



การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิ
โดยวิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย
Recovery of Protein and Fat from Wastewater of Surimi Industry
by Flocculation and Dissolved Air Flotation

ภักวดี ธรรมเจษฎา

Phakawadee Thammachetsada

เลขที่	TD 119.5 ๑๖2 2543 ๑.๒
Order Key	๑๘๘๕๔
Bib Key	177687
	1.1.๑.๒. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Science Thesis in Environmental Management
Prince of Songkla University

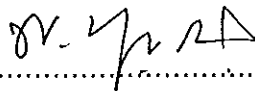
2543

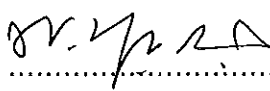
ชื่อวิทยานิพนธ์ การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมสุริมิโดยวิธีการ
รวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

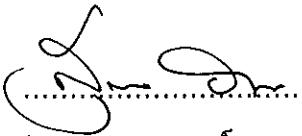
ผู้เขียน นางสาวภัทวดี ธรรมเจษฎา
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

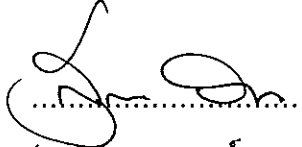
คณะกรรมการที่ปรึกษา

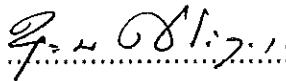
คณะกรรมการสอบ

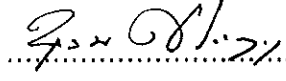

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญนวล)



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญนวล)

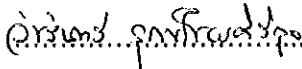

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญสม ศิริบำรุงสุข)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญสม ศิริบำรุงสุข)


..... กรรมการ
(ดร. สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วชิรินทร์ รุกขไชยศิริกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

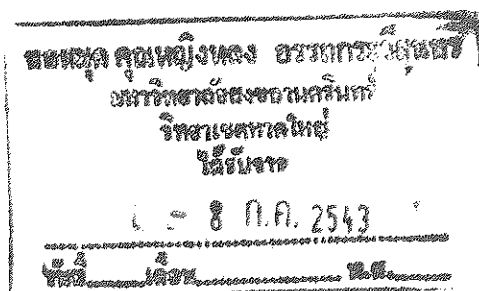

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพรัตน์ บำรุงรักษ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิโดยวิธี
การรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย
ผู้เขียน นางสาวภัทวดี ธรรมเจษฎา
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการสำหรับนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิโดยวิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ซึ่งในน้ำทิ้งมีเนื้อปลาและไขมันค่อนข้างสูง มีปริมาณโปรตีนในรูปที่เคเอ็นประมาณ 140-630 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าไขมันประมาณ 130-1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษาขั้นต้น เมื่อใช้สารรวมตะกอน ได้แก่ ปูนขาว สารโพลีอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่าการรวมตะกอนโดยใช้สารโพลีอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวกปริมาณ 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลดีกว่าปูนขาวหรือคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสมาก สามารถนำกลับตะกอนลอยจากการลอยด้วยอากาศละลาย คิดเป็น 0.6 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร และเมื่อศึกษาโดยใช้ระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศขนาดห้องปฏิบัติการ พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ สารโพลีอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวกปริมาณ 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความดัน 70 ปอนต์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในถังอัดอากาศ 4 นาที และระยะเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที สามารถลดค่า BOD₅ จาก 4,800-5,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 1,174-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 75-78 เปอร์เซ็นต์ ค่า COD จาก 6,580-6,950 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 1,380-1,550 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 75-80 เปอร์เซ็นต์ และนำกลับโปรตีนในรูปที่เคเอ็นประมาณ 54-75 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไขมัน 94-98 เปอร์เซ็นต์ ได้ตะกอนลอยอบแห้งประมาณ 3.8-6.3 กิโลกรัมต่อน้ำดิบ 1 ลูกบาศก์เมตร



Thesis Title Recovery of Protein and Fat from Wastewater of Surimi Industry
 by Flocculation and Dissolved Air Flotation
Author Miss Phakawadee Thammachetsada
Major Program Environmental Management
Academic Year 2000

Abstract

The purpose of this research is to develop a process for the recovery of protein and fat from wastewater from surimi industry using flocculation and dissolved air flotation processes (DAF). Protein and fat content in the wastewater is considerably high. Protein in term of TKN is found to be 140-630 mg/l and fat content is 130-1,800 mg/l. Preliminary study using lime, cationic polyacrylamide and carboxy methyl cellulose as a flocculant showed that flocculation with cationic polyacrylamide around 35 mg/l provided much better results comparing to flocculation with lime or with carboxy methyl cellulose. Dry froth recovered from DAF was 0.6 grams per litre of water. Further studies have been done using a laboratory-scaled DAF apparatus. The optimum cationic polyacrylamide dosage was found to be 35 mg/l and the optimum pressure was 70 psi whereas the optimum retention time in the pressure chamber was 4 minutes and the retention time in flotation vessel was 15 minutes. The process can reduce the BOD₅ values from 4,800-5,400 mg/l down to 1,174-1,200 mg/l with around 75-78 % removal and COD content from 6,580-6,950 mg/l down to 1,380-1,550 mg/l with around 75-80 % removal. Protein (as TKN) and fat recovery of 54-75 % and 94-98 %, respectively, could be achieved. Total dry froth of 3.8-6.3 kg/m³ of wastewater can be collected.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ ข้อคิดเห็น การตรวจและแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนคอยติดตามความก้าวหน้าอยู่เสมอจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ บุญนวล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญสม ศิริบำรุงกุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาในการสอบ พร้อมให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง สำหรับการเก็บศึกษาและวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือ ตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงเพื่อนๆที่มีน้ำใจทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้มาด้วยดี และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้งบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติๆทุกคน สำหรับกำลังใจที่มีให้กันมาตลอดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ภักดี ธรรมเจษฎา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการตารางผนวก	(9)
รายการรูป	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	18
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	19
1.5 ขอบเขตการวิจัย	19
2. วิธีการวิจัย	20
2.1 วัสดุ	20
2.2 อุปกรณ์	20
2.3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
3. การศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิและการศึกษาขั้นต้น	23
3.1 คำนำ	23
3.2 วิธีวิจัย	23
3.3 ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิของบริษัท แปซิฟิคแปรรูป สัตว์น้ำ จำกัด	34
3.4 ผลการศึกษาขั้นต้น	37
3.5 ผลการศึกษาขั้นรายละเอียด	48
3.6 สรุป	50
	(6)

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	ความสามารถในการละลายของอากาศในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ	14
3.1	แสดงตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์	25
3.2	เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน	31
3.3	ลักษณะน้ำที่ระดับคุณภาพต่างๆกันสำหรับการประเมินผล	32
3.4	ปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานชุบสีของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด	35
3.5	แสดงผลการศึกษาชั้นรายละเอียด เมื่อใช้ฟลูออริคลาไมด์ ชนิดประจุบวก ที่ปริมาณต่างๆ	49
4.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศ โดยที่เวลาอัดอากาศ 4 นาที และ เวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที	59
4.2	แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งของแขวนลอย (A/S ratio)	61
4.3	ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศ โดยคงที่ความดัน 70 psi และเวลาเก็บกัก ในถังลอยตะกอน 15 นาที	63
4.4	ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน โดยคงที่ความดัน 70 psi และ เวลาอัดอากาศ 4 นาที	66
4.5	ผลการศึกษาที่สภาวะเหมาะสมในการทดลอง โดยใช้สารฟลูออริคลาไมด์ ประจุบวก 35 มก./ล ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอย ตะกอน 15 นาที	69
4.6	ผลการศึกษาที่สภาวะเหมาะสม โดยไม่ใช้สารฟลูออริคลาไมด์ ชนิดประจุบวก ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอยตะกอน 15 นาที	69

รายการตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ช่วงค่าของ BOD และวิธีการเจือจางน้ำ	88
2 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่าง	92
3 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	98
4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	98
5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณ 25 มก./ล และ 35 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งจุดที่ 3 และจุดที่ 1,2 และ 4 ตามลำดับ	99
6 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	99
7 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	100
8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	100
9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆ ที่พีเอชเท่ากับ 4 เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด	101
10 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	102
11 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	102
12 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณ 35 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	102
13 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลิคริลามีด ชนิดประจุบวกในปริมาณต่างๆ ที่พีเอชเท่ากับ 6 เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	103

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
14 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	103
15 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	103
16 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆ ที่พีเอชเท่ากับ 4 เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม	104
17 ตัวอย่างการคำนวณสมมูลมวลสารของปริมาณที่เคเอ็นและไซมัน	104
18 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศ โดยที่เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอยตะกอน 15 นาที	105
19 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศ โดยที่ความดัน 70 psi และเวลาลอยตะกอน 15 นาที	108
20 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังลอยตะกอน โดยที่ความดัน 70 psi และเวลาอัดอากาศ 4 นาที	111
21 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอยตะกอน 15 นาที	114
22 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยไม่ใช้สารโพลีคริลามีด ชนิดประจุบวก	115

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1.1	6
1.2	8
1.3	9
1.4	12
3.1	26
3.2	27
3.3	28
3.4	29
3.5	30
3.6	32
3.7	37
3.8	39
3.9	41
3.10	42
3.11	44
3.12	46
4.1	53
4.2	53
4.3	54
4.4	54
4.5	54
4.6	55

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ขั้นตอนของระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (DAF) ขนาดห้องปฏิบัติการ	57
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในถังอัดอากาศกับตัวแปรคุณภาพน้ำ	60
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอัดอากาศกับตัวแปรคุณภาพน้ำ	64
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอนกับตัวแปรคุณภาพน้ำ	67
4.11	แสดงลักษณะของน้ำดิบและลักษณะของการเกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการตามลำดับ (1-5) ตั้งแต่เริ่มต้นจนเกิดการแยกที่สมบูรณ์ภายในเวลา 2 นาที	70
4.12	ลักษณะของการเกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายในถังลอยตะกอน (ก) โดยเปรียบเทียบกับน้ำดิบที่นำมาใส่ในถังลอยตะกอน (ข)	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากทำรายได้ให้ประเทศปีละหลายล้านบาท ซึ่งในเดือนมกราคมถึงกันยายน พ.ศ.2542 อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลมีมูลค่าส่งออก 6,709.5 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2542) และโดยเฉพาะในภาคใต้มีโรงงานแปรรูปอาหารทะเลตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศที่ต้องการกระจายความเจริญสู่ภูมิภาค ประกอบกับลักษณะของที่ตั้งของภาคใต้ ทำให้อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และเป็นอุตสาหกรรมหลักอย่างหนึ่งของภาคใต้

อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิต เมื่อย่อยสลายแล้วจะส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งมีความจำเป็นต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำชุมชนต่อไป ทั้งนี้ น้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปอาหารทะเลจะประกอบด้วยของแข็งและของเหลว ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ส่วนใหญ่เป็นเลือด น้ำมัน ไขมัน และโปรตีน ซึ่งมีปริมาณและลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นกับวัตถุดิบ ขนาดโรงงาน และกรรมวิธีการผลิต น้ำเสียจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตปลาทูน่า มีค่าพีเอชของน้ำทิ้ง 6.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมด 6,259 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไขมัน 2,822 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจน 456 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า BOD₅ 11,874 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD 46,955 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุวิทย์ สุวรรณโณ, 2535 อ้างถึงใน ณัชพล พรหมหมวก, 2538) และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตซูริมิเป็นน้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ น้ำที่ใช้ล้างวัตถุดิบจนกระทั่งน้ำที่ออกจากเครื่องบีบน้ำออกจากเนื้อปลาสด เศษเหลือจากกระบวนการผลิตซูริมิในขั้นตอนการตัดแต่งปลา มี 40 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อปลาทั้งตัว (วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ และคณะ, 2541) และน้ำทิ้งจะมีค่า BOD₅ อยู่ระหว่าง 4,000-6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอยซึ่งเป็นเนื้อปลาอยู่ระหว่าง 2,000-3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไขมัน 150-250 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ น้ำทิ้ง 10-20 องศาเซลเซียส ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 30-40 ลูกบาศก์เมตรต่อหนึ่งตันวัตถุดิบ (สันห์ชัย กลิ่นทิกุล : มปป.) และจากรายงานการศึกษาปริมาณน้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างเนื้อ

ปลาบดครั้งที่ 1 จนถึงขั้นตอนบีบน้ำออกจากเนื้อปลาบดของกระบวนการผลิตซูริมิ พบว่า ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาประมาณ 29 ลิตรต่อซูริมิ 1 กิโลกรัม (Lin และคณะ, 1995) นอกจากนี้การศึกษานี้ของ Prasertsan และคณะ (1988) ได้สำรวจการผลิตอาหารแช่แข็งของบริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด มีปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต 77 ตันต่อวัน ได้ผลผลิต 23 เพอร์เซ็นต์ และที่เหลือ 77 เพอร์เซ็นต์ เป็นเศษของเหลือที่เกิดขึ้น ดังนั้นสามารถมองภาพปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดที่ออกจากกระบวนการผลิตซูริมิได้

หนึ่งของแข็งที่เจือปนอยู่ในส่วนที่เป็นสารโปรตีนและไขมันนั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทำเป็นอาหารสัตว์ และปุ๋ย เนื่องจากเนื้อปลามีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย โปรตีน ชนิดสมบูรณ์ปริมาณสูงและมีไขมันน้อย ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาทางแยกนำเอาโปรตีนและไขมัน ออกจากน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตซูริมิ ซึ่งจะมีเศษเนื้อปลาและไขมันปะปนออกมาปริมาณมาก ถ้าหากสามารถแยกองค์ประกอบเหล่านี้ออกไปได้ส่วนหนึ่ง จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ เช่น ค่า BOD₅ หรือ COD ของน้ำทิ้งที่เข้าในระบบบำบัดขั้นต่อไป เพราะจากการศึกษาน้ำทิ้งจากขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดครั้งที่ 1 นั้นมีค่า COD สูงถึง 45 % ของค่า COD ของน้ำทิ้งจากทั้งกระบวนการผลิต และมีปริมาณโปรตีนในน้ำทิ้งถึง 55% ของปริมาณโปรตีนในน้ำทิ้งทั้งหมด (Niki และคณะ, 1985 อ้างถึงใน จักรี ทองเรือง, 2542) และนอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนตะกอนที่ได้ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพราะเศษตะกอนต่างๆล้วนเป็นเศษเนื้อปลาที่มีคุณค่าทางอาหารรวมทั้งไขมันจากปลาที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

กระบวนการแยกเอาน้ำมันและไขมัน นอกจากการใช้บอดักน้ำมันและไขมัน (Oil and grease trap) แล้วยังนิยมใช้กระบวนการลอยตะกอน (Dissolved air flotation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการลอยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก หรือการใช้เครื่องเหวี่ยงแยก (Decanter) ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เป็นกระบวนการใช้เก็บเกี่ยวของแข็ง เช่น เนื้อปลาบด เนื่องจากสารโปรตีนและไขมัน ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิเป็นอนุภาคเล็กมากกระจายอยู่ (Dispersed) ในน้ำ การศึกษานี้จึงเลือกศึกษาการนำกลับโปรตีนและไขมันโดยใช้วิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (Dissolved air flotation)

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 อุตสาหกรรมซูริมิ

1.2.1.1 อุตสาหกรรมซูริมิ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หมายเลข 935 (2533) ได้ให้ความหมายของ

"เนื้อปลาสด (ซูริมิ) เยือกแข็ง" ไว้ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสดที่ผ่านการตัดหัว ควักไส้ มาผ่านกรรมวิธีแยกเนื้อปลาซึ่งจะได้เนื้อปลาสด จากนั้นนำเนื้อปลาสดมาล้างน้ำผ่านกรรมวิธีบีบน้ำ แล้วผสมกับวัตถุดิบอาหาร นวดให้เข้ากันและเหนียว ทำเป็นก้อนรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปอื่นๆ นำไปผ่านกรรมวิธีเยือกแข็งโดยให้มีระยะเวลาการเกิดผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว แล้วจึงลดอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำไปเก็บรักษาโดยควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไว้ที่ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าให้สม่ำเสมอตลอดเวลา นอกจากนี้ซูริมียังมีความหมายที่ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเนื้อปลาที่ผ่านกระบวนการล้าง (Leaching) เพื่อกำจัดไขมันและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ ไมโอโกลบิน (Myoglobin) และ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เพื่อให้ได้เนื้อปลาที่ขาว และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ จากการเติมน้ำตาล โปสฟอเฟต เพื่อช่วยป้องกันการแปลงสภาพ (Denature) และเสื่อมสภาพ (Deteriorate) ของโปรตีนในสภาวะแช่แข็งแล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็ง (วรรณ กาญจนภุ และ วิไลรัตน์ มณีเสถียรวัฒนา, 2530) และนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลและมีเนื้อสัมผัสที่ดี เช่น เนื้อปูเทียม ปลาหมึกเทียม ลูกชิ้น และอาหารสำเร็จรูปอื่นๆ ซึ่งนิยมบริโภคกันมากในปัจจุบัน โรงงานผลิตซูริมิของไทยส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในบริเวณภาคใต้ และภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร ระยอง สงขลา และตรัง (สกล กาจนรังษี และกอบ กิตติ วิฑูวัฒนกุล, 2532) การผลิตซูริมิของไทยเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นหลัก ในปี พ.ศ. 2533 ส่งออกประมาณ 16,430 ตัน และ 29,130 ตัน ในปี พ.ศ. 2534 โดยมีอัตราการขยายตัวของปลาสดและผลิตภัณฑ์ถึง 54 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง พ.ศ. 2532-2536 (วชิรปราณี คล้ายทอง, 2537 อ้างถึงใน วรรณวิบูลย์ กาญจนภุจร และคณะ, 2541) และประเทศผู้นำเข้าจะนำผลิตภัณฑ์ไปแปรสภาพเป็นอาหารสำเร็จรูปต่อไป

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่นิยมใช้ปลาทรายแดง ปลาจวด ปลาไหล ปลาเม็ดยาน ปลาหัวโง่ง ปลาไหลทะเล และปลาปากคม กรรมวิธีการผลิตซูริมิ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (ดูรูปที่ 1.1) คือ

ก. การเตรียมวัตถุดิบ ควรเป็นปลาสดที่ไม่ผ่านการแช่แข็งมาก่อน แต่เก็บที่อุณหภูมิต่ำอยู่เสมอ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของโปรตีน และควรเป็นปลาที่มีโปรตีนละลายในน้ำเกลือที่ระดับสูง และนิยมใช้ปลาที่มีเนื้อสีขาว เช่น ปลาทรายแดง ปลาจวด เป็นต้น แล้วนำมาทำการล้าง ตัดหัว ผ่าท้อง และทำความสะอาด โดยเฉพาะส่วนกระดูกสันหลัง ไต ควรกำจัดออกให้หมด เพราะจะทำให้สีของเนื้อปลาคคล้ำลง จากนั้นทำการแยกเนื้อปลาโดยใช้เครื่องแยกเนื้อปลา (Deboning machine) และบดให้ละเอียด ระหว่างการแยกเนื้อปลา สิ่งปน

เปลี่ยนต่างๆ เช่น ก้อนเลือด เศษก้างปลาที่มีขนาดเล็กจะสามารถผ่านรูของลูกกลิ้งทรงกระบอกและผสมกับเนื้อปลาบด ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะยอมให้มีการปนเปื้อนสิ่งดังกล่าวในเนื้อปลาบด เนื่องจากสามารถแยกออกจากเนื้อปลาบดได้ในขั้นตอนถัดไป สำหรับเลือดปลาแม้ว่าจะไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนในเนื้อปลาบดได้ แต่เนื่องจากเลือดปลาสามารถถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเนื้อปลา ด้วยเหตุนี้เนื้อปลาบดที่แยกได้จึงต้องทำการแช่ไว้ในน้ำเย็นทันทีที่ออกจากเครื่องแยกเนื้อปลาบด และในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดในขั้นตอนถัดไปจะต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาต่อน้ำที่แน่นอน ดังที่ใช้รับเนื้อปลาบดจากเครื่องแยกปลาบดจึงทำหน้าที่ในการปรับอัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาบดต่อน้ำเย็นไปด้วย

ข. การล้างเนื้อปลาบด เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพราะว่าจะมีผลต่อคุณภาพของซูริมิ เพราะวัตถุประสงค์ที่สำคัญของขั้นตอนนี้ คือ การกำจัดไขมัน และกลิ่นปลาออกจากเนื้อปลาบด ในขั้นตอนการล้างปัจจัยที่สำคัญที่ควรได้รับการพิจารณาได้แก่ วิธีการล้าง อัตราส่วนระหว่างเนื้อปลาบดต่อน้ำที่ใช้ล้าง จำนวนครั้งที่ทำการล้าง และคุณภาพน้ำ ทำการล้างด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนการล้างเนื้อปลาบดจะประกอบด้วยปฏิบัติการหลายประการที่กระทำต่อเนื้อปลาบด ได้แก่

(1) การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากเนื้อปลาบดโดยอาศัยปฏิบัติการทางกล (Mechanical separation) การกวนสารผสมระหว่างเนื้อปลาบดกับน้ำ จะช่วยในการแยกไขมันและน้ำมันออกจากเนื้อปลา ขณะเดียวกันจะช่วยให้สิ่งดังกล่าวลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้การแยกออกจากถังล้างทำได้ง่ายขึ้น

(2) การล้างเนื้อปลาบด น้ำที่ใช้จะทำหน้าที่ในการสกัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ออกจากเนื้อปลาบด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนซาร์โคพลาสติกซึ่งมีผลขัดขวางการเกิดเจลที่ดีของซูริมิ การแยกโปรตีนซาร์โคพลาสติกออกไปจึงมีผลให้ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่จำเป็นต่อการเกิดเจลเพิ่มขึ้น (Lee, 1984) การล้างเนื้อปลาบดช่วยขจัดเอนไซม์และสารตั้งต้นและสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกมาและเมื่อใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็งร่วมกับการล้างเนื้อปลาบดจะมีผลให้ซูริมิที่ได้ยังคงมีความสามารถในการเกิดเจลที่ดีแม้ว่าจะทำการเก็บไว้ในสภาพแช่เยือกแข็งเป็นระยะเวลาหนึ่ง

(3) การสกัดเนื้อปลาบด ระยะเวลาที่ให้ทำการล้างเนื้อปลาบดในระดับอุตสาหกรรม คือ 15-20 นาที

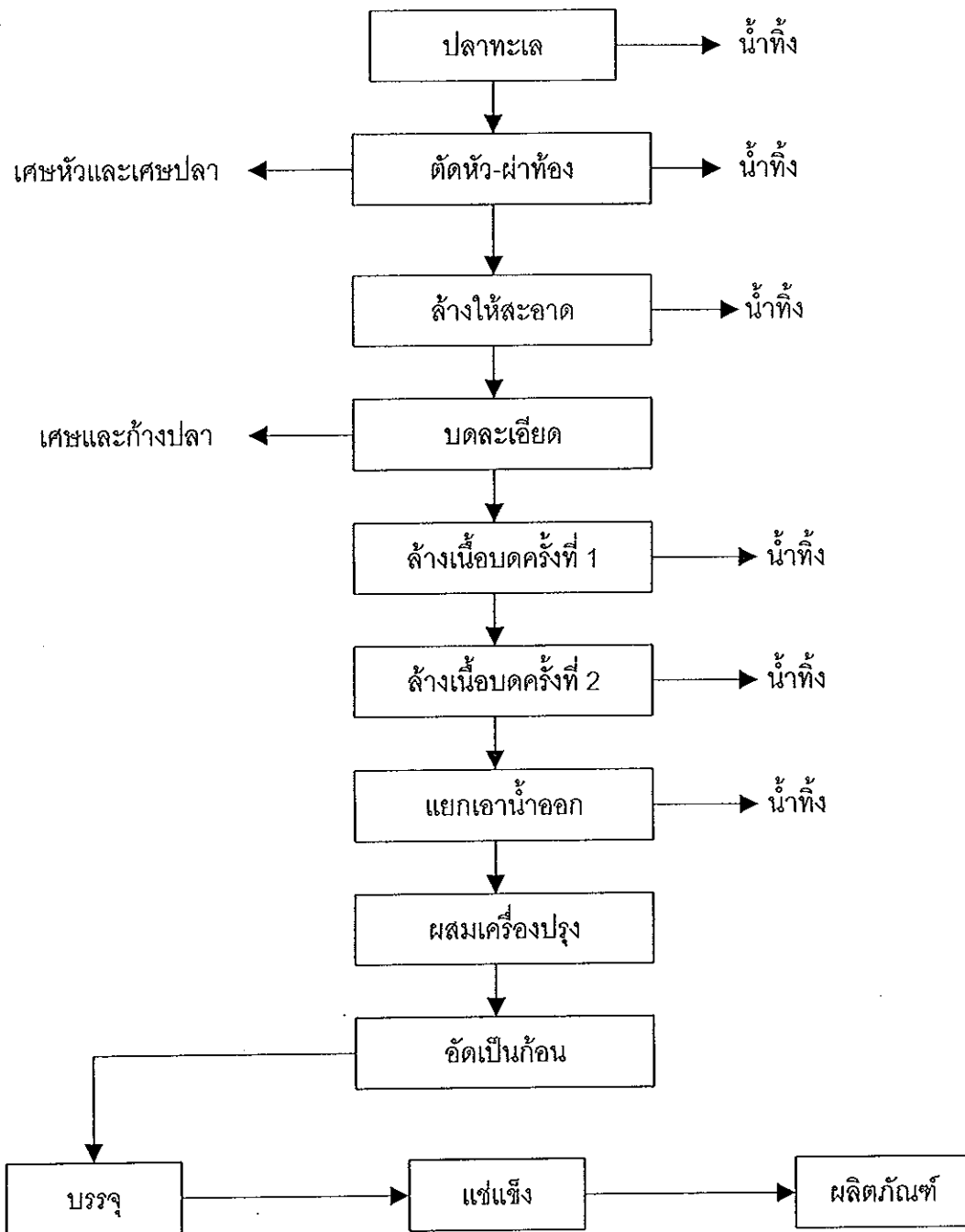
ค. การแยกน้ำจากเนื้อปลาบด การแยกน้ำในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการปรับความชื้นในเนื้อปลาบดจากร้อยละ 90 โดยประมาณให้มีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 80-84

ซึ่งมีอยู่หลายวิธี คือ ใช้เครื่องแยกน้ำระบบเกลียวอัด (Screw press) เครื่องเหวี่ยง หรือใช้ถุงไนล่อนแล้วบีบน้ำออกโดยใช้เครื่องบีบน้ำไฮดรอลิค

ง.การแยกกากและเศษเกล็ด โดยผ่านเข้าเครื่องแยกเกล็ด กระจุก (Strainer) เป็นการกำจัดเอาเศษเกล็ด เยื่อบู เยื่อกล้ามเนื้อปลา และกากปลาที่ติดค้างอยู่ออกไป

จ.การนวดและการผสม เนื้อที่ผ่านการแยกเกล็ด จะนำมาผสมสารป้องกันการเสื่อมสภาพธรรมชาติของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาในสภาพแช่เยือกแข็ง ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แก่ น้ำตาลซึ่งมักใช้พวกโพลีฟอสเฟต ซอร์บิทอล (Sorbitol) หรือน้ำตาลซูโครส (Sucrose) การนวดมักจะใช้เครื่องนวด (Grinder) หรือเครื่องตัดและผสมอาหาร (Silent cutter)

ฉ.การบรรจุในถาดและแช่เยือกแข็ง ทำการอัดเนื้อปลาที่นวดแล้วลงในถาดที่บุด้วยพลาสติก ขนาดบรรจุมาตรฐานของซูริมิ คือ 10 กิโลกรัม การบรรจุทำได้โดยการกดซูริมิลงในถาดขนาดมาตรฐาน แล้วนำไปแช่แข็งแบบใช้แผ่นความเย็นสัมผัส (Contact freezer) หรือแบบเป่าพ่นลมเย็น (Air blast freezer) โดยใช้อุณหภูมิในการแช่แข็ง -30 องศาเซลเซียส และควรเก็บรักษาที่ๆมีอุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1.1 กระบวนการการผลิตเนื้อมัดแช่แข็งโดยทั่วไป

1.2.2 การรวมและการลอยตะกอน

1.2.2.1 การรวมตะกอน

โดยทั่วไปในน้ำมีความขุ่นเนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ อนุภาคเหล่านี้ไม่สามารถจมตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือสามารถทำได้แต่ใช้เวลานาน ความเร็วในการจมตัวของอนุภาคเป็นไปตามสมการของสโตกส์ (Stokes, Sir G.E., 1891) ดังนี้

$$V_t = \frac{g(\rho_s - \rho) d^2}{18\mu}$$

เมื่อ V_t คือ ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค (ซม./วินาที)

g คือ ความเร่งของแรงดึงดูดของโลก (981 ซม./วินาที²)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (กรัม/ซม.³)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ซม.³)

μ คือ ความหนืดของน้ำ (กรัม/ซม./วินาที)

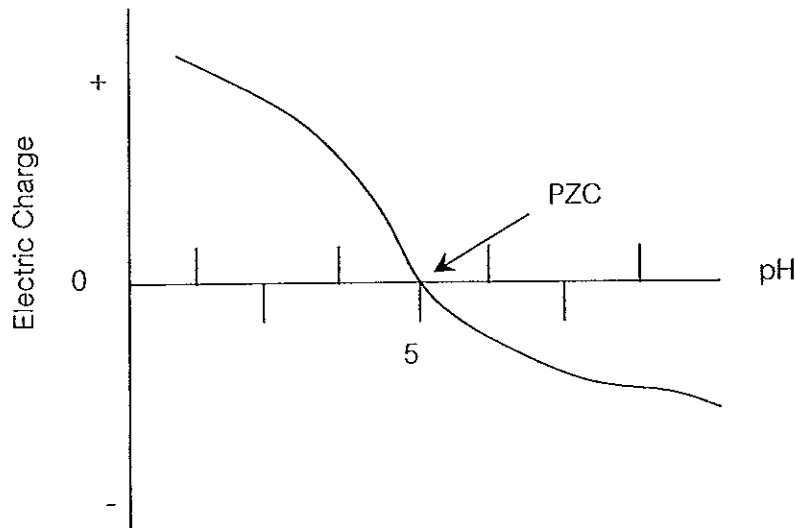
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (ซม.)

