



การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมด้วยวิธีการสร้างตะกอน  
Dairy Wastewater Treatment by Coagulation

นางสาวพิมลพรรณ  
นายปัฐวี  
นายสันต์พิชญ์

หมู่เฮง  
เหล่าภัศสรวิจิตร  
วัฒนสุชี

รหัส 54361770

รหัส 54365372

รหัส 54365532

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
เลขที่..... 1 ต.ก. 2560  
ลงทะเบียน..... 1-719 60 64  
เลขรหัสหนังสือ..... 45

พ ๗๕ก  
๒๕๕๗

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2557



## ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมด้วยวิธีการสร้างตะกอน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวพิมลพรรณ	หมู่เอง	รหัส 54361770
	นายปัฐวี	เหล่าภัสสรวิจิตร	รหัส 54365372
	นายสัมพันธ์พิชญ์	วัฒน์สุขี	รหัส 54365532
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ชนพล เพ็ญรัตน์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

*Janpon Khet*  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร. ชนพล เพ็ญรัตน์)

*Wilawan K*  
.....กรรมการ  
(ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

*อ. นอ เตโชวานิชย์*  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ อำพล เตโชวานิชย์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมด้วยวิธีการสร้างตะกอน			
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวพิมพ์พรรณ	หมู่แสง	รหัส	54361770
	นายปัฐวี	เหล่าภัสสรวิจิตร	รหัส	54365372
	นายสันต์พิชญ์	วัฒนสุขี	รหัส	54365532
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์			
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
ปีการศึกษา	2557			

### บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานผลิตนมมีส่วนประกอบของโปรตีนที่ละลายอยู่ในรูปคอลลอยด์ในปริมาณที่มาก จึงส่งผลให้มีค่าซีไอดีและค่าความขุ่นสูง รวมถึงยังมีปริมาณความเข้มข้นของไขมันที่มากด้วย ทางคณะผู้จัดทำจึงได้มีการศึกษาถึงวิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด โดยมีการทดลอง 3 แบบ คือ แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation) แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยมีแบบใช้สารส้ม และ เพอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) และ แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด จากการศึกษาพบว่าแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยมีแบบใช้สารส้ม และ เพอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด ซึ่งพบว่าปริมาณสารส้มและเพอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 3.5 g/L และ 1.4 g/L ตามลำดับ ซึ่งการใช้สารส้ม สามารถทำให้น้ำเสียจากโรงงานผลิตนมสามารถลดภาระสารอินทรีย์และไขมันได้มากถึง 79.73% และ 98.90% ตามลำดับ และการใช้เพอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) สามารถทำให้น้ำเสียจากโรงงานผลิตนมสามารถลดภาระสารอินทรีย์และไขมันได้มากถึง 82.83% และ 99.13% ตามลำดับ

<b>Project title</b>	Dairy Wastewater Treatment by Coagulation			
<b>Name</b>	Ms. Phimonphan	Mooheng	ID.	54361770
	Mr. Pattawee	Laopassornvijit	ID.	54365372
	Mr. Sanpit	Wattanasukkhee	ID.	54365532
<b>Project advisor</b>	Dr. Tanapon Phenrat			
<b>Major</b>	Environmental Engineering			
<b>Department</b>	Civil Engineering			
<b>Academic year</b>	2014			

---

### Abstract

Wastewater from dairy production contains high concentration of dissolved and emulsified protein and fats. As a result, it typically has unacceptably high COD and turbidity. Here, we evaluated treatability of dairy wastewater using coagulation. Three types of coagulation including biocoagulation, chemical coagulation (using alum and ferric chloride), and electrocoagulation (using Iron as an electrode) were examined. We found that chemical coagulation was the most effective, and the optimal coagulant doses were 3.5 g/L of alum and 1.4 g/L of ferric chloride. Alum effectively treated up to 79.73% and 98.90% of COD and fat, oil, grease (FOG), respectively. Similarly, ferric chloride effectively eliminated 82.83% and 99.13% of COD and FOG.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีได้โดยได้รับการสนับสนุนจาก ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ซึ่งได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำรวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาในระหว่างการทำการศึกษาโครงการนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ โรงงานผลิตนมโรงเรียนจังหวัดพิษณุโลก ที่คอยช่วยเหลือในด้านน้ำเสียของโรงงานเพื่อใช้ในการศึกษา

และนอกจากนี้คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา และ อาจารย์อำพล เตโชวานิชย์ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในฝ่ายต่างๆสำหรับการประสานงานและคำแนะนำในการดำเนินโครงการที่ติดตลอดระยะเวลาในการทำปริญญาโท

คณะผู้ดำเนินงานหวังว่า ข้อมูลในโครงการฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจในด้านการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการสร้างตะกอน(Coagulation) หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวพิมพ์พรพรรณ หมู่เฮง

นายปัฐวี เหล่าภัสสรวิจิตร

นายสัมพันธ์พิชญ์ วัฒนสุขี

26 พฤษภาคม 2558

## สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนม.....	5
2.1.1 น้ำ.....	6
2.1.2 ไขมันนม (milk fat หรือ butter fat).....	6
2.1.3 ของแข็งทั้งหมดที่ไม่รวมไขมันในน้ำนมหรือธาตุน้ำนม (non fat solids).....	7
2.1.3.1 โปรตีน (protein).....	7
2.1.3.1.1 เคซีน (casein) เป็นฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein).....	7
2.1.3.1.2 เวย์ (whey).....	7
2.1.3.2 น้ำตาลนม (milk sugar).....	7
2.1.3.3 วิตามิน และ แร่ธาตุ.....	8

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากโรงงานนม.....	9
2.2.1 ขั้นตอนก่อนการผลิต.....	9
2.2.1.1 น้ำร้อน.....	9
2.2.2 ขั้นตอนหลังการผลิต.....	9
2.2.2.1 น้ำร้อนเป็นการล้างคราบสิ่งสกปรกเบื้องต้น.....	9
2.2.2.2 สารละลายSodium hydroxide.....	9
2.2.2.3 น้ำร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C เป็นช่วงค่าความเป็นด่าง.....	9
2.2.2.4 สารละลายNitric acid.....	9
2.2.2.5 น้ำร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C เป็นช่วงค่าความเป็นกรด.....	9
2.3 หลักการกระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation).....	10
2.3.1 หลักการการเติมอากาศ (Aeration).....	10
2.3.2 หลักการระบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	10
2.4 หลักการกระบวนการแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยสารส้ม.....	11
2.4.1 กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization)....	12
2.4.2 กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation).....	12
2.4.3 กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation).....	12
2.5 หลักการกระบวนการแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยเฟอริกคลอไรด์.....	13
2.6 หลักการกระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	13
2.6.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	14
2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	14
2.6.2.1 ข้อดีของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	14
2.6.2.2 ข้อเสียของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.7.1 เรื่องการบำบัดน้ำทิ้งโรงนมโดยใช้แบคทีเรียแลคติก.....	15
2.7.2 การศึกษานี้เป็นการศึกษาการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ของน้ำเสียนม.....	15

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	17
3.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการงานวิจัย.....	17
3.2 กระบวนการการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	17
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	17
3.2.2 สารเคมีที่ใช้.....	17
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	17
3.3 กระบวนการแบบการสร้างตะกอนโดยสารส้ม.....	18
3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	18
3.3.2 สารเคมีที่ใช้.....	18
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	18
3.4 กระบวนการแบบการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์.....	18
3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	18
3.4.2 สารเคมีที่ใช้.....	19
3.4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.5 กระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	19
3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	19
3.5.2 สารเคมีที่ใช้.....	19
3.5.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	19
3.6 ขั้นตอนการทำของทุกพารามิเตอร์.....	20
3.6.1 ความเป็นกรด-เบส (pH) .....	20
3.6.2 ค่าซีโอดี (COD) .....	20
3.6.3 ค่าบีโอดี (BOD) .....	22
3.6.4 น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease).....	24
3.6.5 ของแข็งทั้งหมด (TS) .....	25
3.6.6 ของแข็งแขวนลอย (SS) .....	26
3.6.7 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) .....	26
3.6.8 ของแข็งระเหยง่าย (VS).....	26



## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6.9 ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) .....	27
3.6.10 ความขุ่น (Turbidity) .....	28
3.6.11 สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) .....	28
3.6.12 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) .....	29
3.6.13 ศักยภาพการให้อิเล็กตรอนในน้ำ (ORP) .....	29
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....</b>	<b>30</b>
4.1 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	30
4.2 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยสารส้ม.....	35
4.3 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์.....	38
4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	41
4.5 ผลของความเข้มข้นไขมันในน้ำเสีย.....	42
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>45</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	45
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>46</b>
<b>ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....</b>	<b>47</b>

## สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 หลักการแล้วทฤษฎีเบื้องต้น	
ตารางที่ 2.1 ปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมและในเต้าของน้ำนมโดยเฉลี่ย.....	8
ตารางที่ 2.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานนม.....	10
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	32
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	33
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอน โดยสารส้ม.....	35
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้าง ตะกอนโดยสารส้ม.....	36
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้าง ตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์.....	38
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการ สร้างตะกอน.....	39
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดของไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	42
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดของไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	43

## สารบัญรูป

หน้า

## บทที่ 2 หลักการแล้วทฤษฎีเบื้องต้น

รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพองค์ประกอบของนม.....	5
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำนมโค.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช.....	11
รูปที่ 2.4 แสดงกลไกในการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม.....	12

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

รูปที่ 4.1 แสดงค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัด.....	30
รูปที่ 4.2 แสดงค่า pH ของน้ำหลังการบำบัด.....	30
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการละลายของออกซิเจนของน้ำหลังการบำบัด.....	31
รูปที่ 4.4 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัด.....	31
รูปที่ 4.5 แสดงค่าปริมาณศักยภาพการให้อิเล็กตรอนในน้ำหลังการบำบัด.....	31
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์.....	34
รูปที่ 4.7 แสดงการบำบัดในการเติมอากาศที่เวลาต่างๆ ที่เวลา 40 ชั่วโมง.....	34
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบการสร้างตะกอนโดยสารส้ม.....	37
รูปที่ 4.9 แสดงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ปริมาณสารส้มที่ 3.5 g/L และการตกตะกอน.....	37
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบการสร้างตะกอนโดยเฟอร์ริกคลอไรด์.....	40
รูปที่ 4.11 แสดงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ 1.4 g/L และการตกตะกอน.....	40
รูปที่ 4.12 แสดงสีของน้ำเสียที่ผ่านการปล่อยกระแสไฟฟ้าแล้วที่ช่วงเวลาต่างๆ.....	41
รูปที่ 4.13 แสดงไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเสีย.....	41
รูปที่ 4.14 แสดงถึงประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl <sub>3</sub> ) ที่ปริมาณ 1.4 g/L.....	44

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

น้ำเสียจากโรงงานนมมีโปรตีนและไขมันละลายและแขวนลอยในรูปสารคอลลอยด์ที่มีความเสถียรสูง ทำให้น้ำเสียจากกระบวนการล้างระบบผลิตมีลักษณะขุ่นมากและมีค่าซีโอดีและไขมันสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมหลายร้อยเท่า ด้วยน้ำมีความสกปรกสูงจึงทำให้ต้องมีการแยกโปรตีนและไขมันในรูปสารคอลลอยด์ออกจากน้ำทิ้งก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการบำบัดขั้นตอนชีวภาพ เพื่อลดภาระในการบำบัดขั้นชีวภาพจนได้น้ำปล่อยออกที่ผ่านมาตรฐานตามมาตรา 80 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ที่กำหนดให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองแหล่งกำเนิดมลพิษ มีหน้าที่ต้องเก็บข้อมูลและรายงานสรุปการทำงานจากระบบบำบัดน้ำเสีย

โครงการนี้ได้มุ่งเน้นแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนมของ บริษัท SME แห่งหนึ่งซึ่งผลิตนมดื่มสำหรับโรงเรียน และถือเป็นโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ 10 ประเภทที่ได้มีการกำหนดตามมาตรา 80 ทางบริษัทจึงต้องทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตนม เพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้

การบำบัดน้ำเสียโรงงานนมได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายท่านซึ่งส่วนมากจะใช้วิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) ในหลายรูปแบบ เช่น การใช้แบคทีเรียแลคติกหมักเพื่อสร้างกรดแลคติกให้เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) โดยศึกษาถึงการหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งด้วยกรดแลคติกที่ความเข้มข้นต่างๆ (พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์, 2554)

คณะวิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการที่จะลดภาระก่อนเข้ากระบวนการบำบัดในขั้นตอนชีวภาพและได้มีความสนใจในวิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) ในหลายรูปแบบ จึงทำการทดลองที่ประกอบด้วย แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation) แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยใช้สารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) และ แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างนม โดยวิธีการสร้างตะกอนหลายรูปแบบ แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation) แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยมีแบบใช้สารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) และ แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด
- 1.2.2 เพื่อออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการล้างนม โดยทำให้ผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้

