00	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.1	$8.31 \times 10^{-4}$	$3.1381 \times 10^{10}$	10.45	77.00	$2.67 \times 10^{13}$		
	40	26.62	665,500												
	50	46.26	925,200												
	60	72.54	1,209,000												
	70	105.38	1,505,429												
	80	143.34	1,791,750												
	90	192.67	2,140,778												
	100	246.1	2,461,000												
	110	310.08	2,818,909												
	120	404.1	3,367,500												
	130	768.98	5,915,231												
136	1,304.34	9,733,881													
2	30	12.87	429,000	1	22.93	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.7	$8.20 \times 10^{-4}$	$3.0865 \times 10^{10}$	10.45	77.07	$2.66 \times 10^{13}$	$2.66 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	24.59	614,750												
	50	43.95	879,000												
	60	69.61	1,160,167												
	70	101.58	1,451,143												
	80	140.67	1,758,375												
	90	187.29	2,081,000												
	100	240.78	2,407,800												
	110	304.56	2,768,727												
	120	386.64	3,222,000												
	130	760.98	5,853,692												
136	1,297.44	9,540,000													
3	30	11.98	399,333	1	22.86	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.5	$8.24 \times 10^{-4}$	$3.0935 \times 10^{10}$	10.46	77.14	$2.65 \times 10^{13}$		
	40	22.46	561,500												
	50	39.78	795,600												
	60	65.49	1,091,500												
	70	98.47	1,406,714												
	80	137.82	1,722,750												
	90	183.49	2,038,778												
	100	236.74	2,367,400												
	110	299.51	2,722,818												
	120	379.89	3,165,750												
	130	758.34	5,833,385												
136	1,289.97	9,485,074													

ตารางที่ ค-10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	57.89	1,929,667	1	20.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.0	$8.33 \times 10^{-4}$	$1.2819 \times 10^{11}$	10.51	79.45	$1.08 \times 10^{14}$		
	40	113.37	2,834,250												
	50	200.84	4,016,800												
	60	309.29	5,154,833												
	70	448.34	6,404,857												
	80	612.58	7,657,250												
	90	809.40	8,993,333												
	100	1,038.64	10,386,400												
	110	1,300.57	11,823,364												
	120	1,617.94	13,482,833												
	130	2,175.38	16,733,692												
136	3,256.21	23,942,721													
2	30	55.74	1,858,000	1	20.49	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.1	$8.31 \times 10^{-4}$	$1.2873 \times 10^{11}$	10.51	79.51	$1.09 \times 10^{14}$	$1.09 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	113.40	2,835,000												
	50	197.28	3,945,600												
	60	306.45	5,107,500												
	70	444.25	6,346,429												
	80	608.83	7,610,375												
	90	804.76	8,941,778												
	100	1,033.12	10,331,200												
	110	1,295.43	11,776,636												
	120	1,624.65	13,538,750												
	130	2,165.50	16,657,692												
136	55.74	1,858,000													
3	30	59.92	1,997,333	1	20.44	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.4	$8.26 \times 10^{-4}$	$1.2804 \times 10^{11}$	10.51	79.56	$1.09 \times 10^{14}$		
	40	117.54	2,938,500												
	50	202.38	4,047,600												
	60	311.50	5,191,667												
	70	450.09	6,429,857												
	80	615.67	7,695,875												
	90	810.32	9,003,556												
	100	1,040.86	10,408,600												
	110	1,302.57	11,841,545												
	120	1,632.14	13,601,167												
	130	2,184.63	16,804,846												
136	3,267.24	24,023,824													

ตารางที่ ค-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	48.91	1,630,333	1	21.37	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.5	$8.24 \times 10^{-4}$	$8.5616 \times 10^{10}$	10.49	78.63	$7.31 \times 10^{13}$		
	40	91.38	2,284,500												
	50	151.69	3,033,800												
	60	228.75	3,812,500												
	70	328.09	4,687,000												
	80	441.17	5,514,625												
	90	571.03	6,344,778												
	100	723.79	7,237,900												
	110	907.92	8,253,818												
	120	1,129.46	9,412,167												
	130	1,619.81	12,460,077												
136	2,573.51	18,922,868													
2	30	49.16	1,638,667	1	21.40	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.7	$8.20 \times 10^{-4}$	$8.5301 \times 10^{10}$	10.49	78.60	$7.32 \times 10^{13}$	$7.32 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	93.14	2,328,500												
	50	156.17	3,123,400												
	60	230.07	3,834,500												
	70	331.03	4,729,000												
	80	441.90	5,523,750												
	90	579.22	6,435,778												
	100	739.66	7,396,600												
	110	907.53	8,250,273												
	120	1,121.04	9,342,000												
	130	1,807.13	13,901,000												
136	2,764.15	20,324,632													
3	30	52.01	1,733,667	1	21.45	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.9	$8.17 \times 10^{-4}$	$8.4940 \times 10^{10}$	10.49	78.55	$7.32 \times 10^{14}$		
	40	96.24	2,406,000												
	50	158.36	3,167,200												
	60	234.75	3,912,500												
	70	336.97	4,813,857												
	80	446.14	5,576,750												
	90	585.31	6,503,444												
	100	746.29	7,462,900												
	110	910.34	8,275,818												
	120	1,128.69	9,405,750												
	130	1,815.52	13,965,538												
136	2,775.97	20,411,544													



ตารางที่ ค-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	36.76	1,225,333	1	22.11	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.5	$8.24 \times 10^{-4}$	$6.1538 \times 10^{10}$	10.47	77.89	$5.26 \times 10^{13}$		
	40	61.99	1,549,750												
	50	102.24	2,044,800												
	60	156.50	2,608,333												
	70	224.04	3,200,571												
	80	306.14	3,826,750												
	90	408.15	4,535,000												
	100	519.43	5,194,300												
	110	647.96	5,890,545												
	120	800.35	6,669,583												
	130	1,147.46	8,826,615												
	136	1,957.61	14,394,191												
2	30	38.88	1,296,000	1	22.06	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.9	$8.17 \times 10^{-4}$	$6.0717 \times 10^{10}$	10.47	77.94	$5.24 \times 10^{13}$	$5.25 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	68.69	1,717,250												
	50	110.83	2,216,600												
	60	162.69	2,711,500												
	70	232.86	3,326,571												
	80	316.43	3,955,375												
	90	414.88	4,609,778												
	100	525.61	5,256,100												
	110	654.95	5,954,091												
	120	808.90	6,740,833												
	130	1,340.55	10,311,923												
	136	2,276.32	16,737,647												
3	30	39.13	1,304,333	1	22.14	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.6	$8.22 \times 10^{-4}$	$6.1121 \times 10^{10}$	10.47	77.86	$5.24 \times 10^{13}$		
	40	69.24	1,731,000												
	50	112.31	2,246,200												
	60	164.48	2,741,333												
	70	235.67	3,366,714												
	80	320.90	4,011,250												
	90	418.23	4,647,000												
	100	530.51	5,305,100												
	110	659.27	5,993,364												
	120	814.62	6,788,500												
	130	1,352.46	10,403,538												
	136	2,289.44	16,834,118												

ตารางที่ ค-13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 3 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	20.52	684,000	1	22.54	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.1	$8.31 \times 10^{-4}$	$4.6002 \times 10^{10}$	10.46	77.46	$3.90 \times 10^{13}$		
	40	38.15	953,750												
	50	71.13	1,422,600												
	60	111.65	1,860,833												
	70	164.10	2,344,286												
	80	227.03	2,837,875												
	90	290.50	3,227,778												
	100	368.36	3,683,600												
	110	465.65	4,233,182												
	120	576.05	4,800,417												
	130	1,025.47	7,888,231												
136	1,739.14	12,787,794													
2	30	22.34	744,667	1	22.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.8	$8.37 \times 10^{-4}$	$4.6345 \times 10^{10}$	10.46	77.53	$3.90 \times 10^{13}$	$3.90 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	43.76	1,094,000												
	50	76.88	1,537,600												
	60	121.15	2,019,167												
	70	173.77	2,482,429												
	80	230.52	2,881,500												
	90	300.52	3,339,111												
	100	381.41	3,814,100												
	110	471.79	4,289,000												
	120	600.86	5,007,167												
	130	1,029.12	7,916,308												
136	1,669.43	12,275,221													
3	30	27.65	921,667	1	22.51	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.3	$8.28 \times 10^{-4}$	$4.5925 \times 10^{10}$	10.46	77.49	$3.91 \times 10^{13}$		
	40	45.21	1,130,250												
	50	79.58	1,591,600												
	60	124.17	2,069,500												
	70	177.62	2,537,429												
	80	235.10	2,938,750												
	90	306.35	3,403,889												
	100	387.87	3,878,700												
	110	478.64	4,351,273												
	120	609.13	5,076,083												
	130	1,046.22	8,047,846												
136	1,680.39	12,355,809													

ตารางที่ ค-14 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	83.95	2,798,333	1	19.17	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$1.8186 \times 10^{11}$	10.55	80.83	$1.47 \times 10^{14}$		
	40	172.47	4,311,750												
	50	288.07	5,761,400												
	60	450.70	7,511,667												
	70	653.74	9,339,143												
	80	895.54	11,194,250												
	90	1,163.39	12,926,556												
	100	1,506.74	15,067,400												
	110	1,867.09	16,973,545												
	120	2,293.22	19,110,167												
	130	3,279.43	25,226,385												
	136	5,176.17	38,060,074												
2	30	83.99	2,799,667	1	19.35	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$1.8289 \times 10^{11}$	10.54	80.65	$1.46 \times 10^{14}$	$1.46 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
	40	164.62	4,115,500												
	50	280.16	5,603,200												
	60	431.11	7,185,167												
	70	616.37	8,805,286												
	80	864.85	10,810,625												
	90	1,158.81	12,875,667												
	100	1,541.03	15,108,137												
	110	1,841.49	16,740,818												
	120	2,318.36	19,319,667												
	130	3,180.99	24,469,154												
	136	5,013.54	36,864,265												
3	30	81.78	2,726,000	1	19.10	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$1.8327 \times 10^{11}$	10.55	80.90	$1.45 \times 10^{14}$		
	40	164.57	4,114,250												
	50	277.64	5,552,800												
	60	428.40	7,140,000												
	70	612.59	8,751,286												
	80	859.81	10,747,625												
	90	1,154.38	12,826,444												
	100	1,486.72	14,867,200												
	110	1,835.24	16,684,000												
	120	2,310.88	19,257,333												
	130	3,175.64	24,428,000												
	136	5,008.63	36,828,162												

ตารางที่ ค-15 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	56.89	1,896,333	1	20.33	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.0	$8.71 \times 10^{-4}$	$1.2695 \times 10^{11}$	10.52	79.67	$1.02 \times 10^{14}$		
	40	113.44	2,836,000												
	50	198.64	3,972,800												
	60	305.72	5,095,333												
	70	448.16	6,402,286												
	80	610.88	7,636,000												
	90	802.24	8,913,778												
	100	1,032.17	10,321,700												
	110	1,283.30	11,666,364												
	120	1,603.86	13,365,500												
	130	2,362.08	18,169,846												
136	3,752.91	27,594,926													
2	30	62.09	2,069,667	1	20.18	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$1.2616 \times 10^{11}$	10.52	79.82	$1.02 \times 10^{14}$	$1.02 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{11}$
	40	116.05	2,901,250												
	50	200.11	4,002,200												
	60	315.54	5,259,000												
	70	445.15	6,359,286												
	80	615.81	7,697,625												
	90	813.19	9,035,444												
	100	1,023.60	10,236,000												
	110	1,281.29	11,648,091												
	120	1,623.03	13,525,250												
	130	2,391.72	18,397,846												
136	3,832.87	28,182,868													
3	30	60.12	2,004,000	1	20.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.6	$8.60 \times 10^{-4}$	$1.2595 \times 10^{11}$	10.51	79.44	$1.03 \times 10^{14}$		
	40	116.65	2,916,250												
	50	199.12	3,982,400												
	60	312.45	5,207,500												
	70	441.27	6,303,857												
	80	611.62	7,645,250												
	90	808.74	8,986,000												
	100	1,018.68	10,186,800												
	110	1,275.37	11,594,273												
	120	1,618.87	13,490,583												
	130	2,384.24	18,340,308												
136	3,827.22	28,141,324													

ตารางที่ ค-16 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	60.24	2,008,000	1	21.29	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.9	$8.54 \times 10^{-4}$	$8.8919 \times 10^{10}$	10.49	78.71	$7.32 \times 10^{13}$		
	40	112.51	2,812,750												
	50	182.80	3,656,000												
	60	269.63	4,493,833												
	70	374.81	5,354,429												
	80	493.75	6,171,875												
	90	629.76	6,997,333												
	100	789.78	7,897,800												
	110	979.33	8,903,000												
	120	1,234.92	10,291,000												
	130	2,199.30	16,917,692												
	136	3,545.21	26,067,721												
2	30	56.87	1,895,667	1	21.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$8.9510 \times 10^{10}$	10.49	78.78	$7.34 \times 10^{13}$	$7.33 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	108.34	2,708,500												
	50	177.58	3,551,600												
	60	265.79	4,429,833												
	70	369.24	5,274,857												
	80	488.68	6,108,500												
	90	624.49	6,938,778												
	100	783.91	7,839,100												
	110	973.54	8,850,364												
	120	1,226.15	10,217,917												
	130	2,182.68	16,789,846												
	136	3,537.54	26,011,324												
3	30	55.36	1,845,333	1	21.44	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$8.9294 \times 10^{10}$	10.49	78.56	$7.32 \times 10^{13}$		
	40	107.67	2,691,750												
	50	175.52	3,510,400												
	60	262.81	4,380,167												
	70	365.66	5,223,714												
	80	484.35	6,054,375												
	90	619.68	6,885,333												
	100	778.59	7,785,900												
	110	967.31	8,793,727												
	120	1,220.08	10,167,333												
	130	2,180.97	16,776,692												
	136	3,530.44	25,959,118												

ตารางที่ ค-17 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 4 เซนติเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	32.02	1,067,333	1	22.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.6	$8.60 \times 10^{-4}$	$6.4429 \times 10^{10}$	10.47	77.87	$5.28 \times 10^{13}$		
	40	62.18	1,554,500												
	50	106.70	2,134,000												
	60	161.18	2,686,333												
	70	229.63	3,280,429												
	80	310.09	3,876,125												
	90	407.93	4,532,556												
	100	516.48	5,164,800												
	110	653.11	5,937,364												
	120	852.61	7,105,083												
	130	1,497.21	11,517,000												
	136	2,706.92	19,903,824												
2	30	32.98	1,099,333	1	22.07	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.1	$8.50 \times 10^{-4}$	$6.3378 \times 10^{10}$	10.47	77.93	$5.25 \times 10^{13}$	$5.27 \times 10^{13}$	$2.08 \times 10^{11}$
	40	63.54	1,588,500												
	50	104.25	2,085,000												
	60	159.59	2,659,833												
	70	224.76	3,210,857												
	80	309.73	3,871,625												
	90	406.98	4,522,000												
	100	512.40	5,124,000												
	110	647.81	5,889,182												
	120	838.94	6,991,167												
	130	1,528.43	11,757,154												
	136	2,845.88	20,925,588												
3	30	33.58	1,119,333	1	22.04	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.3	$8.46 \times 10^{-4}$	$6.3577 \times 10^{10}$	10.47	77.96	$5.29 \times 10^{13}$		
	40	64.34	1,608,500												
	50	106.80	2,136,000												
	60	162.67	2,711,167												
	70	230.24	3,289,143												
	80	313.57	3,919,625												
	90	411.52	4,572,444												
	100	517.22	5,172,200												
	110	650.64	5,914,909												
	120	845.81	7,048,417												
	130	1,540.28	11,848,308												
	136	2,859.64	21,026,765												

## ภาคผนวก ง

ผลการทดลองปรับสภาพสัณฐานโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ศึกษาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสัณฐานในถังปฏิกิริยา

### สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง



ตารางที่ ง-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	43,746,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	50.36	1,678,667	1	19.41	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.6817 \times 10^{11}$	10.54	80.86	$1.32 \times 10^{14}$		
	40	100.27	2,506,750												
	50	187.57	3,751,400												
	60	316.40	5,273,333												
	70	479.30	6,847,143												
	80	680.24	8,503,000												
	90	917.42	10,193,556												
	100	1,226.41	12,264,100												
	110	1,578.54	14,350,364												
	120	2,009.33	16,744,417												
	130	3,627.51	27,903,923												
136	4,798.27	35,281,397													
2	30	52.84	1,761,333	1	19.35	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.6994 \times 10^{11}$	10.55	80.65	$1.34 \times 10^{14}$	$1.34 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	119.34	2,983,500												
	50	215.12	4,302,400												
	60	352.57	5,876,167												
	70	527.07	7,529,571												
	80	735.33	9,191,625												
	90	997.91	11,087,889												
	100	1,304.46	13,044,600												
	110	1,617.75	14,706,818												
	120	2,042.52	17,021,000												
	130	3,814.32	29,340,923												
136	4,789.47	35,477,556													
3	30	55.45	1,848,333	1	19.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.5	$8.81 \times 10^{-4}$	$1.6953 \times 10^{11}$	10.55	80.68	$1.35 \times 10^{14}$		
	40	122.66	3,066,500												
	50	219.62	4,392,400												
	60	356.02	5,933,667												
	70	532.47	7,606,714												
	80	740.34	9,254,250												
	90	1,002.38	11,137,556												
	100	1,310.72	13,107,200												
	110	1,623.11	14,755,545												
	120	2,049.37	17,078,083												
	130	3,825.05	29,423,462												
136	4,805.92	35,599,407													