จากสมการของสโตกส์ จะเห็นว่า ในการจมตัวของอนุภาคขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ยกกำลังสองและความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคกับน้ำ ดังนั้นในการกำจัดอนุภาคเล็กๆออกจากน้ำ ทำได้โดยการรวมอนุภาคเล็กๆให้เป็นกลุ่มก้อนที่ใหญ่ขึ้น เพื่อให้อนุภาคจมตัวลงได้เร็วขึ้นทำให้ได้น้ำใสในระยะเวลาอันสั้น กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) และกลุ่มของอนุภาคที่มาเกาะกันเรียกว่า ฟลอค (Flocs)

ก. คุณสมบัติของอนุภาคแขวนลอย

อนุภาคในน้ำธรรมชาติ จะมีชั้นประจุไฟฟ้าเคลือบอยู่รอบๆผิวของอนุภาคหรือเรียกว่า Electrical double layer การเกิดประจุไฟฟ้าจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าอนุภาคนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบ ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคจะขึ้นกับประจุบวกและลบที่อยู่ในน้ำ (H^+ หรือ OH^-) หรือค่าพีเอชนั่นเอง ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำ จะมี H^+ ในน้ำมาก ทำให้อนุภาคมีประจุที่ผิวเป็นบวก ในขณะที่น้ำมีค่าพีเอชสูงจะมีค่า OH^- ในน้ำมาก ทำให้อนุภาคมีประจุที่ผิวเป็นลบ การที่จะทราบว่าอนุภาคมีประจุที่ผิวเป็นบวกหรือลบนั้น อาศัยกราฟ Zeta potential ซึ่งเป็นการวัดค่าเทียบเท่าของศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคที่ค่าพีเอชต่างๆ (ดังรูปที่ 1.2) โดยที่เมื่อค่าพีเอชต่ำอนุภาคจะมีศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวกน้อยลงจนเท่ากับศูนย์ที่พีเอชหนึ่ง เรียกว่า

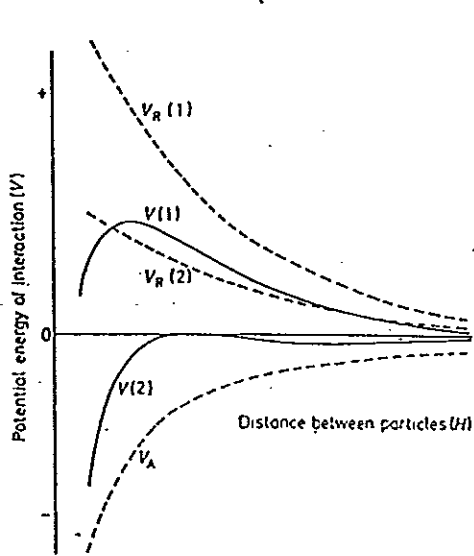
พีเอชจุดนี้ว่า Point of zero charge (PZC) เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นไปอีกศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคจะเริ่มเป็นลบ และเป็นลบมากขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.2 กราฟของค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคโปรตีนที่ค่าพีเอชต่างๆ
ที่มา : Abramson, 1964

ข.เสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย

อนุภาคแขวนลอยที่มีเสถียรภาพนั้น จะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่จมลงภายในระยะเวลาอันสั้น เมื่อทำให้อนุภาคแขวนลอยจมและแยกตัวออกจากน้ำก็ถือว่า เสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอยนั้นถูกทำลายไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ซึ่งเสถียรภาพนี้จะขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค ศักย์ไฟฟ้ารอบๆอนุภาคทำให้เกิดแรงผลักระหว่างไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคด้วยกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่ออนุภาคที่อยู่ใกล้กันจะมีแรงดึงดูดที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) อนุภาคจะเกาะติดกันได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับว่า แรงผลักระหว่างอนุภาค หรือแรงดึงดูดอย่างใดจะมีแรงมากกว่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงผลักระหว่างอนุภาคต้องมากกว่าแรงดึงดูด อนุภาคจึงจะมีเสถียรภาพอยู่ได้ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคต่างๆสามารถจับตัวกันได้ เป็นก้อนโตแล้วจมลงเร็วขึ้น ซึ่งนับได้ว่าอนุภาคแขวนลอยนั้นไม่มีเสถียรภาพ (ดังรูปที่1.3) ซึ่งเป็นที่รู้จักในนามของกฎ DLVO (Deraquin, and Landau,1941 และ Verwey and Overbeek,1948)



$$\begin{aligned}
 V &= V_R + V_A = \text{แรง (พลังงาน) ลัทธิ} \\
 V(1) &= V_R(1) + V_A \\
 V(2) &= V_R(2) + V_A \\
 V_R &= \text{แรง (พลังงาน) ผลักระหว่างอนุภาค} \\
 V_A &= \text{แรง (พลังงาน) ดึงดูดแวนเดอวาลส์}
 \end{aligned}$$

รูปที่ 1.3 แรงหรือพลังงานผลักระหว่างอนุภาคและดึงดูดระหว่างอนุภาคที่ระยะต่างๆ
ที่มา : Shaw, 1983

ค. การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอยสำหรับช่วยให้เกิดการรวมตะกอน

การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย ทำได้หลายวิธี คือ

(1) การปรับพีเอชให้เข้าใกล้ค่า PZC ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้ารอบๆผิวอนุภาคลดลงเข้าใกล้ศูนย์ แรงผลักระหว่างอนุภาคจะลดลงหรือหายไป ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวอนุภาคลดลงหรือหมดไป แรงผลักระหว่างอนุภาคจะลดลงหรือหายไปด้วย อนุภาคจึงสามารถเข้าใกล้กันได้มากและถูกดูดจับติดกันเป็นฟลอค (Flocs) ได้ด้วยแรงแวนเดอวาลส์ได้

(2) การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ชนิด Indifferent electrolyte ได้แก่ เกลือของโลหะต่างๆ เช่น เกลือแกง (NaCl) ปูนขาว (CaO) สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3 \cdot XH_2O$) และเฟอริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) เป็นต้น เพื่อผลักระหว่างอนุภาคจะลดลงหรือหายไป ทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวอนุภาคลดลงหรือหมดไป แรงผลักระหว่างอนุภาคจะลดลงหรือหายไปด้วย อนุภาคจึงสามารถเข้าใกล้กันได้มากและถูกดูดจับติดกันเป็นฟลอค (Flocs) ได้ด้วยแรงแวนเดอวาลส์ในที่สุด

(3) การดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคแขวนลอย (Adsorption and charge neutralization) สารเคมีบางหมู่ สามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคแขวนลอยได้ ถ้าสารเหล่านั้น มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับอนุภาค ซึ่งจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้า และทำลายเสถียรภาพ

ของอนุภาค กลไกแบบดูดติดผิวสามารถทำให้อนุภาค เปลี่ยนประจุไฟฟ้าไปเป็นประจุตรงข้ามกับอนุภาคได้ (Charge Reversal) โดยการเติมสารเคมีนั้นในปริมาณมาก

(4) การเติมเกลือของโลหะลงไปในปริมาณที่มากเกินไปเกินค่าการละลายได้ของสารนั้น (Solubility) เช่น สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$) ต้องเติมมากถึง 20-50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมประมาณ 6.8-8.2 (มันส์สัน ดัชนีซูลเวคส์, 2538) จะทำให้เกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะที่เติม ซึ่งจะอยู่ในรูปของวุ้นเบาๆ (Colloidal) และจะไปห่อหุ้มอนุภาคแขวนลอยแล้วพาจมลงไปยังข้างล่าง ซึ่งเรียกว่า Sweep coagulation หรือ Sweep flocculation

(5) การรวมตะกอนด้วยสารโพลีเมอร์ เป็นสารรวมตะกอนชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ประมาณ 1-20 ล้านกรัมต่อโมล) ซึ่งมีลักษณะเป็นโซ่ยาว อาจมีกิ่งก้านสาขาบ้างแล้วแต่ชนิดของโพลีเมอร์จึงสามารถเป็นสะพานเชื่อมจับยึดเกาะอนุภาคต่างๆ เข้าด้วยกันได้แล้วทำให้เกิดฟลอคขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการก่อก้อนด้วยสารโพลีเมอร์นี้จะทำให้เกิดฟลอคขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงว่าอนุภาคมีแรงผลักระหว่างประจุน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งเป็นโพลีเมอร์ตามประจุที่ผิวเป็น 3 ชนิด คือ ประเภทไร้ประจุ (Nonionic polymer) ประเภทมีประจุลบ (Anionic polymer) และประเภทมีประจุเป็นบวก (Cationic polymer) ทั้งนี้โพลีเมอร์ชนิดไร้ประจุสามารถจับกับอนุภาคด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ใช้ได้กับอนุภาคใดๆก็ได้ ส่วนโพลีเมอร์ประจุบวกและลบ จะใช้ได้กับประจุนตรงกันข้าม

ง. ประสิทธิภาพของการรวมตะกอน

Hogg และคณะ (1993) ได้สรุปเรื่องประสิทธิภาพของการรวมตะกอนขึ้นอยู่กับการปัจจัยทางด้านเคมีและฟิสิกส์ ดังนี้

(1) ปัจจัยทางด้านเคมี

i. สารรวมตะกอน (Flocculant) การเลือกชนิดและปริมาณของสารรวมตะกอน จะต้องมีการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรวมตะกอนที่ดีที่สุด

ii. พีเอช (pH) ค่าพีเอชที่เหมาะสมแก่การรวมตะกอน คือ ค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกับ PZC คือ ค่าพีเอชที่อนุภาคมีศักย์ไฟฟ้าที่ผิวน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ทำให้อนุภาคแขวนลอยสามารถเกาะกันได้โดยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในกรณีที่แตกต่างกัน และค่าพีเอชที่สัมพันธ์กับ PZC ต่างกัน จะต้องปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงกลางๆซึ่งจะทำให้อนุภาคสามารถเกาะกันได้

iii. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี อุณหภูมิต่ำทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์เคมีต่ำลง และระยะเวลาในการเกิดฟลอคนานขึ้น

(2) ปัจจัยทางฟิสิกส์

i. การชนกันระหว่างอนุภาค (Collision) อนุภาคจะมีโอกาสเกาะกันได้ด้วยการชนกันก่อน ถ้าอัตราการชนกันสูงจะทำให้เกิดการรวมตะกอนได้มากขึ้น

ii. ความเข้มข้นของอนุภาคในสารแขวนลอย ในน้ำที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมากจะทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี เพราะอนุภาคมีโอกาสชนกันสูงเกิดฟลอคได้ง่าย ในขณะที่ถ้ามีความเข้มข้นของอนุภาคน้อย โอกาสที่จะชนกันของอนุภาคก็จะน้อย

iii. อัตราการเติมสารสร้างตะกอน ซึ่งจะดัดสัมพันธ์กับการอัตราการกวนในจุดหนึ่ง จะทำให้เกิดอัตราการรวมตะกอนที่ดีที่สุด

1.2.2.2 การลอยตะกอน (Flotation)

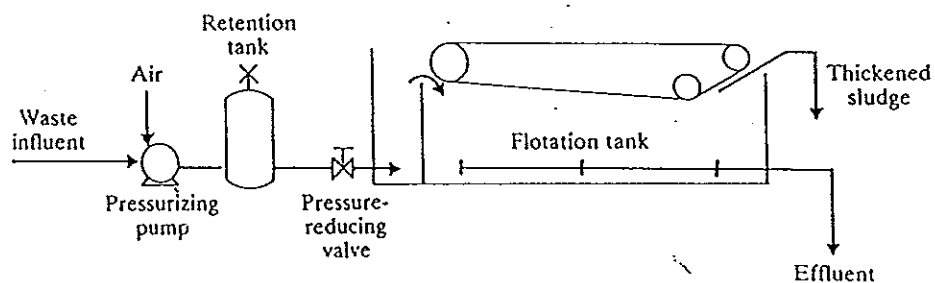
การลอยตะกอน เป็นวิธีการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยการทำให้ตะกอนต่างๆในน้ำเสยลอยขึ้นสู่ชั้นบนของผิวหน้าเพื่อทำการกวาดตะกอนลอยทิ้งไป วิธีนี้นิยมใช้กับตะกอนที่ยากแก่การตกตะกอน เช่น ตะกอนแขวนลอยที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำ ไขมันและน้ำมัน ส่วนตะกอนเบาที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ การทำให้ตะกอนลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวหน้าต้องให้ฟองอากาศเกาะกับตะกอนเพื่อให้ความถ่วงจำเพาะของตะกอนมีน้อยกว่าน้ำเสีย ตะกอนจึงลอยขึ้นมาบนผิวหน้า ซึ่งวิธีการทำให้ตะกอนลอยขึ้นมาอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ดังนี้

ก. การลอยด้วยอากาศละลาย (Dissolved air flotation-DAF)

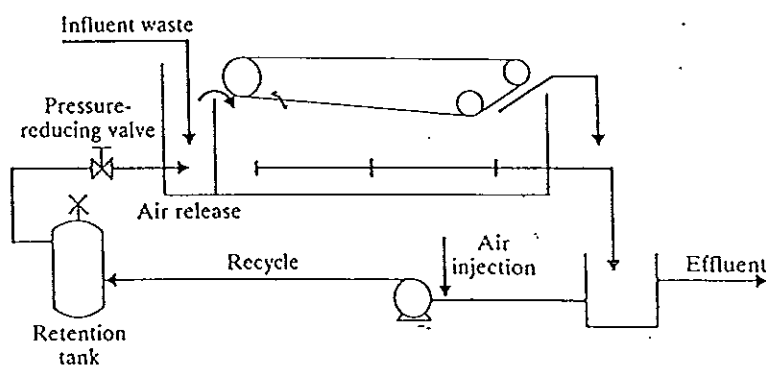
การลอยด้วยอากาศละลาย เป็นวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้นานแล้ว โดยใช้เพื่อแยกตะกอนที่มีขนาดเล็กมากและน้ำหนักเบา หรือตะกอนที่มีแนวโน้มจะลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของระบบ เช่น การนำไปใช้ในการนำกลับไขมันจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมหนังแกะ (Evans และ Ewers, 1953) หลักการสำคัญ คือการอัดอากาศและน้ำเสียให้เข้ากันที่ความดัน 50-70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 345-380 kPa (Eckenfelder, 1989) ในถังควบคุมความดันจนอากาศละลายเข้าไปในน้ำปริมาณอากาศอิ่มตัว (Saturated air) ในน้ำจะสูงขึ้นเมื่อความดันสูง และเมื่อลดความดันลงให้เข้าสู่ความดันบรรยากาศ จะทำให้อากาศส่วนเกินที่ละลายน้ำอยู่จะกลั่นตัวเป็นฟองอากาศ การเกิดของฟองอากาศจะเกิดได้ง่ายที่ผิวของอนุภาคแขวนลอย (Aplan, 1989) เพราะมีพื้นที่ผิวเริ่มต้นให้ฟองอากาศมาเกาะทำให้พลังงานในการเกิดฟองอากาศ (Precipitation) น้อยเมื่อเทียบกับการเกิดฟองอากาศขึ้นในน้ำโดยตรง ฟองอากาศจำนวนมากเกิดที่ผิวของอนุภาค เช่น โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ทำให้สามารถแยกตะกอนของแข็งแขวนลอย และอนุภาคเล็กๆในน้ำแล้วลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของระบบ วิธีนี้มีอยู่ 2 ระบบ (ดูรูปที่ 1.4) คือ

ระบบไม่มีการหมุนเวียน นิยมใช้กับน้ำเสียที่มีตะกอนชนิดไม่เปราะ โดยจะอัดอากาศได้ความดัน แล้วปล่อยให้อากาศละลายอยู่ในน้ำในถังความดัน จากนั้นจึงปล่อยน้ำออกจากถังความดันไปยังถังลอยตะกอน โดยมีวาล์วเพื่อควบคุมความดัน น้ำที่เหลือเข้าสู่ถังลอยตะกอนจะมีฟองอากาศจำนวนมากลอยอยู่ทั่วถัง ดังแสดงรูปที่ 1.4.ก

ระบบมีการหมุนเวียน นิยมใช้กับน้ำเสียที่มีตะกอนชนิดเปราะแตกง่าย โดยนำน้ำเสียจากถังลอยตะกอนไปยังถังความดัน แล้วจึงปล่อยออกไปรวมกับน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ เพื่อนำไปปล่อยเข้าสู่ถังลอยตะกอนสำหรับการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียต่อไป ดังแสดงรูปที่ 1.4.ข



ก.ระบบไม่มีการหมุนเวียน



ข.ระบบมีการหมุนเวียน

รูปที่ 1.4 แสดงกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย

ที่มา : Eckenfelder, 1989

ในการทำงานของระบบการลอยด้วยอากาศละลาย (DAF) ข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบระบบได้แก่ ขนาดของฟองอากาศ ปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในระบบ ความเข้มข้นของตะกอน ความเร็วลอยขึ้นของตะกอน อุณหภูมิน้ำเสีย และอัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) (Edzwald, 1995) ซึ่งมีความจำเป็นต่อการออกแบบระบบมาก เพราะจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำที่ไหลออกจากระบบ โดยสามารถคำนวณจากปริมาณอากาศที่ถูกปล่อยออกมาที่ความดันบรรยากาศซึ่งจะขึ้นกับปริมาณของอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำที่ขึ้นกับความดันในการอัดอากาศ และสามารถคำนวณได้จากสมการ (Eckenfelder, 1983)

$$S = S_a \times \left[\frac{fP}{P_a} - 1 \right]$$

- โดยที่
- S = ปริมาณอากาศที่ปล่อยออกมาที่ความดันบรรยากาศ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - S_a = ปริมาณอากาศอิ่มตัวที่ความดันบรรยากาศ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
(ดูตารางที่ 1.1)
 - P = ความดันสัมบูรณ์ของการอัดอากาศ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
 - P_a = ความดันบรรยากาศ (14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
 - f = เศษส่วนของอากาศที่ละลายอยู่จริงในน้ำในถัง เมื่อเทียบกับปริมาณที่สามารถละลายได้จริง (Saturated) ณ ความดันเท่ากับ P
(โดยทั่วไปในการออกแบบใช้ค่า = 0.5)

และหาค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ได้จากสมการ

$$A/S \text{ ratio} = \frac{S}{S_s}$$

- เมื่อ S_s = ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 1.1 ความสามารถในการละลายของอากาศในน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ		ปริมาณที่ละลายได้		น้ำหนักที่ละลายได้	
°C	°F	ml/l	ft ³ /1000gal	mg/l	lbs/1000gal
0	32	28.8	3.86	37.2	0.311
10	50	23.5	3.15	29.3	0.245
20	68	20.1	2.70	24.3	0.203
30	86	17.9	2.40	20.9	0.175
40	104	16.4	2.20	18.5	0.155
50	122	15.6	2.09	17.0	0.142
60	140	15.0	2.01	15.9	0.133
70	158	14.9	2.00	15.3	0.128
80	176	15.0	2.01	15.0	0.125
90	194	15.3	2.05	14.9	0.124
100	212	15.9	2.13	15.0	0.125

หมายเหตุ : ค่าความสามารถในการละลายของอากาศในน้ำที่ความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ

ที่มา : Eckenfelder, 1983

จากการคำนวณอัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ข้างต้นนี้เป็นการวิเคราะห์สำหรับระบบการบำบัดด้วยอากาศละลายเพราะไม่มีการหมุนเวียน สำหรับระบบที่มีการหมุนเวียน คือเมื่อมีน้ำบางส่วนไหลเวียนกลับสู่ระบบอีก จะคำนวณได้ตามสมการ

$$\frac{A}{S} = \frac{S_a R}{S_s Q} \left[\frac{fP}{P_a} - 1 \right]$$

โดยที่ Q = อัตราไหลเข้าของน้ำ (ลิตรต่อนาที)

R = อัตราไหลของน้ำส่วนที่เวียนกลับ (ลิตรต่อนาที)

S_s = ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำทิ้ง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ข. การลอยด้วยอากาศ (Air flotation)

หลักการของวิธีการนี้คือ การเติมอากาศหรือเป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง ผนวกกับความดันบรรยากาศ ในการเป่าอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ได้นำพาตะกอนต่างๆลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมาจะถูกกวาดทิ้งไป วิธีลอยตัวด้วยอากาศนี้ ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการแยกตะกอนต่างๆออกจากน้ำเสีย เพราะประสิทธิภาพในการแยกตะกอนมีต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรก

ค. การลอยตัวด้วยสุญญากาศ (Vacuum flotation)

หลักการของวิธีการนี้คือ การสูบหรือดึงอากาศออกจากระบบที่ใช้ถังแบบปิด ซึ่งจะทำให้อากาศเหนือผิวน้ำภายในถังมีสภาพเป็นสุญญากาศและเกิดความไม่สมดุลภายในถัง ฟองอากาศจึงเกิดการกลั่นตัวออกมาจากน้ำ ถังนี้จะถูกเปิดออกโดยใช้วาล์วเป็นตัวควบคุม แล้วเมื่อปล่อยสู่ความดันบรรยากาศอากาศลักษณะของฟองอากาศเล็กๆเหล่านี้ จะพาตะกอนต่างๆในน้ำเสียลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการกวาดหรือการสูบลอยออก

1.2.3 การใช้กระบวนการรวมและการลอยตะกอนบำบัดมลสารในน้ำทิ้ง

การศึกษาการแยกโปรตีนจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องกลับมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2537) โดยศึกษาน้ำเสียรวมและน้ำนิ่งปลา ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการระบบลอยตะกอน (DAF) โดยใช้ร่วมกับสารรวมตะกอน Carboxy methyl cellulose (CMC) เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแยกโปรตีน โดยพบว่ากากตะกอนแห้งที่สามารถแยกออกมาได้เฉลี่ย 1.96 กก./ลบ.ม. ของน้ำเสีย ในตะกอนมีค่าโปรตีนประมาณ 40% ปริมาณ CMC ที่ใช้ในน้ำเสียรวมอยู่ในช่วง 2-10 mg/l ในกระบวนการ Low chemical process (LCP) และ 4-8 mg/l ในกระบวนการ High chemical process (HCP) และสามารถลดค่าความสกปรกในรูป BOD₅ 40% SS 60% และ oil & grease 40% ค่าใช้จ่ายสารเคมีสำหรับน้ำเสียรวมเท่ากับ 3 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และ 17 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับกระบวนการ LCP และ HCP ตามลำดับ

ศุภชัย ปิติชัยชาญ และ นิธิพล สุขสถาพร (2532) ศึกษาการแยกองค์ประกอบน้ำมันในน้ำเสียโรงงานกะทิโดยวิธีการอัดอากาศให้เกิดการลอยตัว โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันและไขมันโดยวิธีอัดอากาศให้เกิดการลอยตัว จากการทดลองพบว่า ความดันที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันและไขมันออกอยู่ในช่วง 4-5 บรรยากาศ และค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม (Optimum dose) ของสารช่วยในการแยกน้ำมันและไขมัน ได้แก่ De-emulsifier, Magnafloc LT-

35, Cationic และ PAC (Poly-aluminium chloride) อยู่ในช่วง 3-4, 8-9, 6-8 และ 2 mg/l ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อผสม PAC 2 mg/l กับ cationic ประมาณ 5 mg/l สามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด คือลดได้ 88.6%, COD 32.5%, TSS 92.13% และความขุ่น 88.78%

เยาวเรศ อายุวัฒน์ และคณะ (2536) ศึกษาการรวมตะกอนและระบบลอยตะกอนเพื่อหาชนิดและปริมาณของสารรวมตะกอนเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการพิมพ์ผ้าโดยใช้จาร์เทศ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทดสอบกับระบบ DAF ขนาดสาธิตแบบต่อเนื่อง มีอัตราการไหลของน้ำเสีย 5 l/min พบว่า สารรวมตะกอนที่เหมาะสม คือสารส้มในปริมาณ 0.909 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร และความดัน 67 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สามารถลดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจาก 1,789 mg/l ลงเหลือ 1,065 mg/l ลดค่า COD 1,038 mg/l ลงเหลือ 232 mg/l และลดค่า BOD₅ 210 ลงเหลือ 57 mg/l และได้ค่าอัตราส่วนของอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) เท่ากับ 0.0116

เน่งน้อย ศรีสุวรรณ (2539) ศึกษาการแยกเอาเนือยออกจากน้ำเสียจากโรงงานถุงมือยาง โดยอาศัยการรวมตะกอนด้วยสารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก แล้วตามด้วยการลอยตะกอนด้วยการใส่ฟองอากาศเข้าไปในระบบเพื่อช่วยจับกลุ่มตะกอนของยางขึ้นมาจากน้ำ พบว่าสามารถลดค่า COD ได้ 96% ค่า TSS ได้มากกว่า 99% และความขุ่นได้ 99 % และ สารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดการรวมตัวของยางได้ดีที่สุด คือ ใช้สารส้ม 5 mg/l ตามด้วย โพลีคริสลามีตชนิดประจุบวก 4 mg/l สามารถรวมตะกอนได้ดี ลดค่า COD จาก 16,600 mg/l เหลือประมาณ 200 mg/l สารแขวนลอย 5,000 mg/l เหลือ 10 mg/l และความขุ่นจาก 15,000 NTU เหลือ 15 NTU และพบว่าระยะเวลาในการกักเก็บในถังลอยตะกอนที่น้อยที่สุดที่ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้นประมาณ 15 นาที

Keskitalo และ Sundholm (1990) อ้างถึงใน Viitasaari และคณะ (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป ซึ่งมีเศษเนื้อสัตว์และเศษผักเป็นองค์ประกอบ โดยการบำบัด 3 ขั้นตอน โดยเริ่มทำการบำบัดด้วยการกรอง เพื่อกำจัดอนุภาคที่ขนาดมากกว่า 3 mm. แล้วตามด้วยการลอยด้วยอากาศละลาย โดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 1.5 mg/l โดยใช้ความดัน 550 kPa (80 psi) และระยะเวลาเก็บกัก 30 นาทีในถังลอย จากนั้นจึงเข้าสู่การลอยด้วยอากาศละลายขั้นที่ 2 โดยใช้โพลิเมอร์ประจุบวก 1.5 mg/l โดยใช้ความดัน 550 kPa (80 psi) แต่ระยะเวลาเก็บกัก 15 นาที สามารถลดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยจาก 1,000-2,000 mg/l ได้ 60-90 % และลดค่า BOD₅ จาก 2,000-3,000 mg/l ได้ 50-70 % ส่วนตะกอนที่ได้เข้าเครื่องบีบน้ำออกแล้วนำไปทำอาหารสัตว์ จากนั้นเข้าสู่การปรับสภาพน้ำ แล้วทำการบำบัดด้วยระบบโปรยกรอง ตามด้วยการเติมอากาศกับการตกตะกอนฟอสฟอรัสในขั้นตอนสุดท้าย

Wymore และ White (1968) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ประเภทหมู โดยน้ำเสียจากขั้นตอนการฆ่าและการทำความสะอาด ซึ่งน้ำเสียถูกกักเก็บที่บ่อพัก ก่อนถูกสูบไปยังระบบ DAF เพื่อกำจัดไขมัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและ BOD₅ ของระบบมีค่าถึง 89 % และ 58% ตามลำดับในกรณีที่มีความเข้มข้นของไขมันและ BOD₅ สูง แต่ถ้าความเข้มข้นต่ำจะมีประสิทธิภาพ 47% และ 15% ตามลำดับ

Ng และคณะ (1988) ศึกษากระบวนการ DAF โดยใช้แยกของแข็ง-ของเหลวในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม ตัวแปรที่สำคัญคือ ประสิทธิภาพของถังความดัน อัตราการรับภาระความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย และอัตราส่วนของอากาศกับตะกอนของแข็งแขวนลอย และความต้องการของสารรวมตะกอน (Flocculants) ประสิทธิภาพการกำจัด ความสกปรกของระบบขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของแข็งแขวนลอย มากกว่า 1,650 กก./ตรม.-ชม. อัตราการรับภาระบรรทุกที่ผิวหน้าของระบบมีค่า 2 ลบ./ตรม.-ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

Ho และ Tan (1989) ได้ศึกษากระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้สารละลายเกลืออลูมิเนียม และสารรวมตะกอนโพลีเมอร์ และระบบ DAF โดยประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบหมักให้ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม (Palm oil mill effluent) พบว่าระบบ DAF มีประสิทธิภาพการกำจัดความสกปรกสูงกว่าระบบตกตะกอนทางเคมี และถ้าใช้ทั้งสองระบบประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น

Jamil (1991) ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ DAF ในระดับห้องปฏิบัติการ และระดับโรงงานของโรงงานฆ่าสัตว์ประเภทหมูและวัว โดยมีการเติมสารรวมตะกอน (Flocculants) เพื่อช่วยในการกำจัดสารแขวนลอย น้ำมันและไขมัน และสำหรับแยกออกจากน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบกับระบบ DAF ที่ไม่ใช้สารรวมตะกอน ผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสำหรับระบบ DAF ที่ไม่ใช้สารรวมตะกอนและใช้สารรวมตะกอนมีค่าเป็น 70 และ 85 % ตามลำดับ

Arora และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำจากแหล่งน้ำที่มีความขุ่นน้อย (น้อยกว่า 100 NTU) ความเข้มข้นของสีมาก ปริมาณสารอินทรีย์สูง และมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก ด้วยวิธีการลอยตะกอนแบบ DAF โดยใช้ปูนขาวและสารโพลีเมอร์ในการรวมตัวของตะกอน และค่า pH ประมาณ 6.1 ผลการศึกษาพบว่า สามารถลดค่าความขุ่น สี และสาหร่ายได้ และสามารถกำจัด Trihalomethane formation potential (THMFP) และ Total organic carbon (TOC) ได้ประมาณ 25 และ 50 % ตามลำดับ

Ferguson และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาค่าการเปรียบเทียบวิธีการลอยตะกอนและวิธีการกรองโดยตรง โดยทำการศึกษาจากแหล่งน้ำในแคลิฟอร์เนียใต้ สหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธีการลอยตะกอนในการบำบัดจะให้ผลดีกว่าการกรองโดยตรง และทั้งสองวิธีการมีวัตถุประสงค์ลดความขุ่นให้มีค่า 0.1 NTU สำหรับการกรองน้ำให้มีคุณภาพ และยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ เหล็กและแมงกานีสได้เช่นกัน

Lin และคณะ (1995) ศึกษาการนำกลับโปรตีนและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการผลิตซูริมิมาใช้ประโยชน์ โดยใช้วิธีการกรองแบบ Microfiltration และนำตะกอนที่ได้กลับเข้ามาในการผลิตโดยสัดส่วนของตะกอนที่นำกลับเข้ามาผสม 10% พบว่า คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความเหนียว ความแข็ง เป็นเจล ลี ไม่ได้ลดน้อยลงเมื่อเทียบกับซูริมิทั่วไป และใช้การกรองแบบ Ultrafiltration กับน้ำเสียจากการผลิต พบว่าค่า COD ความขุ่น Aerobic plate count จะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้วิธีการ Ultrafiltration จะมีสีคล้ำและมีกลิ่นมาก

Lin และ Park (1996) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเนื้อปลาบดที่สภาวะการล้างต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และรูปแบบการล้างเนื้อปลาบดมีผลต่อการสกัดโปรตีน และการควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำกับเนื้อปลาบด เวลาในการล้าง และการล้างเนื้อปลาบด จะช่วยลดการสูญเสียโปรตีนชนิดที่ช่วยสร้างเจลคือ Myofibrillar โดยการใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.25 %, 0.5% และ 1.0 % จะช่วยลดการสูญเสียโปรตีนชนิดนี้ ทั้งนี้ที่ความเข้มข้น 0.25% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการล้างเนื้อปลาบด ซึ่งได้โปรตีน Myofibrillar 76.5% แต่ถ้าความเข้มข้นสูงๆ (2%) จะทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ชนิด Sacroplasmic สูญเสียน้อยและจะเกิดการสูญเสียโปรตีนชนิด Myofibrillar ไปมาก

Lin และ Park (1996) ศึกษาผลการละลายของโปรตีนในเนื้อปลาบดในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เก็บรักษาปลาไว้มีผลต่อการสูญเสียโปรตีน Miosin heavy chain (MHC) โดยที่อุณหภูมิ 0 °c เวลาในการเก็บรักษา 14 ชม. โปรตีน MHC จะสูญเสีย 23.5 % และเพิ่มถึง 70% เมื่อเก็บไว้นาน 72 ชม. และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นปริมาณโปรตีนชนิดนี้จะสูญเสียมากยิ่งขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากระบวนการนำกลับสารโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิ โดยวิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (Dissolved air flotation)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถนำกลับโปรตีนและไขมันที่แยกออกจากน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์อื่นได้
- 2.สามารถลดภาระบรรทุกปริมาณโปรตีนและไขมันในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

ทางชีวภาพ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1.ศึกษากระบวนการสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเลือกเพียงแห่งเดียว ได้แก่ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด
- 1.5.2.จำกัดกระบวนการที่ศึกษาเฉพาะจุดที่รวมน้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาบดสายการผลิตที่ 1 และสายการผลิตที่ 2 (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) โดยศึกษา
 - 1.5.2.1 ทำการรวมตะกอนด้วยสารรวมตะกอนก่อนการลอยตะกอน
 - 1.5.2.2 ใช้การลอยตะกอนแบบอากาศละลาย (DAF)

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ สำหรับวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างทางเคมี

2.1.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุริมิของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์ จำกัด ตั้งอยู่ถนนเก้าเส้ง-จะนะ ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในตู้เย็น

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ใช้สารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ (ระบุในภาคผนวก ก.)