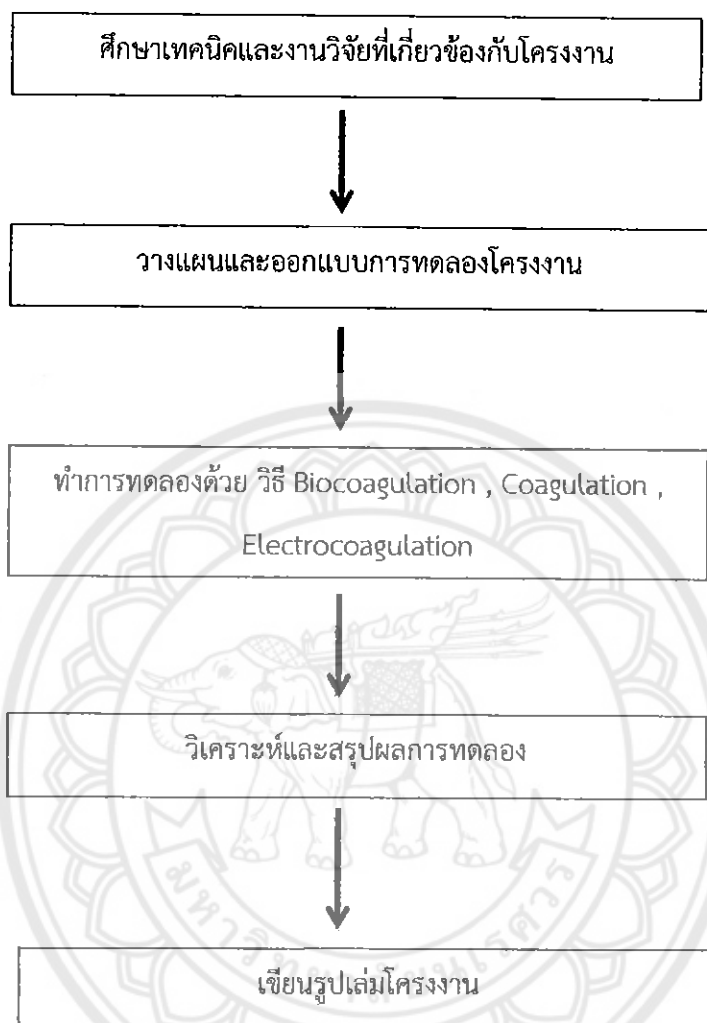
## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้วิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) ที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานนม
- 1.3.2 สามารถออกแบบระบบบำบัดที่เหมาะสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนมได้

## 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1.4.1 ทำการศึกษาและทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 1.4.2 ได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจาก บริษัท SME ซึ่งเป็นโรงงานผลิตนมโรงเรียน
- 1.4.3 ตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าซีโอดี (COD), ค่าบีโอดี (BOD), น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease), ของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งระเหยง่าย (VS), ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS), ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS), ความขุ่น (Turbidity), สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity), ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ศักยภาพการให้อิเล็กตรอนในน้ำ (ORP)

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



### 1.6 แผนการดำเนินงาน

เดือน กิจกรรม	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1. ศึกษาเทคนิค และงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง	■																							
2. วางแผนงาน				■																				
3. ทำการทดลอง					■																			
4. วิเคราะห์และ สรุปการทดลอง													■											
5. เขียนโครงการ									■															

### 1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1. ค่าถ่ายเอกสาร       | 500 บาท                  |
| 2. ค่าทำรูปเล่มโครงการ | 2000 บาท                 |
| 3. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ     | 500 บาท                  |
| รวมเป็นเงิน            | 3000 บาท (สามพันบาทถ้วน) |

## บทที่ 2

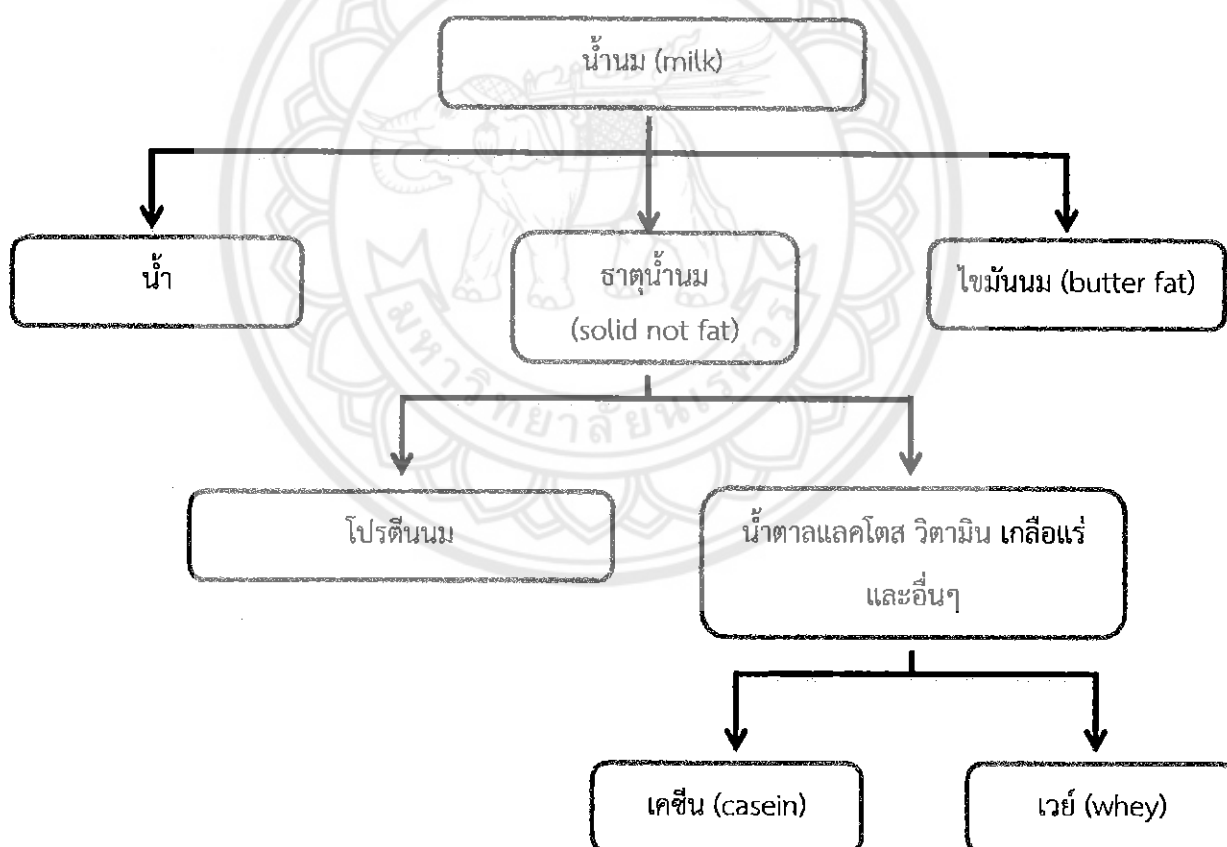
### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนม

น้ำนม (milk) เป็นอาหารเหลว ที่มีโครงสร้างเป็นอิมัลชัน (emulsion) ประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) โดยไขมันนม (butter fat) จะแขวนตัวเป็นหยดน้ำมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ โดยนอกจากไขมันนมแล้วน้ำนมยังประกอบด้วย โปรตีน น้ำตาลแลคโตส (lactose) แร่ธาตุและวิตามิน รวมเรียกว่า ธาตุน้ำนม

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนานันท)

#### องค์ประกอบของนม



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพองค์ประกอบของนม

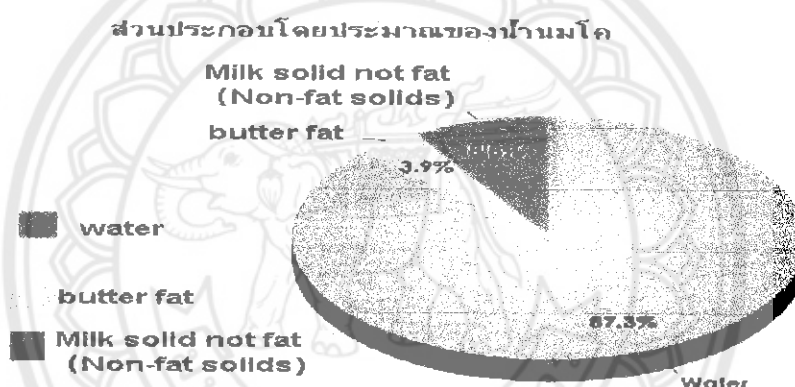


### 2.1.1 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำนม น้ำนมมีน้ำเป็นส่วนประกอบมากกว่า 85% น้ำเป็นตัวกลางให้โปรตีน ไขมันนม กระจายตัวอยู่ เกิดลักษณะเป็นอิมัลชัน (emulsion) ชนิด oil-in-water emulsion และ น้ำเป็นตัวทำละลายน้ำตาลในนม และวิตามินที่ละลายในน้ำ และแร่ธาตุต่างๆ

### 2.1.2 ไขมันนม (milk fat หรือ butter fat)

ไขมันนม หรือไขมันเนย (butter fat หรือ milk fat) หมายถึงไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคเม็ดไขมัน (fat globule) แขนงลอยอยู่ในน้ำนม (milk) ในสภาพอิมัลชัน (emulsion) ปริมาณไขมันนมแปรผันตามชนิดของสัตว์ เช่น น้ำนมโคมีระดับไขมัน 33-47 กรัมต่อลิตร น้ำนมกระบือ มี 47 g/L น้ำนมแพะ 41-45 g/L นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอาหาร ระยะเวลาการให้นม จำนวนครั้งของการรีดนม สายพันธุ์ของสัตว์ และฤดูกาล



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำนมโค

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1502/milk-fat-butter-fat>

### ลักษณะและขนาดอนุภาคเม็ดไขมันนม

อนุภาคเม็ดไขมันในน้ำนมกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำในลักษณะที่เป็นอิมัลชัน (emulsion) ชนิด oil-in-water emulsion ส่วนกลางของอนุภาคเม็ดไขมันนมเป็นไตรกลีเซอไรด์ ที่ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรน (membrane) ที่มีความหนา 4-10 nm ป้องกันส่วนประกอบภายใน

ในน้ำนม 1 L ประกอบด้วยเม็ดไขมันจำนวนประมาณ  $250 \times 10^6$  เม็ด อนุภาคเม็ดไขมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) เฉลี่ย ระหว่าง 0.2-15 ไมครอน โดยน้ำนมโคมีขนาดระหว่าง 2.5-5 ไมครอน และมีค่าเฉลี่ยที่ 4 ไมครอน อนุภาคเม็ดไขมันนมที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ (homogenization) จะมีขนาดเล็กลง มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน

### ส่วนประกอบของไขมันนม

ไขมันนม ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) มีอยู่ประมาณร้อยละ 97-98 ที่เหลือเป็นฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ไคกลีเซอไรด์ มอโนกลีเซอไรด์ คอเลสเตอรอล (cholesterol) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) รวมทั้งวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น vitamin A, vitamin D, vitamin E และ vitamin K

ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมัน ที่ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัวสายสั้น (short chain fatty acid) เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) ปริมาณมาก ซึ่งระเหยได้ มีจุดหลอมเหลวต่ำ และเกิดการหืน (rancidity) ได้ง่าย

2.1.3 ของแข็งทั้งหมดที่ไม่รวมไขมันในน้ำนมหรือธาตุน้ำนม (non fat solids) ประกอบด้วย

2.1.3.1 โปรตีน (protein) เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดอะมิโน (amino acid) ในแง่โภชนาการ โปรตีนเป็นสารอาหาร ที่ให้พลังงาน คือโปรตีน 1 g ให้พลังงาน 4 calories

2.1.3.1.1 เคซีน (casein) เป็นฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) ที่พบ 80% ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโน (amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกายครบถ้วนเคซีนรวมตัวกับฟอสฟอรัส และแคลเซียมในโมเลกุลของเคซีน มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ จึงแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ในรูปแบบไมเซลล์ (micelle) ทรงกลมทำให้นมมีสีขาวขุ่น แคลเซียม ฟอสเฟต มีบทบาทสำคัญในการคงตัวของเคซีนไมเซลล์

โปรตีนเคซีนในนมสามารถแยกออกจากน้ำนม โดยการตกตะกอน ด้วยการปรับ pH ของน้ำนมให้เท่ากับ 4.6-4.7 ซึ่งเป็น Isoelectric point ของโปรตีนเคซีน หรือ ตกตะกอนด้วย เอนไซม์ เรนนิน (rennin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ (enzyme) ชนิดโปรติเอส (protease) สามารถย่อยเคซีนให้มีโมเลกุลเล็กลง ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เคซีนในการผลิตเนยแข็ง (cheese) โดยเรนนินจะย่อยเคซีนแล้วรวมกันแคลเซียมไอออน แยกตัวออกมาเป็นตะกอนขาวขุ่น

2.1.3.1.2 เวย์ (whey) เป็นของเหลวส่วนที่เหลือหลังแยกเอาตะกอนเคซีนออกแล้ว

2.1.3.2 น้ำตาลนม (milk sugar)

น้ำตาลนม คือน้ำตาลแลคโตส (lactose) พบประมาณ 2.4-6.1% ในน้ำนม หรือประมาณ 52% ของธาตุน้ำนม น้ำตาลแลคโตส เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) 1 โมเลกุล กับ น้ำตาลกาแลคโตส (galactose) อีก 1 โมเลกุล รวมตัวกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ชนิดบีตา-1, 4 (beta 1-4) น้ำตาลแลคโตส แยกได้จากเวย์ (whey) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็ง (cheese) หรือเคซีน (casein)