ตารางที่ 3-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>-1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	47.65	1,588,333	1	20.58	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$7.84 \times 10^{-4}$	$1.0992 \times 10^{11}$	10.51	79.42	$8.70 \times 10^{13}$		
	40	89.65	2,241,250												
	50	165.23	3,304,600												
	60	265.11	4,418,500												
	70	377.23	5,389,000												
	80	530.12	6,626,500												
	90	695.07	7,723,000												
	100	890.47	8,904,700												
	110	1,101.97	10,017,909												
	120	1,360.90	11,340,833												
	130	2,395.16	18,424,308												
	136	3,630.10	26,691,912												
2	30	46.08	1,536,000	1	20.64	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$7.81 \times 10^{-4}$	$1.1012 \times 10^{11}$	10.51	79.36	$8.68 \times 10^{13}$	$8.68 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	94.92	2,373,000												
	50	173.45	3,469,000												
	60	273.91	4,565,167												
	70	395.79	5,654,143												
	80	540.20	6,752,500												
	90	700.39	7,782,111												
	100	904.55	9,045,500												
	110	1,110.69	10,097,182												
	120	1,370.95	11,424,583												
	130	2,450.35	18,848,846												
	136	3,659.34	27,106,222												
3	30	47.98	1,599,333	1	20.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$7.79 \times 10^{-4}$	$1.0904 \times 10^{11}$	10.51	79.45	$8.67 \times 10^{13}$		
	40	105.55	2,638,750												
	50	183.27	3,665,400												
	60	289.85	4,830,833												
	70	416.57	5,951,000												
	80	556.53	6,956,625												
	90	720.46	8,005,111												
	100	911.55	9,115,500												
	110	1,133.59	10,305,364												
	120	1,371.43	11,428,583												
	130	2,523.25	19,409,615												
	136	3,570.95	26,256,985												

ตารางที่ 4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	40.27	1,342,333	1	21.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.9	$8.73 \times 10^{-4}$	$7.0481 \times 10^{10}$	10.48	78.34	$5.68 \times 10^{13}$		
	40	78.62	1,965,500												
	50	139.99	2,799,800												
	60	207.71	3,461,833												
	70	300.48	4,292,571												
	80	391.78	4,897,250												
	90	501.32	5,570,222												
	100	632.71	6,327,100												
	110	766.94	6,972,182												
	120	916.83	7,640,250												
	130	1,402.46	10,788,154												
	136	2,093.49	15,393,309												
2	30	40.04	1,334,667	1	21.59	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$7.0800 \times 10^{10}$	10.49	78.41	$5.68 \times 10^{13}$	$5.67 \times 10^{13}$	$1.73 \times 10^{11}$
	40	78.43	1,960,750												
	50	136.41	2,728,200												
	60	209.65	3,494,167												
	70	297.85	4,255,000												
	80	387.38	4,842,250												
	90	503.50	5,594,444												
	100	635.36	6,353,600												
	110	763.86	6,944,182												
	120	919.11	7,659,250												
	130	1,554.20	11,955,385												
	136	2,334.87	17,424,403												
3	30	40.13	1,337,667	1	21.58	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$7.0902 \times 10^{10}$	10.49	78.42	$5.65 \times 10^{13}$		
	40	79.03	1,975,750												
	50	138.29	2,765,800												
	60	216.51	3,608,500												
	70	300.83	4,297,571												
	80	387.06	4,838,250												
	90	498.74	5,541,556												
	100	628.44	6,284,400												
	110	770.32	7,002,909												
	120	932.07	7,767,250												
	130	1,476.01	11,353,923												
	136	2,255.95	16,587,868												

ตารางที่ 5- ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>-1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	32.13	1,071,000	1	22.21	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.0	$8.71 \times 10^{-4}$	$4.7395 \times 10^{10}$	10.47	77.79	$3.84 \times 10^{13}$		
	40	65.11	1,627,750												
	50	110.32	2,206,400												
	60	160.51	2,675,167												
	70	218.13	3,116,143												
	80	281.94	3,524,250												
	90	362.06	4,022,889												
	100	448.71	4,487,100												
	110	542.05	4,927,727												
	120	651.81	5,431,750												
	130	1,270.77	9,775,154												
	136	2,017.85	14,837,132												
2	30	33.10	1,103,333	1	22.31	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$4.8208 \times 10^{10}$	10.47	77.69	$3.85 \times 10^{13}$	$3.84 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	67.42	1,685,500												
	50	105.04	2,100,800												
	60	160.21	2,670,167												
	70	223.34	3,190,571												
	80	284.39	3,554,875												
	90	363.67	4,040,778												
	100	452.97	4,529,700												
	110	551.34	5,012,182												
	120	660.87	5,507,250												
	130	1,259.64	9,689,538												
	136	2,004.28	14,629,781												
3	30	30.53	1,017,667	1	22.24	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$4.7835 \times 10^{10}$	10.47	77.76	$3.84 \times 10^{13}$		
	40	61.11	1,527,750												
	50	104.60	2,092,000												
	60	156.26	2,604,333												
	70	220.75	3,153,571												
	80	285.72	3,571,500												
	90	359.80	3,997,778												
	100	443.87	4,438,700												
	110	541.37	4,921,545												
	120	639.97	5,333,083												
	130	1,168.28	8,986,769												
	136	1,746.50	12,748,175												

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>-1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	43.26	1,442,000	1	20.96	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$9.6348 \times 10^{10}$	10.50	79.04	$8.07 \times 10^{14}$		
	40	82.22	2,055,500												
	50	142.89	2,857,800												
	60	228.39	3,806,500												
	70	327.78	4,682,571												
	80	450.76	5,634,500												
	90	587.64	6,529,333												
	100	750.62	7,506,200												
	110	955.11	8,682,818												
	120	1,242.65	10,355,417												
	130	1,500.65	11,543,462												
136	2,221.32	16,333,235													
2	30	44.84	1,494,667	1	20.88	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$9.6425 \times 10^{10}$	10.50	79.12	$8.08 \times 10^{14}$	$8.07 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
	40	84.93	2,123,250												
	50	148.30	2,966,000												
	60	222.65	3,710,833												
	70	320.13	4,573,286												
	80	443.56	5,544,500												
	90	580.24	6,447,111												
	100	744.71	7,447,100												
	110	964.79	8,770,818												
	120	1,259.12	10,492,667												
	130	1,439.08	11,069,846												
136	2,193.78	16,130,735													
3	30	44.54	1,484,667	1	20.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.2	$8.48 \times 10^{-4}$	$9.7193 \times 10^{10}$	10.50	79.08	$8.06 \times 10^{14}$		
	40	82.83	2,070,750												
	50	143.30	2,866,000												
	60	224.50	3,741,667												
	70	329.67	4,709,571												
	80	450.13	5,626,625												
	90	579.46	6,438,444												
	100	740.63	7,406,300												
	110	984.09	8,946,273												
	120	1,251.91	10,432,583												
	130	1,454.11	11,185,462												
136	2,207.98	16,235,147													

ตารางที่ 7- ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>-1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	38.07	1,269,000	1	21.84	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.9	$7.83 \times 10^{-4}$	$5.6223 \times 10^{10}$	10.48	78.16	$5.43 \times 10^{13}$		
	40	72.18	1,804,500												
	50	118.76	2,375,200												
	60	179.98	2,999,667												
	70	254.56	3,636,571												
	80	335.10	4,188,750												
	90	420.87	4,676,333												
	100	521.67	5,216,700												
	110	638.01	5,800,091												
	120	752.40	6,270,000												
	130	1,287.96	9,907,385												
136	2,025.39	15,114,851													
2	30	38.41	1,280,333	1	21.80	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.6	$7.88 \times 10^{-4}$	$5.6728 \times 10^{10}$	10.48	78.20	$5.45 \times 10^{13}$	$5.44 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	68.98	1,724,500												
	50	110.79	2,215,800												
	60	173.45	2,890,833												
	70	249.51	3,564,429												
	80	324.27	4,053,375												
	90	408.33	4,537,000												
	100	511.96	5,119,600												
	110	632.47	5,749,727												
	120	760.02	6,333,500												
	130	1,227.88	9,445,231												
136	2,029.94	14,926,029													
3	30	39.46	1,315,333	1	21.76	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.3	$7.93 \times 10^{-4}$	$5.6991 \times 10^{10}$	10.48	78.24	$5.44 \times 10^{13}$		
	40	74.42	1,860,500												
	50	124.80	2,496,000												
	60	185.82	3,097,000												
	70	252.32	3,604,571												
	80	337.16	4,214,500												
	90	427.33	4,748,111												
	100	529.84	5,298,400												
	110	642.74	5,843,091												
	120	778.92	6,491,000												
	130	1,283.13	9,870,231												
136	2,038.54	15,212,985													

ตารางที่ 8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	31.02	1,034,000	1	22.43	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.6	$8.05 \times 10^{-4}$	$4.0961 \times 10^{10}$	10.47	77.57	$3.59 \times 10^{13}$		
	40	57.86	1,446,500												
	50	90.60	1,812,000												
	60	133.55	2,225,833												
	70	182.86	2,612,286												
	80	243.74	3,046,750												
	90	304.11	3,379,000												
	100	370.60	3,706,000												
	110	461.78	4,198,000												
	120	590.23	4,918,583												
	130	1,058.59	8,143,000												
136	1,658.74	12,196,618													
2	30	32.33	1,077,667	1	22.36	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.7	$8.03 \times 10^{-4}$	$4.0710 \times 10^{10}$	10.47	77.64	$3.57 \times 10^{13}$	$3.59 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	59.43	1,485,750												
	50	93.82	1,876,400												
	60	137.13	2,285,500												
	70	185.39	2,648,429												
	80	240.54	3,006,750												
	90	303.71	3,374,556												
	100	381.19	3,811,900												
	110	472.07	4,291,545												
	120	585.70	4,880,833												
	130	1,038.96	7,992,000												
136	1,635.53	12,025,956													
3	30	30.70	1,023,333	1	22.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.8	$8.19 \times 10^{-4}$	$4.1814 \times 10^{10}$	10.47	77.68	$3.60 \times 10^{13}$		
	40	58.60	1,465,000												
	50	91.10	1,822,000												
	60	135.38	2,256,333												
	70	186.69	2,667,000												
	80	241.48	3,018,500												
	90	308.46	3,427,333												
	100	376.56	3,765,600												
	110	471.75	4,288,636												
	120	598.06	4,983,833												
	130	1,113.67	8,566,692												
136	1,715.48	12,802,090													



ตารางที่ 9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>-1</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	22.19	739,667	1	22.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.1	$8.13 \times 10^{-4}$	$2.3612 \times 10^{10}$	10.46	77.25	$2.05 \times 10^{13}$		
	40	38.66	966,500												
	50	60.04	1,200,800												
	60	83.94	1,399,000												
	70	113.16	1,616,571												
	80	147.05	1,838,125												
	90	188.02	2,089,111												
	100	234.41	2,344,100												
	110	284.33	2,584,818												
	120	350.40	2,920,000												
	130	856.03	6,584,846												
136	1,397.44	10,275,294													
2	30	20.47	682,333	1	22.68	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$2.3407 \times 10^{10}$	10.46	77.32	$2.08 \times 10^{13}$	$2.07 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	36.24	906,000												
	50	57.56	1,151,200												
	60	80.87	1,347,833												
	70	109.65	1,566,429												
	80	143.29	1,791,125												
	90	180.91	2,010,111												
	100	224.68	2,246,800												
	110	278.43	2,531,182												
	120	342.62	2,855,167												
	130	850.48	6,542,154												
136	1,391.35	10,306,296													
3	30	19.98	666,000	1	22.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$2.3383 \times 10^{10}$	10.46	77.37	$2.07 \times 10^{13}$		
	40	35.57	889,250												
	50	54.35	1,087,000												
	60	76.53	1,275,500												
	70	105.38	1,505,429												
	80	139.82	1,747,750												
	90	179.30	1,992,222												
	100	224.57	2,245,700												
	110	276.43	2,513,000												
	120	333.65	2,780,417												
	130	843.65	6,489,615												
136	1,385.24	10,185,588													

ตารางที่ 10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	38.57	1,285,667	1	21.34	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.9	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.4025 \times 10^{10}$	10.49	78.66	$7.39 \times 10^{13}$		
	40	84.53	2,113,250												
	50	141.05	2,821,000												
	60	223.25	3,720,833												
	70	312.79	4,468,429												
	80	421.15	5,264,375												
	90	550.56	6,117,333												
	100	699.61	6,996,100												
	110	872.68	7,933,455												
	120	1,074.79	8,956,583												
	130	1,520.06	11,692,769												
	136	2,315.50	17,279,851												
2	30	37.24	1,241,333	1	21.46	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.3	$7.93 \times 10^{-4}$	$8.3069 \times 10^{10}$	10.49	78.54	$7.37 \times 10^{13}$	$7.38 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	86.45	2,161,250												
	50	139.22	2,784,400												
	60	218.79	3,646,500												
	70	309.16	4,416,571												
	80	418.71	5,233,875												
	90	539.30	5,992,222												
	100	689.49	6,894,900												
	110	855.25	7,775,000												
	120	1,073.77	8,948,083												
	130	1,449.47	11,149,769												
	136	2,266.39	16,788,074												
3	30	38.91	1,297,000	1	21.39	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.7	$8.03 \times 10^{-4}$	$8.4295 \times 10^{10}$	10.49	78.61	$7.39 \times 10^{13}$		
	40	78.93	1,973,250												
	50	133.30	2,666,000												
	60	207.46	3,457,667												
	70	311.34	4,447,714												
	80	420.64	5,258,000												
	90	550.15	6,112,778												
	100	700.14	7,001,400												
	110	858.52	7,804,727												
	120	1,059.83	8,831,917												
	130	1,449.89	11,153,000												
	136	2,183.76	16,057,059												

ตารางที่ ง-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	29.69	989,667	1	22.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.0	$7.81 \times 10^{-4}$	$5.4953 \times 10^{10}$	10.47	77.87	$4.96 \times 10^{13}$		
	40	55.12	1,378,000												
	50	91.58	1,831,600												
	60	140.84	2,347,333												
	70	200.46	2,863,714												
	80	272.44	3,405,500												
	90	353.03	3,922,556												
	100	457.52	4,575,200												
	110	567.32	5,157,455												
	120	721.84	6,015,333												
	130	1,072.39	8,249,154												
136	1,817.27	13,461,259													
2	30	29.12	970,667	1	22.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.0	$7.81 \times 10^{-4}$	$5.4759 \times 10^{10}$	10.47	77.81	$4.94 \times 10^{13}$	$4.96 \times 10^{13}$	$2.52 \times 10^{11}$
	40	56.09	1,402,250												
	50	95.27	1,905,400												
	60	144.89	2,414,833												
	70	207.18	2,959,714												
	80	280.43	3,505,375												
	90	361.56	4,017,333												
	100	460.21	4,602,100												
	110	572.24	5,202,182												
	120	715.37	5,961,417												
	130	1,032.13	7,939,462												
136	1,753.26	12,987,111													
3	30	28.08	936,000	1	22.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.4	$7.75 \times 10^{-4}$	$5.4833 \times 10^{10}$	10.47	77.78	$4.99 \times 10^{13}$		
	40	57.03	1,425,750												
	50	94.55	1,891,000												
	60	144.29	2,404,833												
	70	207.41	2,963,000												
	80	279.14	3,489,250												
	90	361.59	4,017,667												
	100	459.13	4,591,300												
	110	572.11	5,201,000												
	120	714.73	5,956,083												
	130	1,056.29	8,125,308												
136	1,800.10	13,334,074													