2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

ใช้สารละลายปูนขาว สารละลายโพลีเมอร์อคริลามีด ชนิดประจุบวก และสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

2.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี รวมทั้งอุปกรณ์ที่เป็นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

- ก.ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- ข.ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร และ 10 ลิตร
- ค.ถังโฟมใส่น้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง
- ง.กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

- ก.เครื่องมือวัดความเป็นกรด,ด่าง (pH Meter) รุ่น CyberScan 20 ของ Evtech

- ข. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) รุ่น 2100P ของ HACH
- ค. ชุดเครื่องกวน
- ง. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 0.0001 กรัม และ 0.01 กรัม
- จ. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ ซี ไอ ดี
- ฉ. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ บี ไอ ดี
- ช. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- ซ. ตู้อบความชื้น (Oven)
- ฅ. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
- ญ. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- ฎ. ชุดวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย
- ฏ. ชุดวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด
- ฐ. ชุดลดปริมาตร (Rotary evaporator)
- ท. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- ฒ. เครื่องแก้วที่จำเป็นอื่นๆ

2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

2.2.3.1 การศึกษาหาชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนประกอบด้วย

- ก. หลอดทดลอง (Vial) ขนาด 60 มิลลิลิตร
- ข. กระจกตวงแบบมีจุกปิด ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ค. บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
- ง. ชุดเครื่องกวน

2.2.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบการลอยด้วยอากาศละลายประกอบด้วย

- ก. ถังใส่น้ำเสีย ขนาด 5 ลิตร
- ข. ถังอัดความดัน ขนาด 3 ลิตร
- ค. เครื่องอัดลม
- ง. ถังลอยตะกอน ขนาด 15.8 ลิตร

2.3 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนการวิจัยหลักๆ ดังนี้

2.3.1 ศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตซูริมิ ของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาวางแผนศึกษาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งต่อไป (โดยดูรายละเอียดวิธีการวิจัยในบทที่ 3)

2.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบรวมตะกอนและลอยตะกอน สำหรับนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งซูริมิด้วยอากาศละลาย โดยใช้วิธีศึกษาขั้นต้น ซึ่งเป็นการทดลองที่ได้ผลเร็ว โดยไม่ต้องมีการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งอย่างละเอียด แต่ทำการวัดผลเชิงคุณภาพแทน ทั้งนี้เพื่อนำผลไปวางแผนการศึกษาขั้นรายละเอียดต่อไป (โดยดูรายละเอียดวิธีการวิจัยในบทที่ 3)

2.3.3 ศึกษาหาปริมาณของสารรวมตะกอนที่เหมาะสม ในการรวมตะกอนขั้นรายละเอียด โดยอาศัยผลจากการศึกษาขั้นต้นและทำการศึกษาค้นคว้ากับการศึกษาขั้นต้น แต่วัดผลเชิงปริมาณโดยวัดค่าตัวแปร ดังนี้ คือ พีเอช ความขุ่น และปริมาณของแข็งแขวนลอย (โดยดูรายละเอียดวิธีการวิจัยในบทที่ 3)

2.3.4 การสร้างระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ (โดยดูรายละเอียดวิธีการวิจัยในบทที่ 4)

2.3.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย โดยนำชนิด ปริมาณสารรวมตะกอน และพีเอชที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองข้อ 2.3.3 มาทำการศึกษาประสิทธิภาพการรวมตะกอนและการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย โดยศึกษาที่ค่าความดัน ระยะเวลาอัดอากาศในถังอัดอากาศ และระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอนที่แตกต่างกัน จากนั้นนำมาวัดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความขุ่น พีเอช บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ไชมันของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมด ตลอดจนคำนวณหาปริมาณตะกอนลอยอบแห้งที่นำกลับและเปอร์เซ็นต์การนำกลับโปรตีนในรูปทีเคเอ็นรวมทั้งปริมาณของสารโปรตีนและไขมันในตะกอนลอยที่นำกลับ (โดยดูรายละเอียดวิธีการวิจัยในบทที่ 4)

2.3.6 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการศึกษา

บทที่ 3

การศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิและการศึกษาขั้นต้น

3.1 คำนำ

ในการศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด เป็นการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานและเข้าใจลักษณะของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น จะได้ใช้วางแผนในการศึกษาขั้นต่อไป ซึ่งเป็นการศึกษาขั้นต้น โดยเป็นการศึกษาด้วยวิธีการทดสอบอย่างง่ายและใช้การวัดผลเชิงคุณภาพ เพื่อดูความเป็นไปได้ของการประยุกต์วิธีการรวมและลอยตะกอนสำหรับน้ำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งซูริมิ แล้วต่อด้วยการศึกษาขั้นรายละเอียดด้วยวิธีทดสอบอย่างง่ายเช่นเดิม แต่ทำการวัดผลด้วยการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อให้สามารถเลือกชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนตลอดจนค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม

3.2 วิธีวิจัย

3.2.1 วิธีการศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิ

ก. ศึกษาเฉพาะน้ำทิ้งที่ไหลลงสู่ถังรวมน้ำทิ้งของทางโรงงาน (ดูรูปที่ 3.1) ซึ่งทางโรงงานมีการผลิตซูริมิอยู่ 3 สายการผลิต (ดูรูปที่ 3.2-3.4) โดยที่ถังรวมน้ำทิ้งนี้จะเป็นน้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาสดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จากสายการผลิตที่ 1 และสายการผลิตที่ 2 แล้วลงสู่ถังรวมน้ำทิ้งรวมทั้งน้ำทิ้งที่ไหลออกจากถัง เนื่องจากในกระบวนการผลิตซูริมิ ขั้นตอนการล้างเนื้อปลาสดเป็นส่วนที่สำคัญจะเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น เลือด เศษปลา ไขมัน องค์กรกอบที่ละลายน้ำ ออกจากเนื้อปลาสด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาว และมีความสามารถในการเกิดเจลที่ดี (จักรีทองเรือง, 2542)

ข. การศึกษาปริมาณน้ำทิ้ง โดยวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำทิ้งที่มาจาก การล้างเนื้อปลาสด (ดูรูปที่ 3.5) ซึ่งจะทำการวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง คือ จุดที่ 1, 2 และ 3 และน้ำทิ้งที่ออกจากถัง คือ จุดที่ 4 และ 5 โดยใช้กระบอกตวง และนาฬิกาจับเวลา ในการวัดแต่ละครั้ง เนื่องจากน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายน้ำล้างเนื้อปลาสดของ แต่ละจุดที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง

ค. การศึกษาลักษณะน้ำทิ้ง จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากการล้างเนื้อปลาสดในถังรวมน้ำทิ้ง ซึ่งทางโรงงานได้จัดวางไว้เพื่อรวบรวมน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยมีน้ำทิ้งเข้าสู่ถัง 3 จุด และท่อระบายออกจากถังอีก 2 จุด (ดูรูปที่ 3.5) ได้แก่

จุดที่ 1 เป็นน้ำทิ้งจากตะแกรงหมุนแยกน้ำออกจากเนื้อปลาสดครั้งที่ 1 ของสายการผลิตที่ 1

จุดที่ 2 เป็นน้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาสด 2 ครั้งของสายการผลิตที่ 2

จุดที่ 3 เป็นน้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาสดครั้งที่ 2 ของสายการผลิตที่ 1

จุดที่ 4 เป็นน้ำทิ้งส่วนล่อยที่ออกจากถังรวมลงท่อระบายก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

ของโรงงาน

จุดที่ 5 เป็นน้ำทิ้งส่วนกันถังที่ออกจากถังรวมเพื่อเข้าสู่ระบบการนำกลับเนื้อปลาสดของ

โรงงาน

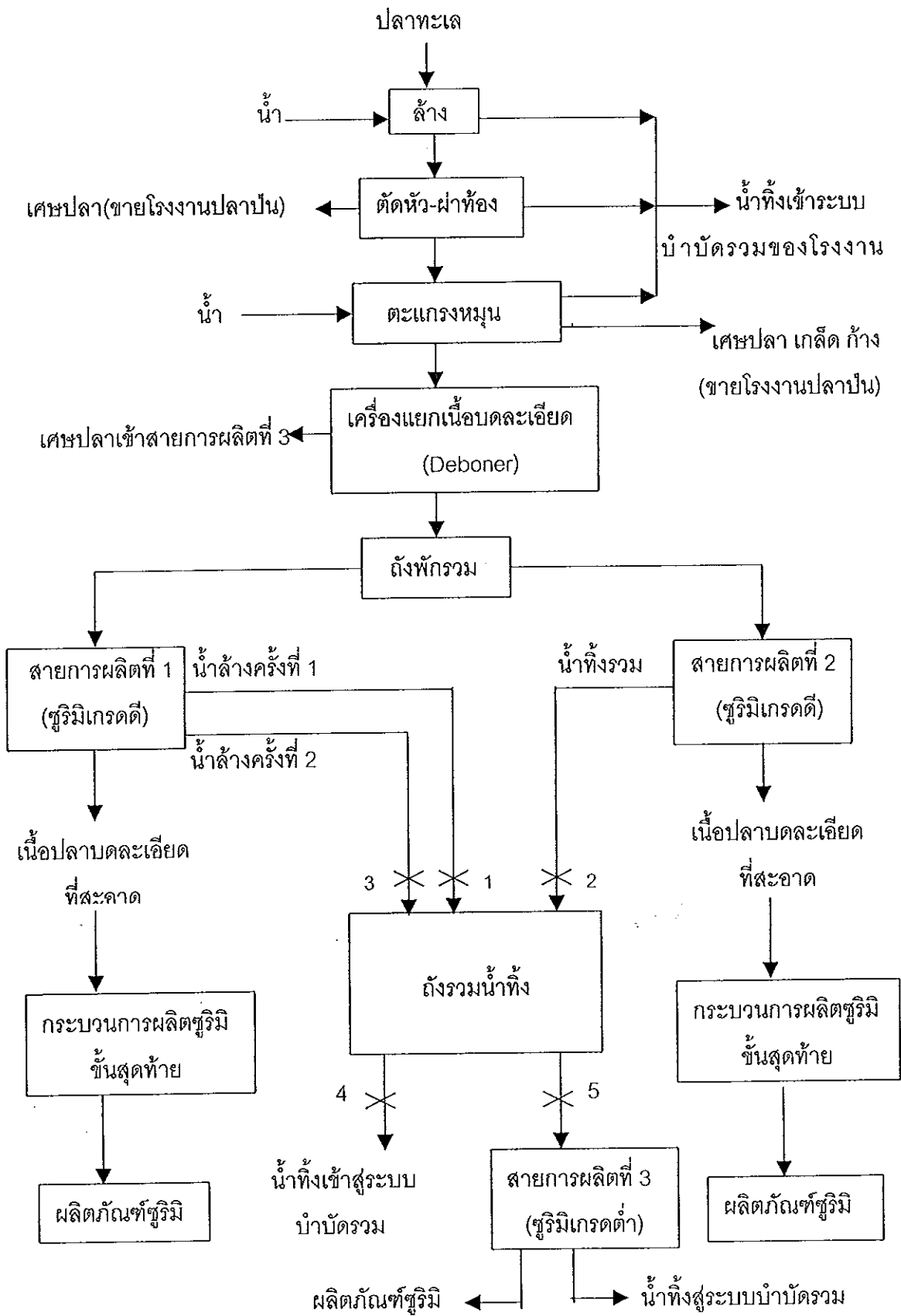
ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งทั้ง 5 จุด แบบ Grab sample ของแต่ละจุด ในช่วงเวลาที่มีการล้างเนื้อปลาสด ทำการเก็บ 3 ช่วงเวลาในแต่ละจุดเวลาห่างกันประมาณ 2 ชั่วโมงแล้วนำตัวอย่างที่เก็บได้ทั้ง 3 ครั้งมาผสมกัน และนำมาวิเคราะห์ทางเคมี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในช่วงเวลา 2 สัปดาห์แล้วหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นค่าตัวแทนของน้ำทิ้งแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่ศึกษาและวิธีวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์

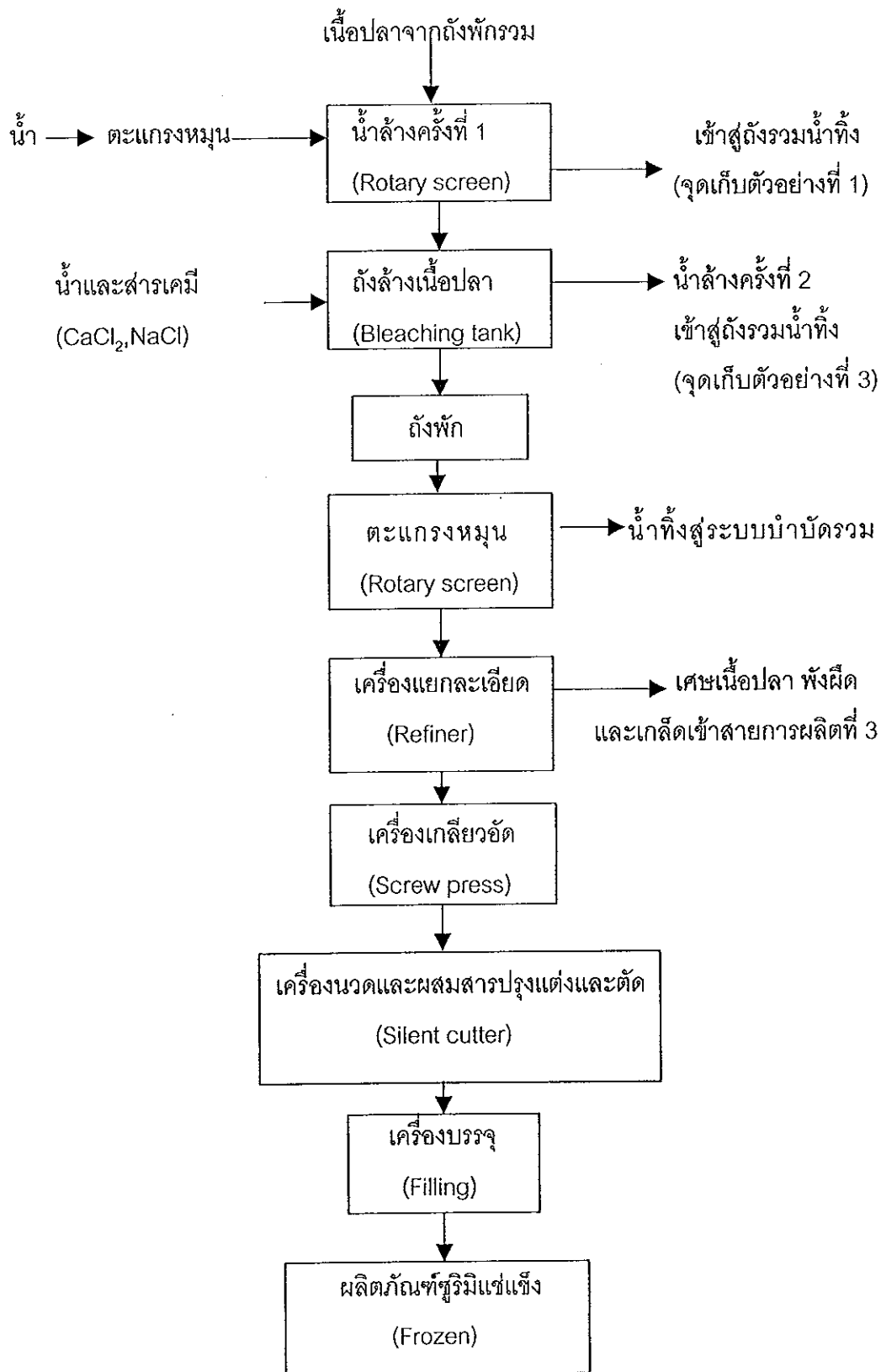
ตัวแปรคุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์ *
pH	pH meter
Temperature	Thermometer
Turbidity	Turbidimeter
Suspended solids	Gravimetric method
Total solids	Gravimetric method
โปรตีนในรูปของ Total kjeldahl nitrogen **	Kjeldahl method
Fat	Soxhlet method
BOD ₅	Azide modification method
COD	Dichromate method

หมายเหตุ * : ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามที่ระบุใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 1995)

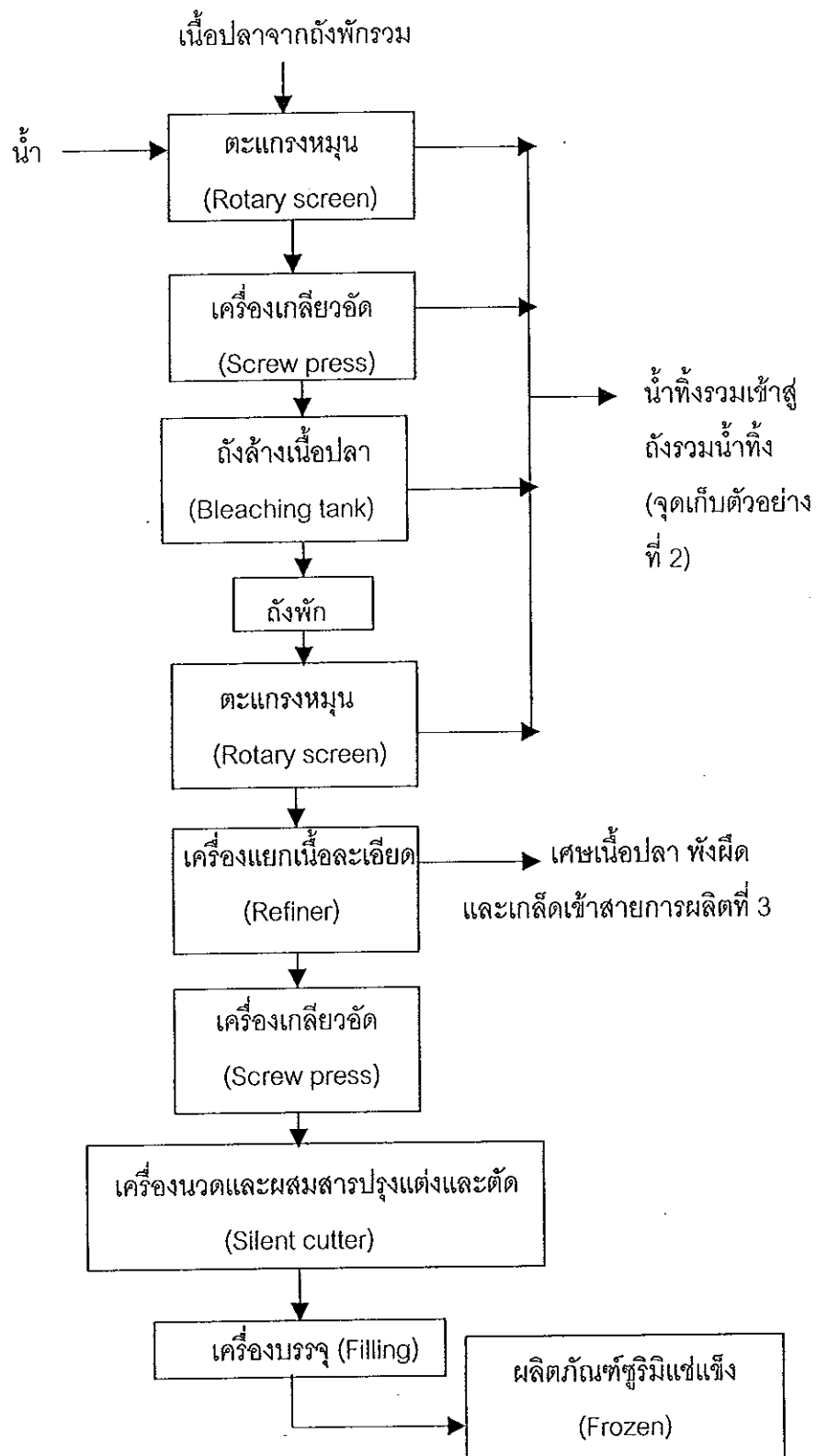
** : การหาโปรตีนในรูป TKN เนื่องจากในขั้นตอนของกระบวนการผลิตซูริมีไม่มีการเติมสารแอมโมเนีย และน้ำทิ้งที่นำมาศึกษาจะทำการเก็บทันทีที่มีการระบายน้ำล้างเนื้อปลาบดซึ่งอุณหภูมิของน้ำทิ้งจะอยู่ในช่วง 9-10 °C ตลอดจนสารในน้ำทิ้งส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ คือ เศษเนื้อปลาบดนั่นเอง ทำให้การหาปริมาณโปรตีนจึงสามารถใช้วิธีการในรูปที่เคเอ็นได้ แต่ปริมาณโปรตีนที่ได้ไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของโปรตีน



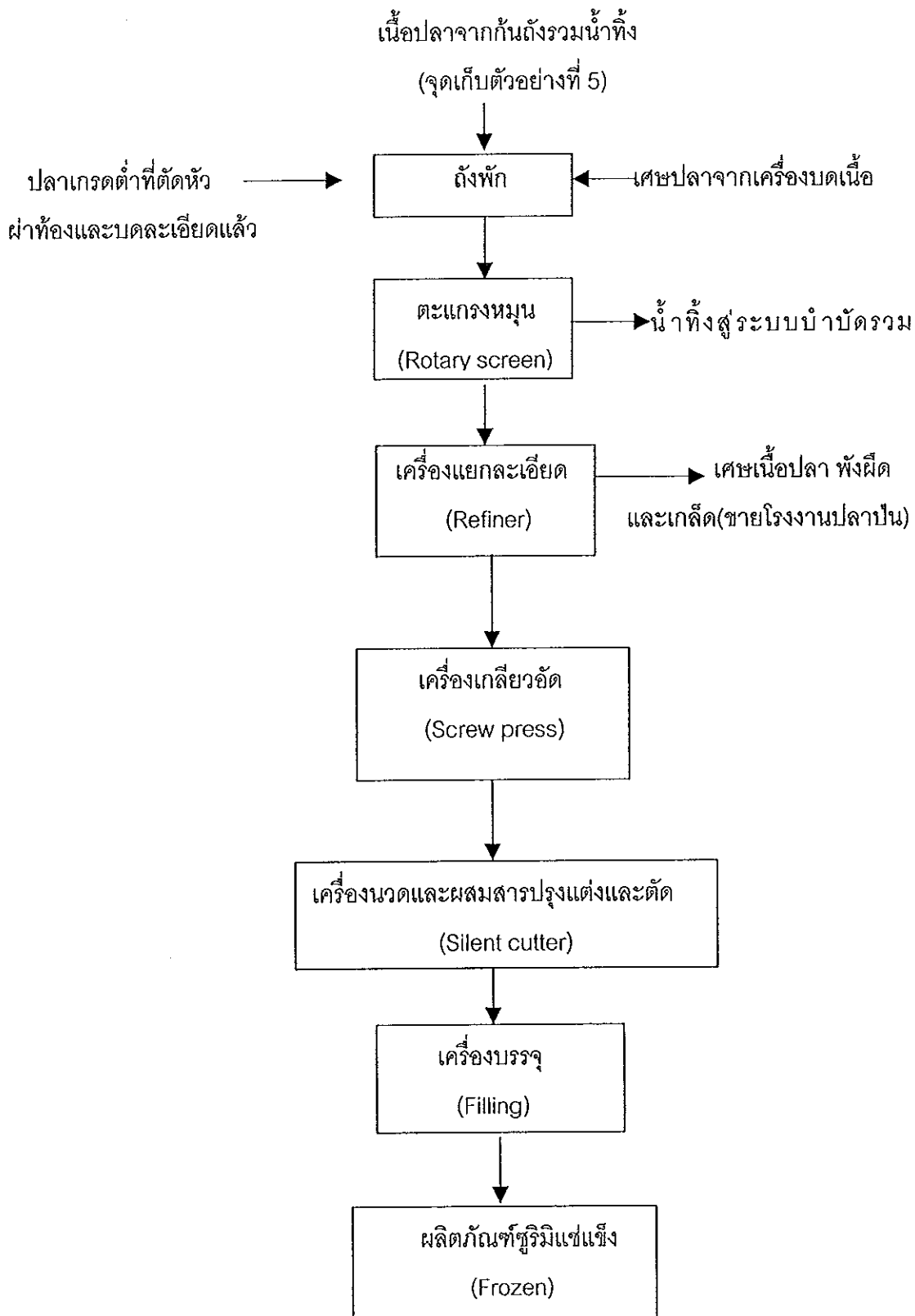
รูปที่ 3.1 ผังกระบวนการผลิตซูริมิของ บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด



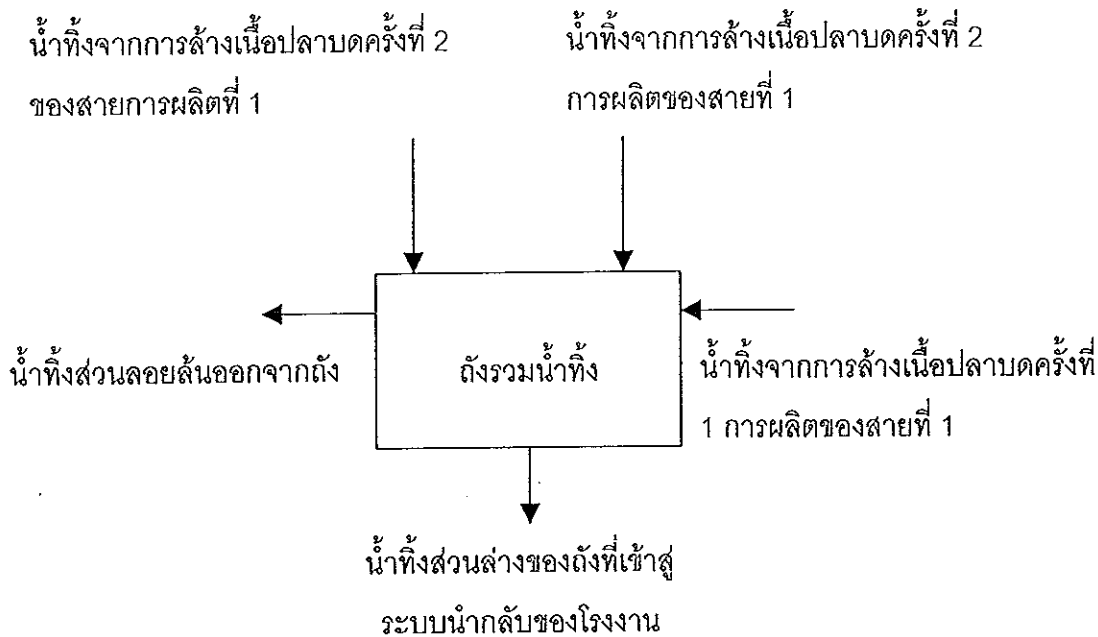
รูปที่ 3.2 ผังกระบวนการผลิตซูริมิของสายการผลิตที่ 1 บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด



รูปที่ 3.3 ผังกระบวนการผลิตซูริมิของสายการผลิตที่ 2 บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด



รูปที่ 3.4 ผังกระบวนการผลิตซูริมิของสายการผลิตที่ 3 บริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด



รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง (ดูรายละเอียดของกระบวนการผลิตในแต่ละจุด รูปที่ 3.1)

3.2.2 การศึกษาขั้นต้น

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการรวมและลอยตะกอน และหาชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนตลอดจนระดับพีเอชที่เหมาะสมอย่างง่าย โดยเลือกใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีเอคริลามิด ชนิดประจุบวก (Polyacrylamide) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose) และปูนขาว (Lime) เป็นสารรวมตะกอนสำหรับการทดลอง ทำการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งจากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุด (ดูรูปที่ 3.1) ซึ่งต้องทำการทดลองให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 5 วันนับจากวันเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง โดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 4 องศาเซลเซียส เพราะหากเก็บไว้นานจะทำให้ลักษณะของน้ำทิ้งเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เช่น มีกลิ่นและสีน้ำเปลี่ยนหลังจากเก็บไว้ 7 วัน ซึ่งการศึกษาขั้นต้นจะทำการทดลอง ดังนี้

ก.รินน้ำทิ้งลงในหลอดทดลอง (Vial) ขนาด 60 มิลลิลิตร ในปริมาณ 30 มิลลิลิตร

ข.ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้ง โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล เดิมสารเคมีในการรวมตะกอน ซึ่งมีเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน ดังแสดงตารางที่ 3.2

ค.ปิดฝาแล้วเขย่าแรงๆ โดยทำการควบคุมแรงในการเขย่าและจับเวลาให้เท่ากันทุกครั้ง ในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนในลักษณะลอยด้วยอากาศละลาย (DAF) เนื่องจากในช่วงของการเขย่าอากาศส่วนหนึ่งในหลอดทดลอง จะละลายเข้า

ปะปนกับน้ำและเมื่อหยุดเขย่าจะทำให้เกิดฟองอากาศเกาะที่ผิวของของอนุภาคแขวนลอยในน้ำ และพาลอยขึ้นสู่ผิวของน้ำ

ง. ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการเปลี่ยนแปลงในเวลา 0-60 นาที บันทึกผลการทดลองของลักษณะ น้ำเป็นระดับเชิงคุณภาพ

จ. สรุปผลและนำมาวางแผนการทดลองขั้นต่อไป

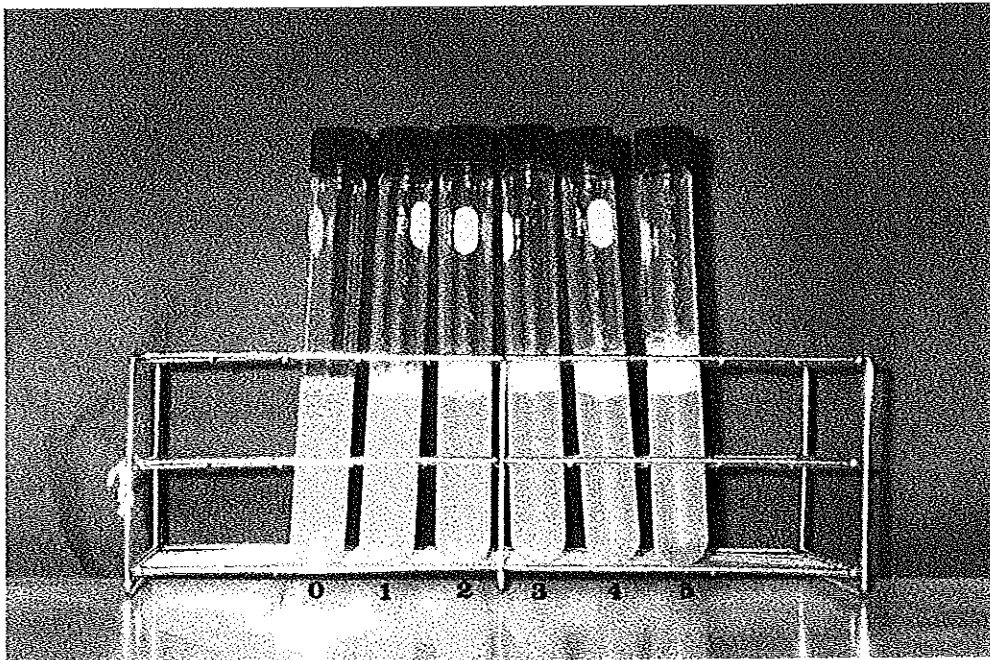
ในการประเมินการผลเชิงคุณภาพนั้นอาศัย การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำทั้ง ที่ ผ่านกระบวนการรวมตะกอนในเวลา 0-60 นาที โดยแบ่งเป็นระดับคุณภาพต่างๆเท่าที่จะสามารถ แยกได้โดยการให้สายตาและการจับเวลา ซึ่งแยกออกเป็นได้ 5 ระดับ ในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการรวมตะกอน

ชุดการทดลอง	เงื่อนไข	การปรับ pH
ก	1.สารรวมตะกอน -ปูนขาว 0-1,000 มก./ล -โพลีคริลามีด ชนิดประจุบวก 0-50 มก./ล -คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 0-3,000 มก./ล	ไม่มี
ข	2.สารรวมตะกอน จากการทดลองชุด ก -โพลีคริลามีด ชนิดประจุบวก -คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	4-6.5
ค	3.สารรวมตะกอน -โพลีคริลามีด ชนิดประจุบวก 0-40 มก./ล -คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 0-1,200 มก./ล	พีเอชที่ได้จากการทดลองชุด ข

ตารางที่ 3.3 ลักษณะน้ำที่ระดับคุณภาพต่างๆกันสำหรับการประเมินผล

ระดับที่	ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ
0	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ 0-60 นาที
1	เริ่มมีการก่อดตะกอนใน 2 นาที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 30 นาที ชั้นน้ำขุ่น
2	เริ่มมีการก่อดตะกอนใน 1 นาที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 20 นาที ชั้นน้ำขาวขุ่นจาง
3	เริ่มมีการก่อดตะกอนใน 30 วินาที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 15 นาที ชั้นน้ำขาวขุ่นจาง
4	เริ่มมีการก่อดตะกอนทันที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 5 นาที ชั้นน้ำใส
5	เริ่มมีการก่อดตะกอนทันที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2 นาที ชั้นน้ำใส