น้ำตาลแลคโตส มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลชนิดอื่น มีความหวานสัมพัทธ์ (relative sweetness) เท่ากับ 20 ในขณะที่น้ำตาลซูโครส (sucrose) มีความหวานเท่ากับ 100 กลูโคส (glucose) เท่ากับ 70-80 และฟรุคโทส (fructose) เท่ากับ 140 ละลายน้ำได้ไม่ดี เกิดการตกผลึก

(crystallization) ได้ง่าย ในผลิตภัณฑ์นมที่ทำให้เข้มข้น เช่น นมข้นหวาน (sweeten condensed milk) ไอศกรีม (ice cream) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องควบคุมผลึกแลคโตสไม่ให้มีขนาดใหญ่ ถ้าผลึกของน้ำตาลแลคโตสมีความยาวมากกว่า 30 ไมครอนจะทำให้ไอศกรีมเนื้อเป็นทราย สากลิ้น ความยาวของผลึกแลคโตสที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10 ไมครอน การควบคุมขนาดผลึกแลคโตสในไอศกรีมทำได้โดยการลดอุณหภูมิของไอศกรีม อย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดนิวเคลียสผลึกปริมาณมาก และมีขนาดเล็กหรือการใส่แลคโตสผงที่มีขนาดเล็กลงไปเพื่อทำให้เป็นนิวเคลียสของผลึกขนาดเล็ก

เอนไซม์ (enzyme) ที่สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสได้ คือ แล็กเตส (lactase) หรือ บีตา-กาแล็กโทซิเดส (beta-galactosidase) ทำให้ได้น้ำตาลกลูโคส (glucose) 1 โมเลกุล กับน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) 1 โมเลกุล เป็นเอนไซม์ที่พบในสัตว์ที่ยังไม่หย่านม คนที่เล็กดื่มนมเป็นเวลานาน เอนไซม์นี้จะหายไป เมื่อกลับมาดื่มนมหรือรับประทานผลิตภัณฑ์นม จะย่อยน้ำตาลแลคโตสไม่ได้ ทำให้มีอาการท้องเสีย เรียกว่า lactose intolerance

### 2.1.3.3 วิตามิน และ แร่ธาตุ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแร่ธาตุในนํ้านมและในเถ้าของนํ้านมโดยเฉลี่ย

แร่ธาตุ (Minerals)	% ในนํ้านม	% ในเถ้าของนํ้านม
โปแตสเซียม (Potassium)	0.14	20.0
แคลเซียม (Calcium)	0.12	17.4
คลอไรด์ (Chloride)	0.10	14.5
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	0.09	13.2
โซเดียม (Sodium)	0.05	7.4
แมกนีเซียม (Magnesium)	0.01	1.5
กำมะถัน (Sulfur)	0.025	3.6

ที่มา: จิตธนา แจ่มเมฆ (2549)

## 2.2 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากโรงงานนม

น้ำทิ้งจากโรงงานนมเกิดจากการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการผลิตนม เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ ล้างคราบไขมันจากระบบการผลิตและเพื่อดูแลรักษาอุปกรณ์ เครื่องจักร โดยสิ่งสกปรกที่ต้องทำการล้างในการผลิตก็คือ คราบไขมัน คราบโปรตีนและแร่ธาตุในนม และตะกรันนํ้านมหรือคราบน้ำนมที่ซ้อนกันหลายชั้นจนหนา (Milk stone) (คู่มือ GMP ผลิตภัณฑ์นมพร้อมบริโภคชนิดเหลว ที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์สำหรับผู้ประกอบการ, 2550)

น้ำทิ้งในโรงงานนมจะเกิดจากชั้นมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

#### 2.2.1 ขั้นตอนก่อนการผลิต

2.2.1.1 น้ำร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C โดยน้ำร้อนนี้จะล้างก่อนเริ่มการผลิตใช้เวลาล้างประมาณ 30 min

#### 2.2.2 ขั้นตอนหลังการผลิต

2.2.2.1 น้ำร้อนเป็นการล้างคราบสิ่งสกปรกเบื้องต้น โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C จะล้างไล่คราบน้ำนมภายในเครื่องจักรและเครื่องมือทันทีหลังการปฏิบัติงาน เพราะถ้าปล่อยทิ้งไว้นานจะทำให้คราบน้ำนมแห้งติดแน่นกับอุปกรณ์ทำให้ยากต่อการล้างการไล่น้ำจะไล่จนกระทั่งน้ำที่ออกจากระบบท่อไม่มีคราบน้ำนมติดออกมา สังเกตจากน้ำปลายท่อทุกท่อจะใส

2.2.2.2 สารละลาย Sodium hydroxide ที่ความเข้มข้น 2% โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 70 – 80 °C โดยน้ำชนิดนี้มีหน้าที่ในการล้างคราบไขมัน และโปรตีน โดยใช้สารละลายต่างหมุนเวียนนาน 15 – 30 min น้ำเสียจะเป็นน้ำเสียมีค่าเป็นด่าง

2.2.2.3 น้ำร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C เป็นช่วงที่ล้างค่าความเป็นด่างออก โดยใช้น้ำสะอาดล้างไล่คราบสารเคมีต่างออกให้หมดไม่ให้ตกค้าง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนผลิตภัณฑ์

2.2.2.4 สารละลาย Nitric acid ที่ความเข้มข้น 1% โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 60 – 70 °C เพื่อทำการกำจัดสิ่งสกปรกที่ต่างล้างไม่ออก เช่น ตะกรัน หมุนเวียนนาน 10 – 20 min

2.2.2.5 น้ำร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 90-95 °C เป็นช่วงล้างค่าความเป็นกรดออก โดยใช้น้ำสะอาดไล่คราบสารเคมีกรดออกให้หมด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนผลิตภัณฑ์

#### ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานนม

ตารางที่ 2.2 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานนม

รายละเอียด	pH	conduct (us/cm)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	OIL (mg/L)	TDS (mg/L)
น้ำล้างนม	5.08	932	11,969	7300	2,537	1750
น้ำล้างนม (ต่าง)	11.52	2900	45.71	25.8	8.40	881.1
น้ำล้างนม (กรด)	1.93	5927	28.57	15.5	4.08	98.67

ที่มา : ข้อมูลจาก บริษัท SME ที่ผลิตนมโรงเรียน เมื่อวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2557

## 2.3 หลักการกระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation)

### 2.3.1 หลักการการเติมอากาศ (Aeration)

การเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าเพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อและเกิดการตกตะกอนของจุลินทรีย์

### 2.3.2 หลักการระบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์

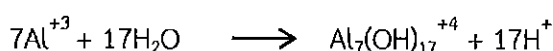
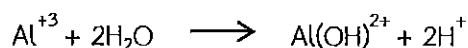
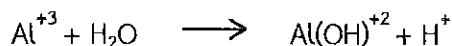
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Biocoagulation น้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่ โดยสภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเป็นการเติมอากาศที่เวลาต่างจากนั้นหยุดการเติมอากาศและปล่อยทิ้งไว้จนน้ำเสียมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว จุลินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งมีนมเป็นส่วนประกอบจะผลิตกรดแลคติกขึ้นเพราะกรดชนิดนี้เกิดจากการหมักของที่มีรสเปรี้ยวเนื่องจากนมบูดก็มีรสเปรี้ยวและทำให้ค่า pH ในน้ำลดลงและกรดแลคติกจะเป็นสารสร้างตะกอนทำให้เกิดการตกตะกอน (Seesuriyachan et al. 2009)

## 2.4 หลักการกระบวนการแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยสารส้ม

สารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟต มีสูตรโมเลกุลทั่วไป  $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$  ซึ่งเมื่อลงไปในน้ำสารส้มจะเกิดการแตกตัว ดังนี้

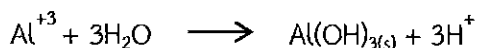


เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำอลูมิเนียมไอออนจาก  $Al_2(SO_4)_3$  จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้  $Al(H_2O)_6^{+3}$  หรือ  $Al^{+3}$  ไฮโดรซีลของ  $Al^{+3}$  จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ต่างๆที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $OH^-$  จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการต่อไปนี้

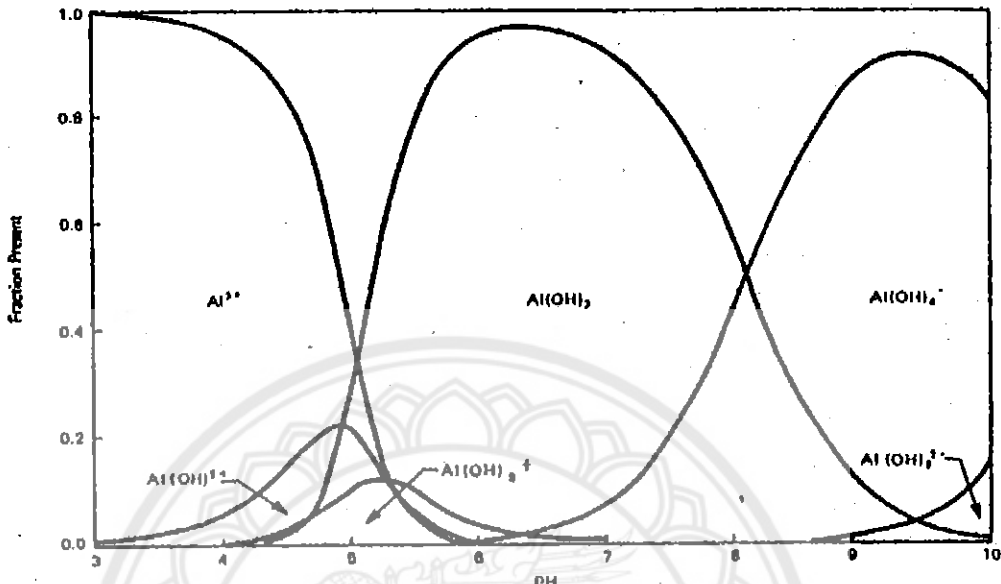


ในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าค่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว ไฮโดรไลซิสจะ

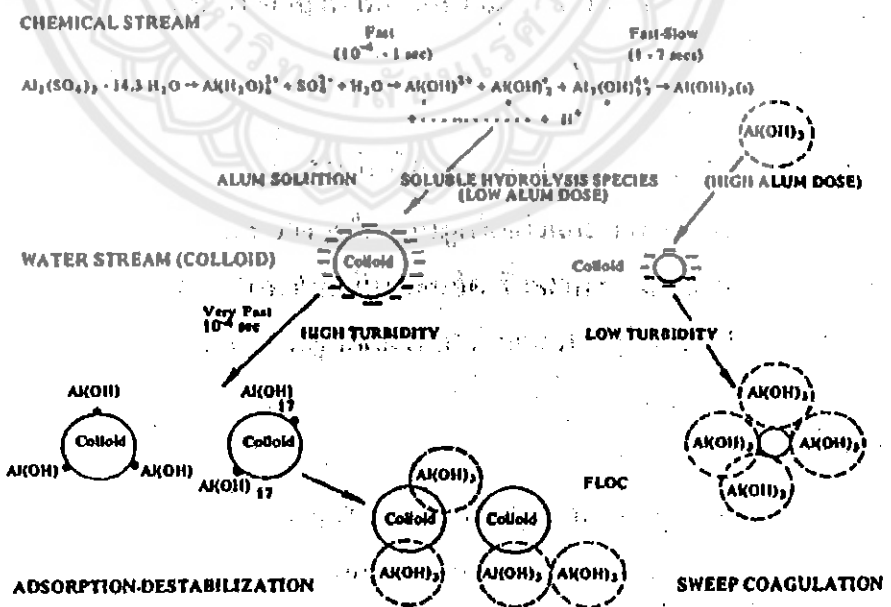
ดำเนินการต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก  $Al(OH)_3$



ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดจากการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก  $Al^{+3}$  ถึง  $Al(OH)_3$  สารคอมเพล็กซ์จะมีประจุเป็นบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช (การประปานครหลวง)



รูปที่ 2.4 แสดงกลไกในการสร้าง Coagulation ด้วยสารส้ม (การประปานครหลวง)

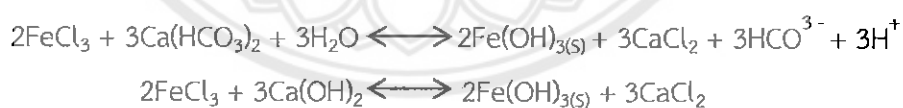
2.4.1 กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักเป็นประจุลบให้เป็นกลาง ซึ่งจะเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันของอนุภาคทำให้มีการจับตัวกันของอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเองได้

2.4.2 กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) กลไกนี้เกิดจากการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งจะได้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์  $Al(OH)_3$  ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสอนุภาคขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

2.4.3 กลไกโคแอกกูเลชันแบบรวม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ และแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัดซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพียงสูงชันกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด (มันสิน ตัณฑุณเวศม์, 2542)