ตารางที่ ง-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	11.01	367,000	1	22.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.0	$8.154 \times 10^{-4}$	$3.7353 \times 10^{10}$	10.46	77.34	$3.23 \times 10^{13}$		
	40	25.45	636,250												
	50	49.02	980,400												
	60	78.43	1,307,167												
	70	119.05	1,700,714												
	80	168.67	2,108,375												
	90	226.47	2,516,333												
	100	286.21	2,862,100												
	110	358.31	3,257,364												
	120	441.91	3,682,583												
	130	680.10	5,231,538												
136	1,117.81	8,219,191													
2	30	12.52	417,333	1	22.61	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.5	$8.07 \times 10^{-4}$	$3.7456 \times 10^{10}$	10.46	77.39	$3.27 \times 10^{13}$	$3.25 \times 10^{13}$	$2.00 \times 10^{11}$
	40	30.57	764,250												
	50	53.42	1,068,400												
	60	85.82	1,430,333												
	70	126.16	1,802,286												
	80	175.10	2,188,750												
	90	233.86	2,598,444												
	100	295.77	2,957,700												
	110	368.22	3,347,455												
	120	455.19	3,793,250												
	130	664.57	5,112,077												
136	1,057.59	7,776,397													
3	30	14.82	494,000	1	22.69	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.7	$8.03 \times 10^{-4}$	$3.7001 \times 10^{10}$	10.46	77.31	$3.25 \times 10^{13}$		
	40	35.55	888,750												
	50	60.32	1,206,400												
	60	96.38	1,606,333												
	70	137.07	1,958,143												
	80	182.42	2,280,250												
	90	237.93	2,643,667												
	100	300.02	3,000,200												
	110	372.06	3,382,364												
	120	475.19	3,959,917												
	130	696.28	5,356,000												
136	1,069.46	7,863,676													

ตารางที่ 13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	8.58	286,000	1	22.90	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.1	$7.81 \times 10^{-4}$	$2.2556 \times 10^{10}$	10.46	77.10	$2.04 \times 10^{13}$		
	40	20.65	516,250												
	50	36.83	736,600												
	60	56.45	940,833												
	70	80.65	1,152,143												
	80	108.93	1,361,625												
	90	142.11	1,579,000												
	100	181.86	1,818,600												
	110	229.30	2,084,545												
	120	283.72	2,364,333												
	130	484.56	3,727,385												
136	790.74	5,814,265													
2	30	6.02	200,667	1	22.84	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.1	$7.81 \times 10^{-4}$	$2.2614 \times 10^{10}$	10.46	77.16	$2.04 \times 10^{13}$	$2.05 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	16.15	403,750												
	50	31.68	633,600												
	60	49.26	821,000												
	70	70.45	1,006,429												
	80	98.77	1,234,625												
	90	132.54	1,472,667												
	100	172.90	1,729,000												
	110	217.91	1,981,000												
	120	272.24	2,268,667												
	130	469.96	3,615,077												
136	974.26	7,009,065													
3	30	7.36	245,333	1	22.88	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.3	$7.75 \times 10^{-4}$	$2.2570 \times 10^{10}$	10.46	77.12	$2.06 \times 10^{13}$		
	40	19.36	484,000												
	50	36.60	732,000												
	60	56.82	947,000												
	70	81.21	1,160,143												
	80	111.95	1,399,375												
	90	145.19	1,613,222												
	100	183.91	1,839,100												
	110	225.51	2,050,091												
	120	276.17	2,301,417												
	130	543.61	4,181,615												
136	1,151.87	8,346,884													

ตารางที่ 14 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	30.87	1,029,000	1	21.80	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.3	$7.76 \times 10^{-4}$	$7.4988 \times 10^{10}$	10.48	78.20	$6.81 \times 10^{13}$		
	40	62.97	1,574,250												
	50	114.03	2,280,600												
	60	178.27	2,971,167												
	70	257.28	3,675,429												
	80	349.73	4,371,625												
	90	466.83	5,187,000												
	100	600.87	6,008,700												
	110	754.62	6,860,182												
	120	933.40	7,778,333												
	130	1,160.45	8,926,538												
136	2,417.20	17,773,529													
2	30	35.63	1,187,667	1	21.74	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.7	$7.70 \times 10^{-4}$	$7.4436 \times 10^{10}$	10.48	78.26	$6.81 \times 10^{13}$	$6.82 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	67.29	1,682,250												
	50	119.15	2,383,000												
	60	182.18	3,036,333												
	70	261.78	3,739,714												
	80	359.65	4,495,625												
	90	478.53	5,317,000												
	100	610.23	6,102,300												
	110	765.03	6,954,818												
	120	938.75	7,822,917												
	130	1,265.77	9,736,692												
136	2,501.56	18,393,824													
3	30	32.88	1,096,000	1	21.83	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.9	$7.67 \times 10^{-4}$	$7.4403 \times 10^{10}$	10.48	78.17	$6.83 \times 10^{13}$		
	40	64.45	1,611,250												
	50	114.87	2,297,400												
	60	177.35	2,955,833												
	70	256.87	3,669,571												
	80	352.71	4,408,875												
	90	471.39	5,237,667												
	100	602.73	6,027,300												
	110	753.86	6,853,273												
	120	929.34	7,744,500												
	130	1,259.16	9,685,846												
136	2,498.64	18,372,353													

ตารางที่ 15 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	28.46	948,667	1	22.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$4.9873 \times 10^{10}$	10.47	77.53	$4.49 \times 10^{13}$		
	40	52.34	1,308,500												
	50	84.63	1,692,600												
	60	127.64	2,127,333												
	70	183.92	2,627,429												
	80	254.37	3,179,625												
	90	336.28	3,736,444												
	100	425.96	4,259,600												
	110	524.61	4,769,182												
	120	645.20	5,376,667												
	130	849.34	6,533,385												
	136	1,341.53	9,864,191												
2	30	27.35	911,667	1	22.53	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.0	$7.81 \times 10^{-4}$	$4.9553 \times 10^{10}$	10.46	77.47	$4.48 \times 10^{13}$	$4.49 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	51.99	1,299,750												
	50	82.38	1,647,600												
	60	125.87	2,097,833												
	70	180.32	2,576,000												
	80	251.28	3,141,000												
	90	332.21	3,691,222												
	100	420.35	4,203,500												
	110	519.98	4,727,091												
	120	638.01	5,316,750												
	130	841.71	6,474,692												
	136	1,330.09	9,780,074												
3	30	24.87	829,000	1	22.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.1	$7.79 \times 10^{-4}$	$4.9674 \times 10^{10}$	10.46	77.40	$4.50 \times 10^{13}$		
	40	48.35	1,208,750												
	50	79.48	1,589,600												
	60	122.15	2,035,833												
	70	176.37	2,519,571												
	80	246.62	3,082,750												
	90	324.39	3,604,333												
	100	413.40	4,134,000												
	110	512.67	4,660,636												
	120	630.26	5,252,167												
	130	832.64	6,404,923												
	136	1,322.57	9,724,779												

ตารางที่ 16 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสลัดจ์ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>3</sup> ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	19.85	661,667	1	22.96	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.8	$7.84 \times 10^{-4}$	$3.2282 \times 10^{10}$	10.45	77.04	$2.91 \times 10^{13}$		
	40	33.85	846,250												
	50	54.72	1,094,400												
	60	83.54	1,392,333												
	70	120.09	1,715,571												
	80	164.66	2,058,250												
	90	216.08	2,400,889												
	100	273.04	2,730,400												
	110	341.49	3,104,455												
	120	424.86	3,540,500												
	130	595.51	4,580,846												
	136	963.86	7,087,206												
2	30	20.12	670,667	1	22.89	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.6	$8.22 \times 10^{-4}$	$3.4110 \times 10^{10}$	10.46	77.11	$2.93 \times 10^{13}$	$2.92 \times 10^{13}$	$1.15 \times 10^{11}$
	40	35.90	897,500												
	50	60.91	1,218,200												
	60	90.03	1,500,500												
	70	127.18	1,816,857												
	80	172.82	2,160,250												
	90	227.44	2,527,111												
	100	290.11	2,901,100												
	110	359.93	3,272,091												
	120	451.43	3,761,917												
	130	658.85	5,068,077												
	136	1,075.15	7,905,515												
3	30	17.57	585,667	1	22.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.0	$8.15 \times 10^{-4}$	$3.3792 \times 10^{10}$	10.46	77.08	$2.93 \times 10^{13}$		
	40	32.16	804,000												
	50	57.34	1,146,800												
	60	86.47	1,441,167												
	70	123.37	1,762,429												
	80	167.54	2,094,250												
	90	221.23	2,458,111												
	100	284.89	2,848,900												
	110	349.37	3,176,091												
	120	433.74	3,614,500												
	130	650.98	5,007,538												
	136	1,066.75	7,843,750												





ภาคผนวก จ

ผลการทดลองปรับสภาพสัณฐานโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

## สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

ตารางที่ จ-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	43,746,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ จ-2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	43.26	1,442,000	1	20.96	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$9.6348 \times 10^{10}$	10.50	79.04	$8.07 \times 10^{14}$		
	40	82.22	2,055,500												
	50	142.89	2,857,800												
	60	228.39	3,806,500												
	70	327.78	4,682,571												
	80	450.76	5,634,500												
	90	587.64	6,529,333												
	100	750.62	7,506,200												
	110	955.11	8,682,818												
	120	1,242.65	10,355,417												
	130	1,500.65	11,543,462												
136	2,221.32	16,333,235													
2	30	44.84	1,494,667	1	20.88	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$9.6425 \times 10^{10}$	10.50	79.12	$8.08 \times 10^{14}$	$8.07 \times 10^{14}$	$1.00 \times 10^{12}$
	40	84.93	2,123,250												
	50	148.30	2,966,000												
	60	222.65	3,710,833												
	70	320.13	4,573,286												
	80	443.56	5,544,500												
	90	580.24	6,447,111												
	100	744.71	7,447,100												
	110	964.79	8,770,818												
	120	1,259.12	10,492,667												
	130	1,439.08	11,069,846												
136	2,193.78	16,130,735													
3	30	44.54	1,484,667	1	20.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.2	$8.48 \times 10^{-4}$	$9.7193 \times 10^{10}$	10.50	79.08	$8.06 \times 10^{14}$		
	40	82.83	2,070,750												
	50	143.30	2,866,000												
	60	224.50	3,741,667												
	70	329.67	4,709,571												
	80	450.13	5,626,625												
	90	579.46	6,438,444												
	100	740.63	7,406,300												
	110	984.09	8,946,273												
	120	1,251.91	10,432,583												
	130	1,454.11	11,185,462												
136	2,207.98	16,235,147													

ตารางที่ ๑-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	38.07	1,269,000	1	21.84	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.9	$7.83 \times 10^{-4}$	$5.6223 \times 10^{10}$	10.48	78.16	$5.43 \times 10^{13}$		
	40	72.18	1,804,500												
	50	118.76	2,375,200												
	60	179.98	2,999,667												
	70	254.56	3,636,571												
	80	335.10	4,188,750												
	90	420.87	4,676,333												
	100	521.67	5,216,700												
	110	638.01	5,800,091												
	120	752.40	6,270,000												
	130	1,287.96	9,907,385												
136	2,025.39	15,114,851													
2	30	38.41	1,280,333	1	21.80	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.6	$7.88 \times 10^{-4}$	$5.6728 \times 10^{10}$	10.48	78.20	$5.45 \times 10^{13}$	$5.44 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	68.98	1,724,500												
	50	110.79	2,215,800												
	60	173.45	2,890,833												
	70	249.51	3,564,429												
	80	324.27	4,053,375												
	90	408.33	4,537,000												
	100	511.96	5,119,600												
	110	632.47	5,749,727												
	120	760.02	6,333,500												
	130	1,227.88	9,445,231												
136	2,029.94	14,926,029													
3	30	39.46	1,315,333	1	21.76	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.3	$7.93 \times 10^{-4}$	$5.6991 \times 10^{10}$	10.48	78.24	$5.44 \times 10^{13}$		
	40	74.42	1,860,500												
	50	124.80	2,496,000												
	60	185.82	3,097,000												
	70	252.32	3,604,571												
	80	337.16	4,214,500												
	90	427.33	4,748,111												
	100	529.84	5,298,400												
	110	642.74	5,843,091												
	120	778.92	6,491,000												
	130	1,283.13	9,870,231												
136	2,038.54	15,212,985													

ตารางที่ จ-4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	31.02	1,034,000	1	22.43	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.6	$8.05 \times 10^{-4}$	$4.0961 \times 10^{10}$	10.47	77.57	$3.59 \times 10^{13}$		
	40	57.86	1,446,500												
	50	90.60	1,812,000												
	60	133.55	2,225,833												
	70	182.86	2,612,286												
	80	243.74	3,046,750												
	90	304.11	3,379,000												
	100	370.60	3,706,000												
	110	461.78	4,198,000												
	120	590.23	4,918,583												
	130	1,058.59	8,143,000												
136	1,658.74	12,196,618													
2	30	32.33	1,077,667	1	22.36	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.7	$8.03 \times 10^{-4}$	$4.0710 \times 10^{10}$	10.47	77.64	$3.57 \times 10^{13}$	$3.59 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	59.43	1,485,750												
	50	93.82	1,876,400												
	60	137.13	2,285,500												
	70	185.39	2,648,429												
	80	240.54	3,006,750												
	90	303.71	3,374,556												
	100	381.19	3,811,900												
	110	472.07	4,291,545												
	120	585.70	4,880,833												
	130	1,038.96	7,992,000												
136	1,635.53	12,025,956													
3	30	30.70	1,023,333	1	22.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.8	$8.19 \times 10^{-4}$	$4.1814 \times 10^{10}$	10.47	77.68	$3.60 \times 10^{13}$		
	40	58.60	1,465,000												
	50	91.10	1,822,000												
	60	135.38	2,256,333												
	70	186.69	2,667,000												
	80	241.48	3,018,500												
	90	308.46	3,427,333												
	100	376.56	3,765,600												
	110	471.75	4,288,636												
	120	598.06	4,983,833												
	130	1,113.67	8,566,692												
136	1,715.48	12,802,090													

ตารางที่ ๑-5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	22.19	739,667	1	22.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.1	$8.13 \times 10^{-4}$	$2.3612 \times 10^{10}$	10.46	77.25	$2.05 \times 10^{13}$		
	40	38.66	966,500												
	50	60.04	1,200,800												
	60	83.94	1,399,000												
	70	113.16	1,616,571												
	80	147.05	1,838,125												
	90	188.02	2,089,111												
	100	234.41	2,344,100												
	110	284.33	2,584,818												
	120	350.40	2,920,000												
	130	856.03	6,584,846												
136	1,397.44	10,275,294													
2	30	20.47	682,333	1	22.68	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$2.3407 \times 10^{10}$	10.46	77.32	$2.08 \times 10^{13}$	$2.07 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	36.24	906,000												
	50	57.56	1,151,200												
	60	80.87	1,347,833												
	70	109.65	1,566,429												
	80	143.29	1,791,125												
	90	180.91	2,010,111												
	100	224.68	2,246,800												
	110	278.43	2,531,182												
	120	342.62	2,855,167												
	130	850.48	6,542,154												
136	1,391.35	10,306,296													
3	30	19.98	666,000	1	22.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$2.3383 \times 10^{10}$	10.46	77.37	$2.07 \times 10^{13}$		
	40	35.57	889,250												
	50	54.35	1,087,000												
	60	76.53	1,275,500												
	70	105.38	1,505,429												
	80	139.82	1,747,750												
	90	179.30	1,992,222												
	100	224.57	2,245,700												
	110	276.43	2,513,000												
	120	333.65	2,780,417												
	130	843.65	6,489,615												
136	1,385.24	10,185,588													



ตารางที่ ๑-6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	40.38	1,346,000	1	22.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$7.4793 \times 10^{10}$	10.46	77.28	$5.92 \times 10^{13}$		
	40	86.81	2,170,250												
	50	147.85	2,957,000												
	60	227.22	3,787,000												
	70	324.54	4,636,286												
	80	431.29	5,391,125												
	90	546.76	6,075,111												
	100	673.98	6,739,800												
	110	810.84	7,371,273												
	120	967.77	8,064,750												
	130	1,525.20	11,732,308												
	136	2,488.01	18,294,191												
2	30	40.54	1,351,333	1	22.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$7.4502 \times 10^{10}$	10.46	77.25	$5.94 \times 10^{13}$	$5.92 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	86.58	2,164,500												
	50	146.51	2,930,200												
	60	227.00	3,783,333												
	70	324.46	4,635,143												
	80	421.41	5,267,625												
	90	540.24	6,002,667												
	100	665.82	6,658,200												
	110	810.57	7,368,818												
	120	969.72	8,081,000												
	130	1,573.97	12,107,462												
	136	2,364.50	17,386,029												
3	30	37.97	1,265,667	1	22.77	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$7.3501 \times 10^{10}$	10.46	77.23	$5.91 \times 10^{13}$		
	40	78.78	1,969,500												
	50	140.45	2,809,000												
	60	217.86	3,631,000												
	70	311.45	4,449,286												
	80	411.75	5,146,875												
	90	523.33	5,814,778												
	100	644.72	6,447,200												
	110	780.50	7,095,455												
	120	951.29	7,927,417												
	130	1,533.51	11,796,231												
	136	2,381.42	17,640,148												