รูปที่ 3.6 ลักษณะน้ำที่ระดับคุณภาพต่างๆกันสำหรับการประเมินผล

3.2.3 การศึกษาชั้นรายละเอียด

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อหาขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนที่เหมาะสม โดยทดลองในกรวยทดลองที่มีปริมาตรมากกว่าหลอดทดลองในการศึกษาขั้นต้น และทำการประเมินผลจากผลวิเคราะห์คุณภาพเชิงปริมาณ ทั้งนี้มีวิธีการทดลอง ดังนี้

ก.รินน้ำลงในกรวยแบบมีจุกปิด ขนาด 250 มิลลิลิตร

ข.เติมสารรวมตะกอน ขนาด 30,35 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค.ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ

ง.ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผลการทดลอง

จ.ใส่น้ำใสและตะกอนที่แยกได้ มาทดลองหาค่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดไว้

(ดูตารางที่ 3.1)

ฉ.สรุปผลการทดลอง และนำมาวางแผนการทดลองขั้นต่อไป

3.3 ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานชุบสีของบริษัท แปซิฟิคแปรรูป สัตว์น้ำ จำกัด

3.3.1 ปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้ง

ผลการศึกษา พบว่า แหล่งที่มาของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบสีของบริษัท แปซิฟิคแปรรูป สัตว์น้ำ จำกัด มีผังการผลิตดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยสายการผลิต 2 สาย โดยทางโรงงานจะทำการระบายน้ำทิ้งทุกครั้งที่มีการผลิต น้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาสดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จากสายการผลิต 2 สาย จะไหลลงสู่ถังรวมน้ำทิ้ง ซึ่งมีลักษณะเป็นถังสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้น้ำไหลล้นออกทางตอนปลาย (จุดเก็บตัวอย่างที่ 4) ลงสู่ท่อระบายน้ำเพื่อกำจัดไขมันที่ลอยบนผิวน้ำทิ้ง รวมทั้งสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ทั้งนี้ทางตอนล่างของถังมีท่อต่อกับเครื่องสูบน้ำเพื่อสูบน้ำทางตอนล่าง (จุดเก็บตัวอย่างที่ 5) ไปเข้าระบบนำกลับเนื้อปลาสดของโรงงาน

ลักษณะของน้ำทิ้งในถังรวมน้ำทิ้งจะมีเศษเนื้อปลา ไขมัน เลือด และสิ่งปนเปื้อนต่างๆ รวมอยู่ ปริมาณสารเหล่านี้จะขึ้นกับชนิดของปลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละครั้ง ซึ่งอาจชี้ให้เห็นว่าน้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างเนื้อปลาสดที่ตำแหน่งที่มีการระบายพวกไขมันหรือโปรตีนออกมา จะมีผลทำให้ปริมาณสารที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีมีปริมาณมลสารสูง

ในการผลิตชุบสีปริมาณน้ำที่ใช้ล้างตลอดจนจำนวนครั้งที่ล้างจะขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของปลาที่ใช้ รวมทั้งปริมาณปลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละวัน (Sonu,1986) โดยส่วนใหญ่ในการผลิตทาง บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด ให้น้ำประมาณ 600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับกิจกรรมทั้งหมดของโรงงาน ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น ณ จุดเก็บตัวอย่างน้ำต่างๆ (ดูรูปที่ 3.5) ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานหัตถิของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

จุดเก็บ ตัวอย่าง น้ำ	ตัวแปรคุณภาพน้ำ							
	Flow rate (l/min)	pH	Temp °C	Turbidity (NTU)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TKN (mg/l)	Fat (mg/l)
1	91.5	6.95	10	827	2,220	9,378	116.5	396.6
	146	6.98	10	1,000	2,510	11,660	150.2	522.7
	127	6.92	10	709	1,640	8,674	157.5	465.4
เฉลี่ย	121.5	6.95	10	845.3	2,123.3	9,904	141.4	461.5
2	159	6.96	10	479	2,510	7,496	208.2	287.5
	88.5	6.92	10	1,000	2,900	11,222	238.4	335.6
	172.5	6.94	9	943	2,700	9,276	243.6	348
เฉลี่ย	140	6.94	9.7	807.3	2,703.3	9,331.3	230.1	323.7
3	36.9	6.83	9	254	2,030	4,876	214.3	480
	23.2	6.86	8	532	2,840	9,688	240.2	978
	22.4	6.84	9	745	3,440	16,232	262.8	1279
เฉลี่ย	27.5	6.84	8.7	510.3	2,770	10,265	239.1	912.3
4	120.2	6.93	10	726	2,440	8,156	162	1721
	123	6.96	9	953	2,930	8,994	271.3	1982
	22.4	6.92	10	672	2,500	8,632	256.2	1938
เฉลี่ย	88.5	6.94	9.7	783.7	2,623.3	8,594	229.8	1780.3
5	180.6	6.92	10	734	2,040	6,300	180.6	119.3
	183	6.91	11	586	2,300	6,508	192.8	128
	191.4	6.94	10	446	1,180	5,892	260.4	140
เฉลี่ย	185	6.92	10.3	678.7	1,840	6,233.3	211.3	129

3.3.2 สรุปการศึกษาปริมาณน้ำทิ้งและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิบริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

จากการศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานซูริมิของบริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด พบว่า ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุด จากถังรวมน้ำทิ้งจะมีความแปรปรวนตามลักษณะเฉพาะของแต่ละจุด ทำให้องค์ประกอบของน้ำทิ้งในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกัน บางจุดจะมีความเข้มข้นของมลสารสูง โดยเฉพาะจุดที่ 4 มีปริมาณไขมันสูงกว่าจุดอื่นอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นน้ำส่วนล่อยที่ออกจากถังรวมน้ำทิ้งซึ่งมาจากการระบายน้ำล้างเนื้อปลาบดที่มีการกำจัดไขมันออกจากเนื้อปลาบดให้มากที่สุด และจุดที่ 2 จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีปริมาณที่เคเอ็นใกล้เคียงกัน

ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นมีค่าโดยประมาณใกล้เคียงกันทุกจุด เช่น ค่าความเป็นกรดต่าง จะอยู่ในช่วง 6.8-7.0 ซึ่งสอดคล้องกับการใช้น้ำล้างเนื้อปลาบดค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6.5-7.0 เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของเจลที่ต้องการและการแยกน้ำจากเนื้อปลาบดง่ายขึ้น (Okada,1981) นอกจากนี้ในการใช้น้ำล้างเนื้อปลาบดยังมีการเติมสารเพื่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ เช่นกัน เช่น แคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์

ค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งโดยเฉลี่ยอยู่ประมาณ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ล้างเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นกัน หากอุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนสูญเสียธรรมชาติ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของเจลที่ได้

ดังนั้น แนวทางการศึกษาขั้นต้น เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโดยการลอยด้วยอากาศละลาย โดยจะศึกษาแบบแยกจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ลงสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ 3) และน้ำทิ้งที่ออกจากถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 4) และศึกษาน้ำทิ้งรวมที่ลงสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ 3) ส่วนจุดที่ 5 นั้นไม่นำมาศึกษาเนื่องจากเป็นจุดที่เข้าสู่ระบบนำกลับเนื้อปลาบดของโรงงานอีกครั้งหนึ่ง และในการศึกษาขั้นรายละเอียด การวัดตัวแปรคุณภาพน้ำทางเคมีอย่างง่าย ต้องทำการศึกษาทุกตัวแปร เพราะว่าการทดลองปริมาณและลักษณะน้ำทิ้งปริมาณตัวแปรคุณภาพน้ำไม่มีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน ดังได้กล่าวบทสรุปข้างต้น

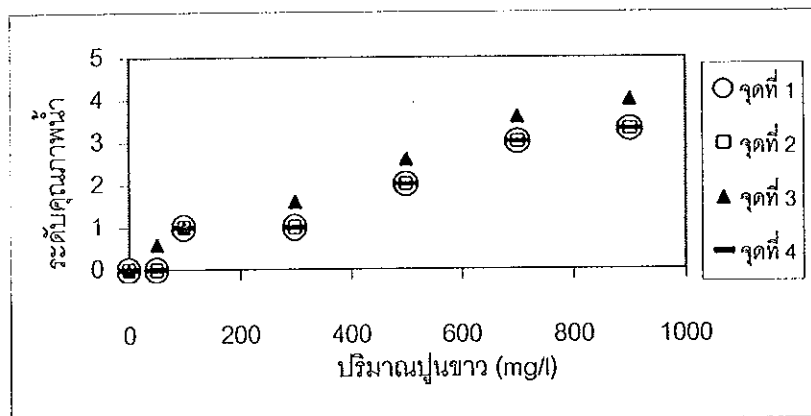
3.4 ผลการศึกษาขั้นต้น

3.4.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการรวมและล่อยตะกอน โดยแยกศึกษาแต่ละจุด

สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ3) และล่อยออกจากถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 4) โดยใช้กระบวนการเดียวกัน

ก. การใช้ปูนขาวเป็นสารรวมตะกอน

จากการทดลองโดยใช้ปูนขาว ในช่วงความเข้มข้น 0-1,000 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่าที่ความเข้มข้นของปูนขาวเท่ากับ 50 มก./ล เริ่มมีการก่อตะกอนในตัวอย่างน้ำทิ้งจุดที่ 3 โดยเกิดการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 5-10 นาที และเมื่อใช้ปูนขาวเพิ่มขึ้น จึงเริ่มมีการก่อตะกอนในน้ำทิ้งทั้ง 4 ตัวอย่าง โดยมีระดับคุณภาพน้ำที่ 1 ซึ่งชั้นน้ำขาวขุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวมากขึ้น จนถึง 500 มก./ล ชั้นน้ำเริ่มใสขึ้นแต่ขุ่นบ้าง ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 2-3 โดยระดับคุณภาพน้ำเพิ่มขึ้นถึง 3-4 เมื่อปูนขาวสูงถึง 900 มก./ล (ดูรูปที่ 3.7 ประกอบ)



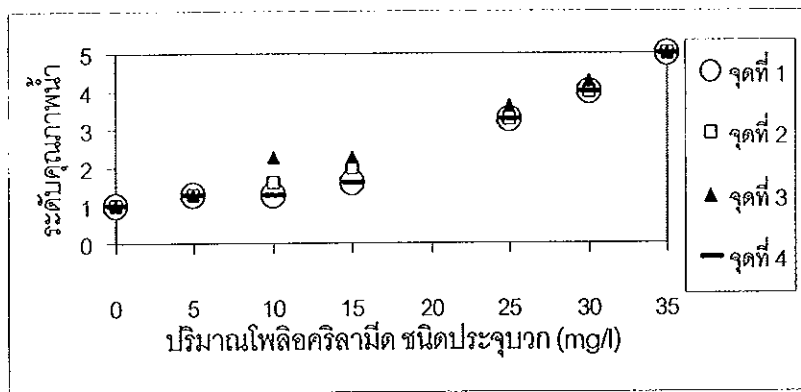
รูปที่ 3.7 ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้ปูนขาวเป็นสารรวมตะกอน (ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 3)

ข. การใช้โพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน

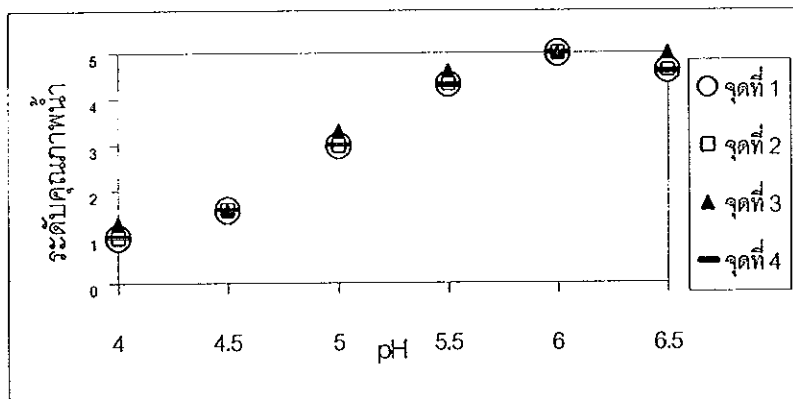
จากการทดลองโดยใช้โพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่า โพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก 5 มก./ล เริ่มทำให้เกิดการก่ตะกอนเล็กน้อยในตัวอย่างน้ำทุกจุด และก่ตะกอนแยกลอยขึ้นมาได้ดีเมื่อเพิ่มปริมาณโพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวกมากขึ้น และที่ความเข้มข้น 25 มก./ล ขึ้นไปเกิดการก่และลอยตะกอนได้ดีสำหรับตัวอย่างน้ำจุดที่ 3 เนื่องจากเป็นน้ำทิ้งมีเศษเนื้อปลาและไขมันเป็นส่วนใหญ่มากกว่าจุดอื่นๆ จึงทำให้เกิดการก่และลอยได้ดี และสำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งจุดที่ 1,2 และ 4 พบว่า ที่ปริมาณ 35 มก./ล ขึ้นไป มีการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2-5 นาที ขึ้นน้ำใส โดยมีระดับคุณภาพน้ำที่ 4-5 (ดูรูปที่ 3.8 ก. ประกอบ)

เมื่อทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้อยู่ระหว่าง 4-6.5 และใช้โพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก ปริมาณ 25 สำหรับตัวอย่างน้ำจุดที่ 3 และ 35 มก./ล สำหรับตัวอย่างน้ำจุดที่ 1,2 และ 4 ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นการก่ตะกอน พบว่า ที่พีเอชเท่ากับ 5 เริ่มมีการก่ตะกอนใน 2-5 นาที แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 15 นาที ขึ้นน้ำขาวขุ่นจาง และเมื่อพีเอชที่ 5.5 ขึ้นไปเกิดการก่และลอยตะกอนได้ดี ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 4-5 แต่เมื่อพีเอชน้อยกว่า 4.5 การก่และลอยตะกอนจะลดลง (ดูรูปที่ 3.8 ข. ประกอบ)

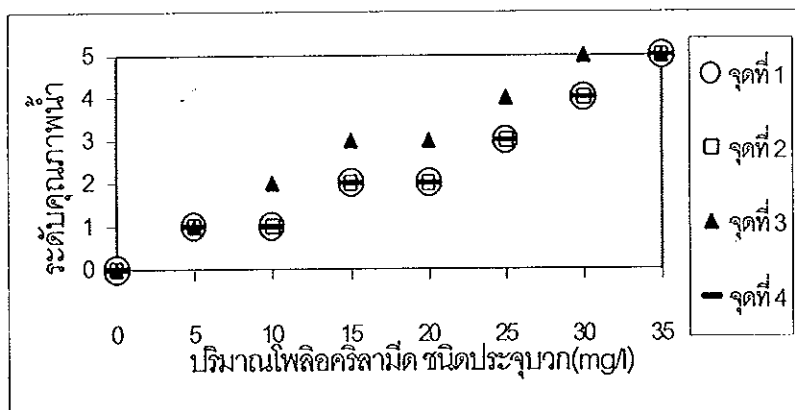
เมื่อศึกษาโดยปรับระดับพีเอชให้เท่ากับ 6 และใช้โพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก ในช่วงความเข้มข้น 0-40 มก./ล พบว่า เริ่มมีการก่ตะกอนบ้างเมื่อใช้ปริมาณโพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก และเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น เป็น 30 มก./ล จะเกิดการก่และลอยตะกอนได้ดี แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2 นาที ขึ้นน้ำใส ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 4-5 (ดูรูปที่ 3.8 ค. ประกอบ)



ก. ใช้โพลีอะครีลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณต่าง ๆ โดยไม่มีสารปรับพีเอช



ข. ใช้โพลีอะครีลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณ 35 มก./ล ที่พีเอชต่าง ๆ



ค. ใช้โพลีอะครีลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณ 0-40 มก./ล ที่พีเอชเท่ากับ 6

รูปที่ 3.8 ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้โพลีอะครีลาไมด์ ชนิดประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน

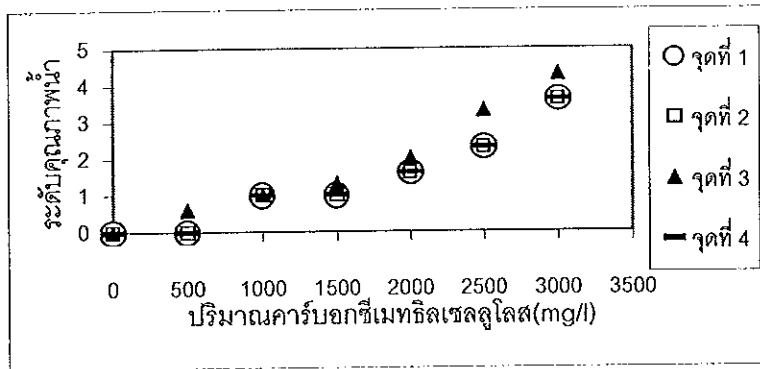
(ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 4-6)

ค. การศึกษาโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นสารรวมตะกอน

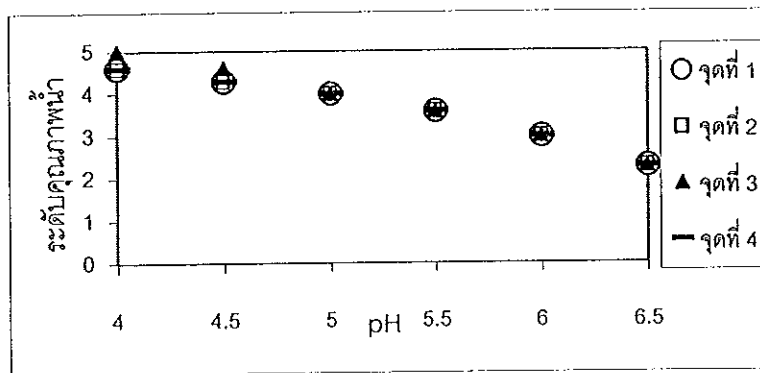
จากการทดลองโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0-2,000 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่า ต้องใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณสูงถึง 500 มก./ล ขึ้นไป จึงเริ่มมีการก่ตะกอนเฉพาะตัวอย่างน้ำจุดที่ 3 และ 1,000 มก./ล เริ่มมีการก่ตะกอนในตัว อย่างน้ำทั้งจุดอื่นๆด้วย โดยที่ต้องใช้ปริมาณสูงถึง 2,500-3,000 มก./ล จึงจะได้ผลการแยกชั้นน้ำ กับชั้นตะกอนได้ดี มีการแยกชั้นน้ำกับตะกอนใน 3-5 นาที ชั้นน้ำที่แยกได้ยังขุ่น (ดูรูปที่ 3.9 ก. ประกอบ)

เมื่อทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้อยู่ระหว่าง 4-6.5 และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก./ล พบว่า พีเอชเท่ากับ 4 เริ่มมีการก่ตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 10-15 นาที ได้ชั้นน้ำที่ใส โดยที่พีเอชสูงกว่านี้คุณภาพน้ำจะเริ่มลดลง (ดูรูปที่ 3.9 ข. ประกอบ)

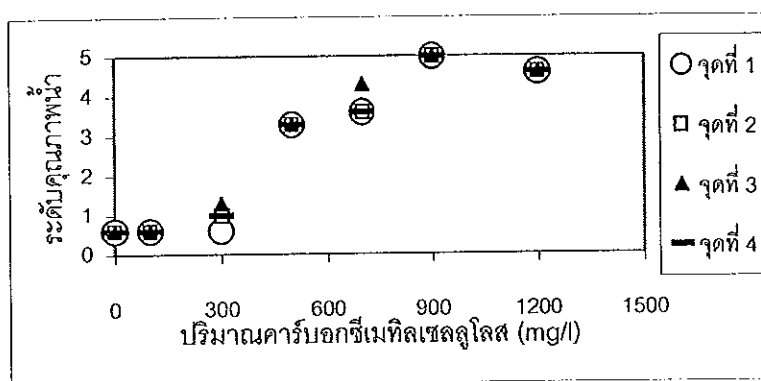
เมื่อศึกษาโดยปรับระดับพีเอชให้เท่ากับ 4 และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในช่วงความเข้มข้น 0-1,200 มก./ล พบว่า ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ตั้งแต่ 300 มก./ล ขึ้นไป มีการก่ตะกอนสำหรับตัวอย่างน้ำทุกจุด แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 30 นาที ได้ชั้นน้ำขุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 700 มก./ล ขึ้นไป จะเกิดการก่และลอยตะกอนได้ดี ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 4-5 แต่ถ้าเพิ่มปริมาณสูงมากกว่า 1,200 มก./ล ระดับคุณภาพน้ำจะเริ่มลดลง (ดูรูปที่ 3.9 ค. ประกอบ)



ก. ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่าง ๆ โดยไม่มีการปรับพีเอช



ข. ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก/ล ที่มีพีเอชต่าง ๆ



ค. ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 0-1,200 มก./ล ที่พีเอชเท่ากับ 4

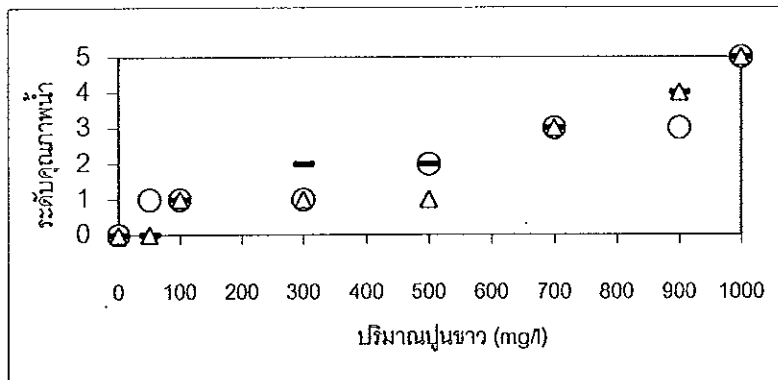
รูปที่ 3.9 ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารรวมตะกอน
(ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 7-9)

3.4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการรวมและลอยตะกอน โดยศึกษารวมแต่ละจุดสำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ3)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งที่เก็บจากจุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่3 ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำที่ไหลเข้าถังรวมน้ำทิ้งโดยนำมารวมกันตามสัดส่วนของอัตราการไหลในของแต่ละจุดเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ว่าจะสามารถนำน้ำทิ้งจากสายการผลิตมารวมกันแล้วเข้าสู่กระบวนการนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

ก.การศึกษาโดยใช้ปูนขาวเป็นสารรวมตะกอน

จากการทดลองโดยใช้ปูนขาวในช่วงความเข้มข้น 0-1,000 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่าที่ความเข้มข้นของปูนขาวเท่ากับ 100 มก./ล เริ่มมีการก่ตะกอนในตัวอย่างน้ำทิ้งรวม แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 30 นาที ชั้นน้ำขุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวสูงขึ้น พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 700 มก./ล ชั้นน้ำใส เกิดการก่และลอยตะกอนได้ดี แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 15 นาที ได้ชั้นน้ำใส (ดูรูปที่ 3.10 ประกอบ)



รูปที่ 3.10 ลักษณะน้ำเชิงคุณภาพ เมื่อใช้ปูนขาวเป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม (ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 10)

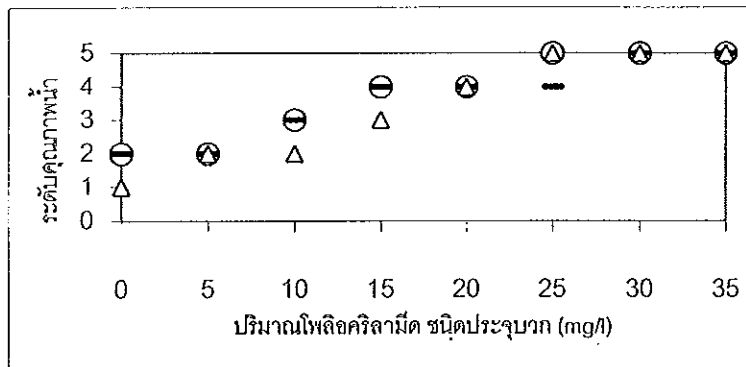
หมายเหตุ : สัญลักษณ์ต่างกัน 3 แบบแทนผลการทดลองแต่ละครั้งจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ข.การศึกษาโดยใช้โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน

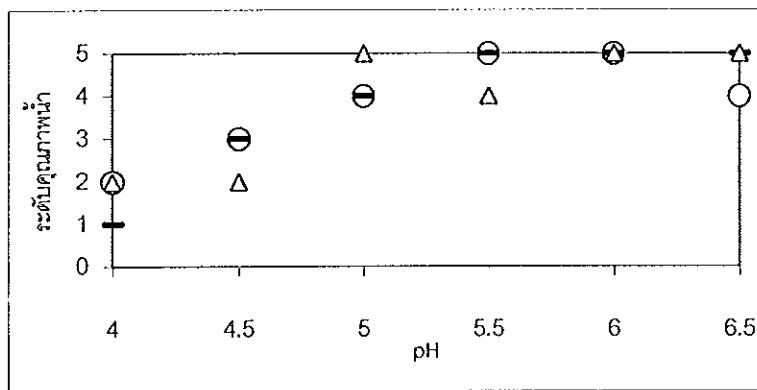
จากการทดลองโดยใช้โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก ในช่วงความเข้มข้น 0-50 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่า ที่ความเข้มข้นของโพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก 5 มก./ล สามารถก่อกและลอยตะกอนแล้ว และที่ 25 มก./ล ขึ้นไปจะเกิดการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2-5 นาที ชั้นน้ำใส ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 4-5 (ดูรูปที่ 3.11 ก.ประกอบ)

เมื่อทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้อยู่ระหว่าง 4-6.5 และใช้โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก ปริมาณ 25 มก./ล พบว่า ที่ระดับพีเอช 5.5-6.5 ได้ผลการแยกดี แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 5-10 นาที ชั้นน้ำใส โดยดีที่สุดในพีเอช 6 ซึ่งมีการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนภายใน 2-5 นาที ชั้นน้ำใส ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 5 (ดูรูปที่ 3.11 ข.ประกอบ)

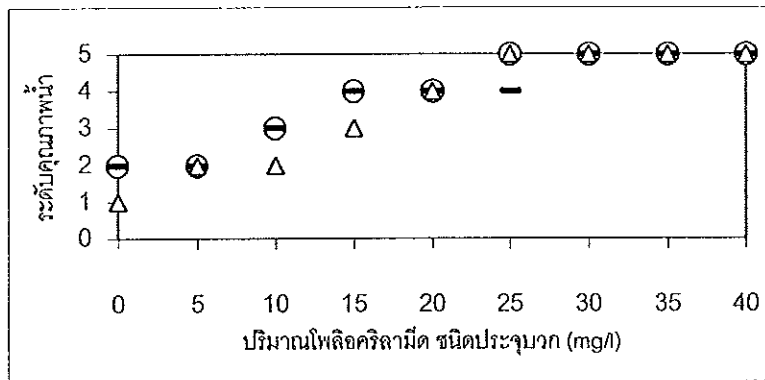
เมื่อศึกษาโดยปรับระดับพีเอชให้เท่ากับ 6 และใช้โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก ในช่วงความเข้มข้น 0-40 มก./ล พบว่า ที่โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก 25 มก./ล ขึ้นไปให้ผลการแยกดี และได้ผลดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 30 มก./ล มีการก่อกตะกอนแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2-5 นาที ชั้นน้ำใส ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 5 (ดูรูปที่ 3.11 ค.ประกอบ)



ก. ใช้โพลิอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณต่าง ๆ โดยไม่มีกรปรับพีเอช



ข. ใช้โพลิอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณ 35 มก/ล ที่พีเอชต่าง ๆ



ค. ใช้โพลิอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณ 0-40 มก/ล ที่พีเอชเท่ากับ 6

รูปที่ 3.11 ลักษณะน้ำแข็งคุณภาพ เมื่อใช้โพลิอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทั้งหมด (ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 11-13)

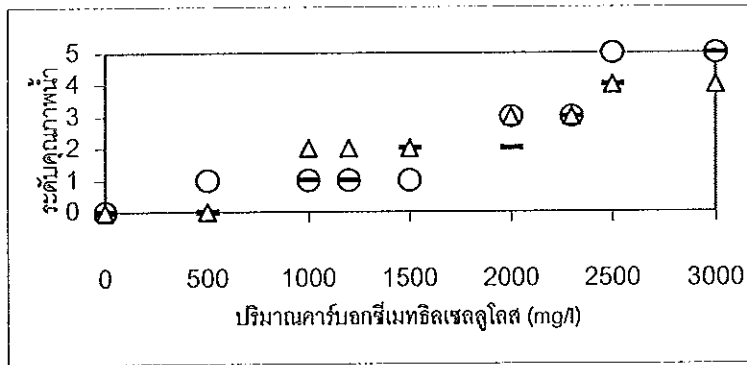
หมายเหตุ : สัญลักษณ์ต่างกัน 3 แบบแทนผลการทดลองแต่ละครั้งจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ค. ผลการศึกษาโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นสารรวมตะกอน

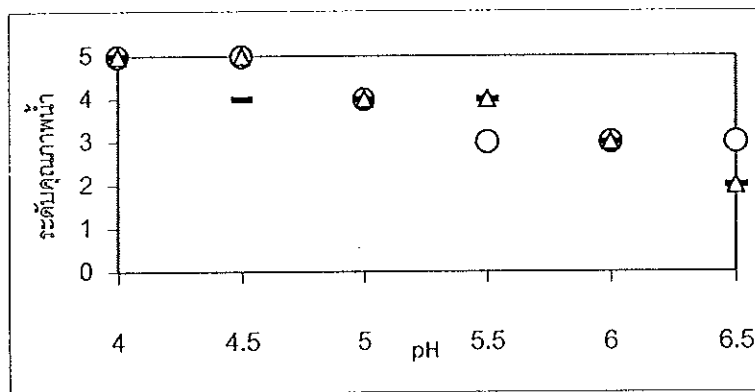
จากการทดลองโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในช่วงความเข้มข้น 0-3,000 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง พบว่า ที่ความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณสูงถึง 1,000 มก./ล ขึ้นไป เริ่มมีการก่ตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 30 นาที ชั้นน้ำขุ่น เมื่อเพิ่มปริมาณสูงถึง 2,500-3,000 มก./ล จึงจะให้ผลการแยกที่ดี แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 2-5 นาที ได้ชั้นน้ำใส ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 4 (รูปที่ 3.12 ก. ประกอบ)

เมื่อทดลองโดยปรับพีเอชของน้ำทิ้งให้อยู่ระหว่าง 4-6.5 และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก./ล พบว่า ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองแยกตามแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ 1,2,3 และ 4 โดยต้องใช้ปริมาณสารสูงจึงเกิดได้ดี และที่พีเอช 4 ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 5 (รูปที่ 3.12 ข. ประกอบ)

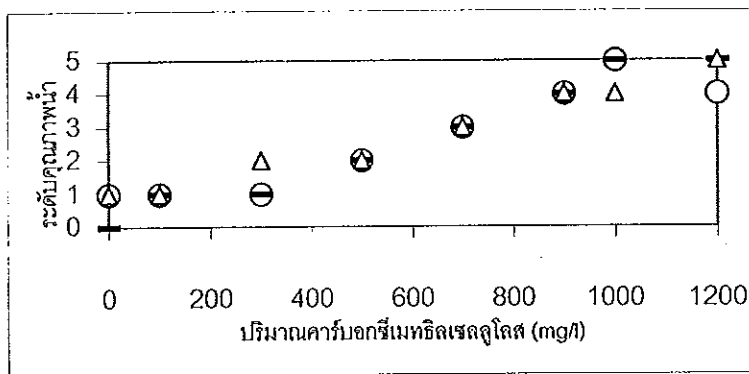
เมื่อศึกษาโดยปรับระดับพีเอชให้เท่ากับ 4 และใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในช่วงความเข้มข้น 0-1,200 มก./ล พบว่า ปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ตั้งแต่ 300 มก./ล ขึ้นไป ยังคง มีการก่ตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 30 นาที ชั้นน้ำขุ่น และเมื่อเพิ่มปริมาณสูงถึง 900 มก./ล เกิดการแยกและลอยได้ดี ได้ระดับคุณภาพน้ำที่ 5 (รูปที่ 3.12 ค. ประกอบ)