## 2.5 หลักการกระบวนการแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยเฟอริกคลอไรด์

เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride) มีสูตรทางเคมีว่า  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  หรือ  $FeCl_3$  anhydrous มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและมีฤทธิ์กัดกร่อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอริกคลอไรด์ ( $Fe(OH)_3$ ) เมื่อละลายในน้ำเนื่องจากเป็นสารประกอบของเหล็กจึงทำให้มีประจุบวกและทำให้เป็นกลางได้ด้วยประจุลบของของแข็งในน้ำตะกอน จึงเป็นสาเหตุการรวมกลุ่มของตะกอนเฟอริกคลอไรด์ จะทำปฏิกิริยากับ Bicarbonate alkalinity ในน้ำตะกอน และเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์กับ Bicarbonate alkalinity ดังนี้



เฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนได้ 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 Coagulation โดยเฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆ และทำให้เป็นกลางโดยการดูดซับประจุ และทำปฏิกิริยากับบนผิวของอนุภาคนั้นๆทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคอ่อนลงจนเกิดเป็นตะกอนเล็กๆ

ขั้นตอนที่ 2 Flocculation โดยเฟอริกคลอไรด์จะทำหน้าที่รวมตะกอนขนาดเล็กๆจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถตกตะกอนได้โดยมีขนาดใหญ่กว่า  $10^{-7}$  m ซึ่งถือว่ามียักษ์ใหญ่ทำให้ง่ายต่อการแยกตะกอนออกด้วย

## 2.6 หลักการกระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด

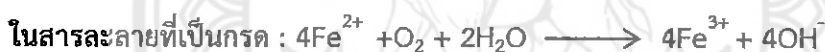
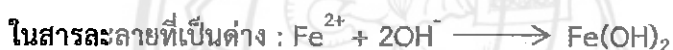
กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC) เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของอออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ผ่านขั้วบวก(anode) และขั้วลบ(cathode)

โดยทั่วไปนิยมใช้แผ่นโลหะ เช่น เหล็กหรืออะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด เพื่อผลิตอออนประจุบวกอย่างต่อเนื่อง อออนที่ผลิตขึ้นจะไปทำให้ประจุบนคอลลอยด์เป็นกลาง และทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

### 2.6.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Electrocoagulation

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำ ได้แก่ การนำไฟฟ้า pH ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดอออนจะขึ้นกับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode) มีดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) มีดังต่อไปนี้



ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจะไปเกาะติดกับของแข็งแขวนลอย และลอยตัวขึ้นผิวน้ำ

### 2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

#### 2.6.2.1 ข้อดีของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

- 1) EC เป็นระบบที่ใช้เครื่องมือธรรมดาที่สามารถเดินระบบได้ง่าย
- 2) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ EC มีลักษณะใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น
- 3) สลัดจ์ที่ได้จาก EC ตกตะกอนไต่เร็วและรีดน้ำออกได้ง่าย และเกิดสลัดจ์ในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้สารเคมีในการตกตะกอน
- 4) กระบวนการ EC สามารถกำจัดคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่า
- 5) น้ำทิ้งจากระบบ EC มีค่าของแข็งละลายน้ำน้อยกว่าการใช้สารเคมีตกตะกอน ซึ่งทำให้ค่าบำบัดน้ำสำหรับการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่มีค่าต่ำกว่า

#### 2.6.2.2 ข้อเสียของระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

- 1) โลหะจากอิเล็กโทรดละลายลงสู่น้ำเสีย ทำให้ต้องทำการเปลี่ยนอิเล็กโทรดตามระยะ



เวลาการใช้งาน

- 2) การใช้ไฟฟ้าอาจมีราคาแพงในบางพื้นที่
- 3) อาจเกิดฟิมล์ออกไซด์ของเกลือโลหะบนผิวของอิเล็กโทรด ทำให้ประสิทธิภาพของระบบ EC ลดลง ทำให้ต้องทำการล้างอิเล็กโทรดเป็นครั้งคราว
- 4) น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบ EC ต้องมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเพียงพอ
- 5) เกลือไฮดรอกไซด์ที่ได้อาจมีลักษณะเป็นเจลอาจละลายน้ำได้ในบางกรณี ( สมพงษ์ ทิรัญมาศสุวรรณ, 2551)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 เรื่องการบำบัดน้ำทิ้งโรงนมโดยใช้แบคทีเรียแลคติก

งานวิจัยของ ดร.พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์ อาจารย์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการวิจัยผลิตสารสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งเป็นกรดผลิตจากการหมักแบคทีเรียแลคติกนำมาใช้ตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งโรงนมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สอง ได้ทำการทดลองหาระดับพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งโรงนมด้วยกรดแลคติกที่มีความเข้มข้นต่างๆ พบว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.0 – 4.7 ดังนั้นการใช้กรดจากการหมักโดยแบคทีเรียแลคติกเพื่อใช้เป็นสารสร้างตะกอนในการตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งโรงนมต้องปรับพีเอชให้ถึงจุดไอโซอิเล็กตริกคือ 4.7 ได้คัดเลือกแบคทีเรียแลคติกจาก 45 แหล่งเพื่อผลิตที่ดีที่สุดสามารถผลิตกรดมีความเข้มข้นสูงประมาณ 400 mg/l เมื่อนำสารสร้างตะกอนนี้มาบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ปรับระดับพีเอชเป็น 4.7 จากความสกปรกเริ่มต้นมีค่า ซีโอดี โปรตีน และความใส เป็น 5000 mg/l , 10-12 mg/l และ 0% ตามลำดับ สามารถทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและโปรตีนเป็น 75 และ 90 -95 % ตามลำดับ ส่วนความใสมีค่า 60 -80 % (พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์,2554)

2.7.2 การศึกษานี้เป็นการศึกษาการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ของน้ำเสียนม ซึ่งได้มีการคิดระบบใหม่กับเครื่องปฏิกรณ์ ในกระบวนการแรกเป็นการหมักกรดแลคติก เพื่อแยกโปรตีนคอนลอยด์หมักเป็นเวลา 3 วัน จุลินทรีย์มีความสามารถในการผลิตกรดอินทรีย์และพร้อมกับลด pH ของน้ำเสียอีกด้วยจากนั้นนำน้ำเสียใส่เครื่องปฏิกรณ์โดยเครื่องลักษณะทรงกระบอกมีความสูง 460 mm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 138 mm โดยเครื่องจะทำการกวนเร็วที่ 150 rpm เป็นเวลา 5 min แล้วกวนช้า 50 rpm จนเสร็จการทดลอง(ไม่มีบอกเวลา) จากการทดลองจะเก็บตัวอย่างไว้ในเครื่องปฏิกรณ์ไว้เป็นช่วงๆและนำไปเติมเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 1500 โดยการบำบัดแบบ(micro-aerobic SBR) ที่เวลาแตกต่างกันเช่น 3,6,9,12,15 วันและในการเก็บตัวอย่างในแต่ละวันจะมีพารามิเตอร์ดังตารางวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในช่วงเวลาเก็บน้ำ

ตารางวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในช่วงเวลาเก็บน้ำ

	Solid Retention Time (SRT) (days)				
	3	6	9	12	15
% proteins removal	86.8 ± 1.7a	87.3 ± 1.6a	88.8 ± 1.7b	89.8 ± 1.6c	90.1 ± 1.3c
% COD removal	43.8 ± 11.6a	57.7 ± 8.3b	59.4 ± 9.4b	57.5 ± 8.3b	73.6 ± 5.9c
% sugar removal	87.8 ± 0.6a	85.3 ± 0.7b	86.8 ± 0.6c	84.1 ± 0.5d	85.7 ± 0.6e
Total acidity (g L <sup>-1</sup> )	2.06 ± 0.06a	1.95 ± 0.06a	2.01 ± 0.06a	2.42 ± 0.06b	2.75 ± 0.06c
pH	3.73 ± 0.1	3.82 ± 0.1	3.75 ± 0.1	3.76 ± 0.1	3.8 ± 0.1

จากการทดลองเมื่อทิ้งเป็นเวลานานก็จะทำให้เกิดการกำจัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้มากขึ้น  
 จากการทำการระบวนการนี้มีผลสำเร็จในการกำจัด COD 74% และการกำจัดโปรตีนได้ถึง 90% และ  
 ประสิทธิภาพโดยรวมก็อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเครื่องปฏิกรณ์ที่สมบูรณ์ผสมโดยใช้ *Lactobacillus casei*  
 TISTR 1500 เป็นกระบวนการกำจัดทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคอนลอยต์ของโปรตีนที่  
 ลอยอยู่ในน้ำเสียของนมและมีศักยภาพค่อนข้างสูง (Seesuriyachan et al. 2009)



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินโครงการงาน

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อศึกษากระบวนการนำน้ำทิ้งจากโรงงานนมผ่านกระบวนการบำบัดแบบ Coagulation ในหลายรูปแบบ

#### 3.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการงานวิจัย

น้ำทิ้งจากโรงงานนมที่นำมาวิจัยในครั้งนี้ได้รับน้ำทิ้งจากบริษัท SME แห่งหนึ่ง โดยเป็นน้ำทิ้งช่วงหลังการผลิตนมซึ่งเป็นน้ำทิ้งน้ำร้อนเป็นการล้างคราบสิ่งสกปรกเบื้องต้น โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบส (pH), ค่าซีไอดี (COD), ค่าบีไอดี (BOD), น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease), ของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมด (TS), ของแข็งระเหยง่าย (VS), ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS), ความขุ่น (Turbidity), สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity), ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO), ศักยภาพการให้อิเล็กตรอนในน้ำ (ORP)

#### 3.2 กระบวนการการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์

##### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องเติมอากาศ
- บีกเกอร์ 1000 ml
- ปีเปต 10 ml
- ลูกยาง
- pH meter

##### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

##### 3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานนม ปริมาตร 1 L ใส่บีกเกอร์ขนาด 1000 ml จำนวน 3 ชุด
2. ปรับค่า pH น้ำทิ้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ pH = 11.5 โดยวัดจากเครื่อง pH meter
3. เตรียมเครื่องเติมอากาศจำนวน 3 ชุด เพื่อเติมอากาศลงในบีกเกอร์ ด้วยเวลาที่ 1, 2.5, 4 hr.
4. เมื่อเติมอากาศเสร็จตามเวลาที่กำหนด จะทิ้งไว้จนเกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์

5. จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนมาทดสอบทุกพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้ เพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัด

### 3.3 กระบวนการแบบการสร้างตะกอนโดยสารส้ม

#### 3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่อง Jar Test
- เครื่องวัดความขุ่น
- ปีเปต 10 ml
- ลูกยาง
- pH meter

#### 3.3.2 สารเคมีที่ใช้

- สารส้ม (Alum)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

#### 3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมอุปกรณ์ Jar Test น้ำทิ้งจากโรงงานนม และเตรียมสารส้มที่ใช้ทดลองและสร้างตะกอนในความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบจำนวน 6 ชุด ให้พร้อม
2. วัดค่า pH ของน้ำตัวอย่าง (บันทึกผล) วิเคราะห์หาความขุ่นด้วยเครื่องมือวัดความขุ่น พารามิเตอร์นี้จะช่วยให้สามารถนำไปพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการทดลอง
3. ตวงน้ำตัวอย่าง ใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ปริมาตร 1 L
4. นำน้ำตัวอย่างมาปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ pH = 11.5 โดยวัดจากเครื่อง pH meter
5. เครื่อง Jar test ของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีความสามารถในการตั้งเวลาและความเร็วรอบการหมุนของใบพาย แบบอัตโนมัติ โดยมีการให้ความเร็วรอบ 100 rpm เป็นเวลา 1 min และ 30 rpm เป็นเวลา 20 min จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอน 30 min
6. จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนมาทดสอบทุกพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้ เพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัด

### 3.4 กระบวนการแบบการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์

#### 3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่อง Jar Test
- เครื่องวัดความขุ่น
- ปีเปต 10 ml
- ลูกยาง
- pH meter

### 3.4.2 สารเคมีที่ใช้

- สารเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ )
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )

### 3.4.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมอุปกรณ์ Jar Test น้ำทิ้งจากโรงงานนม และเตรียมสารเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่ใช้ทดลองและสร้างตะกอนในความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบจำนวน 6 ชุดให้พร้อม
2. วัดค่า pH ของน้ำตัวอย่าง (บันทึกผล) วิเคราะห์หาความขุ่นด้วยเครื่องมือวัดความขุ่น พารามิเตอร์นี้จะช่วยให้สามารถนำไปพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการทดลอง
3. ตวงน้ำตัวอย่าง ใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ปริมาตร 1 L
4. นำน้ำตัวอย่างมาปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ให้  $\text{pH} = 11.5$  โดยวัดจากเครื่อง pH meter
5. เครื่อง Jar test ของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มีความสามารถในการตั้งเวลาและความเร็วรอบการหมุนของใบพาย แบบอัตโนมัติ โดยมีการให้ความเร็วรอบ 100rpm เป็นเวลา 1 min และ 30 rpm เป็นเวลา 20 min จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอน 30 min
6. จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนมาทดสอบทุกพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้เพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัด

## 3.5 กระบวนการแบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด

### 3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ถังปฏิกรณ์ของระบบ EC
- มีกลองปรับความต้านทานเพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า
- ปีเปต 10 ml
- ลูกยาง
- pH meter

### 3.5.2 สารเคมีที่ใช้

- แผ่นเหล็กใช้เป็นอิเล็กโทรด
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )

### 3.5.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. เตรียมน้ำทิ้งจากโรงงานนมปริมาตร 1 L ใส่ลงถังปฏิกรณ์ของระบบ EC
2. นำน้ำตัวอย่างมาปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ให้  $\text{pH} = 11.5$  โดยวัดจากเครื่อง pH meter
3. ใส่แผ่นเหล็กซึ่งเป็นอิเล็กโทรดทั้งขั้วบวกและขั้วลบ
4. ปล่อยกระแสไฟที่ 5 Am โดยมีการปล่อยกระแสไฟที่เวลาแตกต่างกัน ที่ 5, 15, 30 min

5. จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนทิ้ง 3 เวลา มาทดสอบทุกพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้ เพื่อวัดประสิทธิภาพการบำบัด

### 3.6 ขั้นตอนการทำของทุกพารามิเตอร์

#### 3.6.1 ความเป็นกรด-เบส (pH)

##### อุปกรณ์

- เครื่องวัด pH พร้อมอิเล็กโทรด
- ปีกเกอร์ ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกโพลีเอธิลีนหรือเทฟลอน
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมแท่งกวนที่หุ้มด้วยเทฟลอน

##### สารเคมี

- สารละลายบัฟเฟอร์ที่ทราบค่าพีเอชแล้วอย่างน้อย 2 สารละลาย (ส่วนใหญ่ใช้พีเอช 4 กับ 7)
- น้ำกลั่น

##### ขั้นตอนการทดลอง

1. ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด (ใช้ทิชชูซับให้แห้ง)
2. การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ
3. ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด (ใช้ทิชชูซับให้แห้ง)
4. วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง
5. บันทึกค่าพีเอช
6. ล้างแท่งอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด (ใช้ทิชชูซับให้แห้ง)
7. เก็บในปลอกอิเล็กโทรดที่บรรจุ KCl 3M

#### 3.6.2 ค่าซีโอดี (COD)

##### อุปกรณ์

- หลอดแก้วทดลองพร้อมฝาเกลียวปิด
- Block heater หรือ เครื่องมืออื่นที่มีอุณหภูมิใช้งานที่ 150 °C
- ไมโครปิเปต
- ตะแกรงตั้งหลอดทดลอง

##### สารเคมี

- สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1000 N;  $K_2Cr_2O_7$  ละลาย  $K_2Cr_2O_7$  ซึ่งอบให้แห้งที่ 150 °C 2 hr. และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้ว 4.903 g ลงในน้ำกลั่น 500 ml เติมนกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 167ml และ  $HgSO_4$  33.3 g ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปจนปริมาณเป็น 1 L

- สารละลายกรดซัลฟูริก เติมเงินซัลเฟต;  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ลงไปในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นในอัตราส่วน 5.5 g/kg ของสารละลายกรดซัลฟูริก ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้เงินซัลเฟตละลาย
- สารละลายเฟอร์โรอิน ละลาย 1,10 พีแวนโทลีนโมโนไฮเดรต 1.485 g และเฟอร์รัสซัลเฟต;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  695 mg ในน้ำกลั่น แล้วทำให้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 ml แล้วนำมา dilute ด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 4
- สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต 0.10 N ; ละลาย  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  39.2 กรัมในน้ำกลั่น เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml ทำให้เย็นแล้วทำให้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 L นำสารละลายที่ได้ไปสแตนดาร์ดไตซ์กับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1000 N โดยทำดังนี้
- ตูตสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1000 N 5.00 ml ใส่ลงในขวดชมพูขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่นลงไป 10 ml แล้วทำให้เย็น
- นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต โดยใช้สารละลายเฟอร์โรอิน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต
- กรดซัลฟามิก ใช้เมื่อต้องการกำจัดไนเตรทออกจากน้ำตัวอย่าง

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้หลอดทดลองขนาด 25 x 150 mm.
2. ปิเปิดน้ำตัวอย่างใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมต 6 ml
3. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีเงินซัลเฟต 14 ml อย่างช้าๆ ปิดฝาหลอด เขย่าสารผสมในตู้ดูดควัน
4. นำหลอดซีโอดีใส่ตะแกรงแล้วเอาไปอบที่ 150 °C เป็นเวลา 2 hr.
5. เอาหลอดซีโอดีออกจากเตาอบตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
6. เปิดฝาขวดซีโอดีหยดเฟอร์โรอิน 2-3 หยด เขย่าให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
7. นำไปไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง
8. คำนวณหาค่าซีโอดีจากสูตร

สูตรคำนวณ

$$\frac{(B - A) \times N \times 8 \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต  
น้ำตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ใน  
การไตเตรตน้ำกลั่น (ml)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียเฟอร์รัสซัลเฟต (N)

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

### 3.6.3 ค่าบีโอดี (BOD)

#### อุปกรณ์

- ขวดบีโอดี
- ปีเปต 5 , 10 ml
- บิวเรตพร้อมมือจับและขาตั้ง
- กระจกตวง 250 ml
- ขวดปรับปริมาตร 1000 ml
- ขวดรูปชมพู่ 500 ml
- ไซริงบอสล์เบอร์ 4
- เครื่องเติมอากาศ
- น้ำกลั่น

#### สารเคมี

- สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ; ละลาย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  8.5 g ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75 g ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  33.4 g และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.7 g ในน้ำกลั่น 500 ml แล้วทำให้มีปริมาตร 1L
- สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ; ละลาย  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  22.5 g ทำให้มีปริมาตร 1 L
- สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ; ละลาย  $\text{CaCl}_2$  27.5 g ทำให้มีปริมาตร 1 L
- สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ; ละลาย  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.25 g ในน้ำกลั่นแล้วทำให้มีปริมาตร 1 L
- น้ำแป้ง ; ละลาย soluble starch 2 g และกรด salicylic 0.2 g ในน้ำกลั่นร้อน 100 ml
- สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ( $\text{MnSO}_4$ ) ; ละลาย  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  364 g ทำให้มีปริมาตร 1 L ด้วยน้ำกลั่น
- สารละลาย AIA ; ละลาย NaOH 500 g และ KI 150 g แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1L จากนั้นละลาย  $\text{NaN}_3$  10 g ในน้ำกลั่น 40 ml แล้วเติมลงไป
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น  $\text{H}_2\text{SO}_4$



- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ; ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  6.025 g ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วเย็นใหม่ๆ เติม NaOH 0.4 g ทำให้มีปริมาตร 1 L นำไปสแตนดาร์ดไตซ์กับสารละลายมาตรฐาน  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.025 N

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมน้ำกลั่น เพื่อใช้ในการเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีค่า BOD มากกว่า 7mg/l ใช้เครื่องเติมอากาศเติมอากาศในน้ำกลั่น 20-30 min จากนั้นเติมสารละลายทั้ง 4 ชนิดด้านบน อย่างละ 1 ml ต่อน้ำกลั่น 1 L นำไปผสมกับน้ำเสียในอัตราที่คิดไว้
2. หาเปอร์เซ็นต์การเจือจางน้ำเสียตัวอย่าง 4 ค่า
3. หาปริมาตรของน้ำตัวอย่างที่จะใช้
4. ใส่ปริมาณน้ำเสียตัวอย่างตามเปอร์เซ็นต์ที่คิดไว้ (ค่าละ 2 ขวดคือ  $\text{DO}_0$  และ  $\text{DO}_5$ )
5. เติมน้ำกลั่นที่ในข้อที่ 1 ลงไปจนเต็มขวดบีโอดี
6. ปิดฝาขวดบีโอดี ส่วนขวดที่ต้องการหา  $\text{DO}_5$  ให้ใส่น้ำกลั่นจนล้นปากขวดแล้วหุ้มด้วยกระดาษอะลูมิเนียม เก็บไว้ในตู้บอดูณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
7. ทำการหา  $\text{DO}_0$  โดยเทน้ำที่ล้นปากขวดทิ้ง แล้วเติม  $\text{MnSO}_4$  1 ml และ AIA 1 ml จากนั้นปิดฝาแล้วเขย่าไปมา จนเกิดตะกอนสีเหลือง
8. ตั้งขวดบีโอดีทิ้งไว้จนเกิดการตกตะกอน 3 ใน 4 ขวด เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ml แล้วปิดฝาขวดบีโอดี จากนั้นเขย่าจนตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้จะได้สารละลายสีเหลืองใส
9. ตวงน้ำในขวดบีโอดี 200 ml มาทำการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.025 N จนเหลือจากสีเหลืองเข้มเป็นสีเหลืองอ่อน
10. ใส่น้ำแบ่ง 5 หยด เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
11. ทำการไตเตรตต่อจนกระทั่งไม่มีสี
12. จดปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.025 N ที่ใช้ เพื่อคำนวณหาค่า  $\text{DO}_0$
13. การหาค่า  $\text{DO}_5$  เมื่อเก็บ  $\text{DO}_5$  ในตู้บอดูอุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วันแล้ว นำมาทำการทดลองเหมือน  $\text{DO}_0$  โดยเริ่มจากข้อ 7

สูตรคำนวณ

$$\text{BOD (mg/l)} = \frac{(\text{DO}_0 - \text{DO}_5) \times 100}{P}$$

เมื่อ P = ค่าเปอร์เซ็นต์การเจือจาง

#### 3.6.4 น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)

##### อุปกรณ์

- ชุดสกัดซอกซ์เลต

- กระจกหิมเบิล
- กระจกกรอง GF/C
- ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
- อ่างน้ำร้อน water bath
- เครื่องชั่งละเอียด
- เดซิเคเตอร์
- ปีกเกอร์
- คีมคีบ
- สำลี
- ตู้อบเครื่องแก้วใช้อุณหภูมิ 103 °C

#### สารเคมี

- Diatomaceous-silica filter aid suspension 10 g ในน้ำกลั่น 1 L
- กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
- เฮกเซน (n-Hexane)

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำขวดไขมันเข้าตู้อบเป็นเวลา 1 hr. จากนั้นเอาออกมาใส่ที่ตู้เดซิเคเตอร์เป็นเวลา 1 คืน
2. นำน้ำตัวอย่าง 500 ml หรือน้อยกว่ามาปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วยการใส่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นในปริมาตร 3 ml
3. นำสาร Diatomaceous-silica filter aid suspension ไปชั่ง 1 กรัมต่อน้ำ DI 100 ml ต่อ 1 ตัวอย่าง
4. วางกระจกลงในชุดกรองสุญญากาศแล้วเทสาร Diatomaceous-silica filter aid suspension เข้มข้นใส่ลงในปริมาตร 100 ml จากนั้นเทล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 L แล้วรอนแห้งแล้วจึงนำน้ำตัวอย่างมาเทใส่ตามปริมาณที่สามารถกรองผ่านได้และจดค่า
5. ใช้คีมคีบกระจกกรองออกมาใส่ในกระจกหิมเบิลต่อจากนั้นใช้สำลีชุบเฮกเซนแล้วเช็ดไขมันที่ติดกรวยกรองให้หมดแล้วนำไปใส่ในกระจกหิมเบิล
6. นำกระจกหิมเบิลไปอบเป็นเวลา 1 hr. จากนั้นเอาออกมาใส่ที่ตู้เดซิเคเตอร์เป็นเวลา 1 คืน
7. ชั่งขวดไขมันที่ผ่านการอบแล้วแล้วนำไปใส่เฮกเซนปริมาตร 250 ml
8. นำกระจกหิมเบิลใส่ในชุดสกัดซอกซ์เลตและทำการสกัดด้วยเฮกเซนเป็นเวลา 4 hr.
9. นำขวดไขมันไปประเหยด้วยอ่างน้ำร้อนจนเฮกเซนแห้งแล้วจึงนำไปเข้าตู้อบต่ออีก 1 hr. และนำเข้าตู้เดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ 1 คืน
10. นำขวดไขมันไปชั่งน้ำหนักเพื่อจะได้คำนวณหาปริมาณไขมันต่อไป

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันและไขมัน (mg/l)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)}}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักขวดที่ใช้สกัด (g)

B = น้ำหนักขวดสกัดหลังจากสกัดและระเหยแล้ว (g)

### 3.6.5 ของแข็งทั้งหมด (TS)

อุปกรณ์

- ถ้วยกระเบื้องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm
- Water bath สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 95-100 °C
- ตู้อบสำหรับใช้ที่อุณหภูมิ 103 °C
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่งละเอียด

ขั้นตอนการทดลอง

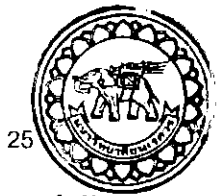
1. ล้างถ้วยกระเบื้องให้สะอาด นำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 hr. แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องที่ได้ แล้วเทน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในถ้วยกระเบื้อง
3. นำถ้วยกระเบื้องที่มีน้ำตัวอย่างในข้อ 2 ไประเหยเอาน้ำออกบน Water bath จนแห้งแล้วนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 hr. แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
5. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดจากสูตร

$$\text{ของแข็งทั้งหมด } \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมน้ำหนักสารที่เหลืออยู่ในหลังระเหย (mg)

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (mg)



25

สำนักหอสมุด

11 ต.ค. 2561

1.9196064

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

### 3.6.6 ของแข็งแขวนลอย (SS)

#### อุปกรณ์

- กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1 cm
- ชุดกรองน้ำ
- ตู้บสำหรับใช้ที่อุณหภูมิ 103 °C
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่งละเอียด