ตารางที่ ๑-7 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	32.82	1,094,000	1	23.32	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.5	$8.81 \times 10^{-4}$	$4.4427 \times 10^{10}$	10.45	76.68	$3.56 \times 10^{13}$		
	40	60.52	1,513,000												
	50	101.81	2,036,200												
	60	150.12	2,502,000												
	70	209.34	2,990,571												
	80	273.80	3,422,500												
	90	348.42	3,871,333												
	100	428.58	4,285,800												
	110	513.48	4,668,000												
	120	603.71	5,030,917												
	130	1,294.20	9,955,385												
	136	2,055.22	15,111,912												
2	30	32.26	1,075,333	1	23.27	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.8	$8.75 \times 10^{-4}$	$4.4096 \times 10^{10}$	10.45	76.23	$3.56 \times 10^{13}$	$3.56 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	62.03	1,550,750												
	50	100.34	2,006,800												
	60	149.25	2,487,500												
	70	207.61	2,965,857												
	80	271.36	3,392,000												
	90	345.50	3,838,889												
	100	423.65	4,236,500												
	110	507.31	4,611,909												
	120	605.05	5,042,083												
	130	1,286.34	9,894,923												
	136	2,054.21	15,216,370												
3	30	30.24	1,008,000	1	23.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.9	$8.73 \times 10^{-4}$	$4.3869 \times 10^{10}$	10.45	76.78	$3.55 \times 10^{13}$		
	40	60.21	1,505,250												
	50	98.38	1,967,600												
	60	146.54	2,442,333												
	70	203.98	2,914,000												
	80	265.31	3,316,375												
	90	334.72	3,719,111												
	100	413.37	4,133,700												
	110	501.02	4,554,727												
	120	600.61	5,005,083												
	130	1,279.32	9,840,923												
	136	2,044.35	14,814,130												

ตารางที่ ๑-8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	22.81	760,333	1	23.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.3825 \times 10^{10}$	10.44	76.28	$1.89 \times 10^{13}$		
	40	41.16	1,029,000												
	50	61.83	1,236,600												
	60	88.46	1,474,333												
	70	120.26	1,718,000												
	80	159.10	1,988,750												
	90	198.84	2,209,333												
	100	244.62	2,446,200												
	110	294.52	2,677,455												
	120	347.89	2,899,083												
	130	671.25	5,163,462												
136	1,335.93	9,680,652													
2	30	22.35	745,000	1	23.58	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.5	$8.81 \times 10^{-4}$	$2.3305 \times 10^{10}$	10.44	76.42	$1.87 \times 10^{13}$	$1.89 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	40.28	1,007,000												
	50	61.64	1,232,800												
	60	88.31	1,471,833												
	70	119.98	1,714,000												
	80	156.87	1,960,875												
	90	194.62	2,162,444												
	100	240.39	2,403,900												
	110	289.61	2,632,818												
	120	341.37	2,844,750												
	130	663.28	5,102,154												
136	1,324.64	9,529,784													
3	30	23.89	796,333	1	23.64	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.9	$8.73 \times 10^{-4}$	$2.3494 \times 10^{10}$	10.44	76.36	$1.90 \times 10^{13}$		
	40	41.34	1,033,500												
	50	63.31	1,266,200												
	60	90.87	1,514,500												
	70	122.38	1,748,286												
	80	160.54	2,006,750												
	90	199.66	2,218,444												
	100	245.81	2,458,100												
	110	294.62	2,678,364												
	120	347.85	2,898,750												
	130	673.31	5,179,308												
136	1,339.58	9,849,853													

ตารางที่ ๑-9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	18.47	615,667	1	23.86	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.3821 \times 10^{10}$	10.44	76.14	$1.10 \times 10^{13}$		
	40	31.80	795,000												
	50	47.34	946,800												
	60	65.91	1,098,500												
	70	86.39	1,234,143												
	80	109.08	1,363,500												
	90	132.61	1,473,444												
	100	161.38	1,613,800												
	110	191.65	1,742,273												
	120	228.35	1,902,917												
	130	470.58	3,619,846												
136	923.08	6,787,353													
2	30	16.64	554,667	1	23.82	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.3927 \times 10^{10}$	10.44	76.18	$1.11 \times 10^{13}$	$1.10 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	29.18	729,500												
	50	44.92	898,400												
	60	61.34	1,022,333												
	70	82.04	1,172,000												
	80	104.39	1,304,875												
	90	129.63	1,440,333												
	100	155.26	1,552,600												
	110	184.35	1,675,909												
	120	222.51	1,854,250												
	130	462.95	3,561,154												
136	918.33	6,802,444													
3	30	17.06	568,667	1	23.77	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$1.3543 \times 10^{10}$	10.44	76.23	$1.08 \times 10^{13}$		
	40	30.52	763,000												
	50	46.35	927,000												
	60	63.51	1,058,500												
	70	85.39	1,219,857												
	80	105.83	1,322,875												
	90	129.24	1,436,000												
	100	158.36	1,583,600												
	110	187.20	1,701,818												
	120	218.31	1,819,250												
	130	478.48	3,680,615												
136	925.23	6,803,162													

ตารางที่ จ-10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	29.24	974,667	1	23.97	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$5.2926 \times 10^{10}$	10.44	76.03	$4.20 \times 10^{13}$		
	40	62.07	1,551,750												
	50	106.70	2,134,000												
	60	163.78	2,729,667												
	70	234.80	3,354,286												
	80	309.60	3,870,000												
	90	389.14	4,323,778												
	100	477.91	4,779,100												
	110	573.07	5,209,727												
	120	692.94	5,774,500												
	130	1,121.81	8,629,308												
136	1,648.08	12,118,235													
2	30	28.61	953,667	1	23.94	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$5.2828 \times 10^{10}$	10.44	76.06	$4.19 \times 10^{13}$	$4.20 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	55.77	1,394,250												
	50	96.08	1,921,600												
	60	148.10	2,468,333												
	70	209.83	2,997,571												
	80	282.64	3,533,000												
	90	365.95	4,066,111												
	100	454.84	4,548,400												
	110	561.05	5,100,455												
	120	684.57	5,704,750												
	130	1,090.97	8,392,077												
136	1,721.75	12,659,926													
3	30	28.23	941,000	1	24.04	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$5.2459 \times 10^{10}$	10.43	75.96	$4.20 \times 10^{13}$		
	40	61.46	1,536,500												
	50	108.41	2,168,200												
	60	158.59	2,643,167												
	70	222.47	3,178,143												
	80	296.26	3,703,250												
	90	379.25	4,213,889												
	100	472.43	4,724,300												
	110	571.29	5,193,545												
	120	685.45	5,712,083												
	130	1,202.10	9,246,923												
136	1,931.21	14,305,259													

ตารางที่ จ-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	27.36	912,000	1	24.40	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.1	$8.89 \times 10^{-4}$	$2.6537 \times 10^{10}$	10.43	75.60	$2.11 \times 10^{13}$		
	40	52.21	1,305,250												
	50	79.59	1,591,800												
	60	112.06	1,867,667												
	70	149.66	2,138,000												
	80	188.26	2,353,250												
	90	233.41	2,593,444												
	100	288.72	2,887,200												
	110	342.64	3,114,909												
	120	406.09	3,384,083												
	130	738.59	5,681,462												
136	1,474.83	11,006,194													
2	30	26.45	881,667	1	24.45	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.6536 \times 10^{10}$	10.43	75.55	$2.12 \times 10^{13}$	$2.11 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	52.14	1,303,500												
	50	80.34	1,606,800												
	60	113.98	1,899,667												
	70	151.34	2,162,000												
	80	194.68	2,433,500												
	90	237.31	2,636,778												
	100	287.46	2,874,600												
	110	342.20	3,110,909												
	120	403.28	3,360,667												
	130	728.43	5,603,308												
136	1,481.32	10,812,555													
3	30	25.64	854,667	1	24.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.6349 \times 10^{10}$	10.42	75.28	$2.10 \times 10^{13}$		
	40	51.97	1,299,250												
	50	78.31	1,566,200												
	60	109.54	1,825,667												
	70	145.69	2,081,286												
	80	187.87	2,348,375												
	90	230.11	2,556,778												
	100	282.62	2,826,200												
	110	338.28	3,075,273												
	120	399.67	3,330,583												
	130	722.85	5,560,385												
136	1,477.09	11,023,060													

ตารางที่ จ-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	14.06	468,667	1	24.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.2980 \times 10^{10}$	10.42	75.34	$1.03 \times 10^{13}$		
	40	26.03	650,750												
	50	39.13	782,600												
	60	55.34	922,333												
	70	73.19	1,045,571												
	80	95.45	1,193,125												
	90	118.18	1,313,111												
	100	142.45	1,424,500												
	110	169.13	1,537,545												
	120	198.63	1,655,250												
	130	353.85	2,721,923												
136	1,040.58	7,651,324													
2	30	15.15	505,000	1	24.70	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.2828 \times 10^{10}$	10.42	75.30	$1.02 \times 10^{13}$	$1.03 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	26.21	655,250												
	50	41.18	823,600												
	60	56.87	947,833												
	70	77.62	1,108,857												
	80	95.84	1,198,000												
	90	119.68	1,329,778												
	100	144.57	1,445,700												
	110	171.59	1,559,909												
	120	200.44	1,670,333												
	130	405.85	3,121,923												
136	1,084.23	7,972,279													
3	30	15.87	529,000	1	24.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.2871 \times 10^{10}$	10.42	75.28	$1.03 \times 10^{13}$		
	40	28.42	710,500												
	50	42.63	852,600												
	60	58.38	973,000												
	70	76.62	1,094,571												
	80	99.31	1,241,375												
	90	121.65	1,351,667												
	100	146.32	1,463,200												
	110	175.26	1,593,273												
	120	206.44	1,720,333												
	130	427.51	3,288,538												
136	1,022.70	7,519,853													

ตารางที่ จ-13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	11.83	394,333	1	24.76	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$8.0020 \times 10^9$	10.42	75.24	$6.61 \times 10^{12}$		
	40	19.22	480,500												
	50	27.63	552,600												
	60	38.54	642,333												
	70	50.17	716,714												
	80	63.24	790,500												
	90	78.79	875,444												
	100	95.17	951,700												
	110	113.95	1,035,909												
	120	134.61	1,121,750												
	130	301.42	2,318,615												
136	747.16	5,493,824													
2	30	10.57	352,333	1	24.79	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$8.0056 \times 10^9$	10.42	75.21	$6.58 \times 10^{12}$	$6.59 \times 10^{12}$	$1.53 \times 10^{10}$
	40	18.78	469,500												
	50	28.21	564,200												
	60	38.35	639,167												
	70	50.78	725,429												
	80	63.91	798,875												
	90	78.38	870,889												
	100	95.56	955,600												
	110	112.32	1,021,091												
	120	130.58	1,088,167												
	130	327.33	2,517,923												
136	759.71	5,586,103													
3	30	9.87	329,000	1	24.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$8.0047 \times 10^9$	10.42	75.25	$6.59 \times 10^{12}$		
	40	17.65	441,250												
	50	26.34	526,800												
	60	36.21	603,500												
	70	47.39	677,000												
	80	59.97	749,625												
	90	74.98	833,111												
	100	91.39	913,900												
	110	109.68	997,091												
	120	128.68	1,072,333												
	130	333.90	2,568,462												
136	746.57	5,371,007													



ตารางที่ จ-14 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	24.87	829,000	1	24.52	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$4.5054 \times 10^{10}$	10.43	75.48	$3.60 \times 10^{13}$		
	40	60.77	1,519,250												
	50	99.91	1,998,200												
	60	150.69	2,511,500												
	70	208.12	2,973,143												
	80	264.61	3,307,625												
	90	338.08	3,756,444												
	100	417.43	4,174,300												
	110	505.80	4,598,182												
	120	603.97	5,033,083												
	130	987.35	7,595,000												
136	1,254.68	9,363,284													
2	30	25.87	862,333	1	24.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$4.5044 \times 10^{10}$	10.43	75.53	$3.60 \times 10^{13}$	$3.60 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	55.29	1,382,250												
	50	92.70	1,854,000												
	60	139.91	2,331,833												
	70	197.03	2,814,714												
	80	265.78	3,322,250												
	90	333.20	3,702,222												
	100	411.47	4,114,700												
	110	501.51	4,559,182												
	120	585.63	4,880,250												
	130	997.54	7,673,385												
136	1,352.68	10,094,627													
3	30	24.98	832,667	1	24.39	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.8	$8.75 \times 10^{-4}$	$4.4640 \times 10^{10}$	10.43	75.61	$3.61 \times 10^{13}$		
	40	55.25	1,381,250												
	50	91.64	1,832,800												
	60	137.29	2,288,167												
	70	195.92	2,798,857												
	80	262.38	3,279,750												
	90	330.65	3,673,889												
	100	407.36	4,073,600												
	110	496.62	4,514,727												
	120	578.31	4,819,250												
	130	986.25	7,586,538												
136	1,366.54	10,122,519													

ตารางที่ จ-15 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	17.12	570,667	1	24.84	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.9	$8.35 \times 10^{-4}$	$2.0551 \times 10^{10}$	10.42	75.16	$1.74 \times 10^{13}$		
	40	30.28	757,000												
	50	48.75	975,000												
	60	72.30	1,205,000												
	70	96.90	1,384,286												
	80	126.34	1,579,250												
	90	159.76	1,775,111												
	100	198.65	1,986,500												
	110	241.32	2,193,818												
	120	293.67	2,447,250												
	130	453.83	3,491,000												
136	1,043.48	7,561,449													
2	30	16.57	552,333	1	24.88	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.2	$8.48 \times 10^{-4}$	$2.0918 \times 10^{10}$	10.42	75.12	$1.75 \times 10^{13}$	$1.75 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	27.18	679,500												
	50	45.22	904,400												
	60	68.38	1,139,667												
	70	92.47	1,321,000												
	80	122.63	1,532,875												
	90	157.16	1,746,222												
	100	194.61	1,946,100												
	110	238.79	2,170,818												
	120	290.75	2,422,917												
	130	462.84	3,560,308												
136	1,044.69	7,570,217													
3	30	18.64	621,333	1	24.79	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.5	$8.43 \times 10^{-4}$	$2.0936 \times 10^{10}$	10.42	75.21	$1.76 \times 10^{13}$		
	40	29.87	746,750												
	50	48.32	966,400												
	60	72.64	1,210,667												
	70	100.21	1,431,571												
	80	128.68	1,608,500												
	90	166.39	1,848,778												
	100	204.54	2,045,400												
	110	247.91	2,253,727												
	120	294.69	2,455,750												
	130	466.82	3,590,923												
136	1,057.37	7,662,101													

ตารางที่ จ-16 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	12.57	419,000	1	25.01	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$1.1445 \times 10^{10}$	10.42	74.99	$9.25 \times 10^{12}$		
	40	23.03	575,750												
	50	34.13	682,600												
	60	47.34	789,000												
	70	63.19	902,714												
	80	80.45	1,005,625												
	90	100.18	1,113,111												
	100	124.45	1,244,500												
	110	150.13	1,364,818												
	120	176.63	1,471,917												
	130	430.72	3,313,231												
136	979.86	7,312,388													
2	30	12.54	418,000	1	25.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.6	$8.79 \times 10^{-4}$	$1.1505 \times 10^{10}$	10.42	74.97	$9.27 \times 10^{12}$	$9.26 \times 10^{12}$	$1.15 \times 10^{10}$
	40	24.87	621,750												
	50	35.14	702,800												
	60	49.68	828,000												
	70	66.34	947,714												
	80	84.25	1,053,125												
	90	104.89	1,165,444												
	100	126.34	1,263,400												
	110	151.38	1,376,182												
	120	180.57	1,504,750												
	130	425.04	3,269,538												
136	976.53	7,180,368													
3	30	12.44	414,667	1	24.99	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.1575 \times 10^{10}$	10.42	75.01	$9.25 \times 10^{12}$		
	40	20.68	517,000												
	50	31.59	631,800												
	60	44.68	744,667												
	70	60.89	869,857												
	80	78.35	979,375												
	90	99.64	1,107,111												
	100	122.56	1,225,600												
	110	145.87	1,326,091												
	120	173.34	1,444,500												
	130	431.25	3,317,308												
136	984.56	7,239,412													



ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองปรับสภาพสไลด์จี้โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า  
ศึกษาความเข้มข้นสไลด์จี้

### สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

ตารางที่ ฉ-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	215.53	7,184,333	0.7	19.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.4465 \times 10^{11}$	7.26	80.53	$2.79 \times 10^{14}$		
	40	369.46	9,236,500												
	50	565.51	11,310,200												
	60	817.16	13,619,333												
	70	1,117.40	15,962,857												
	80	1,474.89	18,436,125												
	90	1,901.52	21,128,000												
	100	2,353.70	23,537,000												
	110	2,898.37	26,348,818												
	120	3,498.82	29,156,833												
	130	5,168.85	39,760,384												
138	7,450.84	53,991,594													
2	30	217.23	7,241,000	0.7	19.39	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.4362 \times 10^{11}$	7.26	80.61	$2.79 \times 10^{14}$	$2.78 \times 10^{14}$	$1.73 \times 10^{12}$
	40	371.34	9,283,500												
	50	568.40	11,368,000												
	60	820.39	13,673,166												
	70	1,119.57	15,993,857												
	80	1,478.33	18,479,125												
	90	1,906.37	21,181,888												
	100	2,358.62	23,586,200												
	110	2,902.36	26,385,090												
	120	3,484.31	29,035,916												
	130	5,179.16	39,839,692												
138	7,461.55	54,069,202													
3	30	212.35	7,078,333	0.7	19.41	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.4230 \times 10^{11}$	7.26	80.59	$2.76 \times 10^{14}$		
	40	366.94	9,173,500												
	50	573.72	11,474,400												
	60	825.64	13,760,666												
	70	1,122.35	16,033,571												
	80	1,472.84	18,410,500												
	90	1,900.31	21,114,555												
	100	2,351.57	23,515,700												
	110	2,874.35	26,130,454												
	120	3,468.75	28,906,250												
	130	5,168.81	39,760,076												
138	7,454.16	54,015,652													

ตารางที่ ข-2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	46.41	1,547,000	0.7	24.61	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$3.7788 \times 10^{10}$	7.20	75.39	$4.38 \times 10^{13}$		
	40	79.25	1,981,250												
	50	117.05	2,341,000												
	60	161.61	2,693,500												
	70	218.04	3,114,857												
	80	278.47	3,480,875												
	90	350.06	3,889,556												
	100	423.52	4,235,200												
	110	505.46	4,595,091												
	120	594.01	4,950,083												
	130	979.23	7,532,538												
136	1,609.46	11,662,754													
2	30	42.38	1,412,667	0.7	24.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$3.8153 \times 10^{10}$	7.20	75.34	$4.41 \times 10^{13}$	$4.42 \times 10^{13}$	$4.04 \times 10^{11}$
	40	70.64	1,766,000												
	50	108.38	2,167,600												
	60	152.43	2,540,500												
	70	201.61	2,880,143												
	80	260.32	3,254,000												
	90	332.25	3,691,667												
	100	404.35	4,043,500												
	110	487.12	4,428,364												
	120	584.31	4,869,250												
	130	970.55	7,465,769												
136	1,601.64	11,606,087													
3	30	36.31	1,210,333	0.7	24.70	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.5	$8.81 \times 10^{-4}$	$3.8967 \times 10^{10}$	7.20	75.30	$4.46 \times 10^{13}$		
	40	74.23	1,855,750												
	50	102.68	2,053,600												
	60	146.71	2,445,167												
	70	197.31	2,818,714												
	80	253.19	3,164,875												
	90	325.67	3,618,556												
	100	395.14	3,951,400												
	110	480.36	4,366,909												
	120	576.87	4,807,250												
	130	968.31	7,448,538												
136	1,594.28	11,637,080													



ตารางที่ ๓-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	25.49	849,667	0.7	24.99	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$2.4366 \times 10^{10}$	7.20	75.01	$2.88 \times 10^{13}$		
	40	43.18	1,079,500												
	50	66.26	1,325,200												
	60	94.07	1,567,833												
	70	128.46	1,835,143												
	80	165.18	2,064,750												
	90	206.12	2,290,222												
	100	253.95	2,539,500												
	110	309.33	2,812,091												
	120	363.40	3,028,333												
	130	567.34	4,364,154												
136	1,247.61	9,040,652													
2	30	24.14	804,667	0.7	25.05	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.0	$8.52 \times 10^{-4}$	$2.3526 \times 10^{10}$	7.20	74.95	$2.83 \times 10^{13}$	$2.85 \times 10^{13}$	$2.52 \times 10^{11}$
	40	41.60	1,040,000												
	50	64.39	1,287,800												
	60	90.61	1,510,167												
	70	120.38	1,719,714												
	80	154.22	1,927,750												
	90	195.68	2,174,222												
	100	240.36	2,403,600												
	110	294.84	2,680,364												
	120	357.31	2,977,583												
	130	561.22	4,317,077												
136	1,210.34	8,770,580													
3	30	21.19	706,333	0.7	25.02	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.9	$8.54 \times 10^{-4}$	$2.3744 \times 10^{10}$	7.20	74.98	$2.85 \times 10^{13}$		
	40	38.84	971,000												
	50	61.38	1,227,600												
	60	87.64	1,460,667												
	70	116.35	1,662,143												
	80	149.69	1,871,125												
	90	190.11	2,112,333												
	100	235.01	2,350,100												
	110	286.63	2,605,727												
	120	350.87	2,923,917												
	130	542.34	4,171,846												
136	1,195.34	8,661,884													

ตารางที่ ๕-4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	18.64	621,333	0.7	25.12	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.0	$8.71 \times 10^{-4}$	$1.4263 \times 10^{10}$	7.20	74.88	$1.68 \times 10^{13}$		
	40	28.67	716,750												
	50	43.15	863,000												
	60	60.38	1,006,333												
	70	80.54	1,150,571												
	80	104.34	1,304,250												
	90	130.58	1,450,889												
	100	160.22	1,602,200												
	110	189.36	1,721,455												
	120	225.47	1,878,917												
	130	430.38	3,310,615												
136	1,071.32	7,763,188													
2	30	17.51	583,667	0.7	25.18	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$1.4241 \times 10^{10}$	7.20	74.82	$1.69 \times 10^{13}$	$1.68 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	27.42	685,500												
	50	41.44	828,800												
	60	58.59	976,500												
	70	77.35	1,105,000												
	80	101.01	1,262,625												
	90	126.43	1,404,778												
	100	156.31	1,563,100												
	110	185.95	1,690,455												
	120	221.35	1,844,583												
	130	424.78	3,267,538												
136	1,062.50	7,699,275													
3	30	19.34	644,667	0.7	25.14	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.4	$8.63 \times 10^{-4}$	$1.4016 \times 10^{10}$	7.20	74.86	$1.66 \times 10^{13}$		
	40	29.32	733,000												
	50	43.57	871,400												
	60	60.98	1,016,333												
	70	80.11	1,144,429												
	80	102.87	1,285,875												
	90	130.38	1,448,667												
	100	158.34	1,583,400												
	110	189.16	1,719,636												
	120	226.98	1,891,500												
	130	429.22	3,301,692												
136	1,074.35	7,785,145													

ตารางที่ ๕-5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	10.78	359,333	0.7	25.23	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.6	$8.41 \times 10^{-4}$	$6.6682 \times 10^9$	7.20	74.77	$8.13 \times 10^{12}$		
	40	16.81	420,250												
	50	24.15	483,000												
	60	32.76	546,000												
	70	43.13	616,143												
	80	54.48	681,000												
	90	66.65	740,556												
	100	81.04	810,400												
	110	96.96	881,455												
	120	116.30	969,167												
	130	243.61	1,873,923												
136	701.05	5,117,153													
2	30	11.35	378,333	0.7	25.20	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.9	$8.35 \times 10^{-4}$	$6.6325 \times 10^9$	7.20	74.80	$8.14 \times 10^{12}$	$8.12 \times 10^{12}$	$2.08 \times 10^{10}$
	40	18.28	457,000												
	50	25.98	519,600												
	60	35.25	587,500												
	70	45.36	648,000												
	80	56.45	705,625												
	90	69.54	772,667												
	100	85.33	853,300												
	110	100.14	910,364												
	120	118.58	988,167												
	130	247.87	1,906,692												
136	707.64	5,165,255													
3	30	12.58	419,333	0.7	25.17	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.3	$8.46 \times 10^{-4}$	$6.6681 \times 10^9$	7.20	74.83	$8.10 \times 10^{12}$		
	40	19.24	481,000												
	50	27.61	552,200												
	60	37.24	620,667												
	70	48.36	690,857												
	80	60.78	759,750												
	90	74.11	823,444												
	100	89.34	893,400												
	110	103.98	945,273												
	120	122.35	1,019,583												
	130	257.34	1,979,538												
136	718.57	5,283,603													

ตารางที่ ข-6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ๐ นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	43,746,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ ๕-7 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	29.24	974,667	1	23.97	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$5.2926 \times 10^{10}$	10.44	76.03	$4.20 \times 10^{13}$		
	40	62.07	1,551,750												
	50	106.70	2,134,000												
	60	163.78	2,729,667												
	70	234.80	3,354,286												
	80	309.60	3,870,000												
	90	389.14	4,323,778												
	100	477.91	4,779,100												
	110	573.07	5,209,727												
	120	692.94	5,774,500												
	130	1,121.81	8,629,308												
	136	1,648.08	12,118,235												
2	30	28.61	953,667	1	23.94	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$5.2828 \times 10^{10}$	10.44	76.06	$4.19 \times 10^{13}$	$4.20 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	55.77	1,394,250												
	50	96.08	1,921,600												
	60	148.10	2,468,333												
	70	209.83	2,997,571												
	80	282.64	3,533,000												
	90	365.95	4,066,111												
	100	454.84	4,548,400												
	110	561.05	5,100,455												
	120	684.57	5,704,750												
	130	1,090.97	8,392,077												
	136	1,721.75	12,659,926												
3	30	28.23	941,000	1	24.04	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$5.2459 \times 10^{10}$	10.43	75.96	$4.20 \times 10^{13}$		
	40	61.46	1,536,500												
	50	108.41	2,168,200												
	60	158.59	2,643,167												
	70	222.47	3,178,143												
	80	296.26	3,703,250												
	90	379.25	4,213,889												
	100	472.43	4,724,300												
	110	571.29	5,193,545												
	120	685.45	5,712,083												
	130	1,202.10	9,246,923												
	136	1,931.21	14,305,259												

ตารางที่ ๘-8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	27.36	912,000	1	24.40	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.1	$8.89 \times 10^{-4}$	$2.6537 \times 10^{10}$	10.43	75.60	$2.11 \times 10^{13}$		
	40	52.21	1,305,250												
	50	79.59	1,591,800												
	60	112.06	1,867,667												
	70	149.66	2,138,000												
	80	188.26	2,353,250												
	90	233.41	2,593,444												
	100	288.72	2,887,200												
	110	342.64	3,114,909												
	120	406.09	3,384,083												
	130	738.59	5,681,462												
136	1,474.83	11,006,194													
2	30	26.45	881,667	1	24.45	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.6536 \times 10^{10}$	10.43	75.55	$2.12 \times 10^{13}$	$2.11 \times 10^{13}$	$1.00 \times 10^{11}$
	40	52.14	1,303,500												
	50	80.34	1,606,800												
	60	113.98	1,899,667												
	70	151.34	2,162,000												
	80	194.68	2,433,500												
	90	237.31	2,636,778												
	100	287.46	2,874,600												
	110	342.20	3,110,909												
	120	403.28	3,360,667												
	130	728.43	5,603,308												
136	1,481.32	10,812,555													
3	30	25.64	854,667	1	24.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.6349 \times 10^{10}$	10.42	75.28	$2.10 \times 10^{13}$		
	40	51.97	1,299,250												
	50	78.31	1,566,200												
	60	109.54	1,825,667												
	70	145.69	2,081,286												
	80	187.87	2,348,375												
	90	230.11	2,556,778												
	100	282.62	2,826,200												
	110	338.28	3,075,273												
	120	399.67	3,330,583												
	130	722.85	5,560,385												
136	1,477.09	11,023,060													

ตารางที่ ๑-9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	14.06	468,667	1	24.66	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.2980 \times 10^{10}$	10.42	75.34	$1.03 \times 10^{13}$		
	40	26.03	650,750												
	50	39.13	782,600												
	60	55.34	922,333												
	70	73.19	1,045,571												
	80	95.45	1,193,125												
	90	118.18	1,313,111												
	100	142.45	1,424,500												
	110	169.13	1,537,545												
	120	198.63	1,655,250												
	130	353.85	2,721,923												
136	1,040.58	7,651,324													
2	30	15.15	505,000	1	24.70	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.2828 \times 10^{10}$	10.42	75.30	$1.02 \times 10^{13}$	$1.03 \times 10^{13}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	26.21	655,250												
	50	41.18	823,600												
	60	56.87	947,833												
	70	77.62	1,108,857												
	80	95.84	1,198,000												
	90	119.68	1,329,778												
	100	144.57	1,445,700												
	110	171.59	1,559,909												
	120	200.44	1,670,333												
	130	405.85	3,121,923												
136	1,084.23	7,972,279													
3	30	15.87	529,000	1	24.72	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.2871 \times 10^{10}$	10.42	75.28	$1.03 \times 10^{13}$		
	40	28.42	710,500												
	50	42.63	852,600												
	60	58.38	973,000												
	70	76.62	1,094,571												
	80	99.31	1,241,375												
	90	121.65	1,351,667												
	100	146.32	1,463,200												
	110	175.26	1,593,273												
	120	206.44	1,720,333												
	130	427.51	3,288,538												
136	1,022.70	7,519,853													

ตารางที่ ฉ-10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	11.83	394,333	1	24.76	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$8.0020 \times 10^9$	10.42	75.24	$6.61 \times 10^{12}$		
	40	19.22	480,500												
	50	27.63	552,600												
	60	38.54	642,333												
	70	50.17	716,714												
	80	63.24	790,500												
	90	78.79	875,444												
	100	95.17	951,700												
	110	113.95	1,035,909												
	120	134.61	1,121,750												
	130	301.42	2,318,615												
136	747.16	5,493,824													
2	30	10.57	352,333	1	24.79	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.87 \times 10^{-4}$	$8.0056 \times 10^9$	10.42	75.21	$6.58 \times 10^{12}$	$6.59 \times 10^{12}$	$1.53 \times 10^{10}$
	40	18.78	469,500												
	50	28.21	564,200												
	60	38.35	639,167												
	70	50.78	725,429												
	80	63.91	798,875												
	90	78.38	870,889												
	100	95.56	955,600												
	110	112.32	1,021,091												
	120	130.58	1,088,167												
	130	327.33	2,517,923												
136	759.71	5,586,103													
3	30	9.87	329,000	1	24.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$8.0047 \times 10^9$	10.42	75.25	$6.59 \times 10^{12}$		
	40	17.65	441,250												
	50	26.34	526,800												
	60	36.21	603,500												
	70	47.39	677,000												
	80	59.97	749,625												
	90	74.98	833,111												
	100	91.39	913,900												
	110	109.68	997,091												
	120	128.68	1,072,333												
	130	333.90	2,568,462												
136	746.57	5,371,007													



ตารางที่ ฉ-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ครั้งที่ ที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	288.43	9,614,333	1.3	10.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.8	$7.68 \times 10^{-4}$	$6.8842 \times 10^{11}$	14.89	89.78	$4.44 \times 10^{14}$		
	40	622.30	15,557,500												
	50	1,117.42	22,348,400												
	60	1,725.17	28,752,833												
	70	2,532.36	36,176,571												
	80	3,438.93	42,986,625												
	90	4,484.81	49,831,222												
	100	5,708.29	57,082,900												
	110	7,087.67	64,433,364												
	120	9,381.50	78,179,167												
	132	11,375.6	86,179,394												
2	30	290.37	9,679,000	1.3	10.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.6	$7.71 \times 10^{-4}$	$6.8844 \times 10^{11}$	14.91	89.87	$4.42 \times 10^{14}$	$4.42 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	624.84	15,621,000												
	50	1,120.68	22,413,600												
	60	1,728.46	28,807,667												
	70	2,536.11	36,230,143												
	80	3,442.68	43,033,500												
	90	4,489.06	49,878,444												
	100	5,713.50	57,135,000												
	110	7,097.36	64,521,455												
	120	9,390.16	78,251,333												
	132	11,386.4	86,260,985												
3	30	293.34	9,778,000	1.3	10.15	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.5	$4.43 \times 10^{-4}$	$6.8805 \times 10^{11}$	14.91	89.85	$4.41 \times 10^{14}$		
	40	627.15	15,678,750												
	50	1,124.55	22,491,000												
	60	1,738.31	28,971,833												
	70	2,540.90	36,298,571												
	80	3,447.25	43,090,625												
	90	4,496.34	49,959,333												
	100	5,718.48	57,184,800												
	110	7,105.18	64,592,545												
	120	9,400.34	78,336,167												
	132	11,392.1	86,304,167												