ก. ใช้คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่าง ๆ



ข. ใช้คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 1,000 มก/ล ที่มีพีเอชต่าง ๆ



ค. ใช้คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณ 0-1,200 ที่มีพีเอชเท่ากับ 4

รูปที่ 3.12 ลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพ เมื่อใช้คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารรวมตะกอนสำหรับน้ำทิ้งรวม (ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ 14-16)
 หมายเหตุ : สัณยลักษณ์ต่างกัน 3 แบบแทนผลการทดลองแต่ละครั้งจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.4.3 สรุปผลการศึกษาระดับต้น

จากผลการศึกษาระดับต้น สรุปได้ว่า สารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่สุด คือ สารโพลีเอครีลาไมด์ ชนิดประจุบวก ปริมาณ 30-40 มก./ล. โดยไม่ต้องปรับพีเอชของน้ำทิ้งและใช้การรวมน้ำทิ้งที่ไหลเข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ 3) รวมกันตามสัดส่วนของอัตราการไหลของน้ำในแต่ละจุดของตัวอย่าง มาทำการศึกษาขั้นรายละเอียดต่อไป

เนื่องจากในการจัดการรวมน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ3) สามารถจัดการได้สะดวกกว่าการศึกษาแบบแยกแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง เห็นได้จากผลการศึกษาระดับต้น การแยกแต่ละจุดและการรวมจุดในการศึกษาให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนน้ำทิ้งจุดที่ 4 ซึ่งไหลออกจากถังรวมน้ำทิ้งนั้นมาจากน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมนั่นเองแล้วจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดของทางโรงงาน ฉะนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงไม่นำมาศึกษา ดังนั้นการศึกษาระดับรายละเอียดจึงทำการรวมน้ำทิ้งที่ไหลเข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้งที่มาจากการล้างเนื้อปลาสด 2 ครั้งของสองสายการผลิต (จุดที่ 1,2 และ3) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของการนำกลับโปรตีนและไขมันที่ออกจากถังรวมน้ำทิ้งนี้

3.5 ผลการศึกษาชั้นรายละเอียด

3.5.1 การศึกษาการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายชั้นรายละเอียด

จากข้อสรุปในการศึกษาขั้นต้น จึงทำการศึกษารวมตะกอนด้วยสารโพลีคริสลามิด ชนิดประจุบวก ขนาด 30-40 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชน้ำทิ้งและรวมน้ำทิ้งจุดที่ 1,2 และ 3 ตามสัดส่วนอัตราการไหลของน้ำทิ้งในแต่ละจุด แล้วทำการวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำตามที่กำหนดไว้ (ดูตารางที่ 3.1) ได้ผลการทดลอง ดังแสดงในตาราง 3.5

3.5.2 สรุปผลการศึกษาชั้นรายละเอียด

จากผลการศึกษาดังในตารางที่ 3.5 ซึ่งให้เห็นว่า เมื่อใช้ปริมาณสารโพลีคริสลามิด ชนิดประจุบวกสูงขึ้น ปริมาณมลสารในน้ำจะลดลงแต่ไม่มากนัก สามารถลดค่าความขุ่นจาก 960-1,000 NTU ลดลงเหลือ 95-140 NTU และลดปริมาณที่เคเอ็นจาก 600-830 มก./ล ลดลงเหลือ 230-480 มก./ล ส่วนปริมาณไขมันจาก 397-1,363 มก./ล ลดลงเหลือ 35-86 มก./ล ซึ่งปริมาณที่เคเอ็นจะลดลงไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันที่สามารถลดลงได้สูงประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไขมันเป็นสารที่ลอยได้ง่ายในขณะที่ส่วนเนื้อปลาจะมีน้ำหนักมากกว่าจึงมีโอกาสลอยได้น้อยทำให้ได้เปอร์เซ็นต์น้อยกว่า และในการล้างเนื้อปลาบดจะมีการกววเนื้อปลาบดส่งผลให้เกิดการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากเนื้อปลาบดโดยเฉพาะไขมันจะลอยขึ้นมาเมื่อระบายน้ำทิ้งจึงมีผลให้ปริมาณไขมันสูง (Lee,1986) ส่วนปริมาณที่เคเอ็นลดลงประมาณ 40-65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนของโปรตีนที่ไม่สามารถเก็บได้อาจเป็นส่วนของโปรตีนละลายน้ำ (Sacroplasmic protein)

จากผลการศึกษา สรุปได้ว่าที่ปริมาณสารโพลีคริสลามิด ชนิดประจุบวก 35 มก./ล มีประสิทธิภาพในการรวมและลอยตะกอนได้ดี สามารถลดปริมาณที่เคเอ็นและไขมันประมาณ 50-60 และ 90-96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ปริมาณตะกอนลอยอบแห้ง 0.6 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร

ดังนั้น ในการศึกษาด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ จึงเลือกใช้สารโพลีคริสลามิด ชนิดประจุบวกขนาด 35 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้งรวม

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการศึกษาระดับรายละเอียด เมื่อใช้โพลีคริลามีด ชนิดประจุบวกที่ปริมาณต่างๆ

น้ำ+ โพลีคริลามีด ชนิดประจุบวก(mg/l)	ปริมาณมลสารในน้ำทิ้ง (Effluent)							ตะกอนลอย อบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ1ลิตร)
	pH	Turbidity (NTU)	SS (mg/l)	TKN		Fat		
				(mg/l)	%Removal	(mg/l)	%Removal	
(น้ำดิบ)	(6.89)	(1,000)	(2,900)	(600)	-	(397)	-	-
30	6.98	126	300	244	59	39	90	0.4
35	7.03	99	200	230	61	34	91	0.6
40	7.05	73	200	208	65	35	91	0.59
(น้ำดิบ)	(6.92)	(1,000)	(4820)	(829)	-	(1363)	-	-
30	6.95	140	800	480	42	86	94	0.6
35	6.98	129	700	337	59	68	95	0.65
40	9.98	118	620	416	50	67	95	0.74
(น้ำดิบ)	6.95	(960)	(3,660)	(745)	-	(870)	-	-
30	6.99	110	260	405	46	56	94	0.5
35	7.01	95	180	367	51	43	95	0.57
40	7.05	83	180	312	58	38	96	0.6

3.6 สรุป

(1) ผลการศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำทิ้งจากของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด พบว่า คุณภาพน้ำมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันในแต่ละจุด โดยมีปริมาณที่เคเอ็นเฉลี่ยระหว่าง 140-240 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไขมันเฉลี่ยระหว่าง 130-1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณน้ำทิ้งจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันขึ้นกับปริมาณวัตถุดิบ

(2) ผลการศึกษาขั้นต้น แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายสำหรับการนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งซูริมิได้

(3) ผลการศึกษากการรวมตะกอนและลอยตะกอนสำหรับน้ำทิ้งของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด พบว่า การทดลองบำบัดน้ำทิ้งแยกตามจุดน้ำล้างเนื้อปลาสด กับการรวมตัวอย่างน้ำทิ้งเข้าด้วยกัน ให้ผลการทดลองลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด และมีการปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งในสารรวมตะกอนโพลีเอคริลาไมด์ และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสให้อยู่ระหว่าง 4-6.5 ส่วนปูนขาวเป็นสารปรับพีเอชด้วยตัวเองจึงทำการศึกษาเพียงปริมาณที่เหมาะสมในการรวมตะกอนและลอยตะกอนเท่านั้น พบว่า ปูนขาวและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง เมื่อใช้ปริมาณน้อยๆไม่มีการก่อตะกอน และเมื่อเพิ่มปริมาณสารรวมตะกอนมากขึ้น หรือการปรับพีเอชร่วมด้วยของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า มีการก่อตะกอน แยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนชัดเจน ชั้นน้ำใส ซึ่งปูนขาวต้องใช้ปริมาณมากกว่า 700 มก./ล และในกรณีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ต้องใช้ปริมาณมากกว่า 1,000 มก./ล จึงเกิดการรวมตะกอนได้ดีในกรณีปรับพีเอชน้ำทิ้งเป็น 4 ถ้าไม่ปรับพีเอชต้องใช้ปริมาณ 2,500-3,000 มก./ล จึงเกิดการรวมตะกอนได้ดี ส่วนสารโพลีเอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก พบว่าที่ปริมาณ 5 มก./ล สามารถทำให้เริ่มเกิดการรวมตะกอนได้ในตัวอย่างน้ำจุดที่ 3 และน้ำทิ้งรวม (จุดที่ 1,2 และ 3) และให้ผลดีที่ขนาดความเข้มข้น 30-40 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง เกิดการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอนใน 0-60 วินาที ชั้นน้ำใส และตะกอนเกาะกลุ่มกันดี ส่วนการศึกษาโดยปรับพีเอชด้วย พบว่า จะใช้สารโพลีเอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก ในปริมาณเท่าๆกัน ดังนั้น ในการศึกษาจึงเลือกใช้สารโพลีเอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน และไม่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำทิ้ง

(4) ผลการศึกษาขั้นรายละเอียด พบว่า สารโพลีเอคริลาไมด์ ชนิดประจุบวก ที่ขนาดความเข้มข้น 30,35 และ40 มก./ล สามารถลดค่าที่เคเอ็นได้ 42-59,50-60 และ50-65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไขมันสามารถลดค่าได้ 90-93,91-95 และ91-95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ขนาดความเข้มข้น 35 และ40 มก./ล จะให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกัน และสามารถนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 0.4-0.7 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร

จากผลการศึกษาที่ได้ชี้ให้เห็นว่า การจัดการน้ำทิ้งของ บริษัท แปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด โดยวิธีการรวมตะกอนและลอยตะกอนนี้ ควรรวมน้ำทิ้งจากกระบวนการล้างเนื้อปลาสดทั้งหมด เข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้การบำบัดมลสารในน้ำทิ้งทำได้ง่ายและสะดวก

บทที่ 4

การศึกษาโดยใช้ระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ขนาดห้องปฏิบัติการ

4.1 คำนำ

ในการศึกษานี้จะทำการออกแบบสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองและศึกษาประสิทธิภาพของระบบการลอยด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาถึงหลักการเบื้องต้นของระบบ โดยอาศัยผลการศึกษาก่อนหน้าในบทที่ 3 มาวางแผนการออกแบบระบบ ซึ่งในระบบจำลองนี้จะศึกษาตัวแปรพื้นฐาน ได้แก่ ความดัน ระยะเวลาในการอัดอากาศ และระยะเวลาเก็บกักน้ำ เพื่อศึกษาว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งสุริมิโดยการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

4.2 วิธีวิจัย

4.2.1 การสร้างอุปกรณ์ระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ (DAF)

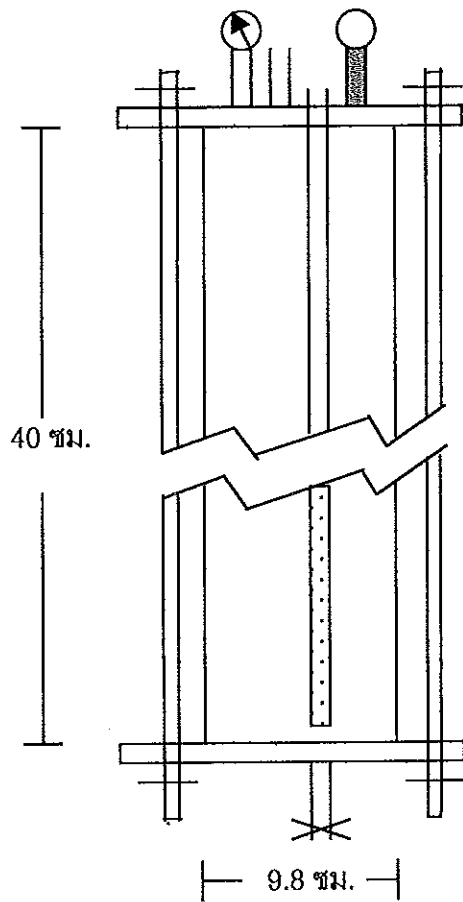
ทำการสร้างระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (DAF) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ (ดูรูปที่ 4.1)

(1) ถังผสม (Mixing tank) สำหรับผสมตัวอย่างน้ำทิ้งกับสารรวมตะกอน โดยใช้ปั๊มเกอร์ขนาด 3 ลิตร ต่อกับเครื่องกวน (ดูรูปที่ 4.3) เพื่อผสมน้ำทิ้งกับสารรวมตะกอนให้ทั่วถึง

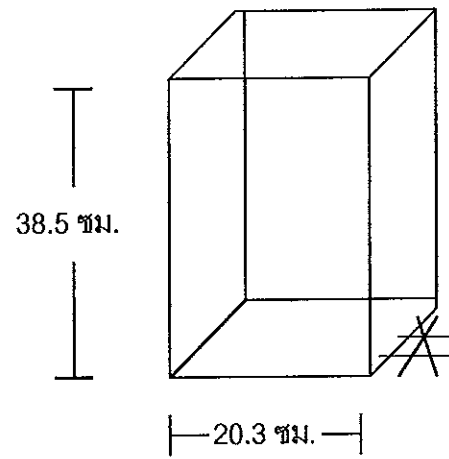
(2) ถังอัดอากาศ (Pressure chamber) สร้างตามแบบของ Tchobanoglous และ Burton (1991) เป็นท่อพีวีซีเพื่อบรรจุน้ำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.8 ซม. และความสูง 40 ซม. รวมปริมาตร 3 ลิตร ภายในจะใส่แท่งเหล็กกล้าไร้สนิมกลวงที่เจาะรูขนาดเล็กๆ ไล่จากกึ่งกลางแท่งถึงปลายแท่ง เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้ปริมาณอากาศแก่ น้ำทิ้งนอกเหนือจากบนผิวน้ำ (ดูรูปที่ 4.4)

(3) ถังลอยตะกอน (Flotation vessel) เป็นถังลูกบาศก์ทำจากพลาสติก มีขนาดความสูง 35.5 ซม. และความกว้าง 20.3 ซม. ซึ่งมีท่อปล่อยน้ำให้ไหลออกบริเวณก้นถัง เพื่อนำไปวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ในในตารางที่ 3.1 รวมทั้งตะกอนลอยที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดและคำนวณปริมาณที่เคเอ็นและไขมัน (ดูรูปที่ 4.5) ซึ่งระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายนี้ มีขั้นตอนในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.6

ก. ถังอัดอากาศ

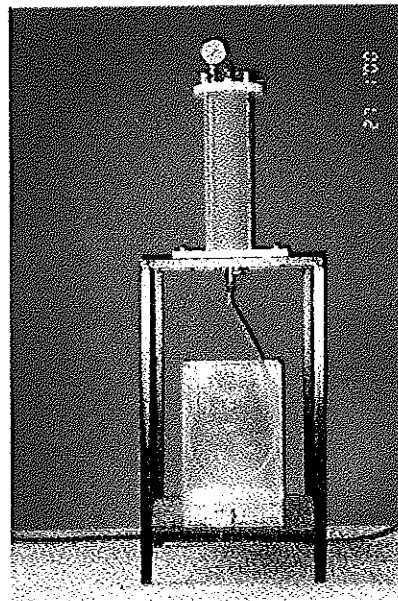


ข. ถังลอยตะกอน

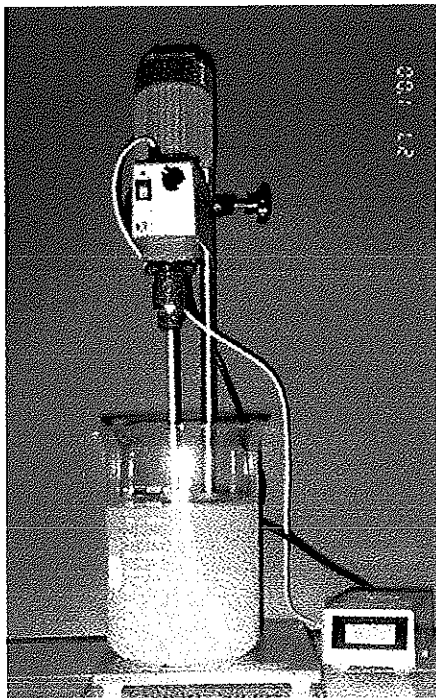


Not to scale

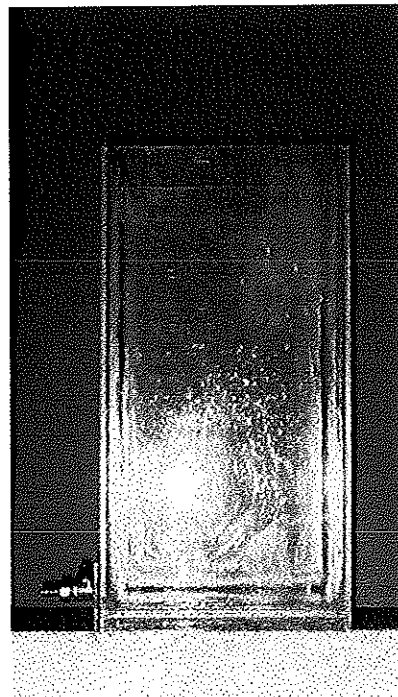
รูปที่ 4.1 แสดงขนาดของระบบลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการที่ใช้ศึกษา



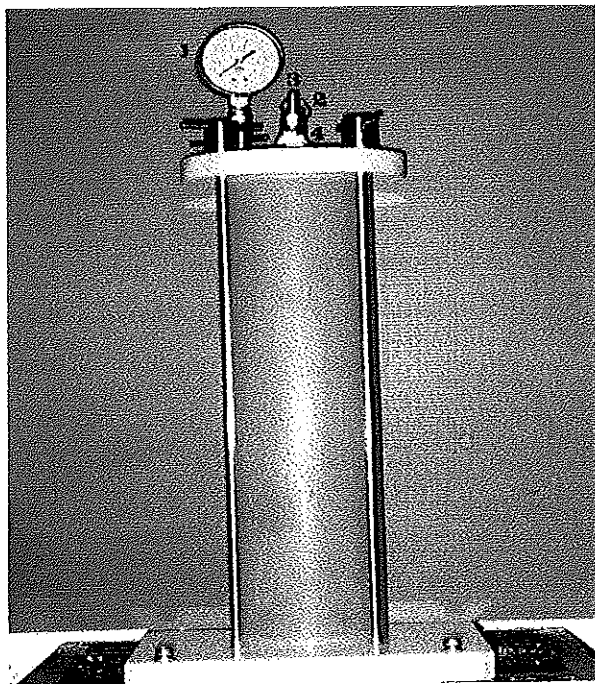
รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์การลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.3 ถังผสมตัวอย่างน้ำทั้งที่ต่อกับเครื่องกวนน้ำ

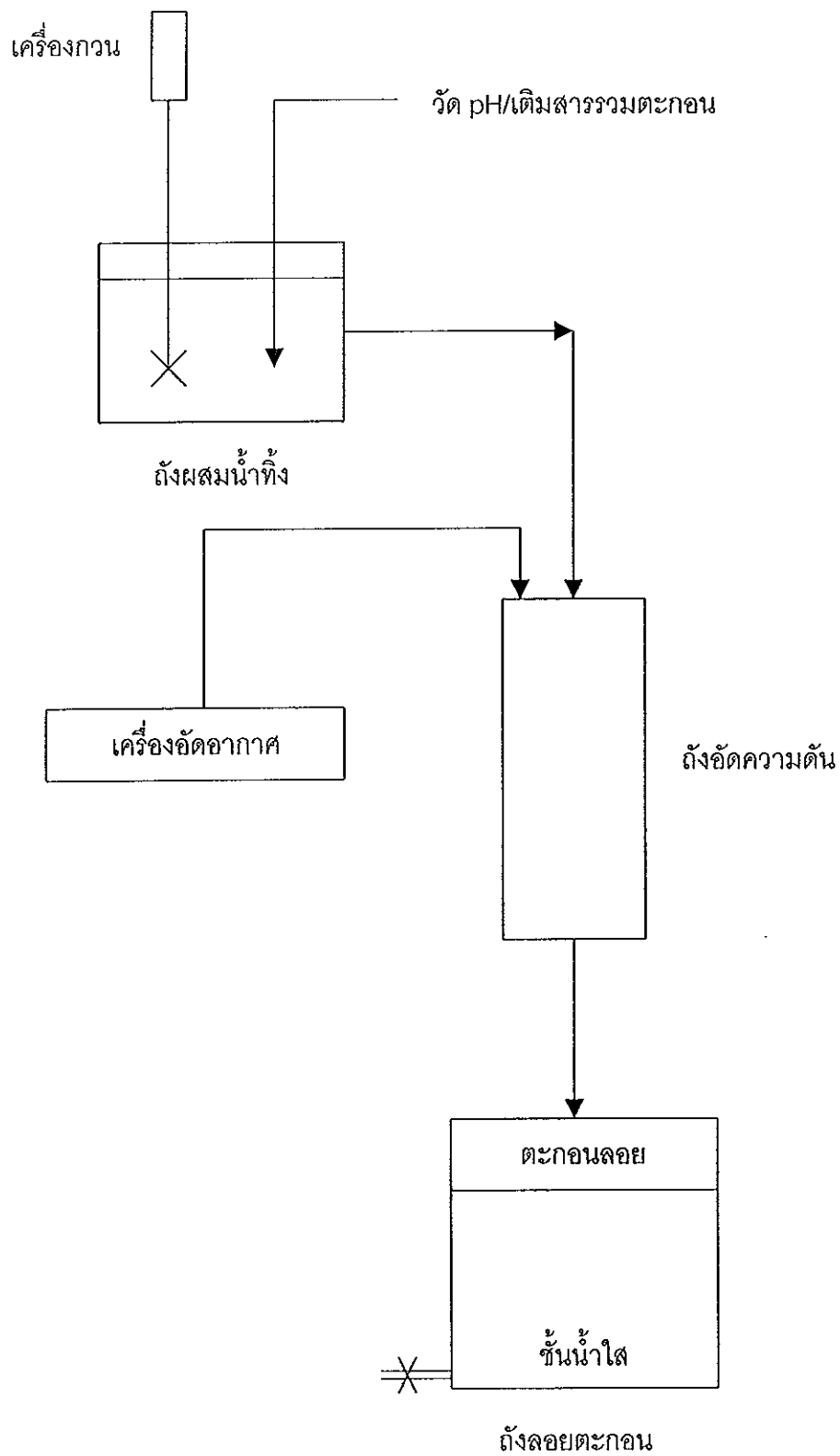


รูปที่ 4.5 ถังลอยตะกอน



รูปที่ 4.4 ถังอัดอากาศ

1. Pressure gauge
2. Release valve
3. ที่อัดความดัน
4. ที่ใส่ตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 4.6 ผังแสดงระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ

4.2.2. วิธีการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้อง

ปฏิบัติการ

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบของการนำกลับสารโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งซูริมิ โดยใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 3) รวมตามสัดส่วนอัตราการไหลของน้ำทิ้งแต่ละจุด ทำการศึกษาตัวแปรของระบบจำลองนี้ ได้แก่ ความดันที่เหมาะสม ระยะเวลาในการอัดอากาศ และระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอน โดยการศึกษาแต่ละตัวแปรมีขั้นตอนทดลอง ดังนี้ (ดูรูปที่ 4.7)

ขั้นตอนการศึกษาแบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

4.2.2.1 วิธีการศึกษาความดันที่เหมาะสม

ก. กระบวนการรวมตะกอน ทำการทดลองในถังรวมตะกอนขนาด 5 ลิตร โดยใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำ 2 ลิตร เติมสารรวมตะกอน คือ สารโพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวก ซึ่งมีการกวนตลอดเวลาพร้อมกับการวัดพีเอชของน้ำ

ข. กระบวนการอัดความดัน น้ำจากถังรวมตะกอนจะถูกสูบเข้าสู่ถังอัดความดันแล้วทำการอัดความดันที่ความดัน 50, 60 และ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อหาความดันที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการลอยของตะกอนมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งในถังอัดอากาศ 4 นาที

ค. กระบวนการลอยตะกอน หลังจากน้ำผ่านการอัดความดันแล้ว ปล่อน้ำเข้าสู่ถังลอยตะกอนที่ความดันบรรยากาศ ตั้งทิ้งไว้ให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention time) 15 นาที หลังจากนั้นนำน้ำใสที่ได้ปล่อนให้ไหลออกบริเวณก้นถังและนำไปวิเคราะห์ปริมาณมลสารที่เหลือ ส่วนตะกอนลอยที่ได้นำไปวิเคราะห์เช่นกัน โดยวัดค่าตัวแปร คือ พีเอช ความขุ่น ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณที่เค้นและปริมาณไขมัน

ง. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง (ก-ค) เพื่อหาความดันที่เหมาะสมในการลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

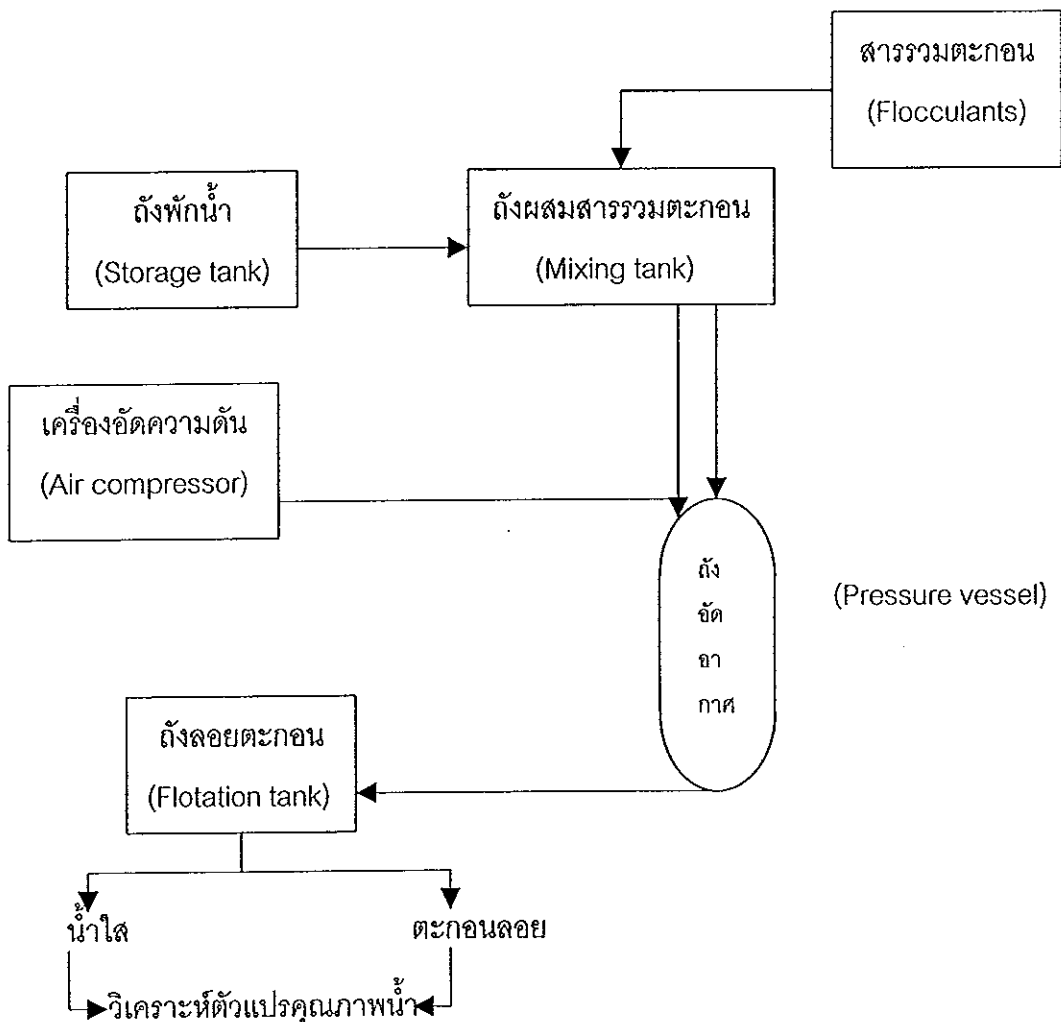
4.2.2.2 วิธีการศึกษาระยะเวลาในการอัดอากาศที่เหมาะสม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.2.1 โดยใช้ความดันที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง แล้วให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอนเท่ากับ 15 นาที และทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการอัดอากาศที่ 2-18 นาที เพื่อหาระยะเวลาในถังอัดอากาศที่เหมาะสม

4.2.2.3 วิธีการศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอนที่เหมาะสม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.2.1 โดยใช้ความดันและระยะเวลาในถังอัดอากาศที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 4.2.2.1 และ 4.2.2.2 ตามลำดับ แล้วทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอน 5-60 นาที เพื่อหาระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอนที่เหมาะสม

4.2.2.4 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง 4.2.2.1-4.2.2.3 และวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.1 รวมทั้งทดลองโดยไม่ใช้สารโพลีเอคริลามีด ชนิดประจุบวกและวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนของระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (DAF) ขนาดห้องปฏิบัติการ

4.3 ผลการศึกษา

4.3.1 ผลการศึกษาความดันที่เหมาะสม

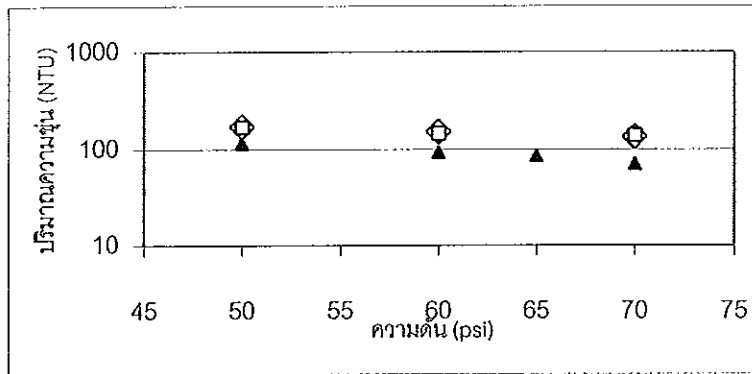
จากการทดลอง ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8 พบว่า การลอยด้วยอากาศละลาย สามารถแยกมลสารออกจากน้ำทิ้งได้สูง โดยลดค่าความขุ่นจาก 813-1,000 NTU ลงมาอยู่ในระดับ 115-172 ที่ความดัน 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และลดค่าของแข็งแขวนลอยจาก 3,220-4,520 มก./ล ลงมาเหลือที่ 180-340 มก./ล ในขณะที่สามารถนำกลับที่เคเอ็นและไขมันได้ 64-73 และ 84-98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ความดันสูงสุดที่ทำการทดลอง คือ 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงสุด สามารถลดค่ามลสารได้เพิ่มขึ้นอีกแต่ไม่มากนัก และสามารถนำกลับที่เคเอ็นและไขมันได้ 72-82 และ 95-98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสามารถนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 4.5-8.8 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร จะเห็นได้ว่า ผลการศึกษาสอดคล้องกับหลักการของการลอยด้วยอากาศละลาย โดยที่เมื่อความดันของการอัดอากาศสูงขึ้นจะเกิดการลอยได้ดี เพราะการละลายของอากาศในน้ำที่ความดันการอัดสูงๆจะละลายได้มาก จึงมีโอกาสเกิดเป็นฟองอากาศได้มากขึ้น เมื่อปล่อยสู่ความดันบรรยากาศทันที อากาศที่ละลายจะกลายเป็นฟองอากาศได้มากขึ้นทำให้ลอยได้ดี และจากการคำนวณหาค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ที่สภาวะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าประมาณ 0.022-0.031 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยใช้ค่า f เท่ากับ 1 ในการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดแต่โดยความเป็นจริงค่า f นี้จะมีค่าน้อยกว่า 1 ฉะนั้นถ้านำค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ได้จากการศึกษานี้มาใช้ในการศึกษาอื่น ควรทำการปรับค่า f เพราะค่า f ขึ้นอยู่กับการออกแบบถังอัดอากาศ เช่น ความสูงของถัง พื้นที่ผิวหน้าของถังที่อากาศสัมผัสกับน้ำ การออกแบบภายในถังให้อากาศละลายในน้ำได้มากที่สุด อย่งการเจาะรูที่อัดอากาศ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำเช่นกัน หรือการทำส่วนกันหลายชั้นภายในถัง ตลอดจนให้เวลาในการอัดอากาศนานขึ้นซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้อากาศละลายในน้ำได้มากขึ้น ค่า f จะเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำเข้าใกล้จุดอิ่มตัวมากขึ้นค่า f ของระบบจะได้สูง แต่ในการวิจัยนี้ไม่ได้ทำการตรวจสอบปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำทิ้งในถังอัดความดันภายใต้ความดันต่างๆจึงไม่สามารถคำนวณค่าเศษส่วนของอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำในถัง ณ ความดันที่ใช้โดยตรงได้ อย่างไรก็ตามค่า f ที่นิยมใช้ในการออกแบบระบบโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.5 ซึ่งถ้าใช้ค่านี้อาจได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ประมาณ 0.008-0.012

ตารางที่ 4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันไม่ถึงขีดอากาศ โดยที่เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที

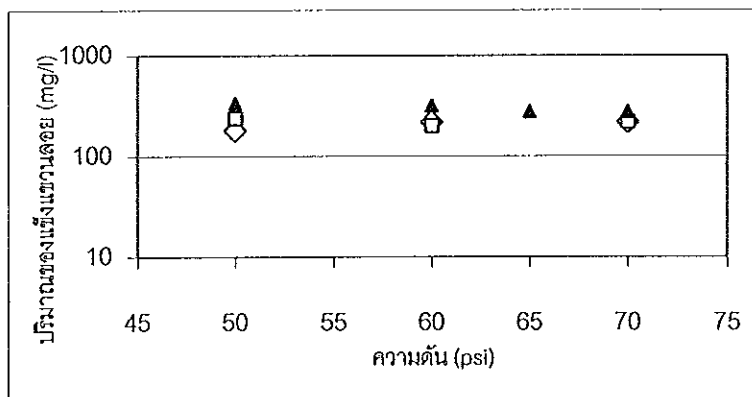
ครั้งที่	ความดัน (psi)	pH	ความขุ่น (NTU)	SS (mg/l)	TKN		Fat		ตะกอนลอยอบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร**)
					(mg/l)	% Recovery*	(mg/l)	% Recovery*	
1	(น้ำดิบ) 50	(6.95) 6.9	(1,000) 172	(4,520) 180	(413.3) 154.6	- 73.0	(855.6) 35	- 97.0	- 4.4
	60	6.9	153	220	154.6	76.8	36	97.4	8.5
	70	6.89	135	220	141.1	82.4	26.5	98.4	8.8
2	(น้ำดิบ)	(6.98)	(813)	(3,220)	(343)	-	(390)	-	-
	50	6.92	169	240	152	65.2	41	91.8	3.5
	60	6.9	145	200	146	67.5	25	95.1	3.7
	70	6.89	140	220	133	72.0	20	96.3	4.5
3	(น้ำดิบ)	(7.06)	(937)	(3,380)	(454)	-	(593)	-	-
	50	6.93	115	340	241	63.8	190	78.2	4.1
	60	6.92	94	320	230	64.0	130	84.4	6
	65	6.93	86	280	220	66.0	63	92.6	6.3
	70	6.93	71	280	181	72.0	45	94.7	6.1

หมายเหตุ : * Recovery คือวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.2.