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้บที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 hr. แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C ที่เย็นแล้วทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. นำกระดาษกรองไปวางบนที่กรอง แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาณแน่นอนแล้วมากรอง
4. นำกระดาษกรองไปอบในตู้บที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 hr. แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
5. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เย็นแล้วทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณจากสูตร

$$\text{ของแข็งแขวนลอย } \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักกระดาษกรองหลังกรอง (mg)

B = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนกรอง (mg)

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

### 3.6.7 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

ของแข็งละลายน้ำ คำนวณได้จากสูตร

ของแข็งละลายน้ำ (mg/l) = ของแข็งทั้งหมด - ของแข็งแขวนลอย

### 3.6.8 ของแข็งระเหยง่าย (VS)

#### อุปกรณ์

- ถ้วยกระเบื้องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm

- Water bath สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 95-100 °C
- ตู้อบสำหรับใช้ที่อุณหภูมิ 103 °C
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่งละเอียด
- เตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 °C

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำถ้วยกระเบื้องในขั้นตอนสุดท้ายของข้อ 3.6.5 มาชั่งน้ำหนัก
2. นำถ้วยกระเบื้องไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 30 min แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง
4. นำค่าที่ได้ไปคำนวณ จากสูตร

$$\text{ของแข็งที่ระเหยง่าย} \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมน้ำหนักสารที่เหลืออยู่ในหลังระเหยก่อนไปเผา (mg)

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมน้ำหนักของสารที่เหลืออยู่หลังจากการระเหยหลังนำไปเผา (mg)

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

#### 3.6.9 ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS)

##### อุปกรณ์

- กระดาษกรอง GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.1 cm
- Water bath สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 95-100 °C
- ตู้อบสำหรับใช้ที่อุณหภูมิ 103 °C
- เดซิเคเตอร์
- เครื่องชั่งละเอียด
- เตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 °C

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำถ้วยกระดาษกรองในขั้นตอนสุดท้ายของข้อ 3.6.6 มาชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. นำถ้วยกระดาษกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 30 min แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
3. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เย็นแล้ว
4. นำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสูตร

$$\text{ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยง่าย} \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักกระดาษกรองรวมน้ำหนักสารที่เหลืออยู่หลังการอบที่ 103 °C (mg)

B = น้ำหนักกระดาษกรองรวมน้ำหนักของสารที่เหลืออยู่หลังการเผาที่ 550 °C (mg)

C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)

### 3.6.10 ความขุ่น (Turbidity)

#### อุปกรณ์

- เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟิโลเมตริก

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เลือกใช้ช่วงความขุ่นให้เหมาะสมกับความขุ่นของน้ำตัวอย่าง
2. ทำการสแตนด์บายด์เครื่องวัดที่ 800 100 20 10 NTU
3. เขย่าน้ำตัวอย่างแล้วเทลงในหลอดแก้วสำหรับใส่น้ำตัวอย่าง
4. ใส่หลอดแก้วนั้นลงในช่องสำหรับใส่หลอดแก้ว
5. อ่านค่าความขุ่น จากหน้าปัทม์ของเครื่องวัด และบันทึกผล

### 3.6.11 สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

#### อุปกรณ์

- เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า

#### สารเคมี

- สารละลายมาตรฐาน 1413  $\mu\text{S/cm}$  ที่  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการ Calibrate เครื่องด้วยสารละลายมาตรฐาน 1413  $\mu\text{S/cm}$  ที่  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. ล้างโพรบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น

3. จุ่ม โพรบ ลงในน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดและอ่านค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง
4. ล้างโพรบด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงทำการเก็บเครื่องวัด

### 3.6.12 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

#### อุปกรณ์

- เครื่องวัดก๊าซออกซิเจนละลายน้ำ

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการ Calibrate เครื่องมือก่อนใช้งานจริง
2. จุ่มโพรบลงในน้ำตัวอย่าง
3. อ่านค่าที่แสดงบนหน้าจอ
4. ล้างโพรบด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วเช็ดให้แห้ง
5. หากเลิกใช้งานให้นำโพรบใส่ลงในปลอก

### 3.6.13 ปริมาณความเข้มข้นของอิเล็กตรอนในน้ำ (ORP)

#### อุปกรณ์

- เครื่องวัดปริมาณอิเล็กตรอนในน้ำ (ORP)

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการล้างโพรบให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น
2. จุ่มโพรบลงในน้ำตัวอย่างที่ต้องการจะวัดและอ่านค่าปริมาณอิเล็กตรอนในน้ำของน้ำตัวอย่าง
3. ล้างโพรบด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงทำการเก็บเครื่องวัด

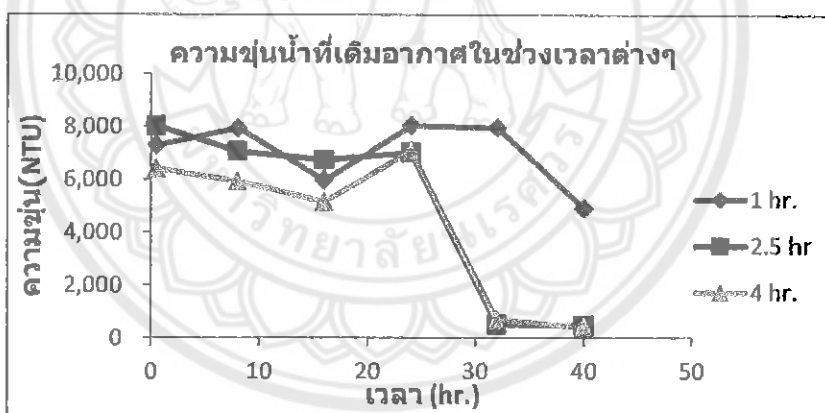
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

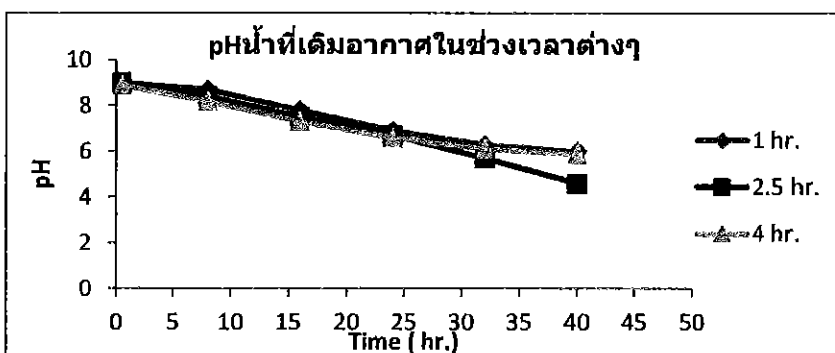
ในการศึกษาโครงการนี้ได้มุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมด้วยการตกตะกอนทั้งสามรูปแบบ โดยมีวิธี แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยมีแบบใช้สารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด และ แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation)

#### 4.1 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์

วิธีการตกตะกอนแบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์นี้ เป็นการทดลองโดยใช้การเติมอากาศเป็นเวลา 1, 2.5 และ 4 hr. เพื่อศึกษาถึงเวลาในการเติมอากาศที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียและเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียและได้มีการปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ที่ 11.5 ซึ่งใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ที่ 0.6 g/L โดยเวลาเติมอากาศที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วที่สุดคือการเติมอากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และตามด้วยการหมักอีก 30 hr. จึงสามารถตกตะกอนได้ ซึ่งดูได้จากรูปที่ 4.1 และน้ำเสียหลังการบำบัดจะมีคุณลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5

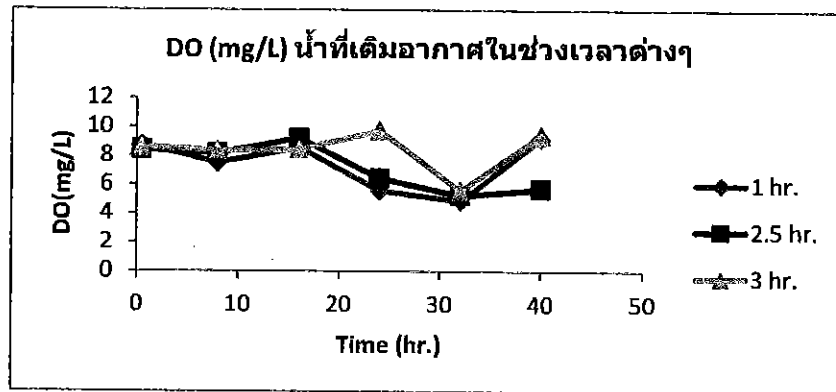


รูปที่ 4.1 แสดงค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัด

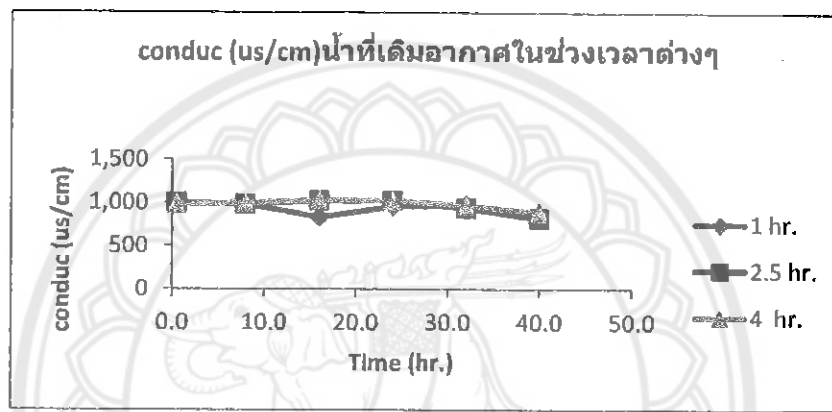


รูปที่ 4.2 แสดงค่า pH ของน้ำหลังการบำบัด

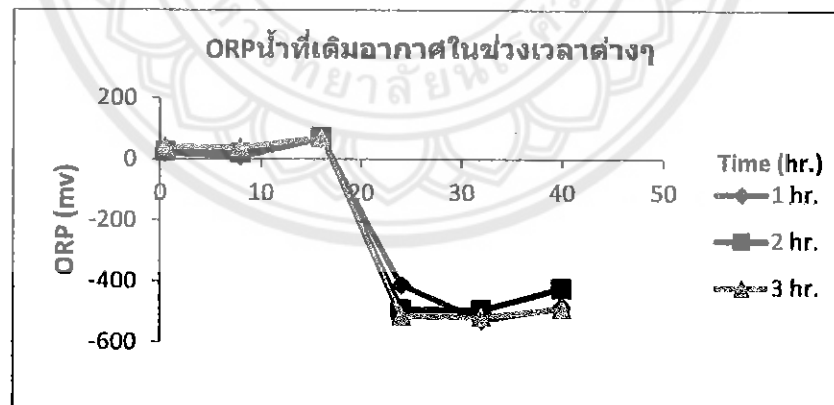




รูปที่ 4.3 แสดงค่าการละลายของออกซิเจนของน้ำหลังการบำบัด



รูปที่ 4.4 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำหลังการบำบัด



รูปที่ 4.5 แสดงค่าศักย์ภาพหาให้อิเล็กตรอนในน้ำหลังการบำบัด

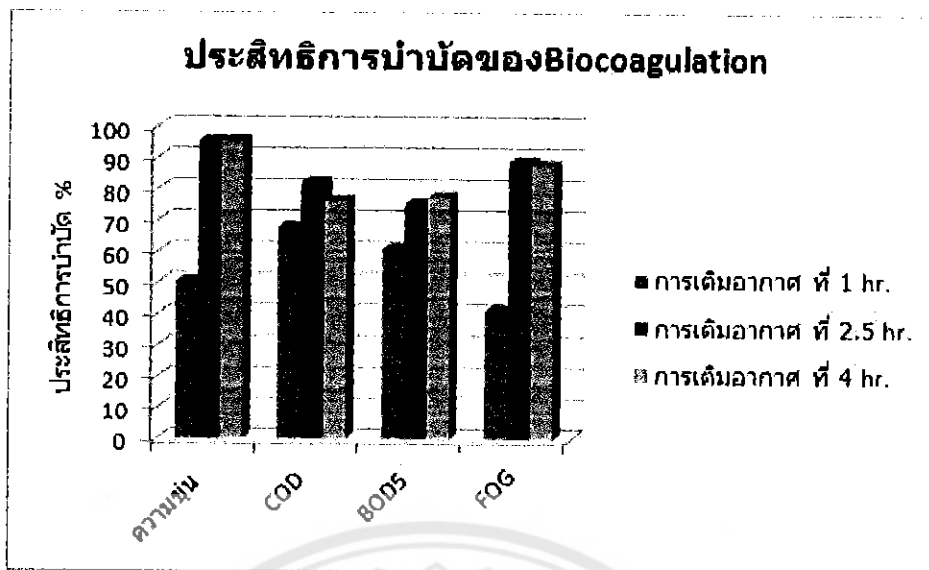
โดยเมื่อน้ำผ่านการบำบัดแล้วได้นำมาวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดค่าต่างๆนั้น ในช่วงเวลาให้การเติมอากาศเป็นเวลา 2.5 , 4 hr. สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่การเติมอากาศเป็นเวลา 4 hr. สามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่าการเติมอากาศเป็นเวลา 2.5 hr. ได้ถึง 2 hr. จึงเลือกการเติมอากาศเป็นเวลา 4 hr. และเมื่อดูจากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดคุณภาพน้ำเสียก่อนทำการบำบัดมีค่าการระสารถี้นทรีย์มากและการบำบัดกระบวนการนี้สามารถลดการระสารถี้นทรีย์ได้จากตารางที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำออก โดยประสิทธิภาพการบำบัดของความขุ่น ซีโอดี บีโอดีและ ไนโตรเจน ได้ 95.78% 76.48% 77.80% และ 87.91% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์

	พารามิเตอร์วัดคุณภาพน้ำ							
	pH	DO (mg/L)	CODCr (mg/L)	ORP (mv)	ความขุ่น (NTU)	COD (mg/L)	BOD5 (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำ เริ่มต้น	10.91	7.92	1,077	-136	9,960	23,808	12,500	2358

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์

เวลาในการ สังเกต	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ												
	TS (mg/L)	SS (mg/L)	Ca <sup>++</sup> (mg/L)	Mg <sup>++</sup> (mg/L)	Hardness (mg/L)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Chlorophyll (mg/L)	TP (mg/L)	TSS (mg/L)		
1 hr.	0.7903	4.8167	1.8533	2.9634	1.8067	6.0	9.22	829	-495	4,930	7,588.80	4,875	1386.67
2.5 hr.	0.5973	4.7067	1.0367	3.6700	1.2733	4.6	5.70	821	-423	470	4,240.80	3,064	262.00
4 hr.	0.2961	4.0800	0.7700	3.3100	0.7600	5.9	9.43	890	-489	420	5,600.00	2,775	285.00



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์



รูปที่ 4.7 แสดงการบำบัดในการเติมอากาศที่เวลาต่างๆ ที่เวลา 40 hr.