ตารางที่ ฉ-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	162.06	5,402,000	1.3	22.35	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.5037 \times 10^{11}$	13.80	77.65	$1.50 \times 10^{14}$		
	40	293.59	7,339,750												
	50	503.39	10,067,800												
	60	751.68	12,528,000												
	70	1,077.77	15,396,714												
	80	1,419.50	17,743,750												
	90	1,810.84	20,120,444												
	100	2,267.21	22,672,100												
	110	2,764.11	25,128,273												
	120	3,943.41	32,861,750												
	132	5,904.34	44,729,848												
2	30	138.88	4,629,333	1.3	22.40	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.6	$8.79 \times 10^{-4}$	$2.4457 \times 10^{11}$	13.80	77.60	$1.49 \times 10^{14}$	$1.48 \times 10^{14}$	$2.65 \times 10^{12}$
	40	278.07	6,951,750												
	50	487.65	9,753,000												
	60	723.19	12,053,167												
	70	996.65	14,237,857												
	80	1,350.96	16,887,000												
	90	1,774.79	19,719,889												
	100	2,191.68	21,916,800												
	110	2,628.83	23,898,455												
	120	3,853.73	32,114,417												
	132	5,910.32	44,775,152												
3	30	152.75	5,091,667	1.3	22.29	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.9	$8.73 \times 10^{-4}$	$2.3713 \times 10^{11}$	13.81	77.71	$1.45 \times 10^{14}$		
	40	300.43	7,510,750												
	50	510.54	10,210,800												
	60	773.24	12,887,333												
	70	1,057.13	15,101,857												
	80	1,404.32	17,554,000												
	90	1,776.71	19,741,222												
	100	2,180.52	21,805,200												
	110	2,640.97	24,008,818												
	120	4,073.91	33,949,250												
	132	6,032.96	45,704,242												

ตารางที่ ฉ-13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	80.61	2,687,000	1.3	23.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$1.5901 \times 10^{11}$	13.77	76.81	$9.83 \times 10^{13}$		
	40	164.16	4,104,000												
	50	278.48	5,569,600												
	60	427.39	7,123,167												
	70	608.56	8,693,714												
	80	830.77	10,384,625												
	90	1,084.96	12,055,111												
	100	1,357.26	13,572,600												
	110	1,691.73	15,379,364												
	120	2,361.06	19,675,500												
	132	4,396.65	33,307,955												
2	30	86.21	2,873,667	1.3	23.31	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$1.5670 \times 10^{11}$	13.77	76.69	$9.79 \times 10^{13}$	$9.80 \times 10^{13}$	$2.65 \times 10^{11}$
	40	168.63	4,215,750												
	50	289.49	5,789,800												
	60	432.35	7,205,833												
	70	622.40	8,891,429												
	80	843.23	10,540,375												
	90	1,094.57	12,161,889												
	100	1,378.50	13,785,000												
	110	1,670.08	15,182,545												
	120	2,360.07	19,667,250												
	132	4,408.12	33,394,848												
3	30	86.21	2,873,667	1.3	23.28	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$1.5788 \times 10^{11}$	13.77	76.72	$9.78 \times 10^{13}$		
	40	178.54	4,463,500												
	50	298.43	5,968,600												
	60	455.14	7,585,667												
	70	653.91	9,341,571												
	80	866.87	10,835,875												
	90	1,113.15	12,368,333												
	100	1,402.65	14,026,500												
	110	1,705.49	15,504,455												
	120	2,506.13	20,884,417												
	132	4,785.38	36,252,879												

ตารางที่ ฉ-14 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	92.49	3,083,000	1.3	23.79	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$1.1118 \times 10^{11}$	13.75	76.21	$6.70 \times 10^{13}$		
	40	175.70	4,392,500												
	50	287.77	5,755,400												
	60	408.31	6,805,167												
	70	543.50	7,764,286												
	80	709.88	8,873,500												
	90	893.70	9,930,000												
	100	1,111.37	11,113,700												
	110	1,332.63	12,114,818												
	120	2,624.87	21,873,917												
	132	4,531.99	34,333,258												
2	30	102.85	3,428,333	1.3	23.75	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$1.1092 \times 10^{11}$	13.75	76.25	$6.73 \times 10^{13}$	$6.71 \times 10^{13}$	$2.08 \times 10^{11}$
	40	180.61	4,515,250												
	50	289.80	5,796,000												
	60	437.41	7,290,167												
	70	581.82	8,311,714												
	80	738.91	9,236,375												
	90	918.25	10,202,778												
	100	1,126.07	11,260,700												
	110	1,354.90	12,317,273												
	120	2,601.28	21,677,333												
	132	4,716.30	35,729,545												
3	30	88.78	2,959,333	1.3	23.87	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.5	$8.81 \times 10^{-4}$	$1.0987 \times 10^{11}$	13.75	76.13	$6.69 \times 10^{13}$		
	40	160.77	4,019,250												
	50	265.07	5,301,400												
	60	394.84	6,580,667												
	70	528.71	7,553,000												
	80	685.83	8,572,875												
	90	869.30	9,658,889												
	100	1,072.21	10,722,100												
	110	1,290.92	11,735,636												
	120	2,485.28	20,710,667												
	132	4,733.07	35,856,591												

ตารางที่ ฉ-15 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

ครั้งที่	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	70.50	2,350,000	1.3	24.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.4	$8.65 \times 10^{-4}$	$6.9363 \times 10^{10}$	13.74	75.78	$4.31 \times 10^{13}$	M	SD
	40	132.63	3,315,750												
	50	205.59	4,111,800												
	60	294.39	4,906,500												
	70	377.91	5,398,714												
	80	489.92	6,124,000												
	90	604.43	6,715,889												
	100	744.54	7,445,400												
	110	885.58	8,050,727												
	120	2,233.78	18,614,833												
	132	3,537.02	26,795,606												
2	30	74.24	2,474,667	1.3	24.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.1	$8.69 \times 10^{-4}$	$7.0146 \times 10^{10}$	13.74	75.81	$4.34 \times 10^{13}$	$4.33 \times 10^{13}$	$1.53 \times 10^{11}$
	40	132.94	3,323,500												
	50	207.64	4,152,800												
	60	301.37	5,022,833												
	70	396.34	5,662,000												
	80	509.11	6,363,875												
	90	622.39	6,915,444												
	100	743.26	7,432,600												
	110	901.79	8,198,091												
	120	2,228.18	18,568,167												
	132	3,160.51	23,943,258												
3	30	66.51	2,217,000	1.3	24.14	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.8	$8.56 \times 10^{-4}$	$6.9066 \times 10^{10}$	13.74	75.86	$4.33 \times 10^{13}$	M	SD
	40	127.21	3,180,250												
	50	202.15	4,043,000												
	60	297.53	4,958,833												
	70	381.10	5,444,286												
	80	493.67	6,170,875												
	90	598.83	6,653,667												
	100	728.94	7,289,400												
	110	867.54	7,886,727												
	120	2,103.21	17,526,750												
	132	3,493.99	26,469,621												

## ภาคผนวก ข

ผลการทดลองปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก  
ศึกษาปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกและความเข้มข้นสลัดจ์

## สัญลักษณ์

V	=	ปริมาตรน้ำกรอง (ลูกบาศก์เมตร $\times 10^{-6}$ )
T	=	เวลา (วินาที)
T/V	=	เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
Co	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (ร้อยละ)
Ck	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
P	=	แรงดันที่ใช้ในการกรอง (นิวตันต่อตารางเมตร)
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (ตารางเมตร)
t	=	คุณสมบัติของน้ำที่กรองได้ (องศาเซลเซียส)
$\mu$	=	ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ (นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร)
b	=	ความชันของกราฟ (วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup> )
C	=	$10CkCo/(Ck-Co)$ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MC	=	ค่าความชื้นของกากตะกอนที่ค้างบนกระดาษกรอง (ร้อยละ)
r	=	ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (เมตรต่อกิโลกรัม)
M	=	ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

ตารางที่ ข-1 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร  
ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพสฟอไรต์ชนิดประจุบวก

ครั้งที่ ที่	ไม่เติมสารโพสฟอไรต์ชนิดประจุบวก														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	215.53	7,184,333	0.7	19.47	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.4465 \times 10^{11}$	7.26	80.53	$2.79 \times 10^{14}$		
	40	369.46	9,236,500												
	50	565.51	11,310,200												
	60	817.16	13,619,333												
	70	1,117.40	15,962,857												
	80	1,474.89	18,436,125												
	90	1,901.52	21,128,000												
	100	2,353.70	23,537,000												
	110	2,898.37	26,348,818												
	120	3,498.82	29,156,833												
	130	5,168.85	39,760,384												
138	7,450.84	53,991,594													
2	30	217.23	7,241,000	0.7	19.39	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.4362 \times 10^{11}$	7.26	80.61	$2.79 \times 10^{14}$	$2.78 \times 10^{14}$	$1.73 \times 10^{12}$
	40	371.34	9,283,500												
	50	568.40	11,368,000												
	60	820.39	13,673,166												
	70	1,119.57	15,993,857												
	80	1,478.33	18,479,125												
	90	1,906.37	21,181,888												
	100	2,358.62	23,586,200												
	110	2,902.36	26,385,090												
	120	3,484.31	29,035,916												
	130	5,179.16	39,839,692												
138	7,461.55	54,069,202													
3	30	212.35	7,078,333	0.7	19.41	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$2.4230 \times 10^{11}$	7.26	80.59	$2.76 \times 10^{14}$		
	40	366.94	9,173,500												
	50	573.72	11,474,400												
	60	825.64	13,760,666												
	70	1,122.35	16,033,571												
	80	1,472.84	18,410,500												
	90	1,900.31	21,114,555												
	100	2,351.57	23,515,700												
	110	2,874.35	26,130,454												
	120	3,468.75	28,906,250												
	130	5,168.81	39,760,076												
138	7,454.16	54,015,652													



ตารางที่ ข-2 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	204.56	6,818,667	0.7	20.56	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$1.5724 \times 10^{11}$	7.25	79.44	$1.81 \times 10^{14}$		
	40	305.60	7,640,000												
	50	448.34	8,966,800												
	60	633.65	10,560,833												
	70	852.17	12,173,857												
	80	1,089.48	13,618,500												
	90	1,374.49	15,272,111												
	100	1,691.23	16,912,300												
	110	2,074.28	18,857,091												
	120	2,494.32	20,786,000												
	130	3,317.01	25,515,462												
	136	5,172.01	38,029,485												
2	30	195.67	6,522,333	0.7	20.49	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.0	$8.71 \times 10^{-4}$	$1.5828 \times 10^{11}$	7.25	79.51	$1.85 \times 10^{14}$	$1.84 \times 10^{14}$	$2.65 \times 10^{12}$
	40	301.11	7,527,750												
	50	445.35	8,907,000												
	60	627.63	10,460,500												
	70	847.21	12,103,000												
	80	1,083.04	13,538,000												
	90	1,367.34	15,192,667												
	100	1,684.35	16,843,500												
	110	2,065.15	18,774,091												
	120	2,484.22	20,701,833												
	130	3,305.97	25,430,538												
	136	5,168.34	38,002,500												
3	30	198.77	6,625,667	0.7	20.53	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.4	$8.63 \times 10^{-4}$	$1.5740 \times 10^{11}$	7.25	79.47	$1.86 \times 10^{14}$		
	40	303.24	7,581,000												
	50	442.39	8,847,800												
	60	625.98	10,433,000												
	70	844.31	12,061,571												
	80	1,080.68	13,508,500												
	90	1,361.39	15,126,566												
	100	1,680.61	16,806,100												
	110	2,059.97	18,727,000												
	120	2,480.06	20,667,167												
	130	3,310.38	25,464,462												
	136	5,172.47	38,032,868												

ตารางที่ ข-3 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	173.47	5,782,333	0.7	20.62	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.4	$8.44 \times 10^{-4}$	$1.4583 \times 10^{11}$	7.25	79.38	$1.76 \times 10^{14}$		
	40	279.45	6,986,250												
	50	425.92	8,518,400												
	60	597.40	9,956,667												
	70	793.07	11,329,571												
	80	1,027.67	12,845,875												
	90	1,278.03	14,200,333												
	100	1,541.54	15,415,400												
	110	1,876.60	17,060,000												
	120	2,312.14	19,267,833												
	130	3,284.31	25,263,923												
136	5,122.96	37,668,824													
2	30	175.66	5,855,333	0.7	20.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.3	$8.46 \times 10^{-4}$	$1.4831 \times 10^{11}$	7.24	79.33	$1.79 \times 10^{14}$	$1.77 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	282.48	7,062,000												
	50	428.39	8,567,800												
	60	610.97	10,182,833												
	70	806.21	11,517,286												
	80	1,035.68	12,946,000												
	90	1,290.28	14,336,444												
	100	1,595.36	15,953,600												
	110	1,924.12	17,492,000												
	120	2,314.35	19,286,250												
	130	3,274.28	25,186,769												
136	5,137.84	37,778,235													
3	30	175.24	5,841,333	0.7	20.58	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.8	$8.56 \times 10^{-4}$	$1.4868 \times 10^{11}$	7.25	79.42	$1.77 \times 10^{14}$		
	40	277.35	6,933,750												
	50	423.87	8,477,400												
	60	596.36	9,939,333												
	70	800.64	11,437,714												
	80	1,030.28	12,878,500												
	90	1,283.67	14,263,000												
	100	1,587.39	15,873,900												
	110	1,916.97	17,427,000												
	120	2,307.30	19,227,500												
	130	3,267.08	25,131,385												
136	5,130.95	37,727,574													

ตารางที่ ข-4 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	209.48	6,982,667	0.7	19.87	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.3	$8.28 \times 10^{-4}$	$1.7854 \times 10^{11}$	7.26	80.13	$2.19 \times 10^{14}$		
	40	306.73	7,668,250												
	50	443.77	8,875,400												
	60	631.38	10,523,000												
	70	849.81	12,140,143												
	80	1,141.91	14,273,875												
	90	1,446.17	16,068,556												
	100	1,820.21	18,202,100												
	110	2,217.00	20,154,545												
	120	2,728.49	22,737,417												
	130	3,356.42	25,818,615												
	136	5,245.21	38,567,721												
2	30	211.35	7,045,000	0.7	20.00	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.3	$8.28 \times 10^{-4}$	$1.7698 \times 10^{11}$	7.25	80.00	$2.17 \times 10^{14}$	$2.18 \times 10^{14}$	$1.15 \times 10^{12}$
	40	309.65	7,741,250												
	50	449.97	8,999,400												
	60	635.60	10,593,333												
	70	888.39	12,691,286												
	80	1,160.61	14,507,625												
	90	1,472.36	16,359,556												
	100	1,826.55	18,265,500												
	110	2,223.68	20,215,273												
	120	2,702.15	22,517,917												
	130	3,355.14	25,808,769												
	136	5,240.36	38,532,059												
3	30	213.54	7,118,000	0.7	20.03	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.2	$8.29 \times 10^{-4}$	$1.7660 \times 10^{11}$	7.25	79.97	$2.17 \times 10^{14}$		
	40	311.38	7,784,500												
	50	451.05	9,021,000												
	60	647.57	10,792,833												
	70	890.81	12,725,857												
	80	1,163.39	14,542,375												
	90	1,475.17	16,390,778												
	100	1,830.68	18,306,800												
	110	2,228.34	20,257,636												
	120	2,707.97	22,566,417												
	130	3,359.99	25,846,077												
	136	5,247.29	38,583,015												

ตารางที่ ข-5 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	214.87	7,162,333	0.7	19.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.3	$8.28 \times 10^{-4}$	$1.9968 \times 10^{11}$	7.26	80.33	$2.45 \times 10^{14}$		
	40	292.97	7,324,250												
	50	440.47	8,809,400												
	60	628.67	10,477,833												
	70	881.48	12,592,571												
	80	1,182.79	14,784,875												
	90	1,565.11	17,390,111												
	100	1,943.48	19,434,800												
	110	2,394.82	21,771,091												
	120	2,890.07	24,083,917												
	130	3,376.42	25,972,462												
2	30	213.67	7,122,333	0.7	19.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	28.0	$8.33 \times 10^{-4}$	$1.9984 \times 10^{11}$	7.26	80.37	$2.44 \times 10^{14}$	$2.44 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	290.34	7,258,500												
	50	438.68	8,773,600												
	60	626.39	10,439,833												
	70	908.48	12,978,286												
	80	1,209.31	15,116,375												
	90	1,560.94	17,343,778												
	100	1,937.69	19,376,900												
	110	2,389.44	21,722,182												
	120	2,889.67	24,080,583												
	130	3,370.49	25,926,846												
3	30	214.87	7,162,333	0.7	19.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$2.0007 \times 10^{11}$	7.26	80.45	$2.42 \times 10^{14}$		
	40	280.97	7,024,250												
	50	428.62	8,572,400												
	60	626.77	10,446,167												
	70	898.85	12,840,714												
	80	1,199.15	14,989,375												
	90	1,550.47	17,227,444												
	100	1,927.90	19,279,000												
	110	2,379.41	21,631,000												
	120	2,879.06	23,992,167												
	130	3,360.55	25,850,385												
3	30	214.87	7,162,333	0.7	19.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$2.0007 \times 10^{11}$	7.26	80.45	$2.42 \times 10^{14}$		
	40	280.97	7,024,250												
	50	428.62	8,572,400												
	60	626.77	10,446,167												
	70	898.85	12,840,714												
	80	1,199.15	14,989,375												
	90	1,550.47	17,227,444												
	100	1,927.90	19,279,000												
	110	2,379.41	21,631,000												
	120	2,879.06	23,992,167												
	130	3,360.55	25,850,385												
3	30	214.87	7,162,333	0.7	19.55	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	27.7	$8.39 \times 10^{-4}$	$2.0007 \times 10^{11}$	7.26	80.45	$2.42 \times 10^{14}$		
	40	280.97	7,024,250												
	50	428.62	8,572,400												
	60	626.77	10,446,167												
	70	898.85	12,840,714												
	80	1,199.15	14,989,375												
	90	1,550.47	17,227,444												
	100	1,927.90	19,279,000												
	110	2,379.41	21,631,000												
	120	2,879.06	23,992,167												
	130	3,360.55	25,850,385												