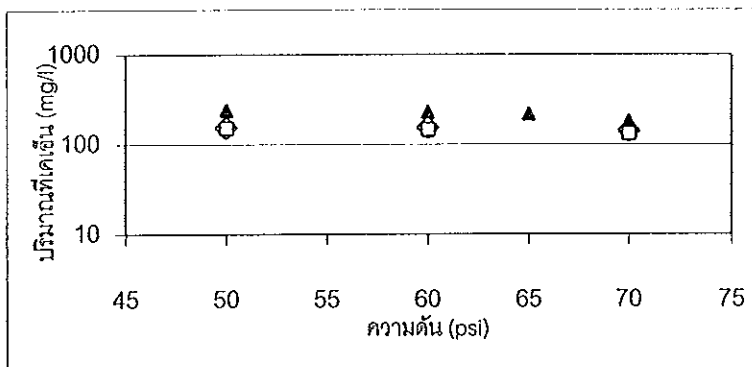
** ตะกอนลอยอบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร) คือวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.3



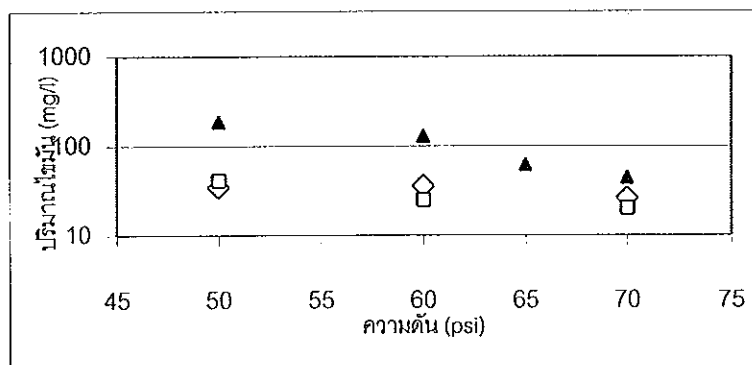
ความขุ่นเริ่มต้น
813-1,000 mg/l



ปริมาณของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น
3,220-4,520 mg/l



ปริมาณที่เคเอ็นเริ่มต้น
343-454 mg/l



ปริมาณแมงกานีสเริ่มต้น
390-855 mg/l

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในถังอัดอากาศกับตัวแปรคุณภาพน้ำ
หมายเหตุ : สัญลักษณ์ต่างกัน 3 แบบแทนผลการทดลองแต่ละครั้งจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio)

ครั้งที่	ความดัน (psi)	ปริมาณอากาศที่ถูกปล่อย (mg/l) *	A/S ratio
1	50	64	0.014
	60	82	0.018
	70	100	0.022
2	50	64	0.019
	60	82	0.025
	70	100	0.031
3	50	64	0.019
	60	82	0.024
	65	91	0.027
	70	100	0.029

หมายเหตุ : * ปริมาณอากาศที่ถูกปล่อย (s) คำนวณจากสูตรดังนี้ (โดยใช้ค่า f = 1)

$$s = 26.8 \left(\frac{fP}{14.7} - 1 \right)$$

โดยที่

ค่า 26.8 = ค่าของปริมาณอากาศอิ่มตัว (mg/l) ที่ความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา 15 °c

P = ความดันสมบูรณ์ที่ใช้ในการอัดอากาศ (psi)

ค่า 14.7 = ค่าความดันที่ 1 บรรยากาศ (psi)

f = ค่าอัตราส่วนของอากาศที่ละลายในน้ำเทียบกับสมมูล ณ ความดันเท่ากับ P

4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการอัดอากาศ

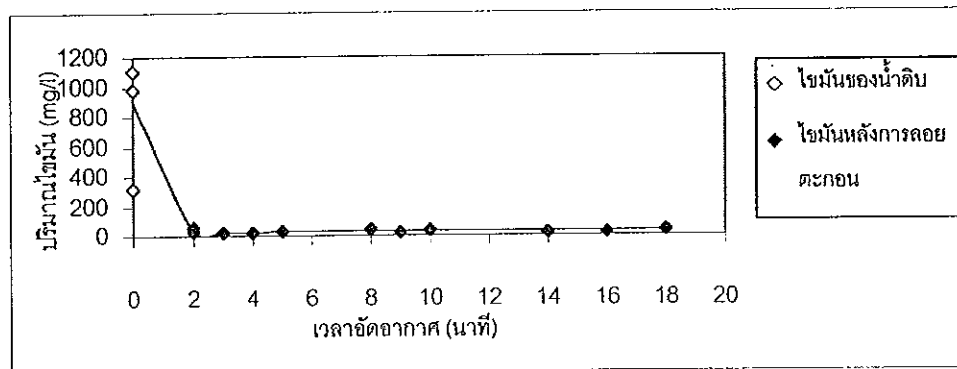
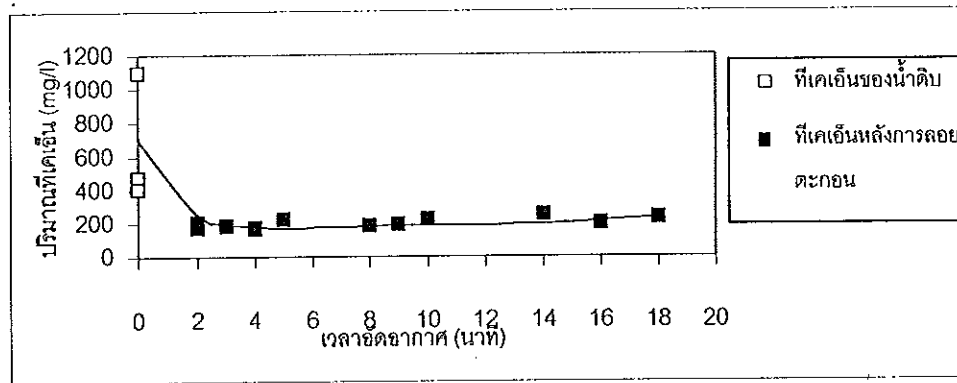
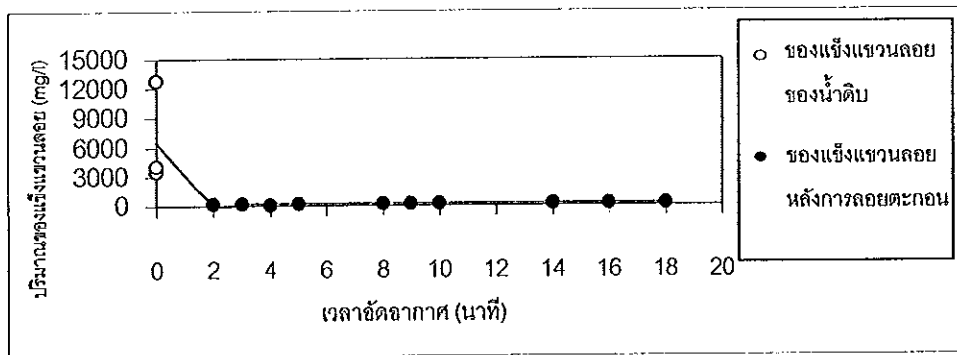
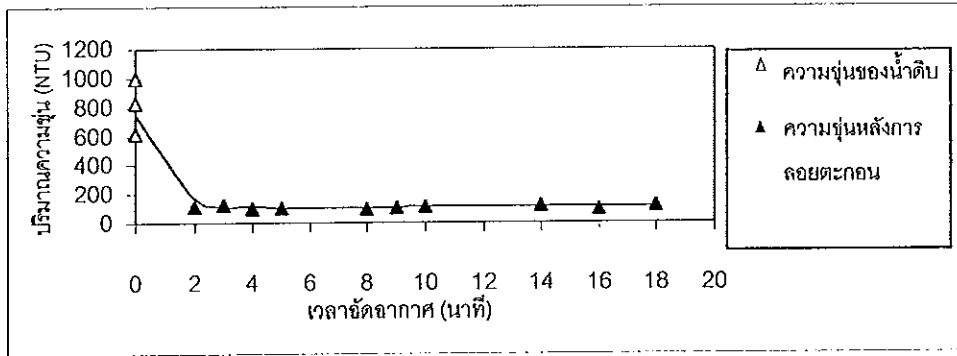
จากการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลาอัดอากาศ 4 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูงสุด (ดูผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9) ทั้งนี้ปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ที่ความดัน 70 psi มีค่าอยู่ระหว่าง 0.022-0.031 แสดงถึงการละลายของอากาศในน้ำมีมากจึงเกิดปริมาณฟองอากาศจำนวนมากเกาะที่ผิวอนุภาคแล้วลอยขึ้นได้ดี ปริมาณมลสารในน้ำจึงลดลง และสามารถนำกลับปริมาณที่เคเอ็นและไขมันได้ 67-90 เปอร์เซ็นต์ และ 94-98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 4-26 กรัม ต่อ น้ำดิบ 1 ลิตร จะเห็นว่า ถ้าเวลาในการอัดอากาศนานขึ้น ปริมาณมลสารที่เหลืออยู่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเนื่องจากว่าอากาศที่ละลายน้ำอิ่มตัวแล้วยังคงทิ้งไว้ต่อไป ตะกอนในถังอัดอากาศอาจเกิดการแยกตัวบ้างโดยพวกเศษเนื่อปลาจมลงและไขมันลอย เมื่อปล่อยสู่บรรยากาศ ทำให้ส่วนของเนื่อปลาที่มีไขมันปนอยู่ลดน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการลอยของเนื่อปลาบางส่วนที่มีไขมันปนอยู่น้อยมีค่าต่ำลงไปเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าไขมันยังคงลอยได้ดี ดังจะเห็นได้จากค่าในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 ทั้งนี้จากการสังเกตในระหว่างการทดลองพบว่าฟองอากาศที่ลอยขึ้นมา มีขนาดเล็กและแตกได้ง่ายขึ้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งสำหรับค่าที่เคเอ็นหรือเนื่อปลานั้นลอยได้ยากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศ โดยคงที่ความดัน 70 psi และเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที

ครั้งที่	เวลาอัดอากาศ (นาที)	pH	ความขุ่น (NTU)	SS (mg/l)	TKN		Fat		ตะกอนลอยอบแห้ง กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร**
					(mg/l)	% Recovery*	(mg/l)	% Recovery*	
1	(น้ำดิบ)	(6.9)	(831)	(3,480)	(477)	-	(320)	-	-
	2	6.84	114	210	208	62.0	58	84.2	7.5
	4	6.82	98	160	175.8	69.0	24.4	93.6	7.7
	8	6.81	99	190	184.8	66.0	44	87.9	6
	16	6.82	100	250	198	63.0	24.4	93.2	4.5
2	(น้ำดิบ)	(6.98)	(1,000)	(12,760)	(1,095)	-	(1,104)	-	-
	2	6.89	115	230	261	90.0	31.8	98.8	23
	5	6.89	108	210	221.8	92.5	29	99.0	26.5
	10	6.9	109	190	224	90.0	34.5	98.5	26.6
	18	6.9	117	250	231.8	89.5	35.4	98.6	24
3	(น้ำดิบ)	(6.96)	(622)	(4,060)	(406.6)	-	(981.5)	-	-
	3	6.94	128	170	187	62.0	20	98.3	4
	4	6.92	101	130	168	66.7	20	98.4	4
	9	6.91	108	170	190.4	60.4	22.5	98.0	4
	14	6.91	117	200	253	46.0	24	97.8	3

หมายเหตุ : * Recovery ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.2.

** ตะกอนลอยอบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร) ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.3



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการขัดอากาศกับตัวแปรคุณภาพน้ำ

4.3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอน

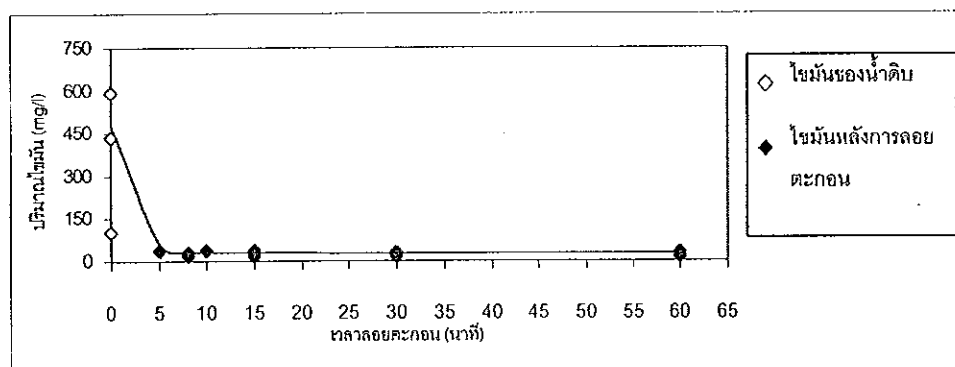
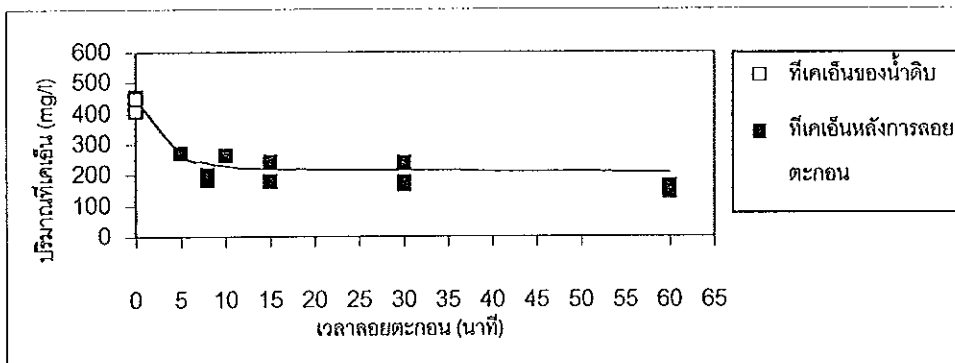
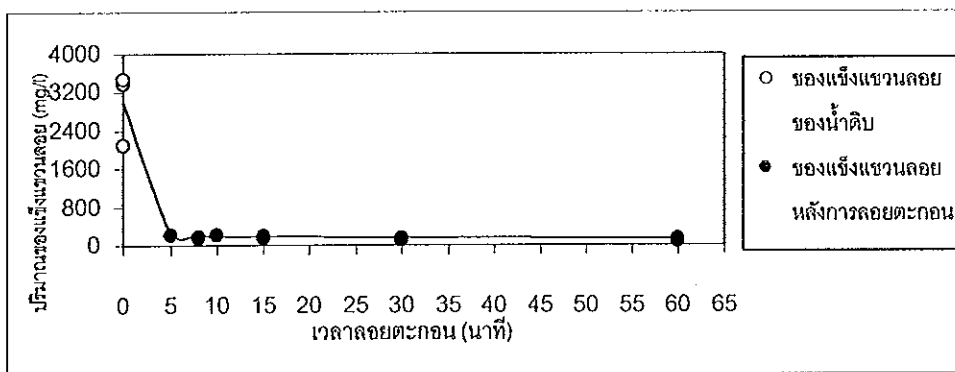
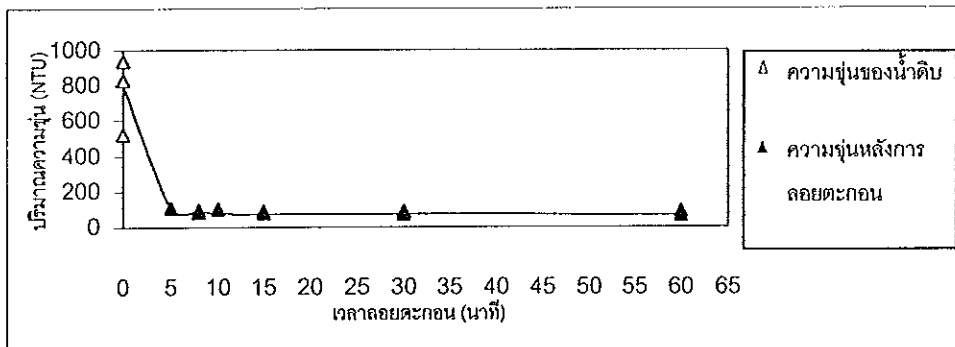
จากการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำในถังลอยตะกอน 15 นาที เพียงพอให้ตะกอนลอยขึ้นสู่มิวน้ำและเหลือมลสารในน้ำน้อย (ดูผลการทดลองในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.10) โดยที่สามารถนำกลับที่เคเอ็นและไซมันได้ 73-75 และ 88-97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสามารถนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 3.3-6.5 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร และระยะเวลาเก็บกักน้ำที่นานกว่านี้ไม่มีผลต่อการแยกให้ดีขึ้นอีก

ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน โดยคงที่ความดัน 70 psi และเวลาอัดอากาศ 4 นาที

ครั้งที่	เวลาลอย ตะกอน (นาที)	pH	ความขุ่น (NTU)	SS (mg/l)	TKN		Fat		ตะกอนลอยอบแห้ง กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร**
					(mg/l)	% Recovery*	(mg/l)	% Recovery*	
1	(น้ำดิบ)	(7.06)	(937)	(3,380)	(454)	-	(593)	-	-
	5	6.95	108	220	272	62.9	37	96.1	-
	10	6.95	100	220	263	68.9	38.4	96.5	-
	15	6.94	92	200	244	74.5	38.4	96.9	-
	30	6.94	83	160	238.6	82.6	29	98.4	6.5
2	(น้ำดิบ)	(6.9)	(833)	(3,480)	(411)	-	(104)	-	-
	8	6.82	83	150	183.7	65.0	20.7	84.4	-
	15	6.84	76	150	179	73.0	18.7	88.9	-
	30	6.83	72	150	170	74.4	18	89.3	-
	60	6.85	69	130	145.6	85.4	17	93.2	4
3	(น้ำดิบ)	(7.01)	(522)	(2,100)	(447)	-	(434)	-	-
	8	6.92	94	190	200.5	63.0	32	93.9	-
	15	6.91	90	150	179	75.2	30	95.7	-
	30	6.92	90	120	175.5	80.5	31	96.5	-
	60	6.9	88	100	162	87.3	31	97.5	3.3

หมายเหตุ : * Recovery ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.2.

** ตะกอนลอยอบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร) ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.3



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอนกับตัวแปรคุณภาพน้ำ

4.3.4 สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย ขนาดห้องปฏิบัติการ คือ ใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก ขนาด 35 มก./ล ความดัน 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในการอัดอากาศ 4 นาที และระยะเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที โดยมีค่าปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยประมาณ 0.022-0.031 ซึ่งจากการสังเกตในระหว่างการทดลอง ขั้นตอนในการรวมและลอยตะกอนที่เกิดขึ้นในถังลอยตะกอนจะใช้เวลาประมาณ 0-2 นาที จะเกิดการแยกชั้นน้ำกับชั้นตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 เมื่อนำมาทดลองซ้ำโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมนี้ และวัดค่าตัวแปรคุณภาพน้ำ ค่า BOD₅ และ COD ของน้ำก่อนและหลังการทดลอง (ดูผลการทดลองในตารางที่ 4.5) พบว่าสามารถลดค่า BOD₅ จาก 5,400 มก./ล ลงเหลือ 1,200 มก./ล และค่า COD จาก 6,840 มก./ล ลงเหลือ 1,380 มก./ล และสามารถนำกลับโปรตีนในรูปที่เคเอ็นและไขมันได้ 53-75 เปอร์เซ็นต์ และ 94-98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในตะกอนลอยที่นำกลับมีปริมาณที่เคเอ็นและไขมันประมาณ 1,930-6,500 มก./ล และ 2,430-7,240 มก./ล ตามลำดับ และสามารถเก็บตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 3-6 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร

และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมนี้โดยไม่ใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก (ดูผลการทดลองในตารางที่ 4.6) พบว่า ประสิทธิภาพในการลดปริมาณมลสารจะน้อยกว่าการใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก โดยลดค่าความขุ่นจาก 754 NTU ลงเหลือ 319 NTU คิดเป็น 57.7 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำกลับโปรตีนในรูปที่เคเอ็นและไขมันได้ 21.5 และ 69.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และนำกลับตะกอนลอยอบแห้งนำกลับได้ 0.7 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการศึกษาโดยไม่ใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวกจะน้อยกว่าการใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวกมาก โดยเฉพาะปริมาณที่เคเอ็นจะลดลงจากปริมาณเริ่มต้นได้น้อย เนื่องจากสารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวกเป็นสารช่วยในการรวมตะกอนแล้วทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของตะกอนเนื้อปลาและไขมันได้ดี เมื่อทำการศึกษาด้วยอากาศละลายจึงสามารถพาตะกอนเนื้อปลาและไขมันลอยขึ้นมาได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาที่สภาวะเหมาะสมในการทดลอง โดยใช้สารโพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก
35 มก./ล ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอยตะกอน 15 นาที

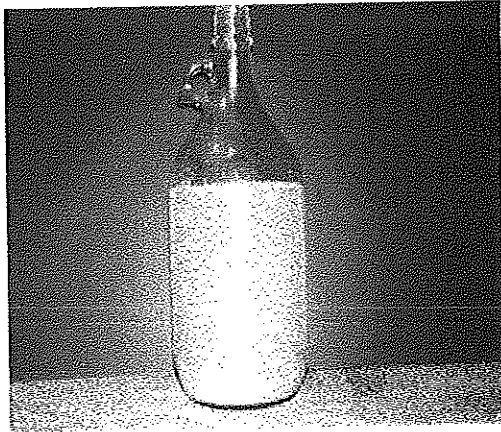
ตัวแปร คุณภาพน้ำ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	Raw	Treated	%Recovery*	Raw	Treated	%Recovery*	Raw	Treated	%Recovery*
pH	6.8	6.72	-	6.9	6.93	-	7.14	7.12	-
ความขุ่น (NTU)	1,000	95	-	955	114	-	643	99	-
SS (mg/l)	3,520	190	-	3,380	190	-	3,960	200	-
TKN (mg/l)	586	160	74.5	627	275.5	60.0	454	239.7	53.8
Fat (mg/l)	486	22.8	95.6	660	13	98.2	326	22	94.1
BOD ₅ (mg/l)	4,800	1,174	-	5,040	1,180	-	5,400	1,200	-
COD (mg/l)	6,840	1,380	-	6,950	1,430	-	6,580	1,550	-
ตะกอนลอย** อบแห้ง (g/น้ำดิบ 1 L)	6.3			5.6			3.8		

ตารางที่ 4.6 ผลการศึกษาที่สภาวะเหมาะสมในการทดลอง โดยไม่ใช้สารโพลีคริสลามีต
ชนิดประจุบวก ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอยตะกอน 15 นาที

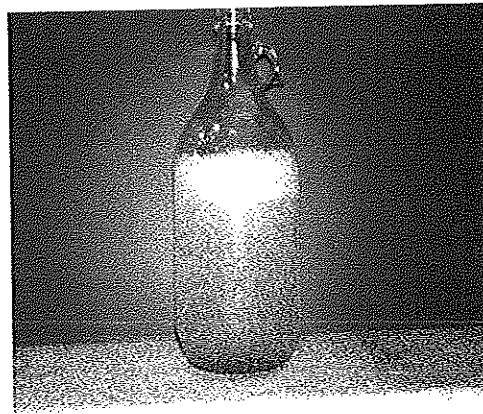
ตัวแปรคุณภาพน้ำ	การทดลอง		
	Raw	Treated	%Recovery*
pH	6.95	6.91	-
ความขุ่น (NTU)	754	319	-
SS (mg/l)	2780	480	-
TKN (mg/l)	386.4	303.5	21.5
Fat (mg/l)	211	64	69.7
ตะกอนลอย** อบแห้ง (g/น้ำดิบ 1 L)	0.7		

หมายเหตุ : * Recovery ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.2

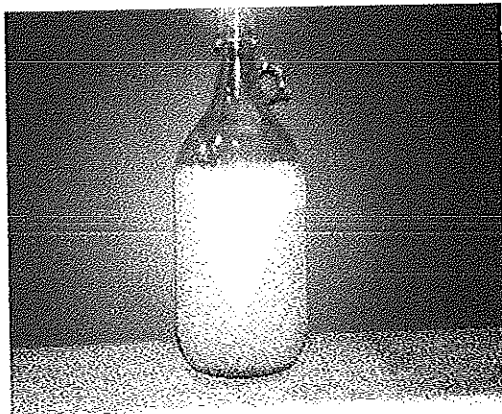
** ตะกอนลอยอบแห้ง (กรัม/น้ำดิบ 1 ลิตร) ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.3



น้ำดิบ



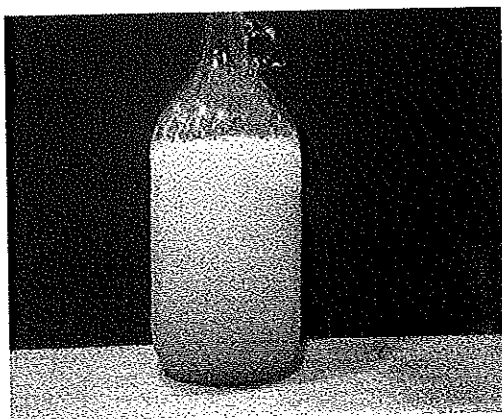
(3)



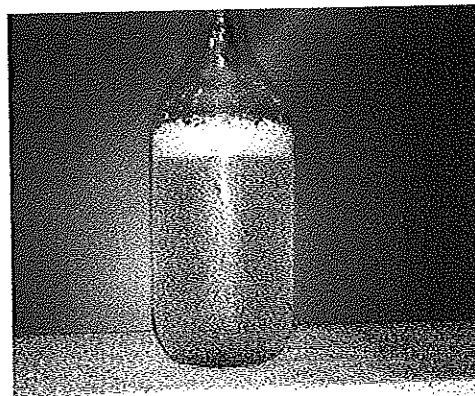
(1)



(4)

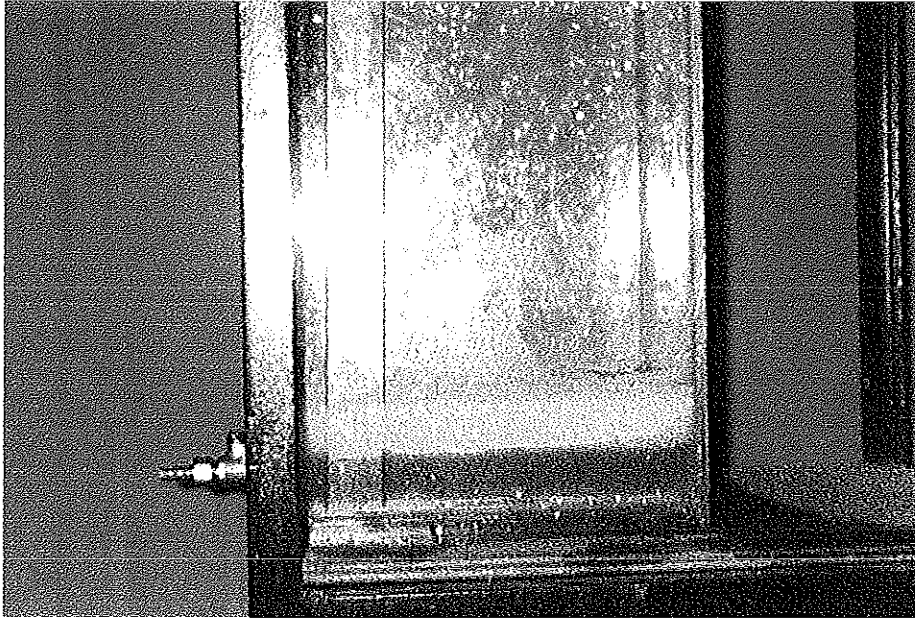


(2)

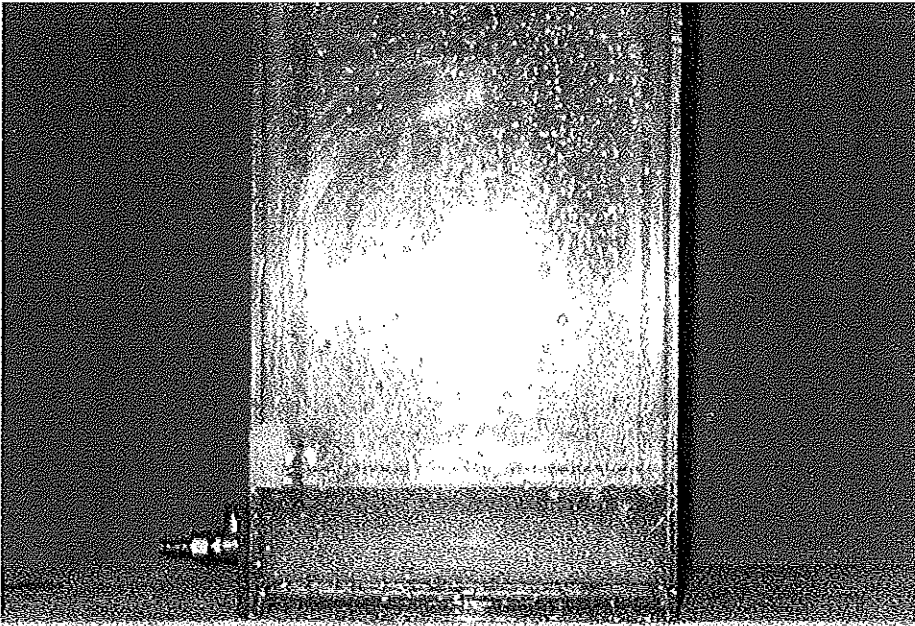


(5)

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของน้ำดิบและลักษณะของการเกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการตามลำดับ (1-5) ตั้งแต่เริ่มต้นจนเกิดการแยกที่สมบูรณ์ภายในเวลา 2 นาที



ก.



ข.

รูปที่ 4.12 ลักษณะของการเกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายในถังลอย
ตะกอน (ก) โดยเปรียบเทียบกับน้ำดิบที่นำมาใส่ในถังลอยตะกอน (ข)

4.4 สรุป

จากการศึกษากระบวนการรวมตะกอนและลอยตะกอน โดยใช้ระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ พบว่า กระบวนการในการนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานซูริมิ สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการรวมตะกอนและลอยตะกอน พบว่า ใช้ความดัน 70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะเวลาในการอัดอากาศ 4 นาที และระยะเวลาในการถังลอยตะกอน 15 นาที โดยใช้สารโพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวก ขนาด 35 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารรวมตะกอน และไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง จะให้ประสิทธิภาพของการกำจัดมลสารและนำกลับตะกอนได้ดีที่สุด

(2) ผลการศึกษาโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง พบว่า มีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ประมาณ 0.022-0.031 และปริมาณมลสารลดลง โดยที่ค่า BOD₅ จาก 4,800-5,400 มก./ล ลดลงเหลือ 1,174-2,170 มก./ล คิดเป็นลดลงได้ 57-77 เปอร์เซ็นต์ และค่า COD จาก 6,580-6,950 มก./ล ลดลงเหลือ 1,380-1,550 มก./ล คิดเป็นลดลงได้ 75-85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่เหลืออยู่ยังเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจึงจำเป็นต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต่อไป แต่ทั้งนี้ภาระบรรทุกปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไปได้ลดลงไปมากแล้วโดยระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

(3) ระบบนี้สามารถนำกลับปริมาณโปรตีนในรูปที่เคเอ็นได้ 53-75 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไขมัน 94-98 เปอร์เซ็นต์ และในตะกอนลอยที่นำกลับมีปริมาณโปรตีนในรูปที่เคเอ็นประมาณ 1,930-6,550 มก./ล และปริมาณไขมันประมาณ 2,430-7,240 มก./ล โดยนำตะกอนลอยอบแห้งได้ 3.8-6.3 กิโลกรัมต่อน้ำดิบ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือจากปริมาณน้ำทิ้งของโรงงานรวม 210 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ 800-1,320 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

(4) ปริมาณที่เคเอ็นหลังการทดลอง ยังปริมาณค่อนข้างมากทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเป็นส่วนของโปรตีนที่ละลายน้ำ (Sacroplasmic protein) ที่ต้องกำจัดออกจากเนื้อปลาสดเพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ซูริมิที่ดี

(5) มูลค่าสารเคมีที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้สารโพลีเมอร์โพลีคริสลามีด ชนิดประจุบวกขนาด 35 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีราคา 230 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีในการศึกษานี้ 8 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

(6) ปริมาตรบรรจุถังอัดอากาศที่ใช้ในงานปฏิบัติจริงสามารถคำนวณได้ 1.74 ลูกบาศก์เมตร (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.4)

(7) ปริมาณอากาศที่ต้องการใช้จากเครื่องอัดลม (Air compressor) ในการศึกษาี้สามารถคำนวณได้เป็น 24 ลิตรต่อนาที และเมื่อเผื่อค่าความปลอดภัยสองเท่าในการใช้งานจะได้ประมาณ 50 ลิตรต่อนาที (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข.5) ซึ่งอาจใช้เครื่องอัดลมที่มีความจุขนาด 100 ลิตรต่อนาที ในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

(1) การศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำทิ้งซูริมิของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

จากผลการศึกษา พบว่า น้ำทิ้งจากการล้างเนื้อปลาสดของสายการผลิตที่ 1 และ 2 ซึ่งมารวมกันที่ถังรวมน้ำทิ้งจะมีคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงตามลักษณะน้ำทิ้งในแต่ละท่อที่ระบายน้ำทิ้งออกมา โดยเฉพาะจุดที่มีการล้างเนื้อปลาสด 2 ครั้ง (จุดที่ 2,3 และ 4) จะมีปริมาณที่เคเคเอ็นเฉลี่ย 230-260 มก./ล และไขมันสูง (จุดที่ 3 และ 4) มีปริมาณเฉลี่ย 900-1,800 มก./ล และมีค่า BOD₅ และ COD ในน้ำทิ้งที่ไหลเข้าถังรวมน้ำทิ้ง (จุดที่ 1,2 และ 3) ประมาณ 4,800-5,400 มก./ล และ 6,580-6,950 มก./ล ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำทิ้งเฉลี่ย 210 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนค่าตัวแปรคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น พีเอช โดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 6.8-7.0 และอุณหภูมิของน้ำทิ้งประมาณ 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการศึกษาขั้นต้นจึงทำการศึกษาคัดตัวอย่างที่ 1,2,3 และ 4 มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย (DAF)

(2) การศึกษาขั้นต้น

จากผลการศึกษา พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้การรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายสำหรับนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้ง จากการศึกษาโดยใช้สารรวมตะกอนปูนขาว สารฟอสฟอริกอะมโมเนียม ชนิดประจุบวก และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า การใช้สารฟอสฟอริกอะมโมเนียม ชนิดประจุบวกได้ผลที่ดี ที่ปริมาณ 30-40 มก./ล ส่วนปูนขาว และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต้องใช้ในปริมาณที่สูง ดังนั้นในการศึกษาขั้นรายละเอียด จึงเลือกใช้สารรวมตะกอนคือ สารฟอสฟอริกอะมโมเนียม ชนิดประจุบวก ขนาด 30-40 มก./ล โดยไม่ปรับพีเอชของน้ำทิ้ง และใช้น้ำทิ้งรวมที่เข้าสู่ถังรวมน้ำทิ้ง ผลการศึกษา ที่ปริมาณ 35 มก./ล สามารถลดค่ามลสารในน้ำทิ้งได้ดี โดยลดค่าปริมาณที่เคเคเอ็นและไขมันได้ 60 และ 95 % ตามลำดับ และนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ปริมาณ 0.6 กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร

(3) การศึกษาระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลายขนาดห้องปฏิบัติการ

จากผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับโปรตีนและไขมันจากน้ำทิ้งซูริมิคือ สารฟอสฟอริกอะมโมเนียม ชนิดประจุบวก 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความดันในการอัดอากาศ 70 ปอนด์

ต่อตารางนิ้ว เวลาในการอัดอากาศ 4 นาที และระยะเวลาเก็บกักในถังลอยตะกอน 15 นาที มีค่าปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (A/S ratio) ประมาณ 0.022-0.031 โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความขุ่นจาก 643-1,000 NTU ลดลงเหลือ 95-114 NTU ปริมาณ BOD₅ จาก 4,800-5,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 1,174-1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณ COD จาก 6,580-6,840 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 1,380-1,550 มิลลิกรัมต่อลิตรและสามารถนำกลับโปรตีนในรูปที่เคเอ็นได้ 54-75 เปอร์เซ็นต์ และไขมันได้ 94-98 เปอร์เซ็นต์ โดยในตะกอนลอยที่นำกลับมีปริมาณโปรตีนในรูปที่เคเอ็นประมาณ 1,930-6,550 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณไขมันประมาณ 2,430-7,240 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถนำกลับตะกอนลอยอบแห้งได้ประมาณ 3-6 มิลลิกรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร

5.2 ข้อเสนอนแนะ

(1) จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานน้ำทิ้งสุริมิของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด พบว่า มีความแปรปรวนของมลสาร เนื่องจากองค์ประกอบในแต่ละตำแหน่งของการระบายน้ำทิ้งจะแตกต่างกัน ตำแหน่งที่มีการล้างเนื้อปลาสด 2 ครั้ง จะมีปริมาณที่เคเอ็นและไขมันสูง ดังนั้น การจัดการน้ำทิ้งจึงควรรวมน้ำทิ้งที่มาจาก การล้างเนื้อปลาสดลงสู่ที่เดียวกันแล้วจัดการทันทีด้วยระบบการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย เพื่อให้ได้ตะกอนที่ยังคงมีคุณค่าก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของ บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

(2) จากการศึกษาการรวมและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย พบว่า น้ำทิ้งที่มีปริมาณไขมันปนอยู่มากจะลอยได้ง่าย ดังนั้น ควรมีการจัดการแยกไขมันออกมาจากน้ำทิ้งแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น เพราะไขมันจากปลาเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญและมีคุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งในอุตสาหกรรมบางชนิด

(3) ควรมีการตรวจหาปริมาณโมโนเมอร์อคริลามีดตกค้างในสารโพลีอคริลามีดที่ใช้ในกระบวนการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย เพื่อความปลอดภัยเมื่อนำตะกอนไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากโมโนเมอร์อคริลามีดตกค้างของสารโพลีอคริลามีดเป็นอันตรายต่อระบบประสาทของมนุษย์ ระบบหลอดเลือดดำ ระบบภายในช่องปากและผิวหนัง โดยที่กฎหมายของสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้โดยยอมให้มีปริมาณโมโนเมอร์ของสารโพลีอคริลามีดสูงสุดในอาหารมนุษย์และสัตว์ 0.05 % (Code of federal regulations, 21CFR-573.120, Acrylamide-acrylic acid resin.) นอกจากนี้ EPA ของสหรัฐอเมริกายังยอมรับให้มีปริมาณอคริลามีดในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยกำหนดมาตรฐาน

ฐานเช่นเดียวกับที่ FDA กำหนดข้างต้น สำหรับปริมาณที่ยอมรับได้ของโมโนเมอร์ของสารโพลีอครีลามิดตกค้างในผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร 0.2 % (Code of federal regulations,21CFR-176.110,Acrylamide-acrylic acid resins.)

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต

- (1) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรวมตะกอน โดยใช้สารรวมตะกอนร่วมกับสารช่วยรวมตะกอนในการศึกษาขั้นต้น
- (2) ควรศึกษาเทคนิคสำหรับการตรวจวิเคราะห์โมโนเมอร์อครีลามิด
- (3) ควรศึกษาในระดับโรงประลอง (Pilot scale) เพื่อทดสอบและขยายขนาดของระบบที่ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2535. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2. กรุงเทพฯ : มิตรนรา.
- จักรี ทองเรือง. 2542. ชูริมิ. คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เฉลิมราช วันทวิน. 2538. "เทคโนโลยีการจัดการของเสีย : กรณีตัวอย่างโรงงานอาหารแช่แข็งปลากระป๋อง", ใน การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียในอุตสาหกรรมอาหาร : การสัมมนาวิชาการ 30 มีนาคม 2538. กรุงเทพฯ.
- ณัชพล พรหมหมวก. 2538. การย่อยสลายกากไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล. คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, สถาบัน. 2537. "การศึกษาการแยกโปรตีนจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องกลับมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์", ใน การแยกโปรตีนจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋อง : การสัมมนาวิชาการ 25 พฤศจิกายน 2537. กรุงเทพฯ.
- เน่งน้อย ศรีสุวรรณ. 2539. "การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถลุงแร่โดยวิธีการลอยตะกอน", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิชณุ บุญนวล. ม.ป.ป. "การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ", ใน สุรพล อารีย์กุล และอุดมผล พิชนไพบูลย์, บรรณาธิการ. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ รุ่นที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เยาวเรศ आयुวัฒน์, ดวงธรรม วรกุลฐานันย์, เฉลิมราช วันทวิน และอนุรักษ ปิติรักษกุล. 2536. "การใช้ Dissolved Air Flotation ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า ตอนที่ 1

: การเลือกสารรวมตะกอน", ใน การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2536
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 27-30 พฤศจิกายน
2536. 947-950. กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2533. เนื้อพลาสติก (ซูริมิ) เชือกแข็ง. มอก.935
2533, 1-11.

มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันกุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

วรรณวิบูลย์ กาญจนบุญชร, สุปราณี แยมพราย และสุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2541. "การใช้
ประโยชน์จากของเหลือโรงงานอุตสาหกรรมผลิตซูริมิ : การผลิตโปรตีนสกัดชนิดผงใน
ระดับห้องทดลอง", ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย). 38 (มกราคม 2541), 28-40.

วรุณ กาญจนภู และวิไลรัตน์ มณีเสถียรรัตนนา. 2530. การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อพลาสติก
แช่แข็ง. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย ปิติชัยชาญ และนิธิพล สุขสถาพร. 2535. การแยกองค์ประกอบน้ำมันในน้ำเสียโรง
งานกะทิโดยวิธีการอัดอากาศให้เกิดการลอยตัว. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

สกล กาญจนรังษี และกอบกิตต์ ฐิตวัฒน์กุล. 2532. รายงานการศึกษาภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม
ทะเลแช่แข็งในภาคใต้. ศูนย์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมภาคใต้. กอง
เศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม.

สัจญ์ชัย กลิ่นพิกุล. ม.ป.ป. กิจกรรมการผลิตและการจัดการสภาวะแวดล้อมของโรงงาน
ประเภทไฟรสเซ็น. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุภาพรรณ สุขประทุม. 2529. "ผลิตภัณฑ์จาก SURIMI", อาหาร. 16 (เมษายน-มิถุนายน
2529), 74-75.

สุภาพรรณ บрилเลียนเตส. 2535. "ซูริมิและผลิตภัณฑ์จากซูริมิ", ว.การประมง. 45
(พฤษภาคม-มิถุนายน 2535), 833-838.

อุดม สุนทรวิภาต, จีราวรรณ แย้มประยูร, ผ่องเพ็ญ รัตตกุล และเฉลิม พัฒนวิบูลย์. 2530.
"ซูริมิ", ว.การประมง. 40 (มกราคม 2530), 71-73.

Abramson, H.A., Moyer, L.S. and Gorin, M.H. 1964. Electrophoresis of Protein and The
Chemistry of Cell Surfaces. New York : Hafner Publishing Company, Inc.

Aplan, F.F. 1989. The Flotation Process for The Removal of Fine Particulate Matter from
Wastewater, in Lecture Note in Flotations. Pennsylvania State University.

APHA, AWA and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Waste and
Wastewater. 19th ed. Washington D.C. : American Public Health Association.

Arora, H., Dewolfe, J.R., Lee, R.G. and Grubb, T.P. 1995. "Evaluation of Dissolved Air
Flotation Process for Water Clarification", Water Science and Technology. 31
(1995), 137-147.

Deraquin, B.V. and Landau, L.D. 1941. Theory of the Stability of Strongly Charged
Lyophobic Solids and Adhesion of Strongly Charged Particles in Solution in
Electrolytes", Acta Physiochim. 14 (1941), 633 p.

- Eckenfelder, W. W.Jr. 1989. *Industrial Water Pollution Control*. 2nd edition. Singapore : McGraw Hill, Inc.
- Edzwald, J.K. 1995. "Principles and Applications of Dissolved Air Flotation", *Water Science and Technology*. 31 (1995), 1-23.
- Evans, L.F. and Ewers, W.E. 1953. "The Recovery of Wool Wax from Wool Scour Liquors", *Australian Journal Applied Science*. 4 (1953), 552-578.
- Ferguson, C., Logsdon, G.S. and Curley, D. 1995. "Comparison of Dissolved Air Flotation and Direct Filtration", *Water Science and Technology*. 31 (1995), 113-124.
- Ho, C.C. and Tan, Y.K. 1989. "Comparison of Chemical Flocculation and Dissolved Air Flotation of Anaerobically Treated Palm Oil Mill Effluent", *Water Research*. 23 (1989), 395-400.
- Hogg, R., Bunnaul, P. and Suharyono, H. 1993. "Chemical and Physical Variables in Polymer-Induced Flocculation", *Minerals and Metallurgical Processing*. 81 (1993), 81-85.
- Jamil, K. 1991. *Flotation of Slaughterhouse Wastewater : Operational Optimization of a Full Scale Unit*, Master Thesis, Asian Institute of Technology.
- Lee, C.M. 1984. "Surimi Process Technology", *Food Technol.* 38 (1984), 68-80
- Lin, T.M., Park, J.W. and Morrissey, M.T. 1995. "Recovery Protein and Reconditioned Water from Surimi Processing Waste", *J.Food Science*. 60 (1995), 4-9.

- Lin, T.M. and Park, J.W. 1996. "Extraction of Protein from Pacific Whiting Mince at Various Washing Condition", *J.Food Science*. 61 (1996), 432-438.
- Lin, T.M. and Park, J.W. 1996. "Protein Solubility in Pacific Whiting Affected by Proteolysis During Storage", *J.Food Science*. 61 (1996), 536-539.
- Nemorow, N.L. 1978. *Industrial Wastewater Pollution, Origin, Chracteristic and Treatment*. U.S.A. : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Ng., W.J., Goh, A.C.C. and Tay, J.H. 1988. "Plam Oil Mill Effluent Treatment-Liquid-Solid Separation with Dissolved Air Flotation", *Biological Waste*. 25 (1988),257-268.
- Okada, M. 1981. *Ashi and Its Reinforcement*. Quoted in Okada, M., Imaki, T. and Yhokozaki, M. (Eds), 189-211 p. Tokyo : Yokozeki Koseisha-Koseikaku Co.
- Prasertsan, P., Wuttijumnong, P., Sophanodora, P. and Choorit, W. 1988. "Seafood Processing Industries Within Songkhla-Hat Yai Region : The Survey of Basic Data Emphasis on Waste", *Songklanakarin J.Sci.Technol*. 10 (1988), 447-4451.
- Shaw, D.J. 1983. *Introduction to Colloid and Surface Chemical*. 3th edition. U.K. : Spottiswoode Ballantyne, Ltd..
- Sonu, S.C. 1986. *Surimi*. Washington, D.C. : VS Government Printing Office.
- Stokes, Sir G.G. 1891. "Mathematical and Physical Paper 3", Cambridge University Press. *En Textile Mill Effluent*. Canada : Technomic Inc.

- Tchobanoglous, G. and Burton F.L. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd edition. Singapore : McGraw-Hill, Ltd.
- Verwey, E.J.W. and Overbeek, J.Th.G. 1948. *Theory of the Stability of Lyophobic Colloids*. Amsterdam :Elsevier.
- Viitasaari, M., Jokela, P. and Heinanen, J. 1995. "Dissolved Air Flotation in The Treatment of Industrial Wastewaters with a Special Emphasis on Forest and Foodstuff industries", *Water Science and Technology*. 31 (1995), 299-313.
- Walter, T. M. and Wang, D, W. 1983. "Acrylamide Polymer", *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. 2nd edition 1 (1983), 169-211.
- Wymore, A.H. and White, J.E. 1968. "Treatment of a Slaughterhouse Waste Using Anaerobic and Aerobic Lagoons", *Industries Waste, Part 2, Proceeding of the 23 rd Industrial Waste Conference, Puerdue University, Lafayette Indiana, May 7-9, 1968*.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางเคมี

1.พีเอช

การวัดค่าพีเอชของน้ำโดยใช้ pH Meter ทำได้โดยใช้ Glass electrode ซึ่งมีความสามารถในการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H+) การอ่านค่าพีเอชจาก pH Meter สามารถอ่านเป็นค่าพีเอชโดยตรง ในการวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำทุกครั้งต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องก่อนเสมอที่จะวัดพีเอชตัวอย่าง

2.Total solids (TS) โดยวิธี Grivimetric method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)
2. อ่างอบไอน้ำ (Water bath)
3. โถทำแห้ง (Desiccator)
4. ตู้อบ (Oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีการวิเคราะห์

1. นำถ้วยระเหย ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง

2. เมื่อจะใช้ น้ำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมติมีน้ำหนัก A กรัม

3. เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันอย่างดี รินตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงในถ้วยระเหยนี้ นำไประเหยบนเครื่องอังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส จนแห้ง

4. นำเข้าอบในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

5. นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมติมีน้ำหนัก B กรัม

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มก./ล)} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

โดย A = น้ำหนักถ้วยระเหยก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักถ้วยระเหยหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

3. Suspended solids (SS) โดยวิธี Gravimetric method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว
2. กรองกรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
3. เครื่องดูดอากาศ (Suction pump)
4. ตู้อบ (Drying oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีการวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสวางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์ ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสสิเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ที่ให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัม

3. วางกระดาษกรองลงบนกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อให้กระดาษกรองติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์

4. กรองน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว โดยอาศัยแรงดูดจากเครื่องดูดอากาศ แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด

5. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรอง แล้ววางบนถ้วยอลูมิเนียมฟอยด์อันเดิม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6. นำไปใส่ในเดสสิเคเตอร์แล้วปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก./ล)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

โดยที่ A = น้ำหนักกระดาษก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดาษหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

4. Biochemical oxygen demand (BOD)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดแก้วมาตรฐาน ขนาดบรรจุ 250-300 มล. มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องรอยเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอ ขณะ Incubate ที่ 20 °ซ เพื่อป้องกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้

2. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร และขาตั้งบิวเรต

3. กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

4. ปีเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร

5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ เพื่อใช้เตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง ปราศจากคลอรีน คลอรามีน ความเป็นด่าง (Alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย HK_2PO_4 21.75 กรัม KH_2PO_4 8.5 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH เท่ากับ 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย anhydrous CaCl_2 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายกรดและด่าง 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

7. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ละลาย Na_2SO_3 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใสลงในภาชนะที่สะอาด

1.2 เติมสารละลาย ฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร

1.3 เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรด จะต้องปรับ pH ให้เป็นกลาง คือประมาณ 7 ด้วย กรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล แล้วแต่กรณี

2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนตกค้าง โลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

3. วิธีการทำเจือจาง

3.1 เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าค่า BOD_5 อยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์เจือจางที่สูงกว่า และต่ำกว่า ที่อยู่ติดกันอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวกที่ 1 ดังนั้นจึงควรรู้ค่า BOD_5 โดยประมาณก่อน

3.2 ค่อยๆรินน้ำ สำหรับการทำให้เจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3.3 เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำสำหรับการทำให้เจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.4 คนให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วเสียบจุกยางไว้ที่ปลาย ชักขึ้นลงเบาๆ โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ

3.5 ค่อยๆรินตัวอย่างน้ำผสมให้เข้ากันดีแล้ว แล้วใส่ขวด บีโอดี ที่แห้งและสะอาด จนเต็ม 3 ขวด ปิดจุกให้สนิท นำไปเก็บในตู้ Incubator ที่ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด อีกขวดนำไปหาค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_1)

3.6 ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 3.2 ถึงข้อ 3.5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าตามลำดับ

4. การหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide Modification of The Idometric Method ดังรายละเอียดข้อ 5

5. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

เพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืด อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D_2) ตามหัวข้อที่ 4

6. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลับที่ใช้เจือจาง แต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงไปในช่วง BOD 2 ช่วง ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่ง
เพาะที่ 20 องศาเซลเซียส ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที ผลต่างของ DO ที่ได้ไม่ควรลด
เกินกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

7. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่นำเชื้อถือและจะใช้คำนวณต่อไปนั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO อย่างน้อย 1.0 มิลลิกรัมต่อ
ลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตรของตัวอย่างน้ำที่ทำการเจือ
จาง จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาถูกต้องที่สุด

8. การคำนวณ (ดูในหัวข้อ การคำนวณออกซิเจนละลายได้)

ตารางผนวกที่ 1 ช่วงของค่า BOD และวิธีการเจือจางน้ำ

ช่วง BOD ₅	เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่าง
20,000-70,000	0.01
10,000-25,000	0.02
4,000-14,000	0.05
2,000-7,000	0.1
1,000-3,500	0.2
400-1,400	0.5
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100.0

5. Dissolved oxygen (DO) โดยวิธี Azide modification of the iodometric method

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 480 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 400 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องไม่เกิดสีกับน้ำเบ้งเมื่อเติมสารละลายที่ทำให้เป็นกรดแล้วของ KI

2. สารละลายไฮโอไดด์-เฮไซด์ ละลาย NaOH 500 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ละลาย NaN_3 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4. น้ำเบ้งอินดิเคเตอร์ ละลาย Soluble starch 5 กรัม ในน้ำต้มประมาณ 800 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันเติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที ตั้งค้างคืนไว้ ใช้แต่น้ำใสๆข้างบน เติมกรด Salicylic 1.25 กรัมต่อน้ำเบ้ง 1 ลิตร หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่น เติม NaOH 0.4 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร ทำการ Standardize ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอเดต

6. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอเดต 0.025 นอร์มัล ละลาย $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 0.8124 กรัม ในน้ำกลั่นปรับจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอเดต

1. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้วเฮอเลนเมเยอร์ฟลาส ด้วยน้ำกลั่น 100 - 150 มิลลิลิตร

2. เติม H_2SO_4 (1+9) 10 มิลลิลิตร

3. นำมาไทเตรทไฮโอไดด์ที่ถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล ที่เตรียมไว้ จนกระทั่งใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายจางลง เติมน้ำเบ้ง 1 มิลลิลิตร ไทเตรทต่อจนถึงจุดยุติ ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มัลพอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไทเตรทจะเท่ากับ 20.00 มิลลิลิตร ถ้าไม่ได้ ให้ปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตให้เท่ากับ 0.025 นอร์มัล

วิธีการวิเคราะห์

1. จากตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ในข้อ 3.5 นำมาเติมสารละลายแอมกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร ลงไปได้
ผิวน้ำ

2. เติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรโดค-เฮไซต์ 1 มิลลิลิตร ลงไปได้ผิวน้ำ

3. ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าลงแบบพลิกฝ่ามือให้ขวดตั้ง
ขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง

4. ปลอ่ยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนกัน รอจนได้น้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เปิด
จุกแล้วเติมกรดเข้มข้นลงทันที 1 มิลลิลิตร โดยค่อยๆ ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

5. ปิดจุกค่อยๆ เขย่ากลับไปมา จนกระทั่งตะกอนละลายหมด

6. ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ไอโอดีนที่เกิดกระจายไปทั่วขวดก่อนริน

7. ตวงสารละลายที่ได้ เพื่อใช้ในการไตเตรทโดยยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำ 200
มิลลิลิตร เป็นหลัก นั่นคือ ถ้าขวด ขนาด 300 มิลลิลิตร และเติมสารละลายแอมกานีสซัลเฟต และ
สารละลายอัลคาไล-ไฮโดรโดค-เฮไซต์ รวม 2 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไตเตรทจึง
ควรเป็น

$$\frac{200 \times 300}{(300 - 2)} = 201 \text{ มิลลิลิตร}$$

8. นำปริมาตรสารละลายที่คำนวณได้มาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต
0.025 นอร์มัล จนได้สีเหลืองอ่อนๆ เติมน้ำแบ่ง 1-2 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทต่อจนกระทั่งสีน้ำเงิน
หายไป

การคำนวณ

1) ออกซิเจนละลาย (DO)

$$1 \text{ ml } 0.025 \text{ N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 1 \text{ mg/L DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร)}$$

2) BOD₅ (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 (\text{mg/L}) = (D_1 - D_2) / P$$

3) BOD₅ (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$\text{BOD}_5 (\text{mg/L}) = [(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f] / P$$

โดยที่ D₁ = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D₂ = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในวันที่ 5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = อัตราส่วนของสารเจือจางตัวอย่างน้ำ

- B_1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 B_2 = ค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 f = อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้ สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

6. Chemical oxygen demand (COD)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดรีฟลักซ์ ประกอบด้วย ขวดขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีคอที่ทำด้วย Ground glass joint 24/40 และ Condenser 300 mm Jacket liebic ซึ่งมีข้อต่อทำด้วย Ground glass joint 24/40
2. เตาเผาแผ่นเหล็กความร้อน
3. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม (อบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ถ้าจำเป็นให้เติมกรดซัลฟามิค 120 มิลลิกรัม เพื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจาก NO_2)
2. สารละลายกรดซัลฟูริก เติม Ag_2SO_4 และกรดซัลฟูริกเข้มข้นด้วยสัดส่วน 5.5 กรัมของ Ag_2SO_4 ต่อ 1 กิโลกรัมของกรดซัลฟูริกเข้มข้น ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ละลาย
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย $Fe(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงไป ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร
4. สารละลายเฟอร์โรซีนดิเคเตอร์ ละลายฟีแนนโทรีนโมโนไฮเดรต (1-10 Phenanthroline monohydrate) 1.485 กรัม และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างในปริมาตร 20 มิลลิลิตร และปรับปริมาตร น้ำหนักและนอร์มัลลิตีของน้ำยาเคมี โดยดูจากตารางผนวก 2 เพื่อหาอัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่จะเติม
2. เติมเมอร์คิวรี(II)ซัลเฟต ($HgSO_4$) ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางผนวก และใส่ลูกแก้ว (Glass beads) 4-5 เม็ด

3.เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (ซึ่งผสม Ag_2SO_4 อยู่ก่อนแล้ว) ตามตารางผนวก 2 อย่างช้าๆ พร้อมกับเขย่าเพื่อละลาย HgSO_4 และควรทำให้เย็นขณะเขย่า เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายไปของสารที่เป็นไอในตัวอย่าง

4.เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล ตามปริมาตรที่กำหนดในตารางผนวก 2 และผสมอีกครั้ง

5.ค่อยๆเติมสารละลายกรดซัลฟูริก ตามตารางผนวก 2 ผสมให้เข้ากัน

6.นำขวดรีฟลักซ์ไปต่อเข้ากับเครื่อง Condenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ ก่อนเปิดเครื่องให้ความร้อน ต้มให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง ปลดยंत्रให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงไป 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

7.นำไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.10 นอร์มัล โดยใช้เฟอร์โรอิน 2-3 หยด (0.1-0.15 มิลลิลิตร) เป็นอินดิเคเตอร์ ถือเอาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงิน-เขียวเป็นสีน้ำตาลแดงทันทีเป็นจุดยุติ ถึงแม้ว่าเมื่อตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที สีน้ำเงิน-เขียวจะกลับคืนมาก็ตาม

8.ทำแบลนด์โดยใช้น้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากับตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งน้ำยาเคมีที่ใช้ด้วย

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักและความเข้มข้นของน้ำยาเคมีที่ใช้กับขนาดของตัวอย่าง

Sample Size (ml)	0.25 N Standard Dichromate (ml)	Conc. H_2SO_4 with Ag_2SO_4 (ml)	HgSO_4 (mg)	Normality of $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$	Final volume before titration (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

1. ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมตมา 0.025 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (Ag_2SO_4 อยู่ก่อนแล้ว)

3. นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.10 นอร์มัล โดยใช้เฟอร์โรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จุดยุติคือ จุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

$$1) \text{ Normality of FAS} = \frac{\text{ปริมาณ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ (ml)} \times 0.25}{\text{ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml)}}$$

$$2) \text{ COD (mg O}_2\text{ / L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}}$$

โดย A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับการไตเตรทแบลนด์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = นอร์มัลลิตีของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรท

7. Total kjeldahl nitrogen (TKN)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย ประกอบด้วย Kjeidahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร มี Heating device ซึ่งสามารถทำให้น้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เดือดได้ภายในเวลา 5 นาที และให้อุณหภูมิได้ระหว่าง 344-371 องศาเซลเซียส

2. เครื่องมือสำหรับทำการกลั่น ซึ่งประกอบด้วย Kjeidahl flask มีกระเปาะข้างบน และ Condenser ในแนวตั้ง

3. บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

2. น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion reagent) ละลาย K_2SO_4 134 กรัม ในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้สารละลายมีปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 °C เพื่อป้องกันการตกผลึก

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Hydroxide Sodium Thiosulfate Reagent) ละลาย NaOH 500 กรัม และ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 25 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ (Indicating Boric Acid Solution) ละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่น เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม 10 มิลลิลิตร (เตรียมโดยละลายเมทธิลเรด 200 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% จำนวน 100 มิลลิลิตร และละลายเมทธิลีนบลู 100 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% จำนวน 50 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองชนิดมาผสมกัน เตรียมใช้แต่ละเดือน) เจือจางให้เป็น 1 ลิตร เตรียมใช้แต่ละเดือน

5. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล โดยเจือจางกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ใส่น้ำตัวอย่าง 300 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลดาร์ล ขนาด 800 มิลลิลิตร และเติมลูกแก้ว 3-4 เม็ดเพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรงภายในขวด แล้วทำการปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 7 เตรียมแบลงค์โดยใช้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เช่นกัน (ถ้าจำเป็นให้ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำที่ใช้ ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วทำให้สะท้อนจนพีเอชเท่ากับ 7)

2. เติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มิลลิลิตร ลงในขวดเจลดาร์ล

3. หลังจากผสมให้เข้ากันดีแล้ว นำขวดไปวางในเครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย ซึ่งอยู่ในตู้ควันย่อยจนกระทั่งเกิดควันสีขาวของ SO_3 ให้ย่อยต่อไปเรื่อยๆจนได้สารละลายใส (หรือสีฟางซีดๆ) จากนั้นย่อยสลายต่ออีก 20-30 นาที ปิดไฟและปล่อยให้เย็น

4. น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. เติมน้ำกลั่นและค่อยๆรินสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไธโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร ลงไปตามผนังของขวดที่ใช้ในการย่อยสลาย (ห้ามเขย่าสารละลายเพราะจะเกิดความร้อนขึ้นและแอมโมเนียจะพุ่งออกมาจากสารละลาย)

6. ต่อบนขวดเจลดาร์ลเข้ากับเครื่องกลั่น ทำการกลั่นโดยให้ความร้อนที่เหมาะสม เก็บส่วนที่กลั่นออกมา 200 มิลลิลิตร ผ่านหลอดแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์ 50 มิลลิลิตร เมื่อกลั่นครบ 200 มิลลิลิตร เลื่อนขวดเก็บสารละลายที่ได้จากการกลั่นออก

7. นำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีเขียวของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน

4. แบลงค์ ใช้น้ำกลั่นและผ่านชั้นตอนทุกอย่างเหมือนทำตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{mg/L TKN} = \frac{(A-B) \times N \times 280}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเป็นนอร์มัลลิตี

8. ไขมันและน้ำมัน (Fat oil and grease)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดสกัดซอกซ์เลต
2. เครื่องดูดสูญญากาศ (Vacuum pump)
3. กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
4. ชุดลดปริมาตร (Rotary evaporator)
5. ขวดสกัด (Extraction flask)
6. เครื่องชั่งละเอียด
7. ตู้อบ
8. กระดาษกรองเบอร์ 40 ขนาด 7 ซม.
9. เอกซ์แทรคชันทิมเบิล (Extraction thimble paper)
10. ลูกแก้ว

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
2. เฮกเซน (n-Hexane)
3. Diatomaceous-Silica filter acid suspension ความเข้มข้น 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
4. สำลี

วิธีการวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร (หรือปริมาณน้อยกว่า) แล้วปรับพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นให้น้อยกว่า 2

2.เตรียมแผ่นกรองดูดซับน้ำมันโดยวางกระดาษกรองในกรวยบุคเนอริ์แล้วเทสารแขวนลอย Diatomaceous Silica เข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงไป ใช้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร ดูดน้ำออกจนแห้ง

3.กรองตัวอย่างน้ำที่เตรียมจากข้อ 1 ผ่านบนกระดาษกรองที่มีแผ่นกรองดูดซับน้ำมันอยู่ (ข้อ 2) ดูดน้ำออกจนแห้ง

4.ใช้คีมคีบกระดาษกรองนำไปใส่ในทิมเบิล ใช้ล้าลีซุบเฮกเซน เช็ดไขมันที่ติดด้วยบุคเนอริ์ให้หมด แล้วนำล้าลีใส่ในทิมเบิลด้วย

5.นำทิมเบิลไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ใส่เม็ดแก้วให้เต็มทิมเบิล

6.ชั่งน้ำหนักขวดที่ใช้สกัด ซึ่งได้ทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส) สมมติเท่ากับ A กรัม ใส่เฮกเซนลงในขวดสกัด 200 มิลลิลิตร

7.นำทิมเบิลใส่ในชุดสกัดชอกเลตส์ ทำการสกัดโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายด้วยอัตรา 20 รอบต่อชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยนับจากเริ่มสกัดรอบแรก ต่อเครื่องมือทำการสกัด

8.กลั่นเฮกเซนจากขวดสกัดในเครื่องชุดลดปริมาตร (Rotary evaporator) ออกจนแห้ง (สามารถนำเฮกเซนกลับมาใช้ได้อีก)

9.นำขวดสกัดไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสมมติเท่ากับ B กรัม

การคำนวณ

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (มก./ล)} = \frac{(B-A) \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

โดย A = น้ำหนักขวดสกัดเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักขวดสกัดหลังจากสกัด (มิลลิกรัม)

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองและการคำนวณ

1. ชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอน และระดับพีเอชที่เหมาะสมในการรวมตะกอน โดยวิธีการศึกษาขั้นต้น

ตารางผนวกที่ 3 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ปูนขาว ในปริมาณต่างๆเป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)																											
	0				50				100				300				500				700				900			
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
เฉลี่ย	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1	1	1	1	1	1	1	1.6	2	2	2.6	2	3	3.3	3	3.3	3	3.3	3	3.3

ตารางผนวกที่ 4 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ฟอสฟอริกในปริมาณต่างๆเป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)																											
	0				5				10				15				20				30				35			
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2	3	3	4	4	5	4	5	5	5	5
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	3	2	3	2	3	2	4	4	5	4	5	5	5	5
3	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	3	2	2	2	2	2	2	2	4	2	4	4	5	4	5	5	5	5
เฉลี่ย	0	0	0	0	1	1	1	1	1.3	1.3	2.3	1.3	2	2	2.6	2	2.3	2.3	3.3	2.3	4	4	5	4	5	5	5	5

ตารางผนวกที่ 5 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลีคริสตามิด ชนิดประจุบวก ในปริมาณ 25 และ 35 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ

สำหรับน้ำทิ้งจุดที่ 3 และจุดที่ 1,2 และ 4 ตามลำดับ

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช																				
	4			4.5			5			5.5			6			6.5					
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	
1	1	1	2	1	1	2	1	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	4	5	5	
2	1	1	1	1	2	1	2	3	3	4	3	5	4	5	5	5	5	4	5	4	
3	1	1	1	1	2	1	1	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4	
เฉลี่ย	1	1	1.3	1	1.6	1.6	1.6	3	3	3.3	3	4.3	4.3	4.6	4.3	5	5	4.6	4.6	5	4.6

ตารางผนวกที่ 6 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลีคริสตามิด ชนิดประจุบวก ในปริมาณต่างๆ ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)																												
	0				5				10				15				25				30					35			
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	
1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	3	4	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	
2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	
3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	2	1	2	2	2	4	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
เฉลี่ย	1	1	1.3	1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	2.3	1.3	1.6	2.3	1.6	2	2.3	1.6	3.3	3.3	3.6	3.3	4	4	4.3	4	5	5	5	5

ตารางผนวกที่ 7 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณต่างๆเป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)																															
	0				500				1,000				1,500				2,000				2,500				3,000							
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4	3	4	3	4	4
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	4	4	5	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	4	4	3
เฉลี่ย	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1	1	1	1	1	1	1.3	1	1.6	1.6	2	1.6	2.3	2.3	2.3	2.3	3.3	2.3	3.3	2.3	3.6	3.6	4.3	3.6

ตารางผนวกที่ 8 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณ 1,000 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำทิ้งแยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช																											
	4				4.5				5				5.5				6				6.5							
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4
1	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3
2	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3
3	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
เฉลี่ย	4.6	4.6	5	4.6	4.3	4.3	4.6	4.3	4	4	4	4	3.6	3.6	3.6	3.6	3	3	3	3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

ตารางผนวกที่ 9 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ในปริมาณต่างๆ ที่พิเศษเท่ากับ 4 สำหรับน้ำที่แยกตามจุด

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)																													
	0						100				300				500				700				900				1,200			
	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4	จุด 1	จุด 2	จุด 3	จุด 4		
1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	2	1	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5			
2	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4			
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	3	3	4	4	4	3	5	3	5	5	5	5	4	5	4	5			
เฉลี่ย	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1.3	1	3.3	3.3	3.6	3.3	3.6	3.6	4.3	3.6	5	5	5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6			

ตารางผนวกที่ 10 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้ปูนขาว ในปริมาณต่างๆ
เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)							
	0	50	100	300	500	700	900	1,000
1	0	1	1	1	2	3	3	5
2	0	0	1	2	2	3	4	5
3	0	0	1	1	1	3	4	4
เฉลี่ย	0	0.3	1	1.3	1.6	3	3.3	4.6

ตารางผนวกที่ 11 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก
ในปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนสำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
1	0	1	1	2	3	4	4	5	5	
2	1	1	1	2	3	4	5	5	5	
3	0	0	1	2	3	4	5	5	5	
เฉลี่ย	0.3	0.6	1	2	3	4	4.6	5	5	

ตารางผนวกที่ 12 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลีคริสลามีต ชนิดประจุบวก
ในปริมาณ 35 มก./ล ที่พีเอชต่างๆสำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	4.5	5	5.5	6	6.5
1	2	3	4	5	5	4
2	1	3	4	5	5	5
3	2	2	5	4	5	5
เฉลี่ย	1.6	2.6	4.3	4.6	5	4.6

ตารางผนวก 13 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้โพลีคริลามิด ชนิดประจุบวก
ในปริมาณต่างๆ ที่พีเอชเท่ากับ 6 สำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
1	2	2	3	4	4	5	5	5	5
2	2	2	3	4	4	4	5	5	5
3	1	2	2	3	4	5	5	5	5
เฉลี่ย	1.6	2	2.6	3.3	4	4.6	5	5	5

ตารางผนวก 14 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ในปริมาณต่างๆ เป็นสารรวมตะกอน สำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)								
	0	500	1,000	1,200	1,500	2,000	2,300	2,500	3,000
1	0	1	1	1	1	3	3	5	5
2	0	0	1	1	2	2	3	4	5
3	0	0	2	2	2	3	3	4	4
เฉลี่ย	0	0.3	1.3	1.3	1.6	2.3	3	4.3	4.6

ตารางผนวก 15 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ในปริมาณ 1,000 มก./ล ที่พีเอชต่างๆ สำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	พีเอช					
	4	4.5	5	5.5	6	6.5
1	5	5	4	3	3	3
2	5	4	4	4	3	2
3	5	5	4	4	3	2
เฉลี่ย	5	4.6	4	3.3	3	2.3

ตารางผนวกที่ 16 แสดงลักษณะน้ำในเชิงคุณภาพเมื่อใช้คาร์บอนซีเมทริลเซลลูโลส
ในปริมาณต่างๆ ที่พีเอช เท่ากับ 4 สำหรับน้ำทิ้งรวม

การทดลอง ครั้งที่	ปริมาณสาร (มก./ล)							
	0	100	300	500	700	900	1000	1200
1	1	1	1	2	3	4	5	4
2	0	1	1	2	3	4	5	5
3	1	1	2	2	3	4	4	5
เฉลี่ย	0.6	1	1.3	2	3	4	4.6	4.6

2. การคำนวณเปอร์เซ็นต์การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งสุริมิโดยวิธีการรวม
ตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย

คำนวณจากการทำสมดุลมวลสารของปริมาณที่เคเอ็นและไขมันตามตัวอย่างการคำนวณ
ตารางผนวกที่ 17 และผลการคำนวณแสดงในตารางผนวกที่ 18-22

ตารางผนวกที่ 17 ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลสารของปริมาณที่เคเอ็นและไขมัน

ตัวแปร	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		การกระจายมลสาร (%)	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	585	486	(2×585) 1,170	(2×486) 972	100	100
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.867	160	22.8	(1.867×160) 298.7	(1.867×22.8) 42.6	$\left(\frac{298.7}{1170}\right) \times 100$ 25.5**	$\left(\frac{42.6}{972}\right) \times 100$ 4.4**
ตะกอนลอย	(2.000 - 1.867) 0.133****	$\left(\frac{871.3}{0.133}\right)$ 6,550***	$\left(\frac{929.4}{0.133}\right)$ 6,988***	(1,170 - 298.7) 871.3	(972 - 42.6) 929.4	(100 - 25.5) 74.5*	(100 - 4.4) 95.6*

หมายเหตุ : * % การกระจายมลสารของที่เคเอ็นและไขมันในตะกอนลอย คือ % Recovery

** % การกระจายมลสารของที่เคเอ็นและไขมันในน้ำทิ้ง คือ % Loss

*** ปริมาณมลสารในตะกอนลอยที่คำนวณได้จากการทำสมดุลมวลสาร

**** ปริมาตรของน้ำในตะกอนลอยที่ไม่รวมฟองอากาศ

ตารางผนวกที่ 18 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศ โดยที่เวลาอัดอากาศ 4 นาที และ
เวลาคลายตะกอน 15 นาที ดังแสดงในตารางผนวกที่ 18.1-18.3

ตารางผนวกที่ 18.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศครั้งที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ ก-ค

ครั้งที่ 1 ก. ความดัน 50 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	413.30	855.60	826.60	1,711.20	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.445	154.60	35.00	223.40	50.58	27.03	2.96
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.555	1,086.85	2,992.12	603.20	1,660.63	72.97	97.04

ข. ความดัน 60 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	413.30	855.60	826.60	1,711.20	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.239	154.60	36.00	191.55	44.60	23.17	2.61
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.761	834.49	2,190.01	635.05	1,666.60	76.83	97.39

ค. ความดัน 70 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	413.30	855.60	826.60	1,711.20	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.032	141.10	26.50	145.62	27.35	17.62	1.60
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.968	703.50	1,739.52	680.98	1,683.85	82.38	98.40

ตารางผนวกที่ 18.2 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศครั้งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ ก-ค

ครั้งที่ 2 ก. ความดัน 50 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	343.00	390.00	686.00	780.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.569	152.00	41.00	238.49	64.33	34.77	8.25
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.431	1,038.31	1,660.49	447.51	715.67	65.23	91.75

ข. ความดัน 60 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	343.00	390.00	686.00	780.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.528	146.00	25.00	223.09	38.20	32.52	4.90
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.472	980.75	1,571.61	462.91	741.80	67.48	95.10

ค. ความดัน 70 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	343.00	390.00	686.00	780.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.445	133.00	20.00	192.19	28.90	28.02	3.71
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.555	889.76	1,353.33	493.82	751.10	71.98	96.29

ตารางผนวกที่ 18.3 ผลการเปลี่ยนแปลงความดันในถังอัดอากาศครั้งที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 3 ก. ความดัน 50 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.363	241.00	190.00	328.48	258.97	36.18	21.84
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.637	909.76	1,455.31	579.52	927.03	63.82	78.16

ข. ความดัน 60 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.421	230.00	130.00	326.83	184.73	35.99	15.58
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.579	1,003.75	1,729.31	581.17	1,001.27	64.01	84.42

ค. ความดัน 65 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.403	220.00	63.00	308.66	88.39	33.99	7.45
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.597	1,003.92	1,838.54	599.34	1,097.61	66.01	92.55

ง. ความดัน 70 psi	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.405	181.00	45.00	254.31	63.23	28.01	5.33
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.595	1,098.65	1,887.02	653.70	1,122.78	71.99	94.67

ตารางผนวกที่ 19 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศ โดยที่ความดัน 70 psi และเวลาลอย
ตะกอน 15 นาที ดังแสดงในตารางผนวกที่ 19.1-19.3

ตารางผนวกที่ 19.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศครั้งที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 1 ก. เวลา 2 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	477.00	320.00	954.00	640.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.742	208.00	58.00	362.34	101.04	37.98	15.79
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.258	2,293.27	2,089.01	591.66	538.96	62.02	84.21

ข. เวลา 4 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	477.00	320.00	954.00	640.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.682	175.80	24.40	295.70	41.04	31.00	6.41
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.318	2,070.14	1,883.52	658.30	598.96	69.00	93.59

ค. เวลา 8 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	477.00	320.00	954.00	640.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.755	184.80	44.00	324.32	77.22	34.00	12.07
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.245	2,570.11	2,297.06	629.68	562.78	66.00	87.93

ง. เวลา 16 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	477.00	320.00	954.00	640.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.782	198.00	24.40	352.84	43.48	36.98	6.79
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.218	2,757.63	2,736.33	601.16	596.52	63.02	93.21

ตารางผนวกที่ 19.2 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังขั้วอากาศครั้งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 2 ก. เวลา 2 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	1,095.00	1,104.00	2,190.00	2,208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.839	261.00	31.80	218.98	26.68	10.00	1.21
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.161	1,697.69	1,878.83	1,971.02	2,181.32	90.00	98.79

ข. เวลา 5 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	1,095.00	1,104.00	2,190.00	2,208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.741	221.80	29.00	164.35	21.49	7.50	0.97
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.259	1,608.93	1,736.70	2,025.65	2,186.51	92.50	99.03

ค. เวลา 10 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	1,095.00	1,104.00	2,190.00	2,208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.977	224.00	34.50	218.85	33.71	9.99	1.53
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.023	1,926.83	2,125.41	1,971.15	2,174.29	90.01	98.47

ง. เวลา 18 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	1,095.00	1,104.00	2,190.00	2,208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.992	231.80	35.40	229.95	35.12	10.50	1.59
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.008	1,944.50	2,155.64	1,960.05	2,172.88	89.50	98.41

ตารางผนวกที่ 19.3 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังอัดอากาศครั้งที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 3 ก. เวลา 3 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	406.60	981.50	813.20	1,963.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.653	187.00	20.00	309.11	33.06	38.01	1.68
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.347	1,452.71	5,561.79	504.09	1,929.94	61.99	98.32

ข. เวลา 4 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	406.60	981.50	813.20	1,963.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.612	168.00	20.00	270.82	32.24	33.30	1.64
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.388	1,397.90	4,976.19	542.38	1,930.76	66.70	98.36

ค. เวลา 9 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	406.60	981.50	813.20	1,963.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.691	190.40	22.50	321.97	38.05	39.59	1.94
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.309	1,589.75	6,229.62	491.23	1,924.95	60.41	98.06

ง. เวลา 14 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	406.60	981.50	813.20	1,963.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.736	253.00	24.00	439.21	41.66	54.01	2.12
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.264	1,416.64	7,277.79	373.99	1,921.34	45.99	97.88

ตารางผนวกที่ 20 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังลอยตะกอน โดยที่ความดัน 70 psi
และเวลาอัดอากาศ 4 นาที ดังแสดงในตารางผนวกที่ 20.1-20.3

ตารางผนวกที่ 20.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังลอยตะกอนครั้งที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 1 ก. เวลา 5 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.238	272.00	37.00	336.74	45.81	37.09	3.86
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.762	749.69	1,496.32	571.26	1,140.19	62.91	96.14

ข. เวลา 10 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.074	263.00	38.40	282.46	41.24	31.11	3.48
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.926	675.53	1,236.24	625.54	1,144.76	68.89	96.52

ค. เวลา 15 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.949	244.00	38.40	231.56	36.44	25.50	3.07
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.051	643.62	1,093.78	676.44	1,149.56	74.50	96.93

ง. เวลา 30 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	454.00	593.00	908.00	1,186.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.662	238.60	29.00	157.95	19.20	17.40	1.62
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.338	560.57	872.05	750.05	1,166.80	82.60	98.38

ตารางผนวกที่ 20.2 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังลอยตะกอนครั้งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 2 ก. เวลา 8 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	411.00	104.00	822.00	208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.566	183.70	20.70	287.67	32.42	35.00	15.58
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.434	1,231.17	404.57	534.33	175.58	65.00	84.42

ข. เวลา 15 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	411.00	104.00	822.00	208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.239	179.00	18.70	221.78	23.17	26.98	11.14
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.761	788.72	242.88	600.22	184.83	73.02	88.86

ค. เวลา 30 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	411.00	104.00	822.00	208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.237	170.00	18.00	210.29	22.27	25.58	10.70
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.763	801.72	243.43	611.71	185.73	74.42	89.30

ง. เวลา 60 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	411.00	104.00	822.00	208.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.824	145.60	17.00	119.97	14.01	14.60	6.73
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.176	596.96	164.96	702.03	193.99	85.40	93.27

ตารางผนวกที่ 20.3 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาในถังลอยตะกอนครั้งที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ ก-ง

ครั้งที่ 3 ก. เวลา 8 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	447.00	434.00	894.00	868.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.649	200.50	32.00	330.62	52.77	36.98	6.08
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.351	1,605.06	2,322.60	563.38	815.23	63.02	93.92

ข. เวลา 15 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	447.00	434.00	894.00	868.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.238	179.00	30.00	221.60	37.14	24.79	4.28
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.762	882.41	1,090.37	672.40	830.86	75.21	95.72

ค. เวลา 30 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	447.00	434.00	894.00	868.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.993	175.50	31.00	174.27	30.78	19.49	3.55
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.007	714.73	831.40	719.73	837.22	80.51	96.45

ง. เวลา 60 นาที	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	447.00	434.00	894.00	868.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	0.701	162.00	31.00	113.56	21.73	12.70	2.50
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	1.299	600.80	651.48	780.44	846.27	87.30	97.50

ตารางผนวกที่ 21 ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมที่ความดัน 70 psi เวลาอัดอากาศ 4 นาที และเวลาลอย
ตะกอน 15 นาที ดังแสดงในตารางผนวกที่ 21.1-21.3

ตารางผนวกที่ 21.1 ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมครั้งที่ 1

ครั้งที่ 1	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	585.00	486.00	1,170.00	972.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.867	160.00	22.80	298.72	42.57	25.53	4.38
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.133	6,550.98	6,988.21	871.28	929.43	74.47	95.62

ตารางผนวกที่ 21.2 ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมครั้งที่ 2

ครั้งที่ 2	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	627.00	660.00	1,254.00	1,320.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.821	275.50	13.00	501.69	23.67	40.01	1.79
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.179	4,202.87	7,242.05	752.31	1,296.33	59.99	98.21

ตารางผนวกที่ 21.3 ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมครั้งที่ 3

ครั้งที่ 3	ปริมาตร (Litre)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	453.60	326.00	907.20	652.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.748	239.70	22.00	419.00	38.46	46.19	5.90
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.252	1,937.32	2,434.70	488.20	613.54	53.81	94.10

ตารางผนวก 22 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยไม่ใช้สารโพลีคริลามิด ชนิดประจุบวก

ตัวแปร	ปริมาตร (Liter)	ปริมาณมลสาร (mg/l)		มวลของสาร (mg)		% การกระจายมลสาร	
		TKN	Fat	TKN	Fat	TKN	Fat
น้ำดิบ (Feed)	2.000	386.40	211.00	772.80	422.00	100.00	100.00
น้ำทิ้ง (Effluent)	1.998	303.50	64.00	606.39	127.87	78.47	30.30
ตะกอนลอย (ไม่รวมฟองอากาศ)	0.002	83,203.50	147,064.00	166.41	294.13	21.53	69.70

3. การคำนวณปริมาณตะกอนที่ได้จากการรวมตะกอนและลอยตะกอนด้วยอากาศละลาย
ขนาดห้องปฏิบัติการ (DAF)

โดยคำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณตะกอนลอยอบแห้ง} &= (\text{TSS ในตะกอนลอย (mg/l)} \times \\ \text{(กรัมต่อน้ำดิบ 1 ลิตร)} &\quad \text{ปริมาตรตะกอนลอย (cm}^3\text{)) / ปริมาตรน้ำดิบ (l)} \end{aligned}$$

โดยที่ ปริมาตรตะกอนลอย คำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรตะกอนลอย} &= A \times L \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดของถังลอยตะกอน (8 \times 8 \text{ ซม.})} \\ L &= \text{ความสูงของตะกอนลอย (ซม.)} \end{aligned}$$

4. การคำนวณปริมาตรของถังอัดอากาศในงานปฏิบัติจริง

โดยคำนวณจาก

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

$$\tau = \text{เวลาในการอัดอากาศ (4 นาที)}$$

แต่ในการศึกษานี้ใช้ปริมาตรน้ำทิ้ง 1.5 เท่าของปริมาตรถังอัดอากาศ (V) และมีอัตราการไหล
ของน้ำทิ้ง (Q) 210 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (0.29 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาตรถังอัดอากาศ} &= 1.5\tau Q \\ &= 1.5 \times 4 \times 0.29 \\ &= 1.74 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

5. การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในระบบ

โดยคำนวณจาก

ปริมาณอากาศที่ต้องการ = ปริมาณอากาศที่ถูกปล่อยออกมา (มิลลิลิตรต่อลิตร) × อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ลิตรต่อนาที)

โดยที่

ปริมาณอากาศที่ถูกปล่อยออกมา (S) คำนวณจากสูตร

$$S = S_a \times \left[\frac{fP}{P_a} - 1 \right]$$

- เมื่อ
- S_a = 21.8 มิลลิลิตรต่อลิตร
 - P = ความดันสมบูรณ์ที่ใช้ (70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
 - P_a = ความดันบรรยากาศ (14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
 - f = เศษส่วนของอากาศที่ละลายอยู่จริงในน้ำในถัง เมื่อเทียบกับปริมาณที่สามารถละลายได้จริง (Saturated) ณ ความดันเท่ากับ P (ค่า = 1)

ดังนั้น

$$S = 21.8 \times \left[\frac{70}{14.7} - 1 \right]$$

$$S = 82 \text{ มิลลิลิตรต่อลิตร}$$

และมีค่าอัตราการไหลของน้ำทิ้ง 290 ลิตรต่อนาที

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้น ปริมาณอากาศที่ต้องการ} &= 82 \times 290 \\ &= 24 \text{ ลิตรต่อนาที} \end{aligned}$$

และเมื่อค่าแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย (Safety factor) 2 เท่าของปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในระบบ ซึ่งจะได้ประมาณ 50 ลิตรต่อนาที

ภาคผนวก ค
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

**การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25**

20-22 ตุลาคม 2542

ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน

พิษณุโลก

**กำหนดการและบทคัดย่อ
PROGRAMME AND ABSTRACTS**

ISBN 974-87169-4-5

**25th Congress on Science and
Technology of Thailand**

20-22 October 1999

at Amarin Lagoon Hotel

Pitsanuloke



25th-STT : The Best Domestic Convention Award 1993

990

D-50

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนงานวิจัย ภัทวดี ธรรมเจษฎา

สาขาวิชา: วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

 นาย น.ส. นาง คร. อ. ผศ. รศ. ศ. ภาษภาพ ชีวภาพ

ที่ทำงาน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

 แพทย์ ทรัพย์-แวดล้อม

อ.กาญจนวนิช อ.หาคใหญ่ จ.สงขลา 90110 โทร. 429931

 เกษตร วิศวกรรมโยธา วิทยาศาสตร์ ทั่วไป

Recovery of Protein and Fat from Wastewater of SURIMI Industry by Dissolve Air Flotation

Phakwadee Thammachetsada*, Pitsanu Bunnaul**, Surapon Arykul** and Boonsom Siribumrungkook

*Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

**Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

Wastewater from surimi industry contains high content of protein and fat. The objective of this study is to recover protein and fat from wastewater surimi industry by dissolve air flotation technique. Laboratory scale tests using different flocculants with various concentration and at various pH values were performed. Flocculants selected for the present study were cationic polymer, lime and carboxyl methyl cellulose. Surimi wastewater was collected from four different locations within the surimi plant. It is found from the preliminary study that flocculation using cationic polymer at pH 5.5 provides the best flotation result. The minimum dosage of cationic polymer required was 15-30 mg/L. Using lime and carboxyl methyl cellulose also produces good flotation results but at lower pH and with very high dosage, up to 200-300 mg/L.

การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิโดยวิธีการลอยตะกอน

ภัทวดี ธรรมเจษฎา* พิชญ บุนนาวล** สุรพล อารีย์กุล** บุญสม ศิริบำรุงสุข**

*คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

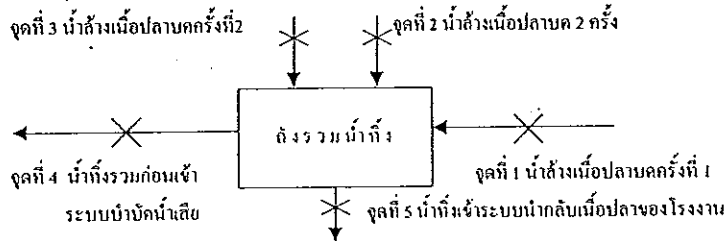
**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตซูริมิประกอบด้วยสาร โปรตีนและไขมันสูง จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาการนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิโดยวิธีการลอยตะกอน โดยศึกษาหาชนิดและปริมาณสารรวมตะกอนตลอดจนระดับพีเอชที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนที่ดีที่สุด สารเคมีที่เลือกใช้ในการศึกษานี้คือ โพลีเมอร์ประจุบวก, ปูนขาว และคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้สารโพลีเมอร์ประจุบวกในการลอยตะกอนให้ผลดีที่สุดที่ pH 5.5 โดยใช้ความเข้มข้น 15-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่การใช้ปูนขาวและคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส ต้องใช้ค่า pH ที่ต่ำกว่าและใช้สารในปริมาณที่สูงมาก โดยใช้ความเข้มข้น 200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร

INDEX KEY WORDS: Surimi, Flocculation, Dissolved Air Flotation, Protein, Fat

ชื่อเรื่อง (ไทย) การนำกลับโปรตีนและไขมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซูริมิโดยวิธีการลอยตะกอน

รูปที่ 1 : แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง



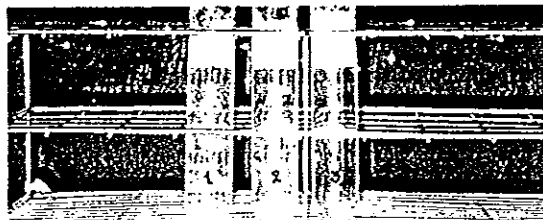
ตารางที่ 1 : แสดงคุณลักษณะน้ำทิ้งของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

จุดตัวอย่าง	Flowrate (L/min)	Parameter (mg/L)			
		SS	TSS	TKN	FAT
1	127	1640	8674	52	465
2	172.5	2700	9276	81	348
3	22.4	6440	16000	47	1279
4	22.4	2500	1938	85	1938
5	191.4	1180	5892	86.8	240

วิธีการศึกษา ใต้น้ำทิ้งในหลอดทดลอง (Vial) เติมสารรวมตะกอน, ปรับ pH ด้วยกรด H₂SO₄, จากนั้นเปิดฝาแล้วเขย่าแรงๆ จะทำให้เกิดการรวมตะกอนและลอยตะกอนในลักษณะ Dissolved Air Flotation เนื่องจากในช่วงการเขย่าอากาศส่วนหนึ่งไหลออกทดลองจะละลายเข้าไปในน้ำ เมื่อหยุดเขย่าทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กพาสารต่างๆลอยขึ้นสู่ผิวของน้ำ

ผลการศึกษา ค่า pH และขนาดความเข้มข้นของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการแยกสาร โปรตีนและไขมันมีดังนี้

สารรวมตะกอน	pH	ปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม (mg/L)			
		1	2	3	4
จุดเก็บตัวอย่าง					
Cationic polymer	5.5	15	30	30	30
ปูนขาว	4.5	100	200	200	300
Carboxyl methyl cellulose	4	300	300	200	300



รูปที่ 2 : ภาพแสดงลักษณะการลอยของตะกอนเมื่อเติมสาร 1).Cationic polymer, 2).lime และ 3).CMC ตามลำดับเอกสารอ้างอิง

APHA,AWWA and WEF. (1995). Standard Method for the Examination of Waste and Wastewater, 19th edition, American public Health Association, Washington D.C.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวภัทวดี ธรรมเจษฎา

วัน เดือน ปี เกิด 9 ธันวาคม 2517

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

มหาวิทยาลัยทักษิณ

พ.ศ.2540

(เคมี)

ทุนการศึกษา

-ทุนเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 25 (วทท.25) ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน จ.พิษณุโลก จัดโดย มหาวิทยาลัย
นเรศวร 2542.