#### 4.2 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยสารส้ม

การบำบัดด้วยวิธีกระบวนการแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยสารส้ม โดยจะทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมซึ่งจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดและได้มีการปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ที่ 11.5 ซึ่งใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ 0.6 g/L จากการทดลองพบว่าปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 3.5 g/L ซึ่งการ Coagulation โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนนั้นเกิดโดยกลไก Adsorption คือสามารถเกิดปฏิกิริยาอันรวดเร็วและใช้สารส้มในปริมาณที่น้อย แต่ในการทดลองนี้จะมีตะกอนบางส่วนที่ลอยขึ้นมาสู่ผิวน้ำและบางส่วนตกตะกอน (รูปที่ 4.9) เมื่อปล่อยทิ้งเป็นเวลานานจะทำให้ตะกอนที่ตกอยู่นั้นลอยขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากตะกอนไม่อัดตัวกันแน่นและยากต่อการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

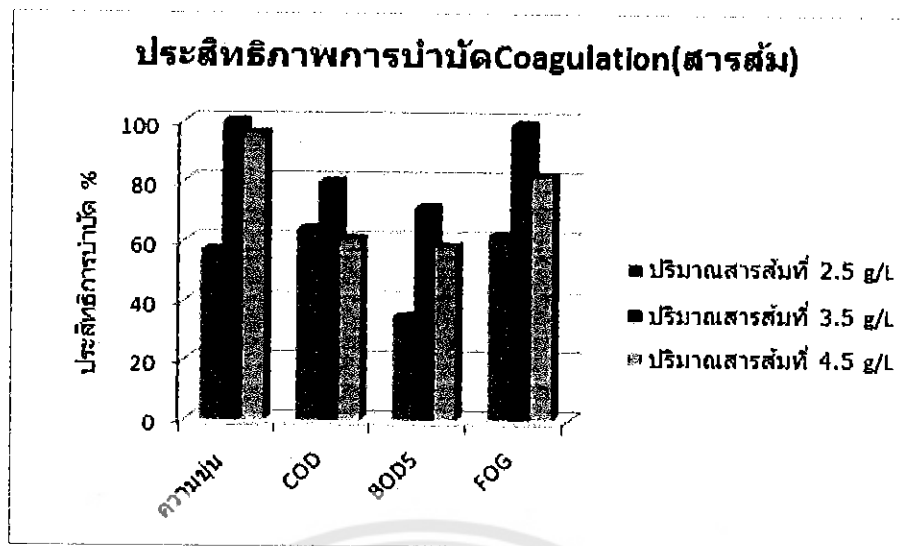
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยสารส้ม

	พารามิเตอร์วัดคุณภาพน้ำ							
	pH	DO (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (BOD <sub>5</sub> /mg)	ORP (mV)	ความขุ่น (NTU)	COB (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	TOD (mg/L)
น้ำ เริ่มต้น	6.8 7	7.96	938	31	5220	28414.8	9917	2358.82

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและคุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบบำบัด ตามลำดับ ซึ่งจากตารางทั้งสองทำให้เรารู้ว่ากระบวนการบำบัดนี้สามารถลดภาระสารอินทรีย์ได้เป็นจำนวนมาก และได้แสดงถึงประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอน โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ 3.5 g/L ว่าสามารถบำบัดความขุ่น ซีโอดี บีโอดีและ ไนมันได้ถึง 99.83% 79.73% 71.26% และ 98.95 % ตามลำดับ (รูปที่ 4.8)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยสารส้ม

ปริมาณสารส้ม (g/l)	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ												
	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)	SS (mg/l)		
2.5	4.9375	9.2133	2.2500	6.9633	0.1000	7.3	7.48	2790	110	2240	10164	6443	893.33
3.5	6.9125	7.2300	0.0800	7.1500	0	5.32	7.49	3400	151	9.10	5759.6	2850	25.80
4.5	25.9387	8.0667	1.0134	7.0533	0.1533	4.40	8.09	3670	191	210	11180.4	4125	426.67
3.5ครั้งที่ 1	12.414	7.5767	0.0967	7.4800	0	5.42	7.65	3420	188	7.12	8470	2729	83.67
3.5ครั้งที่ 2	11.739	7.2033	0.1100	7.0933	0	5.89	7.43	3370	163	12.4	9486	3139	44



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบการสร้างตะกอนโดยสารส้ม



รูปที่ 4.9 แสดงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ปริมาณสารส้มที่ 3.5 g/L และการตกตะกอน

### 4.3 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์

การบำบัดด้วยวิธีกระบวนการแบบการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์ โดยจะทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของเฟอริกคลอไรด์ที่เหมาะสมซึ่งจะสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดและได้มีการปรับค่าความเป็นด่างให้อยู่ที่ 11.5 ซึ่งใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)ที่ 0.6 g/L จากการทดลองพบว่าปริมาณของเฟอริกคลอไรด์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.4 g/L ซึ่งการ Coagulation โดยปริมาณเฟอริกคลอไรด์ที่ 1.4 g/L สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพที่ความขุ่น ซีโอดี บีโอดี ไขมัน ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด และ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ได้ถึง 99.89% 82.83% 77.22 % 99.13% 97.48% 52.42% และ 34.59%ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) และตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้มีการอัดตัวของตะกอนค่อนข้างแน่นซึ่งง่ายต่อการแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากตะกอน (รูปที่ 4.11)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์

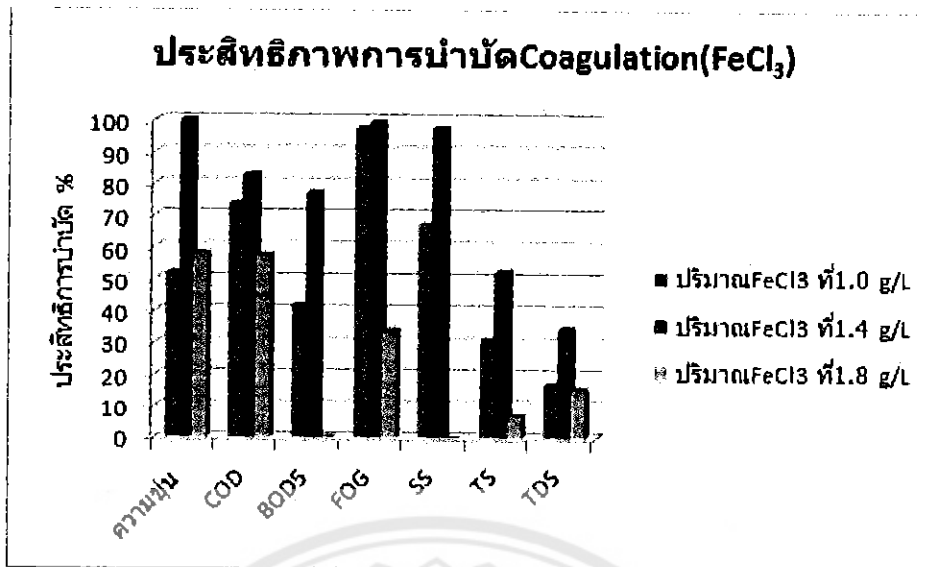
	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ										
	pH	cond (DS/m)	ORP (mV)	ความขุ่น (NTU)	COD (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	SS (g/l)	TS (g/l)	TDS (g/l)	TSS (g/l)
น้ำเริ่มต้น	7.01	837	105	7820	33026.40	8518.52	4728.57	3.440	12.036	8.623	0.370

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดและคุณภาพน้ำเสียหลังเข้าระบบบำบัด ตามลำดับ ซึ่งจากตารางทั้งสองทำให้เรารู้ว่ากระบวนการบำบัดนี้สามารถลดภาระสารอินทรีย์ได้เป็นจำนวนมาก และได้แสดงถึงประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการบำบัดด้วยวิธีตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยใช้ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ที่ 1.4 g/L ว่าสามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด



ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการสร้างตะกอนโดยเฟอริกคลอไรด์

ปริมาณ FeCl <sub>3</sub> (g/L)	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ													
	SS (mg/L)	TSS (g/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)	SS (mg/L)				
1.0	5.5553	4.9993	8.2800	1.1300	7.1500	1.1700	6.8	2.88	1548	-	3740	8673.6	4928.57	120.00
1.4	7.7600	6.9787	5.7267	0.0867	5.6400	0.0933	6.6	9.48	1570	-	8.98	5671.2	1940.34	41.33
1.8	7.3033	6.3933	11.1700	3.8833	7.2867	3.7167	5.2	8.73	1882	-	3270	14011.2	8500.00	3117.65
1.4 ครั้งที่ 1	9.0253	8.0933	5.6100	0.0867	5.5233	0.1067	6.4	8.00	1640	132	4.41	7005.6	2724.27	39.67
1.4 ครั้งที่ 2	7.1400	6.4107	5.4233	0.0933	5.3300	0.1100	6.5	7.13	1819	159	7.76	5337.6	2537.43	31.00



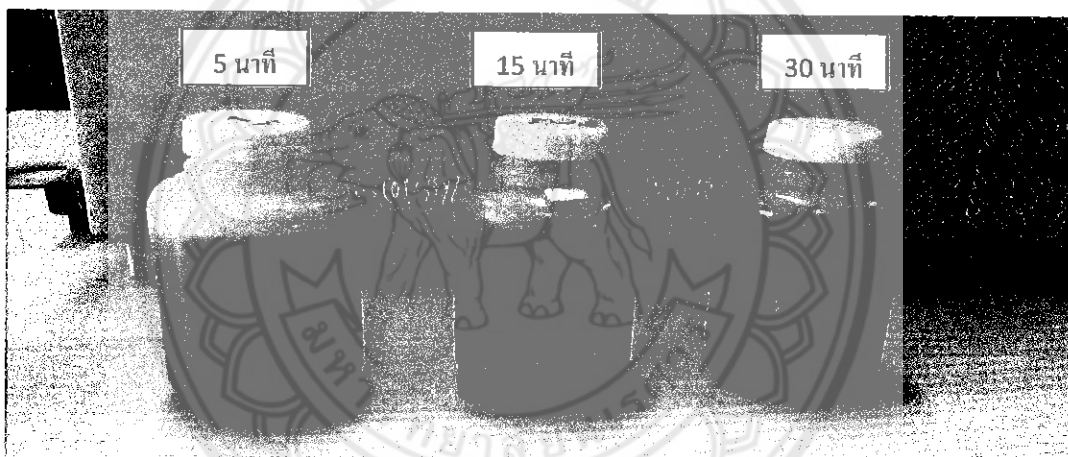
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบการสร้างตะกอนโดยเฟอร์ริกคลอไรด์



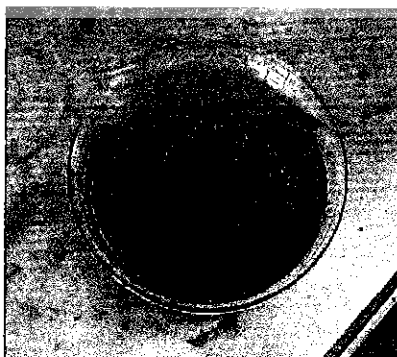
รูปที่ 4.11 แสดงการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ 1.4 g/L และการตกตะกอน

#### 4.4 ผลการทดลองการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด

การบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดนั้น เพื่อจะศึกษาถึงเวลาการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมและสามารถตกตะกอนได้ โดยจะมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าที่ 5 Am ซึ่งจากการทดลองได้ผลออกมาว่าการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในน้ำเสียและใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดนั้น ทำให้น้ำเสียมีสีที่เปลี่ยนไปโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 5 min น้ำเสียมีสีเป็นสีเขียวเข้ม ปล่อยกระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 15 min น้ำเสียมีสีเป็นสีน้ำตาลและปล่อยกระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 30 min น้ำเสียมีสีเป็นสีดำ (รูปที่ 4.12) แต่ทุกช่วงเวลานั้นได้มีการลอยขึ้นของไขมันที่อยู่ในน้ำเสีย (รูปที่ 4.13) เมื่อนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า ทั้ง 3 ช่วงเวลามาปล่อยให้ตกตะกอนแต่กลับไม่เกิดการตกตะกอนเลย จึงนำน้ำทั้ง 3 ช่วงเวลาไปทำการหมุนเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนที่ความเร็วรอบ 2800 rpm เป็นเวลา 1 hr. แต่ตะกอนก็ไม่ตกเช่นเคย วิธีนี้จึงไม่ประสบความสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม



รูปที่ 4.12 แสดงสีของน้ำเสียที่ผ่านการปล่อยกระแสไฟฟ้าแล้วที่ช่วงเวลาที่ต่างๆ



รูปที่ 4.13 แสดงไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเสีย

#### 4.5 ผลของความเข้มข้นไขมันในน้ำเสีย

ในการทดลองทั้ง 3 แบบ คือ แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ แบบการสร้างตะกอนโดยมีแบบใช้สารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) และ แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ซึ่งจากผลการทดลองนั้นแบบการสร้างตะกอนโดยมีแบบใช้สารส้ม และ เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่แบบใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) นั้น อย่างที่กล่าวไว้ว่าตะกอนมีการอัดตัวค่อนข้างแน่นและไม่ฟุ้งกระจายมากนักจึงง่ายต่อการแยกน้ำส่วนที่บำบัดแล้วออกจากตะกอน ทางคณะทำโครงการงานจึงคิดเห็นว่าวิธีนี้เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม

จากข้อมูลตารางที่ 4.1 , 4.3 และ 4.5 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียเริ่มต้นนั้นมีความเข้มข้นของไขมันที่แตกต่างกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของไขมันนั้นจะเข้าระบบบำบัดด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก โดยประเด็นตรงนี้จะทำให้มีผลต่อการหาค่าปริมาณของเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) จากที่ได้มีการหาค่าปริมาณที่เหมาะสมไว้แล้วคือ 1.4 g/L และเหมาะสมกับค่าความเข้มข้นของไขมันในช่วง 4000-5000 mg/L ซึ่งจากการวัดค่าความเข้มข้นของไขมันที่เข้าระบบได้มีบางช่วงสูงถึงเกือบ 20000 mg/L และปริมาณของเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่เหมาะสมคือ 1.4 g/L ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพเท่าเดิมไม่ได้ นั้นจึงแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของไขมันนี้เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการสร้างตะกอน โดยแบบใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ไม่ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดเท่าที่ควร ทางคณะผู้ทำโครงการงานจึงนำน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของไขมันที่แตกต่างกันแล้วนำมาปรับให้ได้ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 4000-5000 mg/L ซึ่งจะดูถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการสร้างตะกอนโดยแบบใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่ปริมาณ 1.4 g/L โดยค่าน้ำเสียเริ่มดูได้จากตารางที่ 4.7 ซึ่งมีการทดลองที่ค่าความเข้มข้นไขมัน 3 ระดับ คือระดับที่น้ำเสียมีค่าความเข้มข้นไขมันน้อย ปานกลาง และสูง ตามลำดับ และ คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดจากตารางที่ 4.8

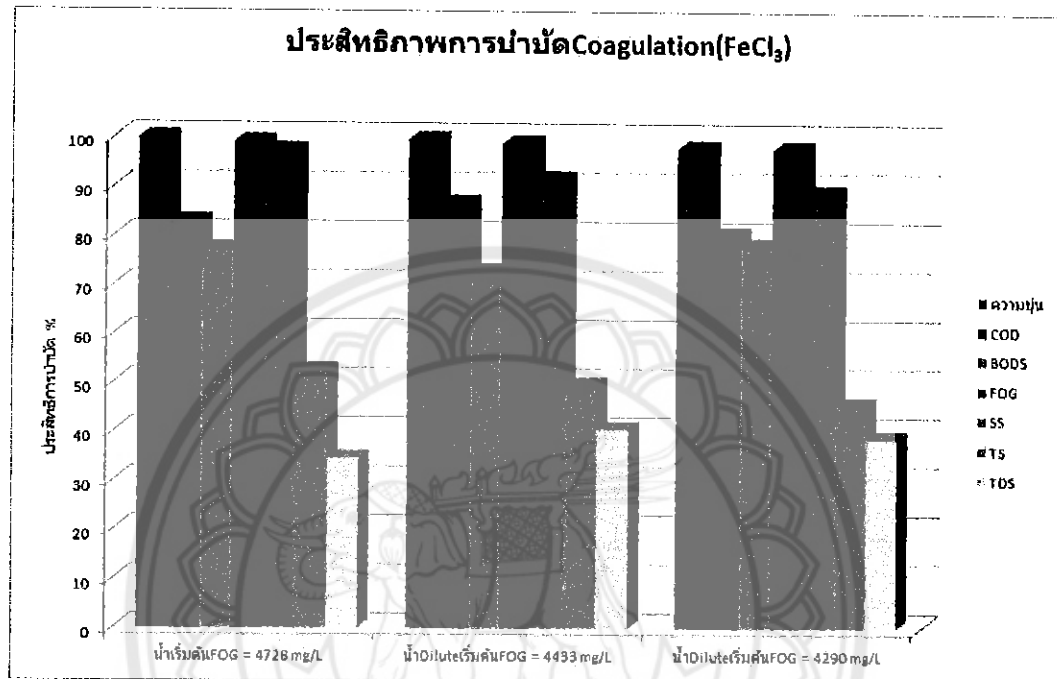
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัดของไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดน้ำเสีย		พารามิเตอร์วัดคุณภาพน้ำ										
		pH	conduc (ug/cm)	DO <sub>2</sub> (mg)	ความทึบ (NTU)	COO (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	FOG (mg/l)	SS (mg/l)	TS (g/l)	TDS (g/l)	VSS (g/l)
น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 4728 mg/L		7.01	837	105	7820	33026.40	8518.52	4728.57	3.440	12.0360	8.6230	0.3700
ความเข้มข้นไขมันปานกลาง	น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 7725 mg/L	6.85	-	-	19000	33920	26482	7725	4.400	16.6850	12.2850	12.5667
	น้ำเสียปรับไขมันเริ่มต้น FOG = 4433 mg/L	6.85	-	-	19000	21566	8989	4433	1.776	10.175	8.399	1.9059
ความเข้มข้นไขมันสูง	น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 13633 mg/L	6.75	3050	-250	26600	214320	40476	13633	6.900	35.290	28.390	6.950
	น้ำเสียปรับไขมันเริ่มต้น FOG = 4290 mg/L	6.75	1107	140	9530	25718	13748	4290	1.670	12.170	10.500	1.690

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัดของไขมันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ชนิดน้ำขัง	ปริมาณ FeCl <sub>3</sub> (g/L)	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ													
		SS (mg/L)	TS (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Hardness (mg/L)	Oil (mg/L)	FOG (mg/L)	Oil (mg/L)	FOG (mg/L)	Oil (mg/L)	FOG (mg/L)			
น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 4728 mg/L	1.4	7.7600	6.9787	5.7267	0.0867	5.6400	0.0933	6.6	9.48	1570	-	8.98	5671.2	1940.34	41.33
ความเข้มข้น ไขมัน น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 7725 mg/L	2.5	16.91	14.83	8.58	0.61	7.97	0.629	3.83	4.26	4600	187	409	4644	3298	75.44
ความเข้มข้น ไขมัน น้ำเสียเริ่มต้น FOG = 4433 mg/L	1.4	17.995	15.715	5.135	0.147	4.988	0.1667	6.81	-	2240	-	63.3	2856	2434	43.00
ความเข้มข้น ไขมันสูง	4.4	34.91	30.42	18.41	0.42	17.99	0.42	5.22	3.42	6570	-298	339	20718	7888	92.5
ความเข้มข้น ไขมันสูง	1.4	9.73	8.541	6.62	0.184	6.436	0.194	6.7	3.11	2610	-290	184	5030	3010	87.5

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของไขมันนั้นมีผลต่อการหาปริมาณของสารสร้างตะกอน โดยถ้าความเข้มข้นของไขมันมีมากก็จะใช้ปริมาณของเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) มากขึ้นตามไปด้วย และจากรูปที่ 4.14 ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่ปริมาณ 1.4 g/L สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่ต้องมีค่าความเข้มข้นของไขมันอยู่ในช่วง 4000-5000 mg/L



รูปที่ 4.14 แสดงถึงประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ที่ปริมาณ 1.4 g/L

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 แบบการตกตะกอนด้วยจุลินทรีย์ (Biocoagulation) การเติมอากาศเป็นเวลา 2.5 และ 4 hr. นั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน แต่การเติมอากาศเป็นเวลา 4 hr. นั้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่า โดยสามารถลดการสะสมอินทรีย์และไขมันได้ 76.48% และ 87.91% ตามลำดับ

แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ที่ 3.5 g/L และมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดการสะสมอินทรีย์และไขมันได้ 79.73% และ 98.90% ตามลำดับ

แบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) ปริมาณที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.4 g/L และมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดการสะสมอินทรีย์และไขมันได้ 82.83 % และ 99.13 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุดจากการทำการทดลอง และต้องควบคุมค่าความเข้มข้นของไขมันให้อยู่ในช่วง 4000-5000 mg/L จึงจะได้ประสิทธิภาพตามที่ได้ทดลอง

แบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด วิธีนี้จากการทดลองไม่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนได้ จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม และคาดว่าน้ำที่ได้จากการบำบัดได้มีการเปลี่ยนเป็นอนุภาคนาโน

5.1.2 ระบบที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม นั้น คือวิธีแบบการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) แต่คุณภาพน้ำที่ได้หลังจากการบำบัดนั้นยังไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมตามกรมควบคุมมลพิษได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 น้ำที่ได้จากบำบัดแล้ว ควรจะมีการเข้าระบบแบบชีวภาพต่อไปจะเป็นแบบไร้อากาศหรือเติมอากาศก็ได้ เพื่อคุณภาพน้ำทิ้งจะได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมตามกรมควบคุมมลพิษ

5.2.2 ควรมีการต่อยอดศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการใช้ประโยชน์จากตะกอนที่จะเกิดขึ้นมาจากการเลือกวิธีแบบการสร้างตะกอน (Coagulation)

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation). สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ม.รังสิต. เอกสารตีพิมพ์ในวารสารเทคนิค ฉบับที่ 283 เดือนมกราคม 2551
- [2] พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์ , อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ , สาวิตรี ลิ้มทอง. การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานโดยใช้แบคทีเรียแลคติก. เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 37. สืบค้นจาก <http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC3705011.pdf>
- [3] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนพานนท์. ส่วนประกอบของนม สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2954>
- [4] จิตธนา แจ่มเมฆ. (2549). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] คู่มือ GMP ผลิตภัณฑ์นมพร้อมบริโภคชนิดเหลว ที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์สำหรับผู้ประกอบการ(2550). กองควบคุมอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
- [6] มั่นสิน ตันกุลเวศม์. (2542). วิศวกรรมการประปาเล่ม 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation). ส่วนวิเคราะห์จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ. สืบค้นจาก [http://www.mwa.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=441](http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441)
- [8] Phisit Seesuriyachan, Ampin Kuntiya, Ken Sasaki, Charin Techapun. Biocoagulation of dairy wastewater by *Lactobacillus casei* TISTR 1500 for protein recovery using micro-aerobic sequencing batch reactor (micro-aerobic SBR). *Process Biochemistry* 2009; 5: 406-411
- [9] Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition*. American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, NW Washington, DC 20005-26505



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวพิมลพรรณ ทุมเฮง  
เกิด 17 สิงหาคม 2535  
ภูมิลำเนา 66/4 ม.2 ต.พลายชุมพล อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจ่านกร้อง  
จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

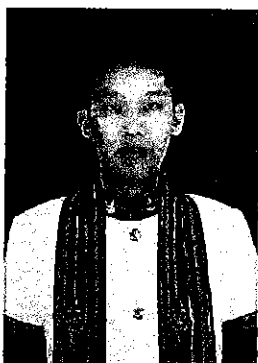
E-mail Phimonphan170835@hotmail.com



ชื่อ นายปัฐวี เหล่าภักส์สรวิจิตร  
เกิด 20 ธันวาคม 2535  
ภูมิลำเนา 9/99 ม.9 ต.ฉลอง อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีภูเก็ต  
จ.ภูเก็ต
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail Guy.pattawee@gmail.com



ชื่อ นายสัมพันธ์พิชญ์ วัฒนสุชี  
 เกิด 21 มกราคม 2536  
 ภูมิลำเนา 11 ม.9 ต.ทับยา อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี 16110  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬารัตนราช-  
 วิทยาลัย ลพบุรี  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail Phet.envi7@gmail.com