ตารางที่ ข-6 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

ครั้งที่ ที่	ไม่เติมสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	265.40	8,846,667	1	14.63	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.2	$7.95 \times 10^{-4}$	$3.8760 \times 10^{11}$	10.73	85.37	$3.35 \times 10^{14}$		
	40	474.95	11,873,750												
	50	760.46	15,209,200												
	60	1,126.41	18,773,500												
	70	1,554.02	22,200,286												
	80	2,104.77	26,309,625												
	90	2,703.54	30,039,333												
	100	3,441.45	34,414,500												
	110	4,315.65	39,233,182												
	120	5,249.57	437,46,417												
	130	6,673.54	51,334,923												
	134	8,680.64	64,780,896												
2	30	268.13	8,937,667	1	14.60	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	30.1	$7.96 \times 10^{-4}$	$3.8737 \times 10^{11}$	10.73	85.40	$3.35 \times 10^{14}$	$3.35 \times 10^{14}$	$5.29 \times 10^{11}$
	40	477.85	11,946,250												
	50	764.23	15,284,600												
	60	1130.51	18,841,833												
	70	1559.13	22,273,286												
	80	2110.32	26,379,000												
	90	2709.95	30,110,556												
	100	3447.59	34,475,900												
	110	4322.05	39,291,364												
	120	5257.65	43,813,750												
	130	6689.25	51,455,769												
	134	8699.11	64,918,731												
3	30	269.96	8,998,667	1	14.67	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	29.8	$8.01 \times 10^{-4}$	$3.8923 \times 10^{11}$	10.73	85.33	$3.34 \times 10^{14}$		
	40	479.32	11,983,000												
	50	767.14	15,342,800												
	60	1134.58	18,909,667												
	70	1564.4	22,348,571												
	80	2116.25	26,453,125												
	90	2716.11	30,179,000												
	100	3454.69	34,546,900												
	110	4349.15	39,537,727												
	120	5285.48	44,045,667												
	130	6709.51	51,611,615												
	134	8713.35	65,025,000												

ตารางที่ ข-7 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	29.24	974,667	1	18.08	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$3.3971 \times 10^{11}$	10.58	81.92	$2.68 \times 10^{14}$		
	40	62.07	1,551,750												
	50	106.70	2,134,000												
	60	163.78	2,729,667												
	70	234.80	3,354,286												
	80	309.60	3,870,000												
	90	389.14	4,323,778												
	100	477.91	4,779,100												
	110	573.07	5,209,727												
	120	692.94	5,774,500												
	130	1,121.81	8,629,308												
136	1,648.08	12,118,235													
2	30	28.61	953,667	1	18.12	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$3.3897 \times 10^{11}$	10.58	81.88	$2.65 \times 10^{14}$	$2.66 \times 10^{14}$	$5.77 \times 10^{10}$
	40	55.77	1,394,250												
	50	96.08	1,921,600												
	60	148.10	2,468,333												
	70	209.83	2,997,571												
	80	282.64	3,533,000												
	90	365.95	4,066,111												
	100	454.84	4,548,400												
	110	561.05	5,100,455												
	120	684.57	5,704,750												
	130	1,090.97	8,392,077												
136	1,721.75	12,659,926													
3	30	28.23	941,000	1	18.02	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$3.3890 \times 10^{11}$	10.60	81.98	$2.65 \times 10^{14}$		
	40	61.46	1,536,500												
	50	108.41	2,168,200												
	60	158.59	2,643,167												
	70	222.47	3,178,143												
	80	296.26	3,703,250												
	90	379.25	4,213,889												
	100	472.43	4,724,300												
	110	571.29	5,193,545												
	120	685.45	5,712,083												
	130	1,202.10	9,246,923												
136	1,931.21	14,305,259													

ตารางที่ ข-8 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	201.87	6,729,000	1	18.28	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.7867 \times 10^{11}$	10.58	81.72	$2.19 \times 10^{14}$		
	40	335.60	8,390,000												
	50	568.34	11,366,800												
	60	873.65	14,560,833												
	70	1,232.17	17,602,429												
	80	1,569.48	19,618,500												
	90	2,044.49	22,716,556												
	100	2,551.23	25,512,300												
	110	3,124.28	28,402,545												
	120	3,774.32	31,452,667												
	130	5,176.97	39,822,846												
2	30	200.14	6,671,333	1	18.26	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$2.7956 \times 10^{11}$	10.58	81.74	$2.22 \times 10^{14}$	$2.21 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	334.28	8,357,000												
	50	567.39	11,347,800												
	60	853.15	14,219,167												
	70	1,200.44	17,149,143												
	80	1,567.35	19,591,875												
	90	2,041.38	22,682,000												
	100	2,547.54	25,475,400												
	110	3,120.78	28,370,727												
	120	3,769.94	31,416,167												
	130	5,175.39	39,810,692												
3	30	208.44	6,948,000	1	18.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.7785 \times 10^{11}$	10.58	81.81	$2.21 \times 10^{14}$		
	40	342.68	8,567,000												
	50	572.68	11,453,600												
	60	861.38	14,356,333												
	70	1,209.64	17,280,571												
	80	1,578.23	19,727,875												
	90	2,050.61	22,784,556												
	100	2,557.05	25,570,500												
	110	3,131.36	28,466,909												
	120	3,778.31	31,485,917												
	130	5,170.36	39,772,000												
	30	208.44	6,948,000	1	18.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.7785 \times 10^{11}$	10.58	81.81	$2.21 \times 10^{14}$		
	40	342.68	8,567,000												
	50	572.68	11,453,600												
	60	861.38	14,356,333												
	70	1,209.64	17,280,571												
	80	1,578.23	19,727,875												
	90	2,050.61	22,784,556												
	100	2,557.05	25,570,500												
	110	3,131.36	28,466,909												
	120	3,778.31	31,485,917												
	130	5,170.36	39,772,000												
	30	208.44	6,948,000	1	18.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.7785 \times 10^{11}$	10.58	81.81	$2.21 \times 10^{14}$		
	40	342.68	8,567,000												
	50	572.68	11,453,600												
	60	861.38	14,356,333												
	70	1,209.64	17,280,571												
	80	1,578.23	19,727,875												
	90	2,050.61	22,784,556												
	100	2,557.05	25,570,500												
	110	3,131.36	28,466,909												
	120	3,778.31	31,485,917												
	130	5,170.36	39,772,000												
	30	208.44	6,948,000	1	18.19	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.87 \times 10^{-4}$	$2.7785 \times 10^{11}$	10.58	81.81	$2.21 \times 10^{14}$		
	40	342.68	8,567,000												
	50	572.68	11,453,600												
	60	861.38	14,356,333												
	70	1,209.64	17,280,571												
	80	1,578.23	19,727,875												
	90	2,050.61	22,784,556												
	100	2,557.05	25,570,500												
	110	3,131.36	28,466,909												
	120	3,778.31	31,485,917												
	130	5,170.36	39,772,000												

ตารางที่ ข-9 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	241.68	8,056,000	1	17.94	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.8	$8.75 \times 10^{-4}$	$3.4411 \times 10^{11}$	10.59	82.16	$2.74 \times 10^{14}$		
	40	395.28	9,882,000												
	50	638.75	12,775,000												
	60	963.06	16,051,000												
	70	1,392.28	19,889,714												
	80	1,889.71	23,621,375												
	90	2,434.36	27,048,444												
	100	3,021.25	30,212,500												
	110	3,774.41	34,312,818												
	120	4,604.78	38,373,167												
	130	5,326.29	40,971,462												
	136	7,192.73	52,887,721												
2	30	245.68	8,189,333	1	17.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.9	$8.73 \times 10^{-4}$	$3.4343 \times 10^{11}$	10.59	82.08	$2.74 \times 10^{14}$	$2.75 \times 10^{14}$	$1.15 \times 10^{12}$
	40	398.34	9,958,500												
	50	642.18	12,843,600												
	60	968.45	16,140,833												
	70	1,397.21	19,960,143												
	80	1,895.36	23,692,000												
	90	2,436.22	27,069,111												
	100	3,029.30	30,293,000												
	110	3,780.36	34,366,909												
	120	4,609.89	38,415,750												
	130	5,324.39	40,956,846												
	136	7,185.34	52,833,382												
3	30	242.58	8,086,000	1	17.91	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$3.4362 \times 10^{11}$	10.59	82.09	$2.76 \times 10^{14}$		
	40	395.24	9,881,000												
	50	638.16	12,763,200												
	60	964.87	16,081,167												
	70	1,392.10	19,887,143												
	80	1,889.86	23,623,250												
	90	2,430.62	27,006,889												
	100	3,022.38	30,223,800												
	110	3,772.87	34,298,818												
	120	4,600.13	38,334,417												
	130	5,315.75	40,890,385												
	136	7,175.36	52,760,000												



ตารางที่ ข-10 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	291.58	9,719,333	1	17.87	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.7	$8.58 \times 10^{-4}$	$3.5054 \times 10^{11}$	10.59	82.13	$2.85 \times 10^{14}$		
	40	445.38	11,134,500												
	50	698.65	13,973,000												
	60	1,023.45	17,057,500												
	70	1,462.35	20,890,714												
	80	2,009.75	25,121,875												
	90	2,574.45	28,605,000												
	100	3,251.65	32,516,500												
	110	3,964.23	36,038,455												
	120	4,799.36	39,994,667												
	130	5,516.65	42,435,769												
	136	7,392.08	54,353,529												
2	30	289.48	9,649,333	1	17.91	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$3.5060 \times 10^{11}$	10.59	82.09	$2.83 \times 10^{14}$	$2.85 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	443.20	11,080,000												
	50	695.85	13,917,000												
	60	1,020.09	17,001,500												
	70	1,458.18	20,831,143												
	80	2,005.78	25,072,250												
	90	2,569.25	28,547,222												
	100	3,246.28	32,462,800												
	110	3,958.49	35,986,273												
	120	4,792.18	39,934,833												
	130	5,508.22	42,370,923												
	136	7,383.43	54,289,926												
3	30	286.48	9,549,333	1	17.88	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.8	$8.56 \times 10^{-4}$	$3.5079 \times 10^{11}$	10.59	82.12	$2.86 \times 10^{14}$		
	40	440.20	11,005,000												
	50	691.85	13,837,000												
	60	1,016.09	16,934,833												
	70	1,454.18	20,774,000												
	80	2,000.78	25,009,750												
	90	2,563.25	28,480,556												
	100	3,239.28	32,392,800												
	110	3,950.49	35,913,545												
	120	4,783.18	39,859,833												
	130	5,498.22	42,294,000												
	136	7,372.43	54,209,044												

ตารางที่ ข-11 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

ครั้งที่ ที่	ไม่เติมสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	288.43	9,614,333	1.3	10.22	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.8	$7.68 \times 10^{-4}$	$6.8842 \times 10^{11}$	14.89	89.78	$4.44 \times 10^{14}$		
	40	622.30	15,557,500												
	50	1,117.42	22,348,400												
	60	1,725.17	28,752,833												
	70	2,532.36	36,176,571												
	80	3,438.93	42,986,625												
	90	4,484.81	49,831,222												
	100	5,708.29	57,082,900												
	110	7,087.67	64,433,364												
	120	9,381.50	78,179,167												
	132	11,375.6	86,179,394												
2	30	290.37	9,679,000	1.3	10.13	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.6	$7.71 \times 10^{-4}$	$6.8844 \times 10^{11}$	14.91	89.87	$4.42 \times 10^{14}$	$4.42 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	624.84	15,621,000												
	50	1,120.68	22,413,600												
	60	1,728.46	28,807,667												
	70	2,536.11	36,230,143												
	80	3,442.68	43,033,500												
	90	4,489.06	49,878,444												
	100	5,713.50	57,135,000												
	110	7,097.36	64,521,455												
	120	9,390.16	78,251,333												
	132	11,386.4	86,260,985												
3	30	293.34	9,778,000	1.3	10.15	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	31.5	$4.43 \times 10^{-4}$	$6.8805 \times 10^{11}$	14.91	89.85	$4.41 \times 10^{14}$		
	40	627.15	15,678,750												
	50	1,124.55	22,491,000												
	60	1,738.31	28,971,833												
	70	2,540.90	36,298,571												
	80	3,447.25	43,090,625												
	90	4,496.34	49,959,333												
	100	5,718.48	57,184,800												
	110	7,105.18	64,592,545												
	120	9,400.34	78,336,167												
	132	11,392.1	86,304,167												

ตารางที่ ข-12 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.2 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	276.92	9,230,667	1.3	15.44	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$6.2367 \times 10^{11}$	14.19	84.56	$3.76 \times 10^{14}$		
	40	568.17	14,204,250												
	50	967.28	19,345,600												
	60	1,475.82	24,597,000												
	70	2,136.27	30,518,143												
	80	3,048.34	38,104,250												
	90	4,036.21	44,846,778												
	100	5,108.33	51,083,300												
	110	6,489.42	58,994,727												
	120	7,959.14	66,326,167												
	132	10,397.6	78,770,000												
2	30	275.68	9,189,333	1.3	15.62	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.1	$8.69 \times 10^{-4}$	$6.2359 \times 10^{11}$	14.18	84.38	$3.74 \times 10^{14}$	$3.76 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	566.16	14,154,000												
	50	963.24	19,264,800												
	60	1,470.35	24,505,833												
	70	2,130.97	30,442,429												
	80	3,044.18	38,052,250												
	90	4,030.66	44,785,111												
	100	5,102.48	51,024,800												
	110	6,482.15	58,928,636												
	120	7,958.39	66,319,917												
	132	10,391.4	78,723,030												
3	30	270.98	9,032,667	1.3	15.49	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.5	$8.62 \times 10^{-4}$	$6.2472 \times 10^{11}$	14.19	84.51	$3.77 \times 10^{14}$		
	40	561.67	14,041,750												
	50	957.15	19,143,000												
	60	1,465.38	24,423,000												
	70	2,134.61	30,494,429												
	80	3,038.44	37,980,500												
	90	4,024.32	44,714,667												
	100	5,097.01	50,970,100												
	110	6,475.65	58,869,545												
	120	7,950.88	66,257,333												
	132	10,382.6	78,656,591												

ตารางที่ ข-13 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	229.04	7,634,667	1.3	16.41	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.2	$8.67 \times 10^{-4}$	$5.6374 \times 10^{11}$	14.12	83.59	$3.40 \times 10^{14}$		
	40	480.89	12,022,250												
	50	836.86	16,737,200												
	60	1,313.11	21,885,167												
	70	1,944.74	27,782,000												
	80	2,758.21	34,477,625												
	90	3,595.58	39,950,889												
	100	4,517.25	45,172,500												
	110	5,783.54	52,577,636												
	120	7,450.12	62,084,333												
	132	9,919.27	75,145,985												
2	30	231.67	7,722,333	1.3	16.43	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.6	$8.60 \times 10^{-4}$	$5.6375 \times 10^{11}$	14.12	83.57	$3.43 \times 10^{14}$	$3.40 \times 10^{14}$	$2.52 \times 10^{12}$
	40	482.15	12,053,750												
	50	838.34	16,766,800												
	60	1,316.37	21,939,500												
	70	1,948.61	27,837,286												
	80	2,763.08	34,538,500												
	90	3,601.12	40,012,444												
	100	4,522.24	45,222,400												
	110	5,789.97	52,636,091												
	120	7,454.15	62,117,917												
	132	9,924.38	75,184,697												
3	30	235.66	7,855,333	1.3	16.50	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	26.3	$8.65 \times 10^{-4}$	$5.5940 \times 10^{11}$	14.11	83.50	$3.38 \times 10^{14}$		
	40	486.24	12,156,000												
	50	842.35	16,847,000												
	60	1,321.01	22,016,833												
	70	1,952.30	27,890,000												
	80	2,769.15	34,614,375												
	90	3,577.22	39,746,889												
	100	4,527.84	45,278,400												
	110	5,755.61	52,323,727												
	120	7,468.34	62,236,167												
	132	9,928.44	75,215,455												

ตารางที่ ข-14 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารฟอสฟอรัส  
โพลีไคโตนชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์  
13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารฟอสฟอรัสโพลีไคโตนชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.6 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	285.67	9,522,333	1.3	16.40	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$6.4264 \times 10^{11}$	14.12	83.60	$3.77 \times 10^{14}$		
	40	466.16	11,654,000												
	50	841.30	16,826,000												
	60	1,333.77	22,229,500												
	70	2,005.66	28,652,286												
	80	2,917.94	36,474,250												
	90	3,902.10	43,356,667												
	100	5,087.57	50,875,700												
	110	6,564.39	59,676,273												
	120	7,968.17	66,401,417												
	132	10,403.4	78,813,939												
2	30	287.87	9,595,667	1.3	16.34	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.2	$8.87 \times 10^{-4}$	$6.4130 \times 10^{11}$	14.12	83.66	$3.78 \times 10^{14}$	$3.79 \times 10^{14}$	$2.65 \times 10^{12}$
	40	469.68	11,742,000												
	50	844.21	16,884,200												
	60	1,337.19	22,286,500												
	70	2,010.60	28,722,857												
	80	2,922.31	36,528,875												
	90	3,908.65	43,429,444												
	100	5,094.12	50,941,200												
	110	6,551.33	59,557,545												
	120	7,972.36	66,436,333												
	132	10,408.6	78,853,561												
3	30	291.40	9,713,333	1.3	16.39	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.7	$8.77 \times 10^{-4}$	$6.4133 \times 10^{11}$	14.12	83.61	$3.82 \times 10^{14}$		
	40	473.31	11,832,750												
	50	847.15	16,943,000												
	60	1,341.02	22,350,333												
	70	2,014.88	28,784,000												
	80	2,927.39	36,592,375												
	90	3,915.97	43,510,778												
	100	5,104.62	51,046,200												
	110	6,562.36	59,657,818												
	120	7,973.44	66,445,333												
	132	10,410.2	78,865,530												

ตารางที่ ข-15 ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองจากการปรับสภาพสลัดจ์โดยสารฟอสฟอรัส  
โพลีไคโตนชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง และความเข้มข้นสลัดจ์  
13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ครั้งที่	สารฟอสฟอรัสโพลีไคโตนชนิดประจุบวกปริมาณร้อยละ 0.8 ของปริมาณของแข็งแห้ง														
	V	T	T/V	Co	Ck	P	A	t	$\mu$	b	C	MC	r	M	SD
1	30	278.41	9,280,333	1.3	15.90	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.3	$8.85 \times 10^{-4}$	$6.5226 \times 10^{11}$	14.16	84.10	$3.84 \times 10^{14}$		
	40	450.65	11,266,250												
	50	768.32	15,366,400												
	60	1,338.51	22,308,500												
	70	2,088.18	29,831,143												
	80	2,990.18	37,377,250												
	90	3,983.31	44,259,000												
	100	5,188.83	51,888,300												
	110	6,428.33	58,439,364												
	120	7,998.70	66,655,833												
	132	10,423.1	78,963,030												
2	30	279.65	9,321,667	1.3	15.92	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.4	$8.83 \times 10^{-4}$	$6.5240 \times 10^{11}$	14.16	84.08	$3.85 \times 10^{14}$	$3.84 \times 10^{14}$	$1.53 \times 10^{12}$
	40	453.97	11,349,250												
	50	771.45	15,429,000												
	60	1,342.03	22,367,167												
	70	2,092.01	29,885,857												
	80	2,995.34	37,441,750												
	90	3,989.26	44,325,111												
	100	5,195.34	51,953,400												
	110	6,436.34	58,512,182												
	120	7,999.01	66,658,417												
	132	10,425.3	78,979,773												
3	30	281.65	9,388,333	1.3	16.04	91,176	$63.62 \times 10^{-4}$	25.0	$8.91 \times 10^{-4}$	$6.5299 \times 10^{11}$	14.15	83.96	$3.82 \times 10^{14}$		
	40	454.08	11,352,000												
	50	773.02	15,460,400												
	60	1,346.32	22,438,667												
	70	2,095.61	29,937,286												
	80	2,999.77	37,497,125												
	90	3,999.34	44,437,111												
	100	5,204.21	52,042,100												
	110	6,442.24	58,565,818												
	120	8,001.36	66,678,000												
	132	10,428.1	79,001,136												

ภาคผนวก ซ

วิธีการคำนวณ

### 1. การคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

กรณีสลัดจ์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนนำมาทำการปรับสภาพสลัดจ์

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์ (Co)	=	10,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
	=	1	ร้อยละ
ปริมาตรสลัดจ์ที่ใช้ในการกรอง	=	150	มิลลิลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบนกระดาษกรอง (Ck)	=	14.63	ร้อยละ
แรงดันที่ใช้ในการกรอง (P)	=	27	นิ้วปรอท
	=	91,176	นิวตันต่อตารางเมตร
พื้นที่หน้าตัดของกระดาษกรอง (A)	=	$63.62 \times 10^{-4}$	ตารางเมตร
อุณหภูมิของน้ำที่กรองได้	=	30.2	องศาเซลเซียส
ค่าความหนืดของน้ำที่กรองได้ ( $\mu$ )	=	0.000795	นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร
ความชันของกราฟ (b)	=	$3.8760 \times 10^{11}$	วินาทีต่อเมตร <sup>6</sup>

### การคำนวณค่า C

$$\begin{aligned}
 C &= 10CkCo/(Ck-Co) \\
 &= (10 \times 14.63 \times 1)/(14.63 - 1) \\
 &= 10.73 \quad \text{กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

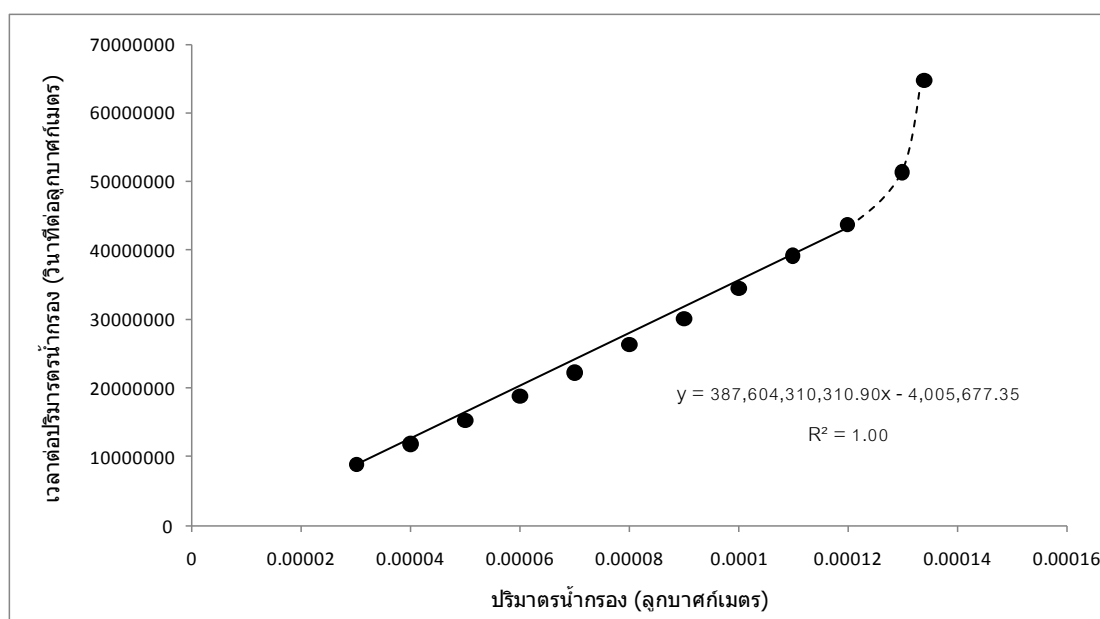
### การคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง, r

$$\begin{aligned}
 r &= 2PbA^2/\mu C \\
 &= (2 \times 91,176 \times (3.8760 \times 10^{11}) \\
 &\quad \times (63.62 \times 10^{-4})^2)/(0.000795 \times \\
 &\quad 10.73) \\
 &= 3.35 \times 10^{14} \quad \text{เมตรต่อกิโลกรัม}
 \end{aligned}$$



ตารางที่ ๗-1 เวลาที่ใช้ในการกรองสลัดจ์และปริมาตรน้ำกรอง

เวลาที่ใช้ในการกรองสลัดจ์ (T)	ปริมาตรน้ำกรอง (V)		เวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (T/V)
วินาที	มิลลิลิตร	ลูกบาศก์เมตร	วินาทีต่อลูกบาศก์เมตร
265.40	30	0.00003	8,846,667
474.95	40	0.00004	11,873,750
760.46	50	0.00005	15,209,200
1,126.41	60	0.00006	18,773,500
1,554.02	70	0.00007	22,200,286
2,104.77	80	0.00008	26,309,625
2,703.54	90	0.00009	30,039,333
3,441.45	100	0.00010	34,414,500
4,315.65	110	0.00011	39,233,182
5,249.57	120	0.00012	43,746,417
6,673.54	130	0.00013	51,334,923
8,680.64	134	0.000134	64,780,896



ภาพที่ ๗-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อปริมาตรน้ำกรอง (T/V) และ ปริมาตรน้ำกรอง (V)

## 2. การคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา (A/V)

2.1 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 3.5 เมตร<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} A/V &= (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) / (1,070 \text{ มิลลิลิตร}) \\ &= 0.035 \text{ ตารางเซนติเมตร/มิลลิลิตร} \\ &= 3.5 \text{ เมตร}^{-1} \end{aligned}$$

2.2 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 5.5 เมตร<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} A/V &= (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) / (680 \text{ มิลลิลิตร}) \\ &= 0.055 \text{ ตารางเซนติเมตร/มิลลิลิตร} \\ &= 5.5 \text{ เมตร}^{-1} \end{aligned}$$

2.3 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 7.5 เมตร<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} A/V &= (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) / (500 \text{ มิลลิลิตร}) \\ &= 0.075 \text{ ตารางเซนติเมตร/มิลลิลิตร} \\ &= 7.5 \text{ เมตร}^{-1} \end{aligned}$$

2.4 สัดส่วนระหว่างพื้นที่ทำปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าและปริมาตรสไลด์จี้ในถังปฏิกิริยา 9.5 เมตร<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} A/V &= (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) / (395 \text{ มิลลิลิตร}) \\ &= 0.095 \text{ ตารางเซนติเมตร/มิลลิลิตร} \\ &= 9.5 \text{ เมตร}^{-1} \end{aligned}$$

## 3. การคำนวณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

3.1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 107 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

$$\begin{aligned} J &= I/A \\ &= (0.4 \text{ แอมแปร์}) / (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) \\ &= 0.01067 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร} \\ &= 107 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

## 3.2 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 213 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

$$\begin{aligned}
 J &= I/A \\
 &= (0.8 \text{ แอมแปร์}) / (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) \\
 &= 0.02133 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร} \\
 &= 213 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

## 3.3 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 320 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

$$\begin{aligned}
 J &= I/A \\
 &= (1.2 \text{ แอมแปร์}) / (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) \\
 &= 0.03200 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร} \\
 &= 320 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

## 3.4 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 427 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

$$\begin{aligned}
 J &= I/A \\
 &= (1.6 \text{ แอมแปร์}) / (7.5 \text{ เซนติเมตร} \times 5 \text{ เซนติเมตร}) \\
 &= 0.04267 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร} \\
 &= 427 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

## 4. การคำนวณความเข้มข้นสัลดจ์

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \text{ความเข้มข้นสัลดจ์ที่มีอยู่เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \\
 C_2 &= \text{ความเข้มข้นสัลดจ์ที่ต้องการ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \\
 V_1 &= \text{ปริมาตรสัลดจ์ที่มีอยู่เริ่มต้น (ลิตร)} \\
 V_2 &= \text{ปริมาตรสัลดจ์ที่ต้องการ (ลิตร)}
 \end{aligned}$$

### 5. การคำนวณประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง

$$\text{ประสิทธิภาพการลดลงของค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง (ร้อยละ)} = \frac{r_i - r_f}{r_i} \times 100$$

$r_i$  = ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองก่อนทำการปรับสภาพสลัดจ์ (เมตรต่อกิโลกรัม)

$r_f$  = ค่าความต้านทานจำเพาะของการกรองหลังทำการปรับสภาพสลัดจ์ (เมตรต่อกิโลกรัม)

### 6. การคำนวณปริมาณสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์	= 7,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
	= 0.7	ร้อยละ
ปริมาตรสลัดจ์ที่ใช้ในการกรอง	= 150	มิลลิลิตร
ดังนั้นมีตะกอนแห้ง	= (0.7 x 150)/100	
	= 1.05	กรัม
ปริมาณสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวก	= 0.2	ร้อยละ
ดังนั้นใช้สารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวก	= (0.2 x 1.05)/100	
	= 0.0021	กรัม
เตรียมสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวก	= 0.1	ร้อยละ
ดังนั้นใช้ปริมาณสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวก	= (0.0021 x 100)/0.1	
	= 2.10	มิลลิลิตร

ตารางที่ ข-2 ปริมาณสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ใช้ในการทดลอง

ความเข้มข้นสลัดจ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวก* (มิลลิลิตร)			
	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.4	ร้อยละ 0.6	ร้อยละ 0.8
7,000	2.10	4.20	6.30	8.40
10,000	3.00	6.00	9.00	12.00
13,000	3.90	7.80	11.70	15.60

หมายเหตุ: \*จากการเตรียมสารโพสฟอโรไลต์ชนิดประจุบวกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

## 7. การคำนวณค่าใช้จ่าย

7.1 ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพสไลด์ด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที และความเข้มข้นสไลด์ 7,000 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### - ค่าไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้} &= \frac{I (\text{แอมแปร์}) \times V (\text{โวลต์}) \times T (\text{ชั่วโมง})}{1000 \times \text{ปริมาตรสไลด์ (ลูกบาศก์เมตร)}} \\
 &= \frac{1.2 \text{ แอมแปร์} \times 12 \text{ โวลต์} \times (10 \text{ นาที}/60)}{1000 \times (680 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 10^{-6})} \\
 &= 3.53 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร} \\
 \text{ค่ายูนิต/หน่วย} &= 1.8047 \text{ บาทต่อหน่วย} \\
 \text{ค่าไฟฟ้า} &= \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times (\text{ค่ายูนิต/หน่วย}) \times \text{ภาษีร้อยละ 7} \\
 &= 3.53 \times 1.8047 \times 1.07 \\
 &= 6.82 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

### - ค่าขี้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักขี้ไฟฟ้าที่ใช้} &= \frac{0.0975 \text{ กรัม}}{680 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 10^{-6}} \\
 &= 143.38 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \\
 \text{ค่าลุมิเนียม} &= 155 \text{ บาทต่อกิโลกรัม} \\
 \text{ค่าขี้ไฟฟ้า} &= (143.38 \times 10^{-3}) \times (155 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}) \\
 &= 22.22 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมในการปรับสภาพสไลด์ด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที และความเข้มข้นสไลด์ 7,000 10,000 และ 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร = 6.82 + 22.22 = 29.04 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

## 7.2 ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของสลัดจ์	= 7,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
	= 0.7	ร้อยละ
ปริมาตรสลัดจ์ที่ใช้ในการกรอง	= 150	มิลลิลิตร
ดังนั้นมีตะกอนแห้ง	= $(0.7 \times 150)/100$	
	= 1.05	กรัม
ปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก	= 0.4	ร้อยละ
ดังนั้นใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก	= $(0.4 \times 1.05)/100$	
	= 0.0042	กรัม
สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกราคา	= 280	บาทต่อกิโลกรัม
ค่าใช้จ่ายสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก	= $\frac{(0.0042 \times 10^{-3}) \times 280}{(150 \times 10^{-6})}$	
	= 7.84	บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ ข-3 ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก

ความเข้มข้นสลัดจ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพสลัดจ์ด้วยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ ชนิดประจุบวก* (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
7,000	7.84
10,000	11.20
13,000	14.56

หมายเหตุ: \*จากปริมาณสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวกที่เหมาะสมร้อยละ 0.4 ของปริมาณของแข็งแห้งทั้งหมด

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกฤษฎดาภรณ์ รักษ์วงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2529 สถานที่เกิด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2552 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2552

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

- [1] กฤษฎดาภรณ์ รักษ์วงศ์ และอรทัย ขวาลภาฤทธิ์ “การปรับปรุงสภาพสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 11 วันที่ 21-23 มีนาคม พ.ศ. 2555 ณ โฟร์วิลล รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดเชียงราย จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- [2] กฤษฎดาภรณ์ รักษ์วงศ์ และอรทัย ขวาลภาฤทธิ์ “ผลของการปรับปรุงสภาพสลัดจ์โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของการกรอง” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 10 วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2555 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต