



การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถุงมือยางโดยวิธีการลอยตะกอน
Rubber Gloves Plant Wastewater Treatment by Flotation

แนนนอย ศรีสุวรรณ
Nangnoi Srisuwan

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management

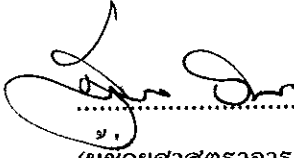
Prince of Songkla University

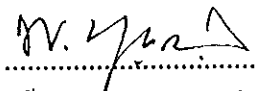
2539


เลขที่ TD ๕๕๔.๕ USR-๕๐๕๖ ๓. 2
Bib Key ๑๔ ๖๖๑๙
๖๖๑๙

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีการลอยตะกอน
ผู้เขียน นางสาวเน่งน้อย ศรีสุวรรณ
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

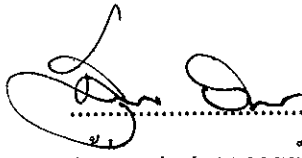
คณะกรรมการที่ปรึกษา

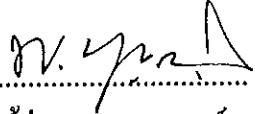

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

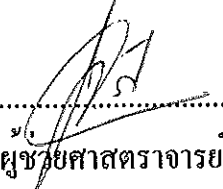

..... กรรมการ
(ดร.สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์)

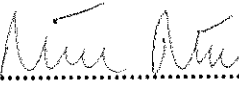
คณะกรรมการสอบ


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล)

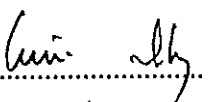

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)


..... กรรมการ
(ดร.สมทิพย์ คำนธีรวนิชย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรไชย รัตนไชย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม


.....
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไพร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถุงมือยางโดยวิธีการลอยตะกอน
ชื่อ นางสาวเน่งน้อย ศรีสุวรรณ
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อแยกอนุภาคยางออกจากน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยางซึ่งมีส่วนประกอบของอนุภาคยางแขวนลอยอยู่เป็นจำนวนมาก กระบวนการที่ใช้เป็นกระบวนการรวมตัวและการลอยตัวของตะกอน เพื่อลดค่า BOD₅ และสารแขวนลอยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หรือลดให้ต่ำลงก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่โรงงานมีอยู่เดิม การศึกษาแยกออกเป็น 2 ขั้นตอน คือหาชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนดีที่สุดในและการทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องที่ได้ออกแบบขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้สารส้มปริมาณ 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ชนิดประจุบวก 4 มก/ล สามารถสร้างตะกอนได้ดี ลดค่า COD จาก 16,600 มก/ล ลงเหลือประมาณ 200 มก/ล สารแขวนลอยจาก 5,000 มก/ล เหลือ 10 มก/ล และความขุ่นจาก 15,000 NTU ลงเหลือ 15 NTU และนอกจากนี้ยังได้เนื้อเยื่อกลับคืนมาจากน้ำเสียประมาณ 7.8 กรัม/น้ำเสีย 1 ลิตร เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารพบว่าสามารถลดค่า COD ได้ถึงร้อยละ 96.4 สารแขวน ลอย 99.4 และความขุ่นได้ 99.9 และจากผลการทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องพบว่าระยะเวลาในการกักเก็บในถังลอยตะกอนประมาณ 15 นาที เป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีขึ้น สามารถลด ค่า COD จากประมาณ 6,400 มก/ล ลงเหลือ 280 มก/ล BOD₅ จาก 360 มก/ล เหลือ 90 มก/ล สารแขวนลอยจาก 2,400 มก/ล เหลือ 10 มก/ล และลดความขุ่นจาก 3,000 NTU ลงเหลือ 30 NTU

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสามารถใช้กระบวนการรวมตัวและลอยตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ค่อนข้างประสบผลสำเร็จ และสามารถนำไปใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นได้

Thesis Title	Rubber Gloves Plant Wastewater Treatment by Flotation
Author	Miss Nangnoi Srisuwan
Major Programe	Environmental Management
Academic Year	1995

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate into techniques for removal of latex particulates from a rubber-gloves plant wastewater containing high content of suspended solids. Processes considered here include flocculation and flotation which seem to offer way to reduce BOD₅ and suspended solids down to a certain level before disposal or further biological treatment . Two series of test have been performed : preliminary tests for optimum dosage and types of coagulants and small scale continuous tests . The results of the study show that pre-coagulation with alum prior to flocculation with cationic polyacrylamide appears to significantly improve the effluent quality . The optimum dosage of around 5 mg /l alum and of around 4 mg/l cationic polyacrylamide can reduce level of COD from 16,600 mg/l down to 200 mg/l, the suspended solids from 5,000 mg/l down to 10 mg/l and the turbidity from 15,000 NTU to 15 NTU . Amount of rubber extracted from wastewater is 7.8 g/l . Rubber removal efficiencies are found to be 94.6, 99.4, 99.9 for COD, suspended solids and turbidity respectively . The continuous tests results show that the quality of the produced effluent is improved significantly . The minimum hydraulic retention time in the flotation tank is found to be 15 minutes, by which the COD level is reduced from 6,400 mg/l down to 280 mg/l, the BOD₅ from 360 mg/l to 90 mg/l, the suspended solids content from 2,400 mg/l to 10 mg/l and the turbidity from 3,000 NTU to 30 NTU .

It can be concluded from this study that the application of flocculation and flotation processes for primary treatment of wastewater containing latex particles are very promising .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ ความคิดเห็น และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนกำลังใจและการเอาใจใส่จาก ผศ.ดร.สุรพล อารีย์กุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิษณุ บุญนวล และ ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวณิช กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกเป็นพระคุณยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ฉัตรไชย รัตนไชย และ ผศ.ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ ที่ให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณอับดุลสุโกร์ ปารามัล เป็นอย่างสูง ที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ โรงงานถุงมือยางไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด และเจ้าหน้าที่โดยเฉพาะคุณพิภพ ปราบณรงค์ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างสำหรับการศึกษาและวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือ ตลอดจนคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ผลประโยชน์และความดีที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับครอบครัว ศรีสุวรรณ ที่ได้ทุ่มเทกำลังใจและกำลังกายสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มาโดยตลอด

แนนน้อย ศรีสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	3
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
ตัวย่อ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำตนเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	5
วัตถุประสงค์	28
2. วิธีการวิจัย	30
วัสดุ	30
อุปกรณ์	31
วิธีดำเนินการ	32
3. ผล	38
4. บทวิจารณ์	67
5. บทสรุป	76
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	87
ประวัติผู้เขียน	107

ตัวย่อ

BOD₅ = Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 20±1 °ซ เป็นเวลา 5 วัน

COD = Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำโดยอาศัยหลักที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถจะถูกออกซิไดส์โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

HRT = Hydraulic Retention Time คือ ระยะเวลาของน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในถังลอยตะกอนอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเท่ากับ
$$\frac{\text{ปริมาตรถังลอยตะกอน}}{\text{อัตราการไหล}}$$

มก/ล = มิลลิกรัมต่อลิตร

ลบ.ม./วัน = ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	3
2 แสดงส่วนประกอบของสารต่างๆในเนื้อยางพารา	3
3 แสดงตัวอย่างชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ผลิตถุงมือยาง	4
4 ตัวอย่างสูตรที่ใช้ผลิตถุงมือยางชนิดต่างๆ	8
5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยขึ้นของ ฟองอากาศกับขนาดฟองอากาศ	26
6 แสดงปริมาณน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียจากโรงงาน ผลิตถุงมือยาง	39
7 แสดงผลของการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน	42
8 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอน	43
9 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน	46
10 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน	47
11 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มปริมาณ ต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	48
12 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้ม ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	49
13 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาว ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	53
14 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาว ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	54

ตาราง	หน้า
15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล, สารส้ม 5 มก/ล และปูนขาว 20 มก/ล ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน	58
16 แสดงผลการทดลองแบบต่อเนื่องเมื่อใช้ HRT ต่างๆกัน	61
17 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้ HRT ต่างๆกัน	64
18 แสดงลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อปรับตำแหน่งน้ำเข้า ถึงลอยตะกอนให้ห่างจากตัวให้อากาศแตกต่างกัน	64
19 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานถลุงมีเยือง	77

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงที่มาของน้ำทิ้งในขั้นตอนการเตรียมน้ำยาง และขั้นตอนการผลิตถุงมือ	2
2 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด	11
3 แสดงน้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง	12
4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารชนิดหนึ่ง	15
5 แสดงแรงกระทำระหว่างอนุภาค	16
6 แสดงโพลิเมอร์จับยึดอนุภาคด้วยแขนโซ่ คล้ายสะพานยึด	22
7 แสดงระบบ Dissolved-Air Flotation	25
8 แสดงรายละเอียดของถัง Air Flotation	27
9 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงงานถุงมือยาง	33
10 แสดงถังกวนและใบพัดกวนที่ใช้ในการทดลอง	35
11 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง	36
12 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง	40
13 แสดงลักษณะน้ำเสียเมื่อใช้โพลิเมอร์ปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอน	43
14 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้โพลิเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอน	44
15 แสดงร้อยละของการลดปริมาณสารแขวนลอย เมื่อใช้โพลิเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน	44
16 แสดงร้อยละของการลดค่าความขุ่นเมื่อใช้ โพลิเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน	45
17 แสดงลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดและเนื้อเยื่อที่ได้ เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล	49

ภาพประกอบ.	หน้า
18 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้สารส้ม ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วย โพลีเมอร์ 4 มก/ล	50
19 แสดงร้อยละของการลดสารแขวนลอย เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	50
20 แสดงร้อยละของการลดความขุ่นเมื่อใช้ สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	51
21 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ปูนขาว ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วย โพลีเมอร์ 4 มก/ล	54
22 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้ปูนขาว ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วย โพลีเมอร์ 4 มก/ล	55
23 แสดงร้อยละของการลดปริมาณสารแขวนลอย เมื่อใช้ปูนขาวปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน ตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	55
24 แสดงร้อยละของการลดความขุ่นเมื่อใช้ ปูนขาวปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	56
25-27 เปรียบเทียบผลของการลดค่า COD ในน้ำที่ผ่านการ บำบัดแล้วเมื่อใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล, สารส้ม 5 มก/ล และ ปูนขาว 20 มก/ล ตามด้วย โพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน	59
28 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ HRT แตกต่างกัน	62

ภาพประกอบ	หน้า
29 แสดงลักษณะของน้ำดิบเปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ HRT 15 นาที	62
30 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ HRT 15, 20 และ 30 นาที	63
31 แสดงร้อยละในการลดค่า COD เมื่อใช้ HRT ต่างๆ	65
32 แสดงร้อยละในการลดค่า BOD ₅ เมื่อใช้ HRT ต่างๆ	65
33 แสดงร้อยละในการลดปริมาณสารแขวนลอย เมื่อใช้ HRT ต่างๆ	66
34 แสดงร้อยละในการลดปริมาณความขุ่น เมื่อใช้ HRT ต่างๆ	66

บทที่ 1

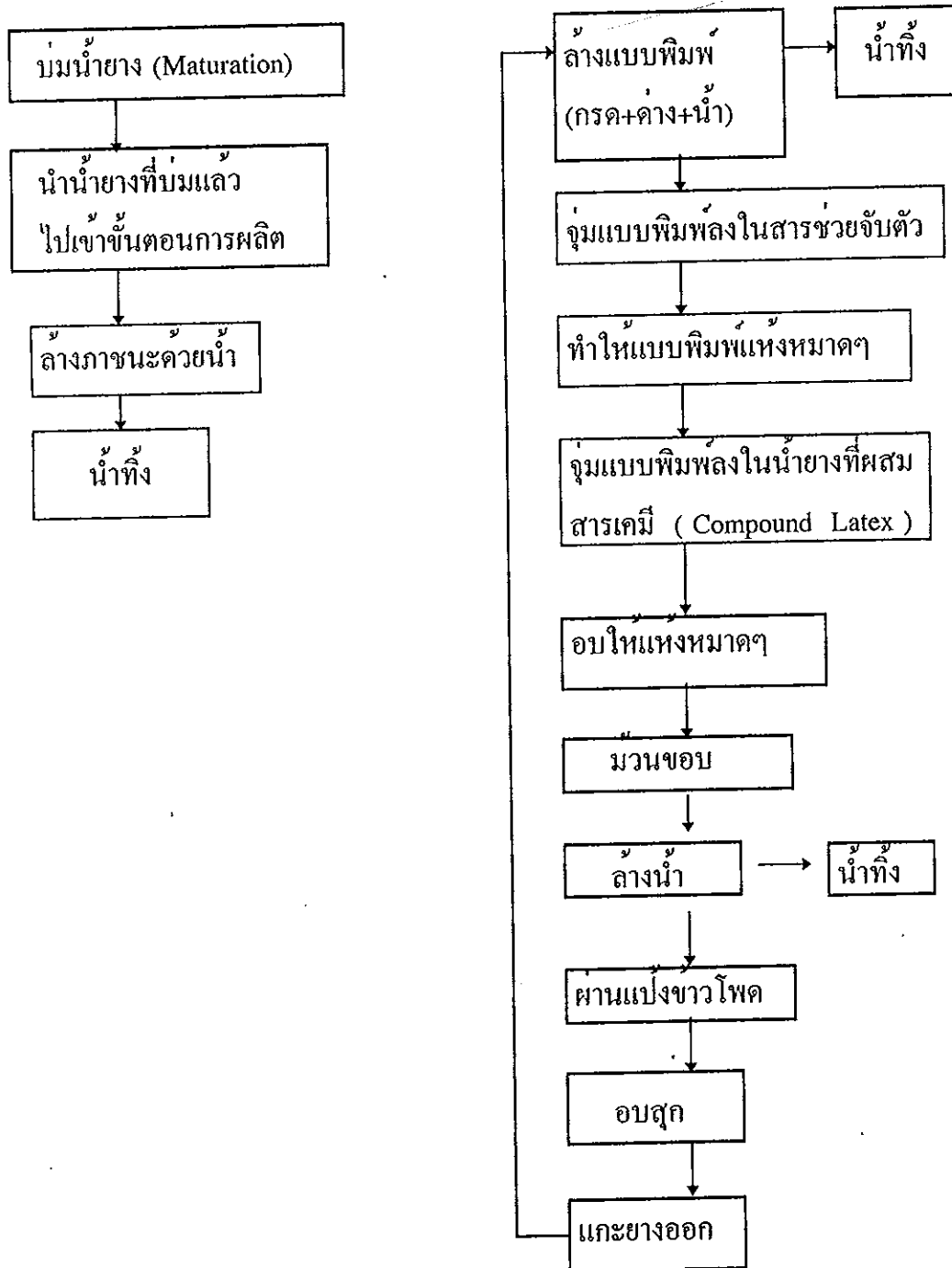
บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยางเป็นอุตสาหกรรมที่ประสบความสำเร็จ ทำรายได้ให้ประเทศปีละหลายล้านบาท ในปี พ.ศ. 2531 มีมูลค่าการส่งออก 1,778.25 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็น 2,786.50 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2535 (สุภาพ บัวแก้ว และคณะ, 2537) จะเห็นว่าภายในระยะเวลาเพียง 5 ปี มูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นกว่าหนึ่งพันล้านบาท และมีแนวโน้มของการขยายตัวสูงเพราะมีแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศและกำลังได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากรัฐบาลในการเปลี่ยนวัตถุดิบยางพาราให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าและเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศ จากสถิติในปี พ.ศ. 2533 ในประเทศไทยมีผู้ประกอบการโรงงานถุงมือยางทั้งสิ้น 23 ราย (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2533) เฉพาะในจังหวัดสงขลา ตามข้อมูลปีพ.ศ. 2536 มีผู้ประกอบการจากสำนักงานส่งเสริมการลงทุนทั้งสิ้น 17 ราย และมีโรงงานที่เปิดดำเนินการอยู่ในขณะนั้น 12 ราย (อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา, 2536) และมีแนวโน้มที่จะเปิดกิจการเพิ่มขึ้นอีก

อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยางอาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตถ้าหากไม่มีการควบคุมหรือผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ น้ำเสียที่เกิดจากการผลิตถุงมือยางเกิดได้จาก 2 จุดใหญ่ๆ คือ น้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างภาชนะที่ใส่บรรจุน้ำยางผสมกับสารเคมี และน้ำเสียซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตโดยตรง (คูภาพประกอบ 1) ในขั้นตอนการผลิตถุงมือนั้นต้องใช้น้ำยางชั้น 60 % (60% Dry Rubber Content) เป็นวัตถุดิบในการผลิต ทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตมีส่วนประกอบ

ของยางอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำยางธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน $(C_5H_8)_n$ นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆมากมายดังแสดงในตาราง 1



ภาพประกอบ 1 แสดงที่มาของน้ำทิ้งในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางและขั้นตอนการผลิตถุงมือ

ส่วนประกอบของเนื้อย่างพารานอกจากจะมีเนื้อย่างไฮโดรคาร์บอนถึง 86 % มีสารโปรตีน 1 % (ดูตาราง 2) ในน้ำย่างยังมีน้ำตาลประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้น้ำเสียจากโรงงานผลิตดูมีอย่างมีค่าสารอินทรีย์สูง ฉะนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ตาราง 1 ส่วนประกอบของน้ำย่างธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36 (เป็นเนื้อย่างแห้ง 33 %)
สารโปรตีน	1 - 1.5
สารประกอบพวกเรซิน	1 - 2.5
เถ้า	น้อยกว่า 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ประมาณ 60

ที่มา : Brydson . J.A ,1978

ตาราง 2 แสดงส่วนประกอบของสารต่างๆในเนื้อย่างพารา

ชนิดของสาร	ร้อยละ
เนื้อย่างไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำที่ติดในอนุภาค	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

ที่มา : บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ ,2534

โดยทั่วไปโรงงานผลิตถุงมือยางจะใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (ดูตาราง 3) ซึ่งต้องอาศัยแบคทีเรียเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ทั้งนี้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงด้วยเงื่อนไขความเหมาะสม แต่ถ้าหากระบบได้รับปริมาณสารอินทรีย์เกินกว่าที่ระบบจะรับได้ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนของการออกแบบซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานจะมีการเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานตามความต้องการของตลาด จะส่งผลทำประสิทธิภาพของระบบต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

ตาราง 3 แสดงตัวอย่างชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตถุงมือยาง

ชื่อ โรงงาน	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้
บ.เอพี รับเบอร์ จก.	-Stabilization Pond
บ. ไฮแตรอินเตอร์เนชันแนล จก.	-Stabilization Pond
บ.ทักษิณการยางอุตสาหกรรม จก.	-Stabilization Pond
บ. ดาลีอุตสาหกรรมยาง (ไทย) จก.	-Stabilization Pond
บ. เซาท์แลนด์โปรดักส์ จก.	-บ่อกักเก็บ
บ. ยูนิเวอร์เซลล์เท็กซ์โปรดักส์ จก.	-Stabilization Pond
บ. เซฟสกิน คอร์ปอเรชั่น (ปท.) จก.	- Facultative Pond with Supplemental Aeration and Polishing Pond
บ. สยามเซมเพอร์เมต จก.	-บ่อกักเก็บ

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา, 2536

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานถุงมือยางมีลักษณะที่อนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ ดังนั้นหากสามารถแยกเอาอนุภาคเหล่านั้นออกไปได้ส่วนหนึ่งน่าจะสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงได้มาก และน่าจะช่วยในการบำบัดด้วยระบบทางชีววิทยาในขั้นต่อไปได้ดีขึ้น

การศึกษาครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการแยกอนุภาคยางออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีการรวมตะกอนและการลอยตะกอนเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ไป ในระดับหนึ่ง ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเดิมที่โรงงานมีอยู่แล้วหรือระบบน้ำเสียแบบอื่นๆต่อไป เป็นการหาเทคโนโลยีใหม่ไว้เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยางต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษากับตัวอย่างน้ำเสียจากบริษัทไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตั้งอยู่ในอำเภอหาดใหญ่ ซึ่งใกล้กับมหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์

การตรวจเอกสาร

1 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำยางโดยกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ (Latex Dipping Process) กระบวนการที่สำคัญในการผลิตถุงมือยางเริ่มต้นจากการเตรียม น้ำยางผสมสารเคมี (Compound Latex) ซึ่งได้ทำให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมแล้วใน อัตราส่วนและลำดับการผสมที่ถูกต้อง จากนั้นจุ่มแบบพิมพ์ (Former) ลงในน้ำยางผสมสารเคมี แล้วทำให้ฟิล์มยางที่จับแบบพิมพ์แห้งและคงรูป (Vulcanized) แล้วจึงนำไปล้างและถอดออกจากแบบพิมพ์ดังภาพประกอบ 1

การผลิตถุงมือยางประกอบด้วยขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การบ่มน้ำยาง (Maturation)

เป็นขั้นตอนที่มีการผสมสารเคมีลงไปในน้ำยาง แล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้ สารต่างๆที่ผสมลงไปได้กระจายอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกับน้ำยางตลอดทำให้น้ำยางผสมมีความเหนียวสม่ำเสมอ ได้ยางจับตัวที่แข็ง (Strong Gel) และทำให้ผลผลิตสุดท้ายมีการคงรูปอย่างทั่วถึง (Uniform Vulcanization) น้ำยางที่ผ่านการบ่มแล้ว เรียกว่า Compound Latex

1.2 การล้างแบบพิมพ์

แบบพิมพ์ที่จะใช้งานต้องเป็นแบบพิมพ์ที่สะอาด เพราะแบบพิมพ์สกปรกไม่ว่าด้วยสิ่งแปลกปลอมใดๆ จะส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องหรือเกิดตำหนิกับถุงมือได้ ดังนั้นก่อนจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางผสมทุกครั้งจะต้องทำความสะอาดแบบพิมพ์ด้วยด่างหรือกรดอินทรีย์ แล้วล้างแบบพิมพ์ด้วยน้ำสะอาดที่เป็นน้ำอ่อน และอาจขจัดสิ่งสกปรกออกจากแบบพิมพ์โดยใช้แปรงเพื่อให้มั่นใจว่าแบบพิมพ์สะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมทั้งหลายรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดแบบพิมพ์ด้วย เมื่อแบบพิมพ์สะอาดแล้ว ต้องทำการอบแห้งก่อนจุ่มลงไปในน้ำยาง

1.3 การจุ่มแบบพิมพ์ (Dipping) มีหลายวิธีได้แก่

- การจุ่มน้ำยางโดยตรง (Straight Dipping)
- การจุ่มโดยใช้สารช่วยจับ (Coagulant Dipping)
- การจุ่มโดยใช้พิมพ์ร้อน (Heat Sensitive Dipping)
- การจุ่มโดยใช้ขั้วไฟฟ้าช่วย (Electrode Dipping)

วิธีที่นิยมใช้ในการจุ่มแบบพิมพ์ของถุงมืออย่างถือการจุ่มโดยใช้สารช่วยจับ ซึ่งสารที่นิยมใช้คือ Calciumchloride ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และ Calciumnitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (พรพุวรรณ นิธิอุทัย และคณะ, 2533)

การจุ่มแบบพิมพ์ลงในน้ำยางผสมมีหลักการคือ ต้องจุ่มแบบพิมพ์ที่เคลือบหมาดๆ ด้วยสารช่วยจับและนำแบบพิมพ์ขึ้นจากน้ำยางผสมด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ

1.4 การล้าง (Leaching)

หมายถึงการล้างฟิล์มยางซึ่งจับอยู่บนแบบพิมพ์ ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธีคือล้างในขณะที่อยู่ในกระบวนการผลิต หรือล้างหลังจากแกะถุงมือออกจากแบบพิมพ์แล้ว เพื่อกำจัดสารละลายพวกเกลือที่มีอยู่ในน้ำยางอยู่เดิมหรือที่เติมลงไป

การล้างถุงมือในระหว่างกระบวนการผลิตขณะที่ยางอยู่ในสถานะฟิล์มเปียกจะได้ผลดี เพราะน้ำจะชำระล้างสารต่างๆ ได้ง่าย

1.5 การอบแห้งและการทำให้ยางคงรูป (Drying and Vulcanizing) มักจะอบแห้งและทำให้ยางคงรูปในตู้อบร้อน

1.6 การม้วนขอบ (Beading) การม้วนขอบถุงมือเพื่อให้ถุงมือมีความแข็งแรง จะม้วนขอบขณะที่ยางเกาะบนแบบพิมพ์แห้งแล้วแต่ยังไม่ได้ทำให้คงรูป

1.7 การถอดถุงมือออกจากแบบพิมพ์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต มักอาศัยแป้งช่วยเพื่อป้องกันยางติด

2 วัตถุดิบและสารเคมีหลักที่ต้องใช้ในการผลิตถุงมือยาง

น้ำยาง (Natural and Synthesis Rubber)

สารวัลคาไนซิ่ง (Vulcanizing Agent)

สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา (Activator)

สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator)

สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

ตัวอย่างสูตรที่ใช้ในการผลิตถุงมือยางแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ตัวอย่างสูตรที่ใช้ผลิตถุงมือยางชนิดต่างๆ

สารเคมี	ถุงมือใช้งานทางการแพทย์		ถุงมือใช้งานบ้าน (น้ำหนักเบี่ยง)
	ใช้ครั้งเดียว (น้ำหนักเบี่ยง)	ใช้ซ้ำ (น้ำหนักเบี่ยง)	
60% น้ำยางข้น	167	167	167
20% สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์	1.0	1.0	1.0
10% สารละลาย KOH	3.0	3.0	5.0
50% คิสเฟิสซันซัลเฟอร์	1.0	0.4	3.0
50% คิสเฟิสซัน TMTD ^{1/}	-	1.0	-
50% คิสเฟิสซัน ZBDC ^{2/}	1.5	2.0	-
50% คิสเฟิสซัน ZDC ^{3/}	-	-	2.0
41% คิสเฟิสซัน Antioxidant 2246	1.0	2.0	2.0
50% คิสเฟิสซัน ZnO	0.5	0.5	2.0

1/ TMTD : Tetramethyl Thiuram Disulphide

2/ ZBDC : Zinc Dibutyl Dithiocarbamate

3/ ZDC : Zinc Diethyl Dithiocarbamate

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล , 2536

2.1 น้ำยาง

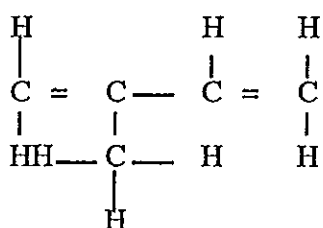
น้ำยางที่ใช้ในการผลิตถุงมือยางเป็นน้ำยางข้น 60 % DRC ซึ่งมาจากน้ำยางธรรมชาติ มีส่วนประกอบและวิธีการเก็บรักษาสภาพดังนี้

2.1.1. สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีพีเอช ประมาณ 6.5 - 7.0 ความหนืดไม่แน่นอน (ผลชิต บัวแก้ว, 2531) มีส่วนประกอบของสารต่างๆดังที่แสดงไว้ในตาราง 1

ส่วนประกอบของน้ำยางสดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

2.1.1.1 ส่วนที่เป็นยาง (Dry Rubber Content) เป็นส่วนของสารพอลิไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 5 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8)_n ซึ่งมีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



ที่มา : Nemorow , N.L, 1978

มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 300,000 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลม หรือรูปลูกแพร์ขนาด 0.05-5 ไมครอนมีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ เคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Movement) ไปมาตลอดเวลา (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์ , 2529)

ยางมีความยืดหยุ่นได้ เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของยางแต่ละโมเลกุลเป็นขดของสายโมเลกุลที่เกิดจากหน่วยย่อยไอโซพรีนต่อกัน ยางชิ้นหนึ่งๆจะประกอบด้วยขดของสายโมเลกุลที่พันกันอย่างยุ่งเหยิง สายโมเลกุลเหล่านี้มีสมบัติหักงอ หรือยืดได้ (Flexible) การดึงหรือยืดชิ้นยางก็เท่ากับยืดสายโมเลกุลของยางให้คลายออก แต่เมื่อปล่อยคืนสายโมเลกุลยางก็จะพยายามหดตัวกลับมายังอยู่ในสภาพเดิม (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2529)

ปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางธรรมชาติ ในสภาพน้ำยางสดไม่แน่นอน คือ ตั้งแต่ 25 - 34 % ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดจะประมาณ 3% แต่ถ้าป็นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้น

แล้ว ความแตกต่างนี้จะลดลงเหลือประมาณ 1 - 2 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องปั้น หากนำเนื้อยางมาวิเคราะห์ดูจะพบส่วนประกอบต่างๆโดยประมาณดังแสดงไว้ในตาราง 2 นอกจากนี้ยังมีโลหะธาตุบางอย่างเช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงติดอยู่กับผิวประมาณ 0.05 % (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2529)

2.1.1.2 ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content) เป็นส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมดที่ไม่ใช่ยางมีสารประกอบต่างๆหลายชนิดได้แก่

- คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นแอลเมซิลโลโนซิทอล (L-Methylinositol) ส่วนคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ได้แก่ กลูโคส ซูโครส ฟรุกโตส และกาแลคโตส มีอยู่จำนวนน้อย น้ำตาลเหล่านี้เมื่อถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดระเหยได้ (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดฟอร์มิก อะซิติก โพรไพโอนิก

- โปรตีนและกรดอะมิโน ส่วนใหญ่เป็นแอลฟา โกรบูลิน (α - Globulin) และเฮวาลิน (Hevelin) สำหรับแอลฟา โกรบูลิน เป็นโปรตีนที่มีสมบัติเป็น Surface-Active จะอยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำ-อากาศ และน้ำมัน-น้ำได้ทันที ไม่ละลายน้ำ และละลายในกรด ค่างและเกลือ มี Isoelectric Point ที่พีเอช เท่ากับ 4.8 ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้เคียงกับน้ำอย่างมาก

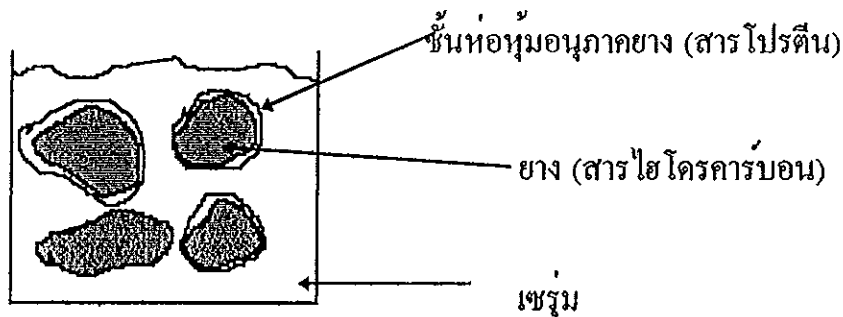
เฮวาลิน (Hevelin) จะอยู่ที่อนุภาคของเม็ดยางและละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีค่า Isoelectric Point ที่พีเอช เท่ากับ 4.5 มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบอยู่ 5% เมื่อน้ำยางเกิดการบูดเน่า โปรตีนส่วนหนึ่งละลายน้ำ ให้สารประกอบพวกไฮโดรซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็นได้

- องค์ประกอบอื่นๆ มีพวก Free Nitrogenous Base เช่น เมทิลลามีน (Methylamine) กรดอินทรีย์ (Organic Acid) กรดอนินทรีย์ (Inorganic Acid) ฟอสเฟต และคาร์บอเนต และมีไอออนของโลหะของโพแทสเซียม ส่วนใหญ่เป็นพวกแมกนีเซียม, เหล็ก, เกลือ, และทองแดง นอกจากนี้มีไซยาไนด์ประมาณ 0.25 % ควาย

2.1.2 การรักษาสภาพและการเสีสภาพของน้ำยาง

ในทางเคมีจัดน้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (Rubber Particle) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรั่ม (Serum) มีสารโปรตีนดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยางและห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ (ดูภาพประกอบ

2) ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวของเหลวของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน

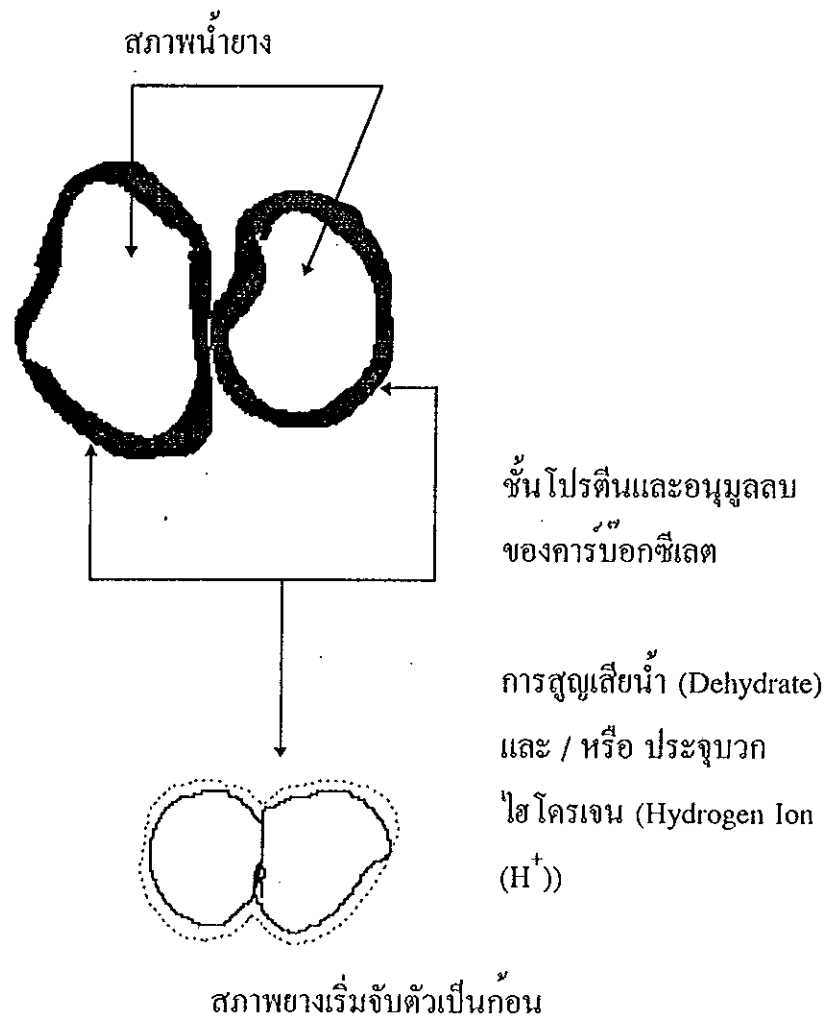


ภาพประกอบ 2 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร : 2536

นอกจากชั้นโปรตีนจะห่อหุ้มและทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้วในชั้นโปรตีนนี้ยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต (Carboxylate) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือ น้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคน้ำยาง และ อนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต

การเสียดสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีนหรือการทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต ซึ่งจะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันจับเป็นก้อนยางเรียกว่า โคแอกกูลัม (Coagulum) แยกจากส่วนของเซรุ่ม (ดูภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 8 แสดงน้ำยางเสียดสภาพจับเป็นก้อนยาง
ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร , 2536

2.2 สารวัลคาไนซิง (Vulcanizing Agents)

เป็นสารที่ทำให้เกิดการคงรูปหรือการวัลคาไนซิง คือทำให้ยางเปลี่ยนคุณสมบัติจากการมีพลาสติกซีตี (Plasticity) สูงไปเป็นยางที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elasticity) สูงขึ้นด้วยการเชื่อมต่อนของโมเลกุลยางเป็นลักษณะสามมิติ สารวัลคาไนซิง

ที่นิยมใช้คือ กำมะถัน ปริมาณที่ใช้ในน้ำอย่างประมาณ 0.5 - 2 ส่วนต่อน้ำอย่างหนึ่งร้อยส่วน (ภัทรา กานตศิลป์, 2531)

2.3 สารเร่งปฏิกิริยาของยาง (Accelerator)

การทำใหยางคงรูปโดยใช้กำมะถันเพียงตัวเดียว จะพบว่าต้องใช้กำมะถันปริมาณสูง และยังทำให้ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาค่ำด้วย ดังนั้นจึงใช้สารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาของการคงรูป สารเคมีที่เร่งปฏิกิริยาการคงรูปมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น เตตราเมทิล ไทยูเรม ไดซัลไฟด์ (Tetramethyl Thiuram Disulphide) ซิงค์ ไดเอทิล ไดไทโอคาร์บามेट (Zinc Diethyl Dithiocarbamate)

2.4 สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activators)

สารชนิดนี้ช่วยให้ระยะการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เร็วขึ้น โดยทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น สารเสริมเร่งปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 พวก คือ

- สารอินทรีย์ ไคท์แค่ กรดอะเดย์ริค
- สารอนินทรีย์ ไคท์แค่ ซิงค์ออกไซด์

2.5 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ใช้กับยางมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ชนิดที่เป็นเอมีน (Amine) และฟีนอล (Phenol) เป็นสารที่ใส่ลงไปในการผลิตยางเพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์ของโมเลกุลของยาง ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ถุงมือยางจะเป็นพวกฟีนอล (Phenol)

8 การรวมตัวของตะกอน (Flocculation)

น้ำมีความขุ่นเนื่องจากมีอนุภาคเล็กๆแขวนลอยอยู่ อนุภาคเล็กๆเหล่านี้จะจมตัวลงในน้ำได้ช้า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะจมตัวได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดเล็กหลายเท่าตัว ความเร็วในการจมตัวของอนุภาคเป็นไปตาม Stoke's Law (Stokes, Sir G.E, 1891)

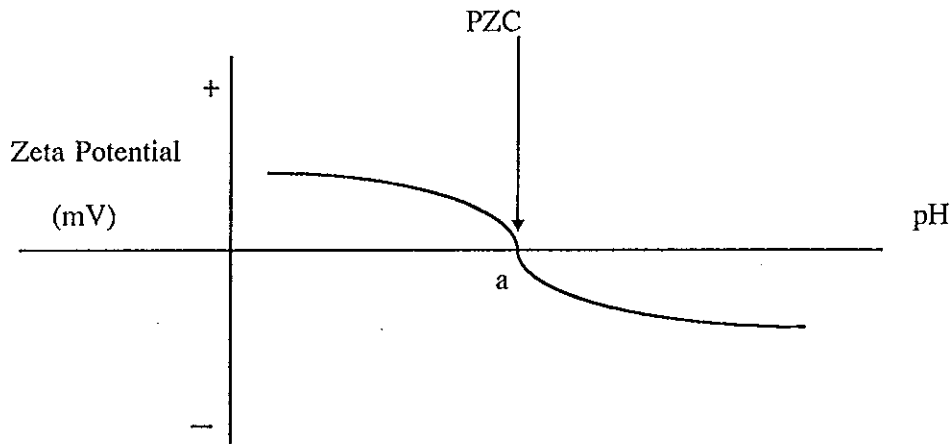
$$V_t = \frac{g(\rho_s - \rho) d^2}{18\mu}$$

เมื่อ	V_t	คือ	ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค (ชม. / วินาที)
	g	คือ	ความเร่งของแรงดึงดูดของโลก (ชม. / วินาที ²)
	ρ_s	คือ	ความหนาแน่นของอนุภาค (กรัม / ซม. ³)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม / ซม. ³)
	μ	คือ	ความหนืดของน้ำ (กรัม / ซม. / วินาที)
	d	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ชม.)

จะเห็นว่าความเร็วในการจมตัวของอนุภาคขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคกับน้ำ อนุภาคที่มีขนาดโตจะจมตัวได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะจมตัวได้อย่างช้าๆ ดังนั้นในการกำจัดอนุภาคละเอียดที่แขวนลอยออกจากน้ำ ทำได้โดยทำให้อนุภาคเล็กๆ เกาะกันเป็นก้อนที่โตขึ้น เพื่อให้อนุภาคจมตัวลงได้เร็วขึ้นทำให้ได้น้ำใสในระยะเวลาอันสั้น กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อการนี้เรียกว่ากระบวนการรวมตัวของตะกอน (Flocculation) และกลุ่มของอนุภาคที่มาเกาะกันเรียกว่า ฟลอค (Floc)

3.1 คุณสมบัติของอนุภาคแขวนลอย

อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจะมีชั้นของอิออนเคลือบอยู่รอบๆผิวของอนุภาค เรียกว่า Electrical Double Layer ถ้าหากอนุภาคชนิดหนึ่งมีอิออนบวกมากกว่าอิออนลบ อนุภาคนั้นจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ถ้ามีอิออนลบมากกว่าอิออนบวก อนุภาคนั้นก็จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของอิออนบวก และอิออนลบ ที่ปะปนอยู่ในน้ำ (H^+ และ OH^-) หรือค่าพีเอชนั่นเอง ที่เป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่าและเครื่องหมายของศักย์ไฟฟ้า ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 4 ซึ่งแสดงค่าของศักย์ไฟฟ้าของสารชนิดหนึ่ง

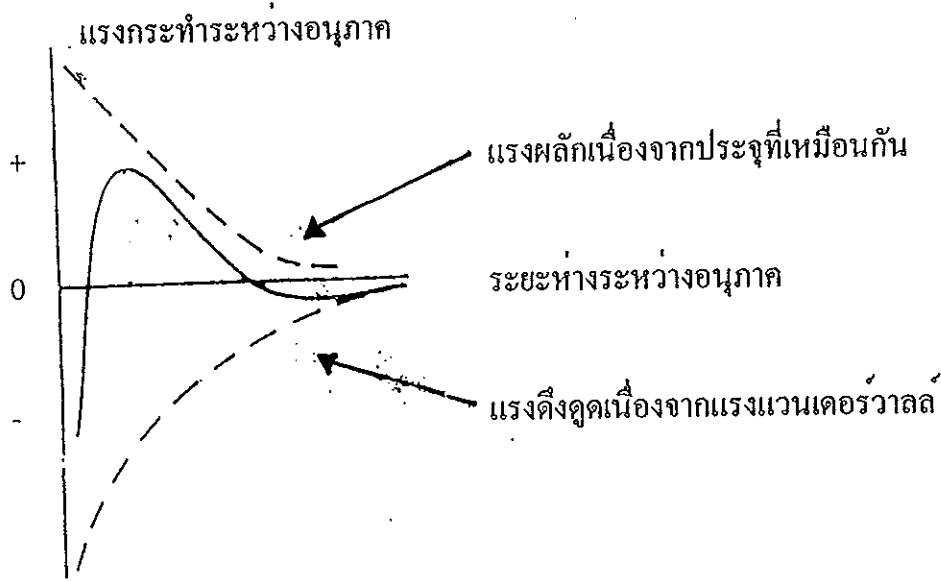


ภาพประกอบ 4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารชนิดหนึ่ง

ค่าพีเอช ที่ a อนุภาคมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นศูนย์เรียกว่า PZC (Point of Zero Charge) ที่ พีเอชที่ต่ำกว่า PZC ผิวของสารมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกและจะมีค่าเป็นลบเมื่อค่า พีเอช สูงกว่า PZC

3.2 แรงระหว่างอนุภาคแขวนลอยในของไหล

อนุภาคในน้ำตามธรรมชาติจะมีชั้นประจุไฟฟ้าอยู่รอบๆที่ผิวของอนุภาค (Electrical Double Layer) ทำให้มีแรงผลัทางไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งกันและกัน ในขณะที่เดียวกันอนุภาคที่อยู่ใกล้กันจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ เมื่ออนุภาคเข้าใกล้กันมากขึ้นทั้งแรงผลัและแรงดูดจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่อนุภาคจะจับติดกันหรือผลัออกจากกันจึงขึ้นอยู่กับว่าแรงดูดหรือแรงผลัอย่างไรจะมากกว่ากัน (ดูภาพประกอบ 5) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในเรื่องนี้ได้แก่ ทฤษฎี DLVO ที่ย่อมาจากผู้เสนอ 4 คน คือ Deraguin , Landau , Verwey และ Overbeek (Deraguin, B.V. and Landau, L.D., 1941 and Verwey, E.J. and Overbeek, J. Th. G, 1948)



ภาพประกอบ 5 แสดงแรงกระทำระหว่างอนุภาค

แรงกระทำระหว่างอนุภาคมีแรงที่สำคัญ 2 แรง คือ แรงผลักระหว่างประจุที่เหมือนกัน และแรงดึงดูดระหว่างแรงแวนเดอร์วาลส์

3.3 กลศาสตร์การรวมตัวของตะกอน

การรวมตัวของตะกอนเกิดขึ้นได้จากการที่อนุภาควิ่งชนกันแล้วเกาะติดกัน เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมากกว่าแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้ารอบๆ อนุภาค การทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนมีหลายวิธีดังนี้ (พิชญ บัญนวน และ ก่องสกล หนูวารี, 2536)

1) ปรับสภาพ พีเอช ของน้ำให้ได้ค่า พีเอช ที่อนุภาคมีศักย์ทางไฟฟ้าที่คิวน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย (Point of Zero Charge - PZC) ทั้งนี้เพื่อลดแรงผลักระหว่างอนุภาค อนุภาคจึงถูกดูดเข้าใกล้และเกาะติดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในที่สุด

2) กรณีที่มีอนุภาคต่างชนิดกันและมีค่าพีเอช ที่สัมพันธ์กับ PZC ต่างกันการปรับพีเอช ให้อยู่ในช่วงกลางๆจะทำให้อนุภาคต่างชนิดกันนั้นมีประจุต่างกันและเกาะกันเป็นฟล็อกได้

3) ลดความหนาของชั้นประจุ (Electrical Double Layer Compression) เป็นการทำให้ความหนาของชั้นประจุบางลงหรือยุบหายไป มีผลทำให้ศักย์ทางไฟฟ้าลด

ลงและแรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงด้วย ทั้งนี้ทำได้โดยการเติมเกลือของโลหะลงไป เช่น ปูนขาว(Ca^{2+}) สารส้ม (Al^{3+}) (Deraquin and Landau, 1941 ; Verwey and Overbeek, 1948 ; Kuryt, 1952 ; Van Olphen, 1963 and Michaels and Bolger, 1964)

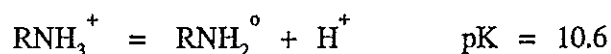
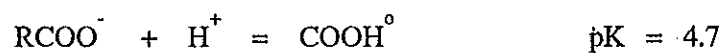
4) เติมสารสร้างตะกอนประเภทโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (มากกว่า 10 ล้าน) เพื่อให้แขนของสาร โพลิเมอร์ไปจับยึดอนุภาคหลายๆอนุภาคดึงมารวมกันเป็นฟล็อก

ซึ่งประสิทธิภาพของการรวมตัวของตะกอนขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านเคมีและฟิสิกส์ดังนี้

3.8.1. ปัจจัยทางด้านเคมี

3.8.1.1 สารสร้างตะกอน (Coagulant) การเลือกชนิดของสารเคมี ต้องมีการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดีที่สุด

3.8.1.2 พีเอช (pH) ค่าพีเอชในน้ำเสียจะมีผลต่อการรวมตัวของตะกอนเพราะค่าพีเอช(H^+ , OH^-)ในน้ำจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคให้เป็นบวกหรือเป็นลบขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนบวกและไอออนลบที่ปะปนอยู่ในน้ำ การปรับสภาพความเป็นกรดด่างของน้ำให้ได้ค่าพีเอช ที่อนุภาคมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวที่น้อยที่สุด หรือ ไม่มีเลย (Point of Zero Charge) ทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคมีน้อยที่สุดอนุภาคจึงถูกดึงดูดเข้ามาใกล้และเกาะติดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ในที่สุด ที่ผิวของอนุภาคขางนั้นมีชั้นของโปรตีนเคลือบอยู่ (สถาบันวิจัยยาง, 2536) ซึ่งโปรตีนที่เคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคขางนี้เป็นตัวทำให้ขางคงตัวอยู่ได้ไม่จับกันเป็นก้อน ในโปรตีนประกอบด้วยอะมิโน, คาร์บอกซิล และกลุ่มอื่นๆที่มีขั้ว (Abramson, H.A., 1964) ประจุที่ผิวของโปรตีนที่ละลายน้ำจะมีประจุบวกหรือลบขึ้นอยู่กับกลุ่มของอะมิโน และกลุ่มของคาร์บอกซิล (Aplan, F.F. and Ennor, K.S., 1987) ซึ่งเป็นไปตามสมดุลย์ของปฏิกิริยาดังนี้



คาร์บอกซิลจะอยู่ในรูปที่มีประจุเป็นลบ ที่พีเอชมากกว่า 4.7 ในขณะที่เอมีนจะอยู่ในรูปที่มีประจุเป็นบวก ที่พีเอชน้อยกว่า 10.6 ซึ่งประจุที่ผิวของโปรตีนที่ละลายน้ำจะแสดงประจุเป็นบวกหรือเป็นลบ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของประจุลบของคาร์บอกซิล และประจুবวกของเอมีน โดยทั่วไปพบว่าโปรตีนมี Isoelectric Point ที่ค่าพีเอช ประมาณ 5 (Abramson, H.A. and Mayer, L.S., 1964) ที่ผิวของอนุภาคยางในน้ำยางที่มีพีเอช 6.5-7.0 จะแสดงประจุไฟฟ้าเป็นลบทำให้มีแรงผลักระหว่างประจุที่เหมือนกันยางจึงไม่จับตัวเป็นก้อน พีเอชที่สูงขึ้นทำให้ยางแสดงความเป็นประจุลบมากขึ้น ดังนั้นการใช้เกลือของอลูมิเนียมที่มีวาเลนซ์ 3^+ เป็นสารสร้างตะกอนจึงไปกีดกันให้ความหนาของชั้นประจุที่ผิวของยางบางลงทำให้แรงผลักระหว่างกันลดลงจนสามารถจับตัวกันเป็นกลุ่มด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Deraquin and Landau, 1941 ; Verwey and Overbeek, 1948 ; Kuryt, 1982 ; Van Olphen, 1963 and Michaels and Bolger, 1964) เมื่อใส่สารโพลีเมอร์ต่อจากเกลือของอลูมิเนียมทำให้กลุ่มของฟลอคที่เกิดขึ้นแล้วมาเกาะตลอดความยาวของแขนและสายโพลีเมอร์ด้วย Hydrogen Bond และประจুবวกของโพลีเมอร์จะไปจับกับประจุลบของยางทำให้ได้กลุ่มฟลอคที่มีขนาดโตขึ้น

3.3.1.3 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี อุณหภูมิต่ำทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์เคมีต่ำลง และระยะเวลาในการเกิดฟลอคนานขึ้น หรือต้องใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนเพิ่มขึ้น (Cox, C.R., 1969) อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อนุภาคมีการแพร่หรือเด่นได้มากขึ้น อนุภาคจึงมีโอกาสชนกันมากขึ้น ประสิทธิภาพของการรวมตัวของตะกอนจึงดีขึ้นด้วย อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติ และอุณหภูมิของน้ำที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงไม่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์และต่อการรวมตัวของตะกอน อุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในช่วงปกติทำให้ง่ายต่อการบำบัด เพราะไม่ต้องไปปรับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก

3.3.2 ปัจจัยทางด้านฟิสิกส์

3.3.2.1 การชนกันระหว่างอนุภาค (Collision) ปกติอนุภาคเล็ก ๆ (10 ไมครอนลงไป) ในน้ำจะเต้นโดยตัวเองเนื่องจาก Brownian Movement ซึ่งทำให้มีโอกาสชนกันเองได้แต่ถ้าอนุภาคเล็กมาก (เล็กกว่า 1 ไมครอน) โอกาสในการชนกันมีน้อย อัตราการยึดติดกันมีน้อยมาก จึงต้องอาศัยการกวนเพื่อเร่งให้อนุภาควิ่งชนกันบ่อยและแรงขึ้นจึงเป็นผลให้มีการยึดติดกันระหว่างอนุภาคเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามการกวนแรงเกินไป แรงน้ำจะดึงอนุภาคที่เกาะติดกันแล้วออกจากกันทำให้อัตราการเกิดการรวมตัวของตะกอนน้อยลง การกวนที่มีความแรงน้อยเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้น้ำขุ่นจากการแตกของฟล็อก (Keys and Hogg, 1979) พิษณุ บุญวอล ได้ทดลองแยกของแข็งออกจากของเหลวโดยใช้กระบวนการรวมตัวของตะกอนโดยใช้ถังกวนมาตรฐาน (Standard Mixing Tank) ซึ่งออกแบบโดย ฮอลแลนด์และชาร์ปแมน (Holland and Charpman, 1966) พบว่าอัตราเร็วในการกวน 1000 รอบ / นาที จะทำให้ได้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความขุ่นน้อยที่สุด (Bunnaul, P, 1993)

3.3.2.2 ความเข้มข้นของอนุภาคในสารแขวนลอย ความเข้มข้นของอนุภาคในสารแขวนลอยมีความสำคัญต่อการรวมตัวของตะกอนและการจมตัวของตะกอน (Hogg, et al., 1993) ในน้ำที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมาก จะทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี เพราะอนุภาคจะอยู่ชิดกันมีโอกาสในการชนกันและเกาะติดกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ได้จึงมีความขุ่นน้อย ในขณะที่เดียวกันในน้ำที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่น้อย ขนาดของฟล็อกและอัตราการจมตัวของฟล็อกจะต่ำไปด้วยเนื่องจากโอกาสในการชนกันและเกาะติดกันของอนุภาคมีน้อย

ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเราไม่สามารถกำหนดความเข้มข้นของอนุภาคให้มากได้ ความเข้มข้นของอนุภาคจะเป็นไปตามกลไกของกระบวนการผลิต ดังนั้นการแก้ไขในกรณีที่มีน้ำมีความขุ่นน้อยหรือมีจำนวนอนุภาคน้อย โดยการนำตะกอนที่ได้ไปย้อนกลับไปในถังกวนใหม่เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดีขึ้น

3.3.2.3 ความเร็วในการจมตัวของอนุภาค (Floc Settling Rate)

การไหลของน้ำขึ้นสู่ปากถังมีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำล้น (Overflow) มาก โดยที่อนุภาคต้องมีขนาดโตพอที่จะจมตัวได้เร็วกว่าน้ำที่ไหลสวนขึ้นไป มิฉะนั้นอนุภาคดังกล่าวจะถูกน้ำพัดพาขึ้นไปกับน้ำล้นด้วย ยังผลให้น้ำล้นกลับขุ่นขึ้นมาอีก

3.3.2.4 อัตราการเติมสารสร้างตะกอน มีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำล้น โดยเฉพาะการเติมสาร โพลีเมอร์ หากเติมสาร โพลีเมอร์ในอัตราที่เร็วขึ้นจะได้กลุ่มอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและจมตัวได้เร็วมากแต่น้ำล้นที่ได้ใส่น้อยลง นอกจากนี้อัตราการเติมสาร โพลีเมอร์กับการกวนคว่ำจะมีความสัมพันธ์กัน เพราะการกวนต่อไปอีกหลังหยุดป้อนโพลีเมอร์ ทำให้อนุภาคตามขอบฟลอคแตกหลุดออกมาทำให้น้ำที่ใสแล้วขุ่นขึ้นมาอีก (Hogg et al ,1993)

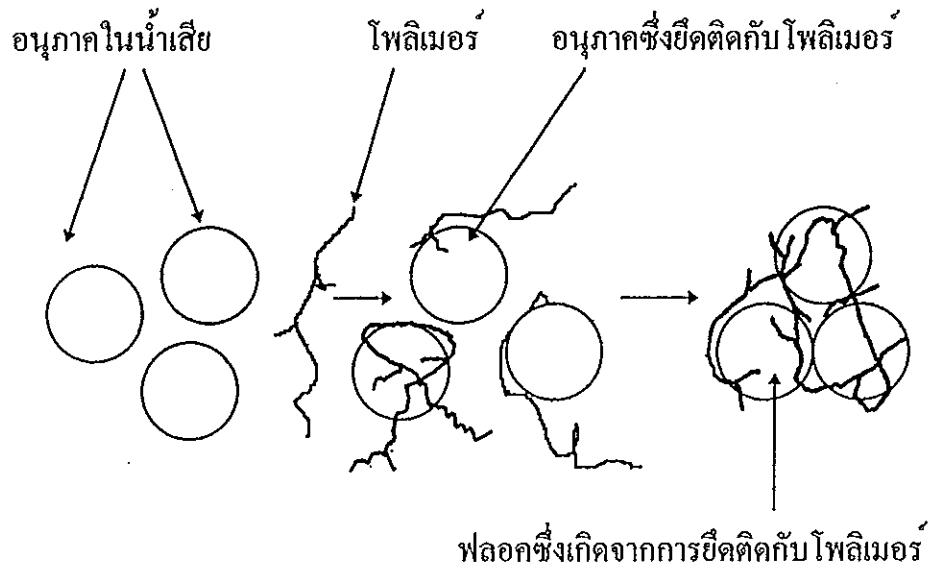
3.4 สารสร้างตะกอน (Coagulant)

3.4.1 กลีตของโลหะ กลีตของโลหะที่ใช้ในกระบวนการรวมตัวของตะกอน ได้แก่ สารส้ม, ปูนขาว, เฟอริกคลอไรด์ และ เฟอรัสซัลเฟต สารพวกกลีตของโลหะจะไปลดความหนาของชั้นประจุรอบๆอนุภาค (Electrical Double Layer Compression) ทำให้ความหนาของชั้นประจุบางลงหรือยุบหายไป มีผลทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคลดลง อนุภาคจึงยึดติดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Deraguin and Landau, 1941 ; Verwey and Overbeek, 1948 ; Kuryt , 1952 ; Van Olphen, 1963 and Michaels and Bolger 1964). กลีตของโลหะที่มีวาเลนซ์สูงจะให้ผลดีกว่า หรือใช้ปริมาณน้อยกว่ากลีตของโลหะที่มีวาเลนซ์ต่ำ (พิชญ บุญนวล, 2537)

3.4.2 สารโพลีเมอร์ (Polymer)

โพลีเมอร์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (มากกว่า 10 ล้าน) มีลักษณะเป็นโซ่ยาว อาจมีกิ่งก้านสาขาบ้างแล้วแต่นิคมของโพลีเมอร์ โพลีเมอร์จะจับยึดอนุภาคหลายอนุภาคเข้าด้วยกัน ด้วยแขนโซ่ที่ยาวนั้นคล้ายๆกับสะพานยึด (Smellie and La Mer, 1958) (รูปภาพประกอบ 6) ทำให้เกิดฟลอคเกาะกันอย่างหลวมๆด้วยโครงสร้างแบบสามมิติ (Ruerwin and Ward ,1952) โดยไม่ต้องคำนึงว่าอนุภาคมีแรงผลักระหว่างประจุน้อยเพียงใด นอกจากนั้นการจับยึด

ของกลุ่มอนุภาคค่อนข้างแข็งแรง ยากที่จะแตกหลุดเนื่องจากการถ่ายเทหรือขนส่งผ่านท่อ นอกจากบางอนุภาคที่จับยึดกันอย่างหลวมๆในส่วนนอกของกลุ่มอนุภาคเท่านั้น การเกิดฟลอคโดยการใส่สารโพลีเมอร์นั้นจะได้ฟลอคที่โตขึ้นอย่างรวดเร็ว ในระหว่างการกวน (Ray, 1985 and Ray and Hogg, 1987) ขนาดของฟลอคจะถูกควบคุมโดยสมดุลระหว่างอัตราการโตกับอัตราการแตกจากแรงเฉือนเนื่องจากการกวน ขนาดของฟลอคและอัตราการจมตัวของตะกอนขึ้นอยู่กับความแรงในการกวน, ปริมาณโพลีเมอร์และอัตราในการใส่สารโพลีเมอร์, ขนาดของฟลอคและอัตราการจมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณโพลีเมอร์ แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มความแรงในการกวน (Ray, 1985 and Ray and Hogg, 1987) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโพลีเมอร์ที่จับกับฟลอคขนาดใหญ่จะมีน้อยกว่าฟลอคขนาดเล็ก การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของขนาดฟลอคจะลดโอกาสในการจับโพลีเมอร์กับผิวของฟลอคเพราะฟลอคที่โตขึ้นทำให้พื้นที่ผิวลดลง (Ray, 1985) และอัตราการจมตัวและขนาดของฟลอคจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ที่จะใช้ในกระบวนการรวมตะกอน (Hogg et al , 1993 and Gregory and Xing , 1992)



ภาพประกอบ 6 แสดงโพลิเมอร์จับยึดอนุภาคด้วยแขนโซ่คล้ายสะพานยึด

แบ่งโพลิเมอร์ตามประจุที่ผิวเป็น 3 ชนิดคือ

- ก. ประเภทไร้ประจุ (Nonionic Polymer)
- ข. ประเภทมีประจุเป็นลบ (Anionic Polymer)
- ค. ประเภทมีประจุเป็นบวก (Cationic Polymer)

โพลิเมอร์ชนิดไร้ประจุจะเกาะกับอนุภาคได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ใช้ได้กับทั้งอนุภาคที่มีประจุบวกและประจุลบ ส่วนโพลิเมอร์ชนิดประจุลบและประจุบวกจะใช้ได้ดีกับอนุภาคที่มีประจุตรงกันข้าม.

4 การลอยตะกอน (Flotation)

การลอยตะกอน เป็นวิธีการแยกตะกอนออกจากระบบโดยทำให้ตะกอนต่างๆ ในน้ำเสียลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวน้ำเพื่อทำการกวาดทิ้งต่อไป

การทำให้ตะกอนลอยขึ้นสู่บริเวณชั้นบนของผิวน้ำนั้นต้องใช้ฟองอากาศเกาะกับตะกอนเพื่อให้ความถ่วงจำเพาะของทั้งฟองอากาศรวมกับตะกอนมีค่าน้อยกว่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเสีย ตะกอนจึงลอยขึ้นมาบนผิวน้ำ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2535) นิยมใช้การลอยตะกอนเพื่อแยกตะกอนที่มีน้ำหนักเบาหรือตะกอนที่มีแนวโน้มจะลอยขึ้นมา เช่น น้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงกลั่นน้ำมันและโรงงานน้ำมันพืช จากสูตรของ Stokes ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3 จะเห็นว่าความเร็วในการจมของอนุภาคขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค พวกยางพาราซึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ อัตราในการจมตัวเป็นลบจึงลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ถ้าอนุภาคเล็กๆจะลอยขึ้นได้ช้า ดังนั้นการทำให้อนุภาคโตขึ้นหรือทำให้เกิดฟลอคจึงทำให้อนุภาคยางพาราลอยขึ้นอย่างรวดเร็ว

4.1 การนำระบบการลอยตัวของตะกอน ไปใช้ในทางปฏิบัติ

4.1.1 ใช้ทำหน้าที่เป็นระบบบำบัดก่อนขั้นต้น

4.1.2 ใช้ทำหน้าที่เป็นระบบบำบัดขั้นต้น

4.1.3 ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนไหลไปรวมกับน้ำเสียจากชุมชนเพื่อนำไปบำบัดต่อไป

4.1.4 ใช้แยกตะกอนบางประเภทออกจากน้ำเสีย ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้โดยวิธีอื่น

4.1.5 ใช้ทำหน้าที่เพิ่มความเข้มข้นของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

4.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบการลอยตะกอน

4.2.1 ข้อดีของระบบการลอยตะกอน

4.2.1.1 ไขมัน ตะกอนเบา ตะกอนหนักต่างๆ สามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยใช้ถังเพียงถังเดียว

4.2.1.2 ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย เพราะมีอัตราน้ำล้นออกสูงระยะเวลาในการกักเก็บต่ำจึงใช้ถังที่มีขนาดเล็กจึงประหยัดในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2.1.3 ไม่มีกลิ่นรบกวน เพราะระยะเวลาเก็บค้ำ ออกซิเจนในถังลอยตะกอนจึงมีมากพอ ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวน

4.2.1.4 สามารถแยกตะกอนชนิดต่างๆ ออกจากน้ำเสียได้มากกว่าระบบ การตกตะกอน

4.2.1.5 ตะกอนบางชนิดที่ถูกแยกออกมาจากน้ำเสียสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

4.2.2 ข้อเสียของระบบการลอยตะกอน

4.2.2.1 ใช้เครื่องมือในการควบคุมระบบมากกว่าถังตกตะกอน ค่าไฟฟ้า ค่าสารเคมี ค่าบำรุงรักษา จะสูงกว่าใช้ถังตกตะกอน

4.2.2.2 ประสิทธิภาพในการแยกตะกอนพวกแขวนลอย โดยระบบการลอยตะกอนจะต่ำกว่าระบบถังตกตะกอน

4.2.2.3 ระบบ Vacuum Flotation มีราคาสูง

4.2.2.4 การควบคุมระบบมีความยุ่งยากกว่าของถังตกตะกอน

4.8 วิธีการทำให้ตะกอนลอย

การทำให้ตะกอนลอยที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

Dissolved-Air Flotation

Air Flotation

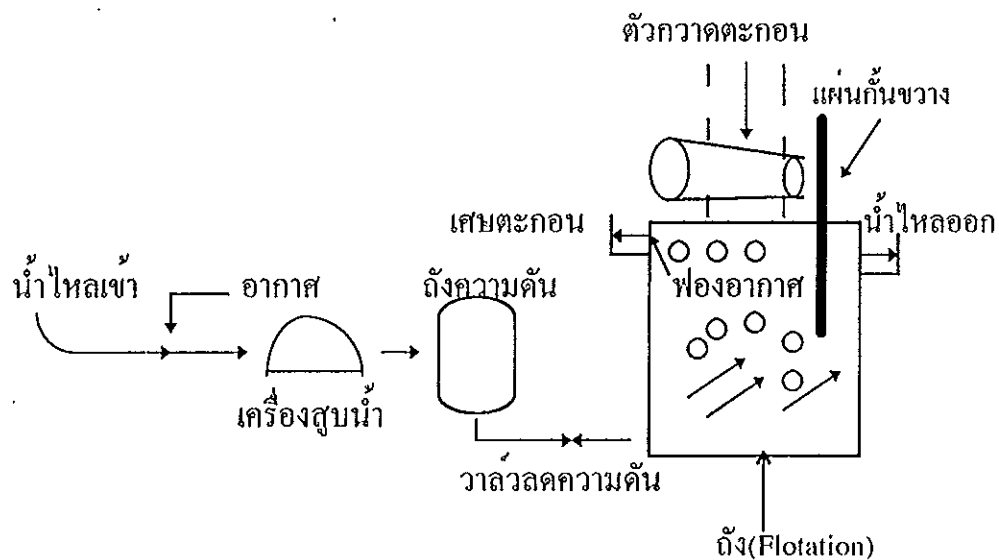
Vacuum Flotation

4.8.1 Dissolved-Air Flotation หลักการของวิธีนี้คือเป่าอากาศลงในน้ำเสียภายใต้ความดันสองถึงสามบรรยากาศ จากนั้นจึงปล่อยความดันให้เข้าสู่สภาวะของความดันบรรยากาศ (ดูภาพประกอบ 7) วิธีนี้มีอยู่ 2 ระบบด้วยกันคือ ระบบไม่มีการหมุนเวียนและระบบมีการหมุนเวียน

ความดันภายในถังความดันมีประมาณ 2.8 ถึง 3.6 กก. ต่อตร.ซม. (40 ถึง 50 ปอนด์ ต่อ ตร.นิ้ว) ซึ่งใช้เวลาเก็บค้ำของน้ำในถังความดันประมาณ 2 ถึง 4 นาที เพื่อปล่อยให้อากาศละลายอยู่ในน้ำ จากนั้นจึงปล่อยน้ำออกจากถังความดันไปยังถังลอยตะกอน โดยมีวาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve (PRV)) เพื่อควบคุมความดันน้ำและน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังลอยตะกอนจะมีฟองอากาศจำนวนมากลอย

อยู่ทั่วทั้งถัง ระบบที่ไม่มีกวนเวียน นิยมใช้กับน้ำที่มีตะกอนชนิดไม่เปราะ (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2535)

สำหรับระบบที่มีการกวนเวียนจะนิยมใช้กับน้ำที่มีตะกอนชนิดเปราะแตกง่าย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะให้ตะกอนไหลเข้าสู่ถังความดันโดยตรง เพราะตะกอนอาจจะแตกกระจายไป ลักษณะการทำงานของระบบนี้คือ จะนำน้ำจากถังลอยตะกอนไปยังถังความดัน แล้วจึงปล่อยออกไปพร้อมกับน้ำที่จะเข้าสู่ระบบ (Influent) เพื่อนำไปปล่อยเข้าสู่ถังลอยตะกอน สำหรับการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียต่อไป



ภาพประกอบ 7 แสดงระบบ Dissolved-Air Flotation

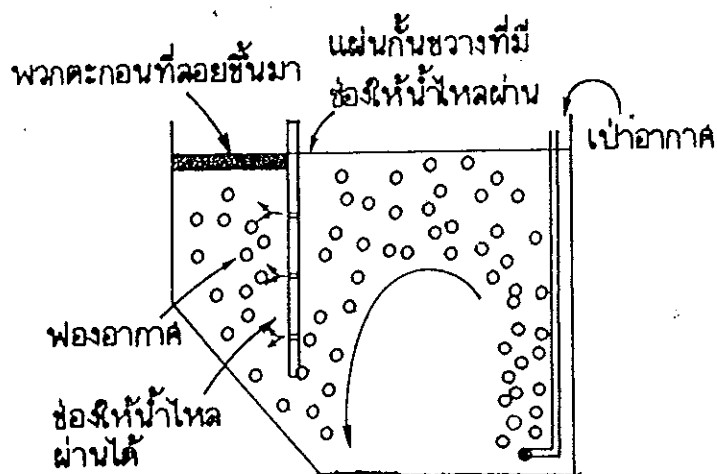
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2535

4.3.2 Air Flotation หลักการของวิธีนี้ คือ การเติมอากาศหรือเป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง ณ ความดันบรรยากาศ ในการเป่าอากาศจะทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ 2-3 มม. ฟองอากาศนั้นพาตะกอนต่างๆลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมาจะถูกกวาดทิ้งออกไป (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2535) ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำขึ้นอยู่กับความเร็วกวของอากาศที่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (Nemorow, N.L., 1978) ฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ความเร็วในการลอยขึ้นสู่ผิวน้ำของฟองอากาศมีมากขึ้นด้วยดังตาราง

5 (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2535) รายละเอียดของถังลอยตะกอนแบบนี้แสดงไว้ในภาพประกอบ 8

ตาราง 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลอยขึ้นของฟองอากาศกับขนาดฟองอากาศ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2535)

ขนาดของฟองอากาศ (มม.)	ความเร็วลอยขึ้นของฟองอากาศ (ชม. / วินาที)
0.2	1.9
0.3	3.3
0.4	4.9
0.5	6.7
1.0	13.0
2.0	18.0
3.0	19.5
4.0	20.0
5.0	20.1
10.0	22.0
20.0	30.0
30.0	38.0
40.0	46.0
50.0	55.0



ภาพประกอบ 8 รายละเอียดของถัง Air Flotation

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2535

4.3.3 Vacuum Flotation หลักการของวิธีนี้คือ พยายามเป่าอากาศลงในน้ำเสียจนถึงจุดอิ่มตัวซึ่งมีอยู่ 2 วิธีคือ เป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง หรือ อีกวิธีหนึ่ง ปลอ่ยให้อากาศเข้าไปในเครื่องสูบน้ำเอง ระบบนี้จะใช้ถังปิดซึ่งจะเก็บน้ำที่ถูกเป่าอากาศลงไปจนถึงจุดอิ่มตัว ขณะที่ภายในถังจะมีสภาพเป็นสูญญากาศ ดังนั้นจะถูกเปิดออกโดยใช้วาล์วเป็นตัวควบคุม พวคอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำจะแยกออกมาจากน้ำในลักษณะของฟองอากาศเล็กๆ พวคฟองอากาศเล็กๆ เหล่านี้ จะพาตะกอนต่างๆ ในน้ำเสียลอยขึ้นมาบนผิวน้ำในลักษณะฟวาคอน (Scum) ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการกวาดและหรือการสูบออก วิธีนี้ต้องการพื้นที่สำหรับการติดตั้งระบบน้อยกว่าสองวิธีแรก หลักการของระบบนี้มีความคล้ายคลึงกับ Dissolved Air Flotation

ระบบการลอยตะกอนทั้งสามวิธีที่ได้กล่าวข้างต้น อาจเติมสารบางชนิดลงไปในระบบดังกล่าว เพื่อช่วยให้ตะกอนเล็กๆ เกาะติดกัน และจะทำให้ได้โครงสร้างที่สามารถเกาะติดกับฟองอากาศได้ดียิ่งขึ้น เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตะกอนของระบบการลอยตะกอน สารเคมีที่นิยมใช้กันสำหรับช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการลอยตะกอน ได้แก่ สารอนินทรีย์ เช่น สารส้ม, เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$), เฟอริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง โดยชี้ค่า BOD₅, COD, SS , Temperature , pH , Turbidity , Total Phosphate , Acidity , Alkalinity และ Hardness เป็นตัววัด
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการลอยตัวของตะกอนในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการลอยตัวของตะกอนแบบ Air Flotation
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานถุงมือยางด้วยวิธีการลอยตัวของตะกอนแบบ Air Flotation

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอื่นต่อไป
2. สามารถลดปัญหามลพิษทางน้ำจากการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่แหล่งน้ำสาธารณะ
3. ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้สำหรับการพัฒนาปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยางต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย :

การวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษา โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ตั้งอยู่ถนนสนามบิน ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยนำน้ำเสียมาหาลักษณะและหาสภาพที่เหมาะสมในการรวมตัวและลอยตัวของตะกอนของน้ำเสียที่ดีที่สุด ตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการลอยตัวของตะกอนแบบ Air flotation ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์จากน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดดังกล่าว ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบน้ำเสียอื่นต่อไป

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

วัตถุดิบ น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง ไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

สารเคมี

สารเคมีในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้สารสร้างตะกอน 3 ชนิดคือ สารส้มเกรดการค้ามีลักษณะเป็นผลึกสีขาวใส, ปูนขาวเกรดห้องปฏิบัติการ และสาร โพลีเมอร์ชนิด Acrylamide ของบริษัท Dow Chemical (M.226 0.397 gm polymer / gm emulsion) ซึ่งเป็นประเภทที่มีประจุเป็นบวกชนิด Cationic Polyacrylamide มีน้ำหนักโมเลกุล 20×10^6 ลักษณะเป็นของเหลว เหนียว สีค่อนข้างเหลือง ใส มีกลิ่น เล็กน้อย พีเอชของสารละลาย 0.4 กรัม/ล ของ M.226 Cationic Flocculant มีพีเอช 7.4

ทั้งนี้โพลีเมอร์ที่ใช่จะเตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 0.4 กรัม/ล. ในการเตรียมนั้นจะทำการกวนสารละลายอยู่ตลอดเวลา 1 คืน เก็บไว้ในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิดที่อุณหภูมิห้อง และจะใช้หลังจากการเตรียมภายใน 1 สัปดาห์เท่านั้น ส่วนสารส้มและปูนขาวนั้นจะเตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 1 กรัม/ล. และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และใช้ภายใน 2 สัปดาห์หลังจากการเตรียม

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ BOD₅, COD, Total Phosphate, Alkalinity, Acidity และ Hardness ดูภาคผนวก ก.

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการทางเคมี ของคณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งของ Sartorius Analysis

เครื่องวัด พี เอช (pH-meter) Orion Research Model SA230

เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) Model 2100A

เครื่องSpectronic 70 ของ Bausch & Lomb

Dessicator

ตู้อบ

ตู้อบอุณหภูมิต่ำ

เทอร์โมมิเตอร์

เครื่อง Reflux COD

เครื่องปั๊มอากาศ (5 เครื่อง ขนาด Flow Rate 45, 70, 90, 110 และ 180 มิลลิลิตรต่อวินาที)

หัวทราย

Syringe ขนาด 20 cc

บีกเกอร์ 1000 cc แผ่นพลาสติกติดที่ขอบในทั้ง 4 ด้าน

เครื่องกวน Tline Laboratory Stirror Model 134-1

เครื่องกวนของ Tanue & Kunkel, Kika® Laboratory Technique RW 20

ชุดลูกกลอย

วิธีดำเนินการ

1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง

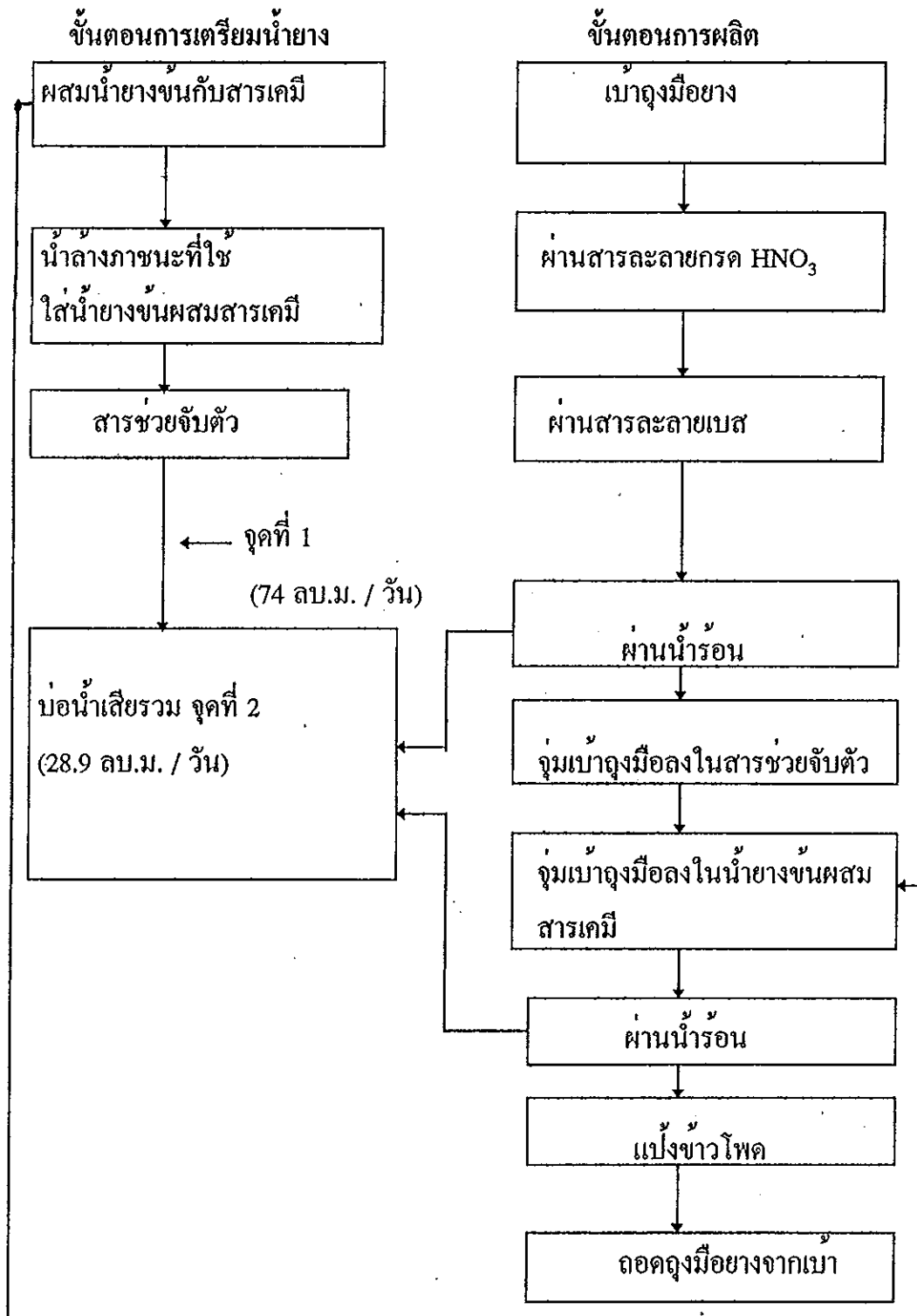
1.1 ตรวจสอบลักษณะและปริมาณของน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง โดย
ตรวจสอบคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิ โดยใช้ Thermometer
- ค่าพี เอช โดยใช้ pH Meter
- ค่าความขุ่น โดยใช้ Turbidimeter
- ค่าความกระด้าง โดยใช้วิธี EDTA Titrimetric Method
- ค่าความเป็นด่าง โดยใช้วิธี Indicator Titrimetric Method
- ค่าความเป็นกรด โดยใช้วิธี Indicator Titrimetric Method
- BOD₅ โดยใช้วิธี Azide Modification Method
- COD โดยใช้วิธี Dichromate Reflux Method
- Total Phosphorus โดยใช้วิธี Ascorbic Acid Method
- SS โดยใช้วิธี Gravimetric Method

โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย จากจุดที่ 1 และ จุดที่ 2 ดังนี้ (ดูภาพประกอบ 9)

จุดที่ 1 เป็นน้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้ใส่น้ำยางข้นผสมสารเคมี

จุดที่ 2 เป็นบ่อน้ำเสียรวมที่รับน้ำจากจุดที่ 1 และน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต



ภาพประกอบ 9 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงงานดุงมือยาง

ทำการเก็บตัวอย่างและวัดปริมาณน้ำเสียจากจุดที่ 1 และ 2 ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างวิเคราะห์ห้อย่าง น้อย 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียในแต่ละจุดน้ำเสียจากจุดที่ 1 ซึ่งเป็นน้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ไ้ใช้บรรจุน้ำยาที่ผสมกับ สารเคมี น้ำเสียจากจุดนี้มีปริมาณน้อย และเกิดขึ้นในช่วงเช้าระยะเวลาการเกิดน้ำเสีย วันละประมาณ 2 ชม. จึงทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 นาที แบบ Composite Sample และวัดอัตราการไหลของน้ำทุกๆ 20 นาที เพื่อหาปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยในแต่ละวัน ส่วนน้ำเสียจากจุดที่ 2 จะเกิดขึ้นตลอดเวลาการผลิต เป็นน้ำเสียที่เกิดจากน้ำใช้ใน โรงงานทั้งหมด โดยน้ำเสียทั้งหมดจะไหลเข้าสู่บ่อซีเมนต์ก่อน ที่บ่อซีเมนต์นี้จะมีลูก ลอยบังคับให้น้ำถึงระดับหนึ่งน้ำก็จะถูกปั๊มเข้าสู่บ่อน้ำบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงเก็บน้ำ เสียจากจุดนี้ทุกๆ 3 ชั่วโมง เฉพาะเวลากลางวัน และวัดอัตราการไหลของน้ำทุกๆ 3 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยในแต่ละวัน

1.2 เปรียบเทียบลักษณะของน้ำเสียจาก 2 จุดดังกล่าว

ถ้าจุดที่ 1 มีค่า BOD₅, COD, สารแขวนลอย และความขุ่น สูงกว่าจุดที่ 2 มากในการทดลองขั้นต่อไป จะใช้ตัวอย่างน้ำจากจุดนี้ เพื่อเลือกแก้ปัญหาให้ตรงกับ ต้นเหตุหลักของปัญหา

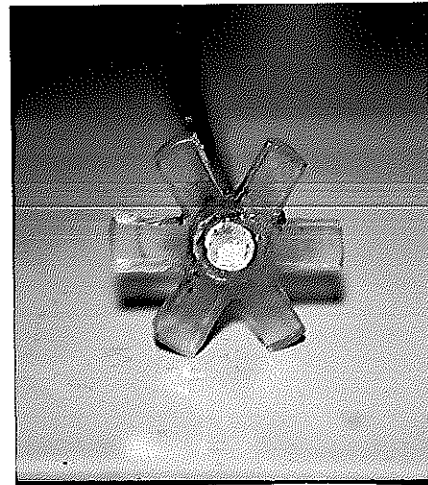
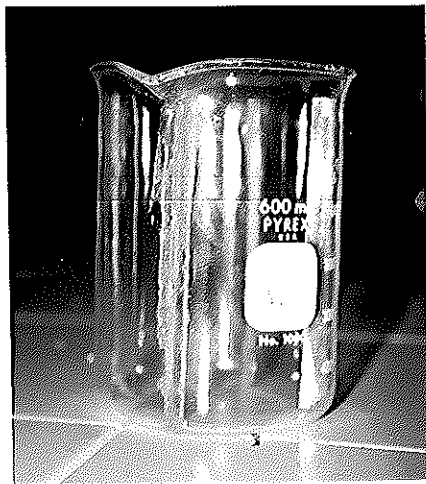
ถ้าจุดที่ 1 และ 2 มีค่าตัวแปรต่างๆดังกล่าวไม่แตกต่างกัน ในการทดลองขั้น ต่อไปจะใช้น้ำในจุดที่ 2

2. ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง

2.1 หาชนิดและขนาดความเข้มข้นของสารที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการรวมตัวของ แข็งและคอลลอยด์ในน้ำเสียที่ดีที่สุด (โดยไม่คำนึงถึงการปรับคุณภาพน้ำในเรื่อง พี เอช) และทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการลอยตัวของตะกอนแล้วมีค่า ความขุ่น, สารแขวนลอย และ COD ลดลง โดยได้ใช้โพลีเมอร์ สารส้มและปูนขาวเป็นสารสร้าง ตะกอนสำหรับการทดลอง

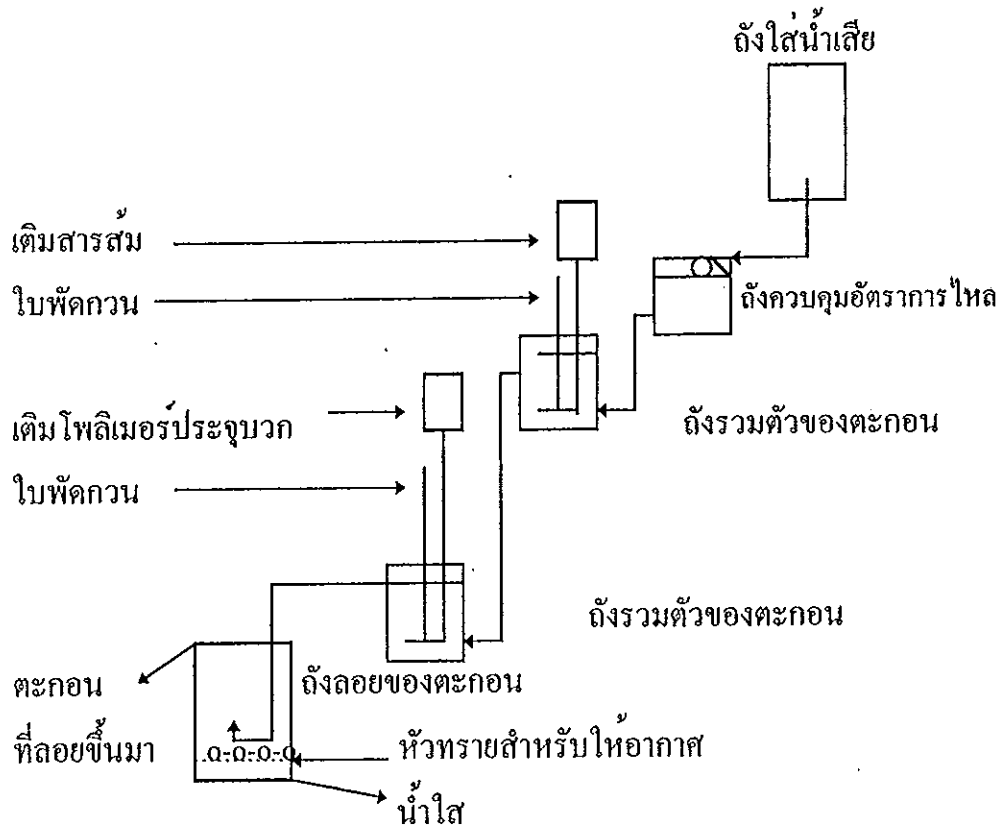
ในขั้นตอนนี้ จะทำการทดลองในถังกวนที่ดัดแปลงมาจาก บีกเกอร์ โดยติด แผ่นพลาสติก ที่ขอบในของบีกเกอร์ทั้งสี่ด้านตลอดความลึกและใช้ใบพัดแบบแฉก (Radial Type) (ภาพประกอบ 10)

การเติมสารสร้างตะกอนเติมด้วยหลอดฉีดยาที่อัตราเร็วของการเติมขนาดหนึ่ง (20 มล/นาที่) และเติมในระหว่างการกวน เมื่อเติมเสร็จจะหยุดใบพัดกวนทันทีแล้ว อัดอากาศด้วยหัวทรายที่เข้ากับตู้ปลาจำนวน 2 หัว (เครื่องปั๊ม 1 เครื่อง) ปริมาณ อากาศ 70 มล./วินาที (4.2 ลบ.ม./นาที่/ลบ.ม.) เป็นเวลานาน 3 นาที แล้วหยุดเป่า อากาศ ดูตัวอย่างน้ำในสว่าวัดค่า ความขุ่น, สารแขวนลอย และ COD เปรียบเทียบ ค่าตัวแปรเหล่านี้กับน้ำเสียก่อนการทดลอง ตะกอนที่ลอยขึ้นเอาไปอบแห้งและหา น้ำหนักสำหรับใช้ในการคำนวณหาวิธีกวนตะกอนต่อไป



ภาพประกอบ 10 แสดงถังกวนและใบพัดกวนที่ใช้ในการทดลอง

2.2 หาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย โดยออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยผลการทดลองจาก 2.1 (รูปภาพประกอบ 11) ดังนี้



ภาพประกอบ 11 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

ถังใส่น้ำเสีย	ความจุ 80 ลิตร
ถังควบคุมอัตราการไหล	ความจุ 14 ลิตร
มีลูกลอยเป็นตัวควบคุมระดับน้ำให้อยู่ระดับหนึ่งตลอดเวลา	
ถังรวมตัวของตะกอน	ความจุ 1 ลิตร
ถังลอยตะกอน	ความจุ 12 ลิตร
HRT ของน้ำในถังลอยตะกอน	5 - 30 นาที

น้ำเสียจะถูกเก็บไว้ที่ถังใส่น้ำเสียและปล่อยให้ไหลลงสู่ถังควบคุมอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง โดยถังควบคุมอัตราการไหลนี้จะมีลูกลอยเป็นตัวบังคับระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับหนึ่งตลอดเวลา จะบังคับอัตราการไหลของน้ำโดยเปิดวาล์ว ให้ได้อัตราการ

ไหลของน้ำตามที่ต้องการ น้ำจะไหลเข้าสู่ถังรวมตัวของตะกอน โดยที่ถังรวมตะกอนทั้ง 2 ใบนี้มีการกวนอยู่ตลอดเวลาด้วยใบพัดขนาดเดียวกับการทดลองใน 2.1 ด้วยความเร็ว 1000 รอบ/นาที ตำแหน่งของใบพัดและปลายท่อที่หยดสารเคมี อยู่ที่ระดับ 6 ซม. จากก้นถัง โดยหยดสารส้มลงในถังรวมตัวของตะกอนใบแรกและโพลีเมอร์ลงในถังรวมของตะกอนใบที่สอง ด้วยอัตราตามผลการทดลองในตอน 2.1

น้ำจากถังรวมตัวของตะกอนจะไหลเข้าสู่ถังลอยตะกอนในถังนี้จะมีการให้อากาศอยู่ตลอดเวลา ด้วยหัวทรายสำหรับตู้ปลาจำนวน 16 อัน ซึ่งจะวางอยู่ส่วนล่างของถัง อัตราการให้อากาศรวม 400 มิลลิเมตร/วินาที (2.00 ลบ.ม./นาที/ลบ.ม.) ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกจากถังบริเวณก้นถังด้วยอัตราเร็วเดียวกันกับอัตราไหลของน้ำเข้า ส่วนตะกอนและเศษยางที่ลอยขึ้นส่วนบนของถังกวาดออกตลอดเวลาด้วยมือ นำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปหาค่า BOD_5 , COD, สารแขวนลอยและความขุ่น เพื่อหาระดับ HRT (ระยะเวลาของน้ำที่ถูกกักเก็บในถังลอยตะกอนที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าเท่ากับปริมาตร/อัตราการไหล) ที่น้อยที่สุดที่ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกมามีค่ามลสารเหลืออยู่น้อยที่สุด เพื่อจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้ทำการวิจัยในครั้งนี้ โดยทดลองที่ HRT ของน้ำในถังลอยตะกอนที่แตกต่างกันระหว่าง 5-30 นาที

บทที่ 8

ผล

1 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยางไฮแคร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (ตาราง 6) ซึ่งให้เห็นว่าน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีและน้ำเสีรวม (น้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีรวมกับน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตถุงมือยาง) มีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันในช่วงกว้าง (ดูภาพประกอบ 12) โดยน้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะมีปริมาณมลสารสูงกว่าน้ำเสีรวมหลายเท่าตัว ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่ามลสารของน้ำเสีรวมของโรงงานมาจากน้ำล้างภาชนะเป็นหลัก

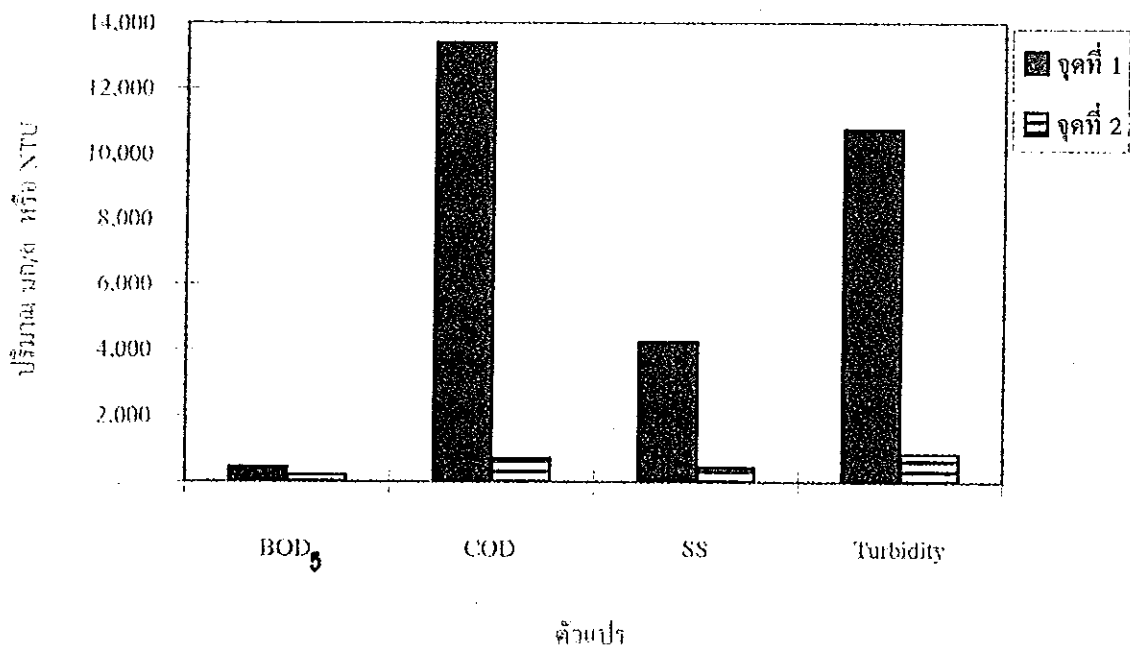
ตาราง 6 แสดงปริมาณน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง

Parameters	จุดที่ 1				จุดที่ 2			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
Daily volume (m ³ /d)	7.4	7.1	7.7	7.4	30.8	28	27.8	28.9
Temperature (°C)	28	28	28	28	43	44	47	44.6
pH	8.6	8.4	8.5	8.5	6.9	7.2	7.2	7.1
BOD ₅ (mg/l)	410	440	470	440	340	130	130	200
COD (mg/l)	16,500	14,000	9,600	13,400	1,300	490	320	700
Total phosphorus (mg/l)	1.3	1.1	0.8	1.1	0.8	0.8	0.3	0.6
Alkalinity(mg/l)	520	450	260	410	460	430	130	340
Acidity(mg/l)	0	0	10	3.3	20	6	10	12
Hardness(mg/l)	520	250	150	300	300	560	260	370
SS.(mg/l)	5,000	4,200	3,500	4,200	340	670	260	420
Turbidity (NTU)	15,000	9,000	8,200	10,700	370	1,000	820	850

หมายเหตุ : จุดที่ 1 น้ำล้างภาชนะที่บรรจุน้ำยางผสมสารเคมี

จุดที่ 2 น้ำเสียรวม(น้ำล้างภาชนะใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีและน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการผลิต)

ในการวิเคราะห์ BOD₅ ไม่ได้เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปในน้ำเสีย



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง
 หมายเหตุ : จุดที่ 1 น้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมี
 จุดที่ 2 น้ำเสียรวม

2 ชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการรวมตัวของตะกอน

น้ำเสียที่ใช้ทดลองเป็นน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมี สารเคมีที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) คือ สารส้ม(Alum), ปูนขาว (Lime) และโพลีเมอร์ประจุบวกชนิดโพลีอครีลาไมด์ (Cationic Polyacrylamide)

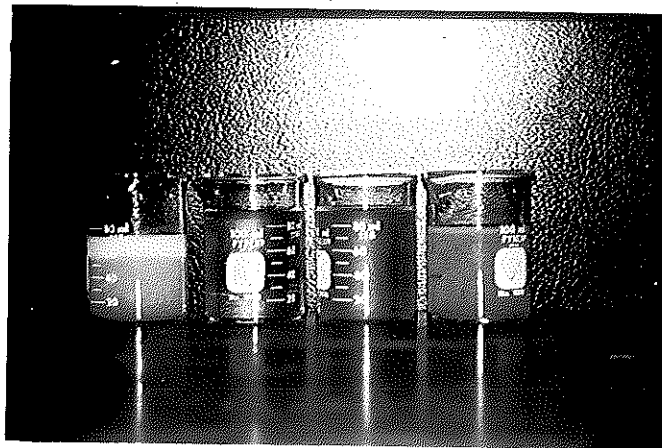
2.1 การทดลองขั้นต้นโดยใช้สารเคมีเพียง 1 ตัว เป็นสารสร้างตะกอน

2.1.1 ใช้โพลีเมอร์เพียงอย่างเดียวเป็นสารสร้างตะกอน

การทดลองขั้นต้นโดยใช้โพลีเมอร์ในปริมาณต่าง ๆ กัน (ดูผลการทดลองในตาราง 7 และภาพประกอบ 13) จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล สามารถลดค่า COD จาก 16,500 มก/ล ลงเหลือ 170 มก/ล สารแขวนลอยจาก 5,000 มก/ล เหลือ 35 มก/ล และความขุ่นจาก 15,000 NTU เหลือ 30 NTU เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร (ดูตาราง 8 และภาพประกอบ 14-16) สามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 4,400 -16,500 มก/ล ได้ร้อยละ 95.4 ± 2.6 ลดปริมาณสารแขวนลอยที่มีค่าระหว่าง 1,400 -5,000 มก/ล ได้ร้อยละ 98.9 ± 0.7 และลดปริมาณความขุ่นระหว่าง 4,800 - 15,000 NTU ได้ร้อยละ 99.5 ± 0.5

ตาราง 7 แสดงผลของการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้าง
ตะกอน

การ ทดลอง ครั้งที่	ตัวแปร	ก่อน การ ทดลอง	โพลีเมอร์ปริมาณต่างๆ (มก / ล)							
			2	% Removal	4	% Removal	6	% Removal	8	% Removal
1	COD(mg/l)	16,500	3,000	81.9	170	99.0	240	98.6	370	97.8
	SS(mg/l)	5,000	1,600	68	35	99.3	55	98.9	270	99.7
	Turbidity (NTU)	15,000	90	99.4	30	99.8	65	99.6	600	96.0
	pH	8.16	8.18		8.16		8.19		8.18	
2	COD(mg/l)	4,400	340	92.3	310	93	440	89	480	89.1
	SS(mg/l)	400	85	93.9	30	97.9	80	94.3	70	95
	Turbidity (NTU)	4,800	550	88.5	60	98.8	120	97.5	150	96.9
	pH	8.2	8.18		8.19		8.19		8.18	
3	COD(mg/l)	9,600	670	93.0	560	94.2	510	94.7	560	94.2
	SS(mg/l)	3,400	90	97.4	20	99.4	40	98.8	40	98.8
	Turbidity (NTU)	8,200	25	99.7	10	99.9	10	99.9	25	99.7
	pH	8.58	8.56		8.47		8.47		8.55	

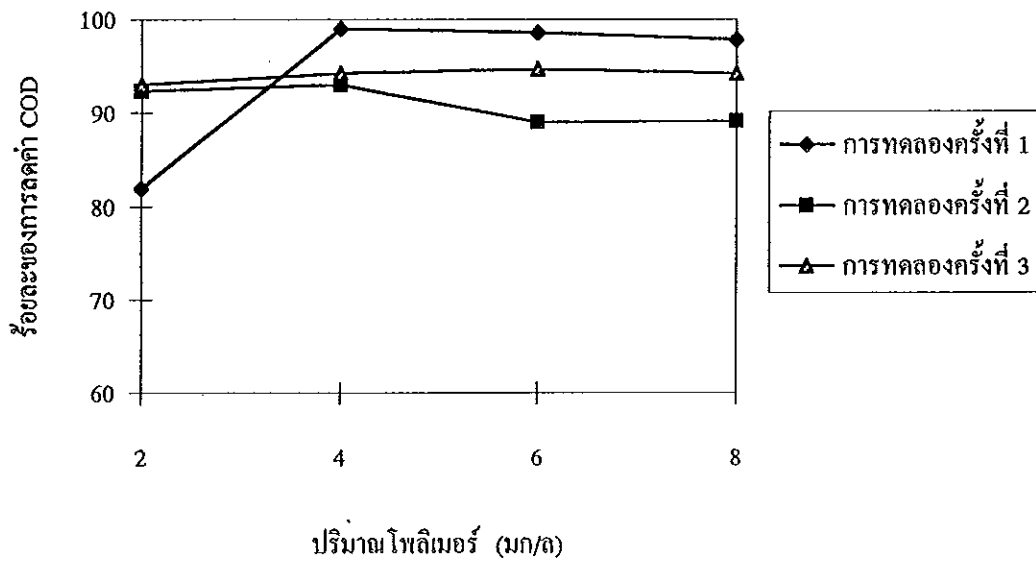


2 มก/ล 4 มก/ล 6 มก/ล 8 มก/ล

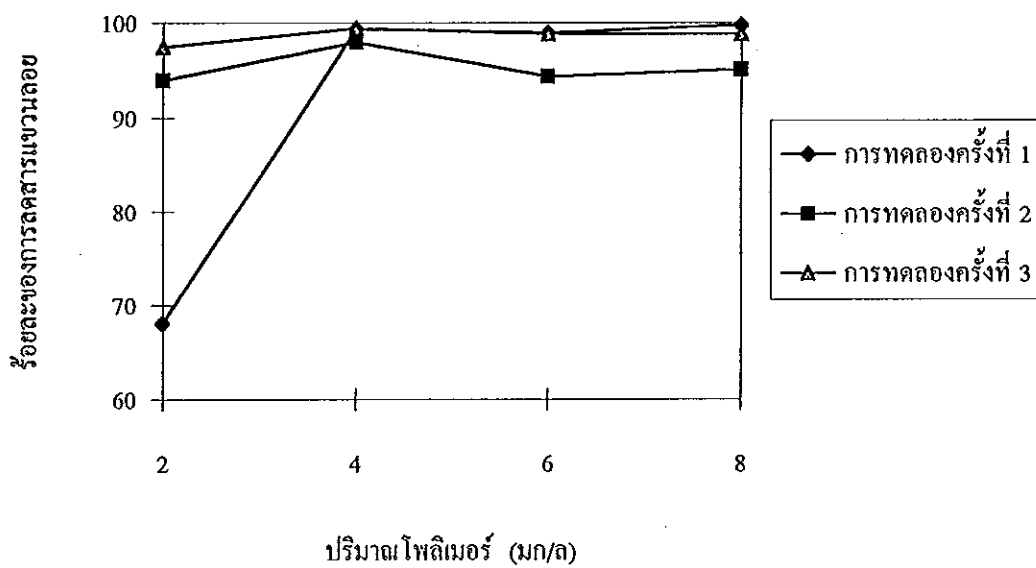
ภาพประกอบ 13 แสดงลักษณะน้ำเสียเมื่อใช้โพลีเมอร์ปริมาณต่างๆเป็นสารสร้างตะกอน

ตาราง 8 แสดงร้อยละในการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน

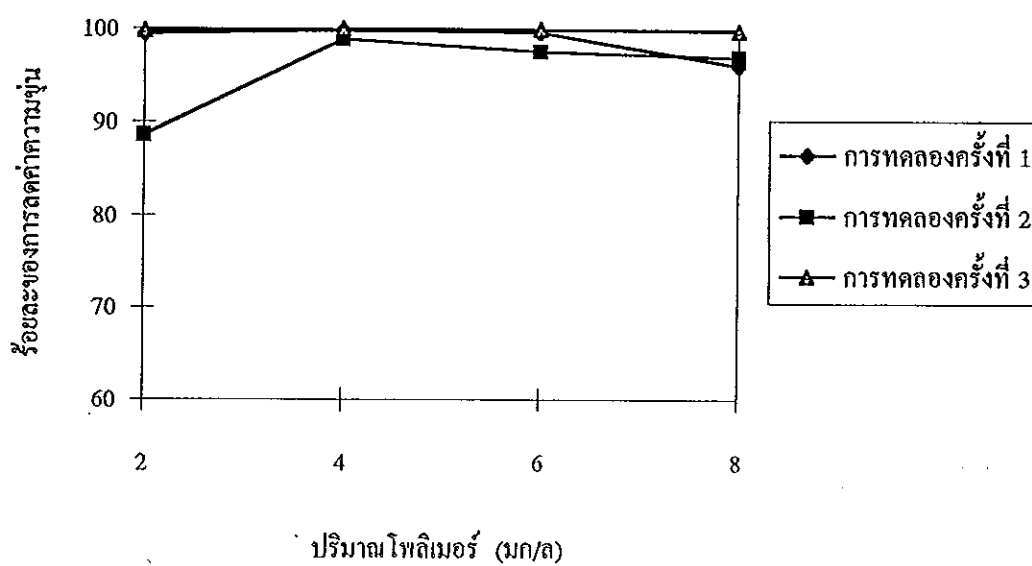
Parameters	ร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ ปริมาณต่างๆ (มก/ล)			
	2	4	6	8
COD	89±5	95.4±2.6	91.1±3.9	93.7±3.4
SS	86.4±13.1	98.9±0.7	97.3±2.1	97.8±2
Turbidity	95.9±5.2	99.5±0.5	99±1	97.4±1.6



ภาพประกอบ 14 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้โพลีเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน



ภาพประกอบ 15 แสดงร้อยละของการลดปริมาณสารแขวนลอยเมื่อใช้โพลีเมอร์เป็นสารสร้างตะกอน



ภาพประกอบ 16 แสดงร้อยละของการลดความชื้น เมื่อใช้โพลีเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอน

2.1.2 เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว

โดยใช้สารส้มในปริมาณระหว่าง 5 - 150 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนผลการทดลองดังตาราง 9 ซึ่งปรากฏว่าเมื่อใช้สารส้มในปริมาณดังกล่าวสารแขวนลอย และคอลลอยด์ในน้ำเสียไม่สามารถรวมกันเป็นฟล็อก น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงขุ่นเหมือนเดิม

ตาราง 9 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	ก่อนการทดลอง	ปริมาณสารส้ม (มก/ล)								
			5	10	20	30	50	80	100	150	
1	COD(mg/l)	16,590	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS(mg/l)	5,060	5,000	5,000	4,900	4,900	5,000	4,950	4,900	4,900	
	Turbidity (NTU)	15,000	15,000	14,000	15,000	14,000	14,400	14,480	14,400	14,000	
2	COD(mg/l)	14,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS(mg/l)	4,200	4,100	4,100	4,200	4,100	4,100	4,100	4,100	4,100	
	Turbidity (NTU)	9,000	8,500	8,500	9,000	8,800	8,500	8,500	8,500	8,500	

2.1.3 เมื่อใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว

การทดลองนี้ใช้ปูนขาวในปริมาณต่าง ๆ กันเช่นเดียวกับสารส้ม (ดูผลการทดลองในตาราง 10) พบว่าปูนขาวในปริมาณดังกล่าวไม่สามารถทำให้สารแขวนลอย และคอลลอยด์ในน้ำเสีรวมตัวเป็นฟล็อกได้

ตาราง 10 แสดงผลการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอน

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	ก่อนการทดลอง	ปริมาณปูนขาว (มก/ล)								
			5	10	20	30	50	80	100	150	
1	COD(mg/l)	16,590	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS(mg/l)	5,060	5,000	5,000	4,900	5,000	4,800	4,800	4,900	4,900	
	Turbidity (NTU)	15,000	15,000	14,500	14,500	14,000	14,400	14,000	14,500	14,000	
2	COD(mg/l)	14,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS(mg/l)	4,200	4,200	4,200	4,100	4,100	4,100	4,150	4,100	4,150	
	Turbidity (NTU)	9,000	8,500	8,600	8,500	8,700	8,700	8,800	8,500	8,800	

2.2 การทดลองโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์

การทดลองนี้เป็นการใช้สารส้มช่วยสร้างตะกอนขนาดเล็กๆ (Precursor) ก่อนในขั้นหนึ่ง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการรวมตะกอนด้วยโพลีเมอร์ให้ดียิ่งขึ้น ผลการทดลอง 3 ครั้ง แสดงไว้ในตาราง 11 และภาพประกอบ 17 โดยใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล ในทุกการทดลองเนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดตามการทดลองในหัวข้อ 2.1

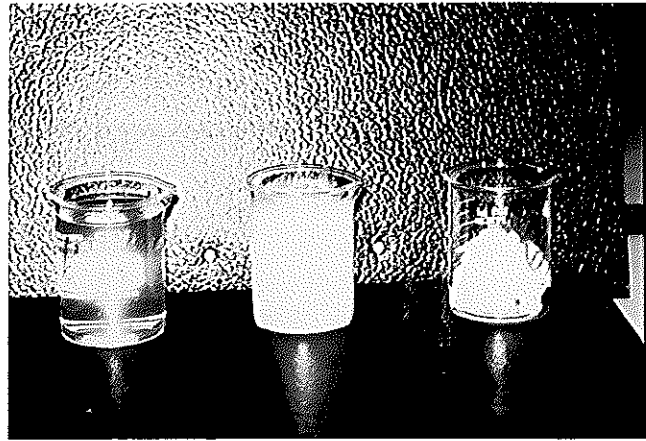
จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนสามารถลดค่า COD จาก 16,500 มก/ล เหลือ 100 มก/ล สารแขวนลอยจาก 5,000 มก/ล เหลือ 10 มก/ล และความขุ่นจาก 15,000 NTU เหลือ 15 NTU และได้เนื้อยาง (น้ำหนักแห้ง) ถิ่นมาจากน้ำเสีย 7.8 กรัม / น้ำเสีย 1 ลิตร และจะสังเกตได้ว่าหากใช้สารส้มในปริมาณมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารกลับด้อยลง เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร (ดูตาราง 12 และภาพประกอบ 18-20) สามารถลดค่า COD ที่มีค่าระหว่าง 4,400 - 16,500 มก/ล ได้ประมาณร้อยละ 96.4 ± 2.2 ลด

ปริมาณสารแขวนลอยที่มีค่าระหว่าง 1,400 - 5,000 มก/ล ได้ร้อยละ 98.9±0.8 และ
ปริมาณความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 4,800 - 15,000 NTU ได้ร้อยละ 99.6±0.4

ตาราง 11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆ เป็น
สารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร	ก่อนการทดลอง	สารส้มปริมาณต่างๆ (มก/ล) ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก / ล							
			5	%	10	%	15	%	20	%
			Removal		Removal		Removal		Removal	
1	COD(mg/l)	16,500	100	99.4	240	98.5	235	98.6	400	97.6
	SS(mg/l)	5,000	10	99.8	15	99.7	5	99.9	20	99.6
	Turbidity(NTU)	15,000	15	99.9	10	99.9	15	99.9	50	99.7
	Rubber(gm)	-	7.81		7.28		8.00		5.88	
	pH	8.18	8.18		8.19		8.19		8.20	
2	COD(mg/l)	4,400	240	94.5	420	90.5	420	90.5	410	90.7
	SS(mg/l)	1,400	30	97.9	40	97.1	60	95.7	230	83.6
	Turbidity(NTU)	4,800	50	99	95	98	130	97.3	150	96.9
	Rubber(gm)	-	-		-		-		-	
	pH	8.2	8.2		8.19		8.2		8.2	
3	COD(mg/l)	9,600	460	95.2	640	93.3	630	93.4	780	91.9
	SS(mg/l)	3,400	40	98.8	35	99.0	60	98.2	330	90.3
	Turbidity(NTU)	8,200	5	99.9	5	99.9	15	99.8	55	99.3
	Rubber(gm)	-	-		-		-		-	
	pH	8.58	8.58		8.58		8.57		8.56	

หมายเหตุ : น้ำหนักขางที่ได้เป็นน้ำหนักแห้งหลังผ่านการอบที่ 100 °C เป็นเวลา
นาน 1 ชม.จากน้ำเสียบริมาตร 1 ลิตร

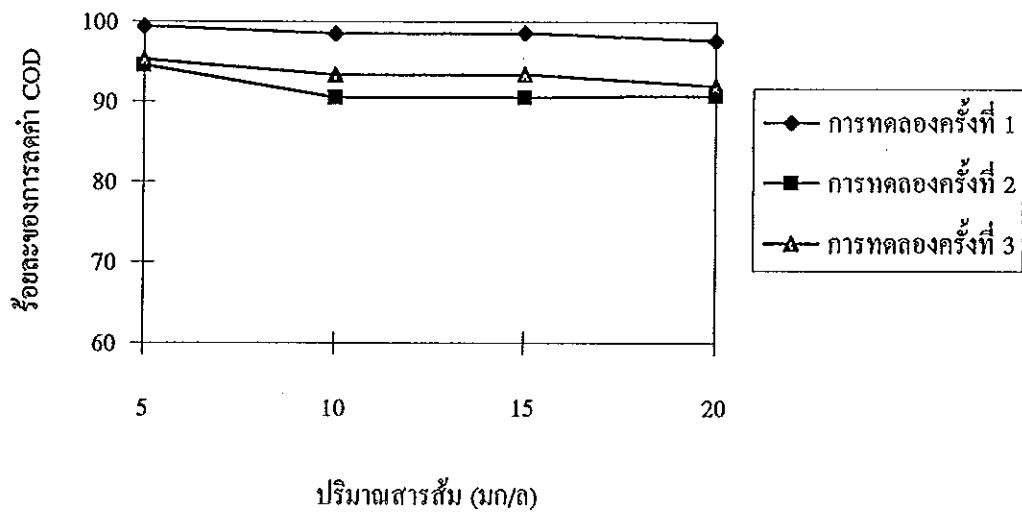


น้ำใส น้ำขุ่น เนื้อยาง

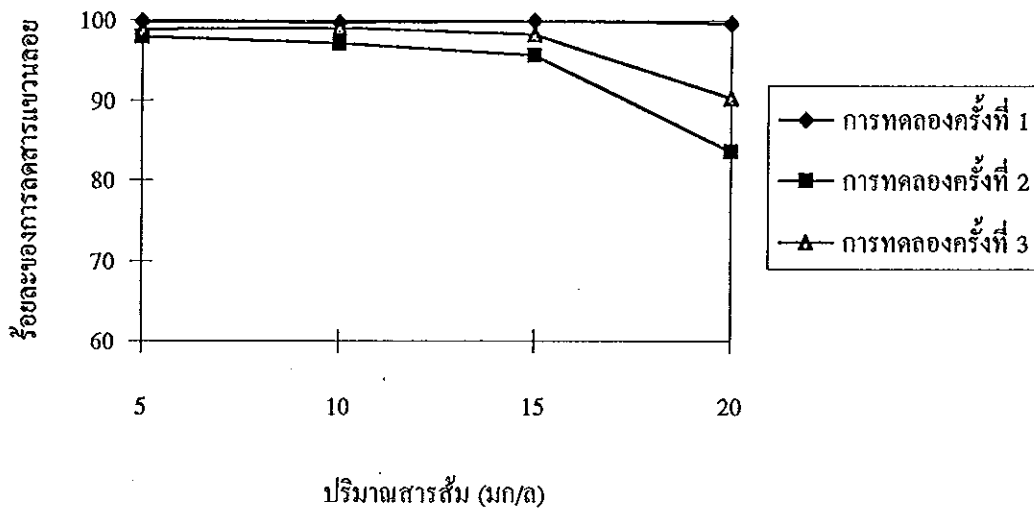
ภาพประกอบ 17 แสดงลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดและเนื้อยางที่ได้เมื่อได้
เมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วย
โพลีเมอร์ 4 มก/ล

ตาราง 12 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆเป็นสาร
สร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

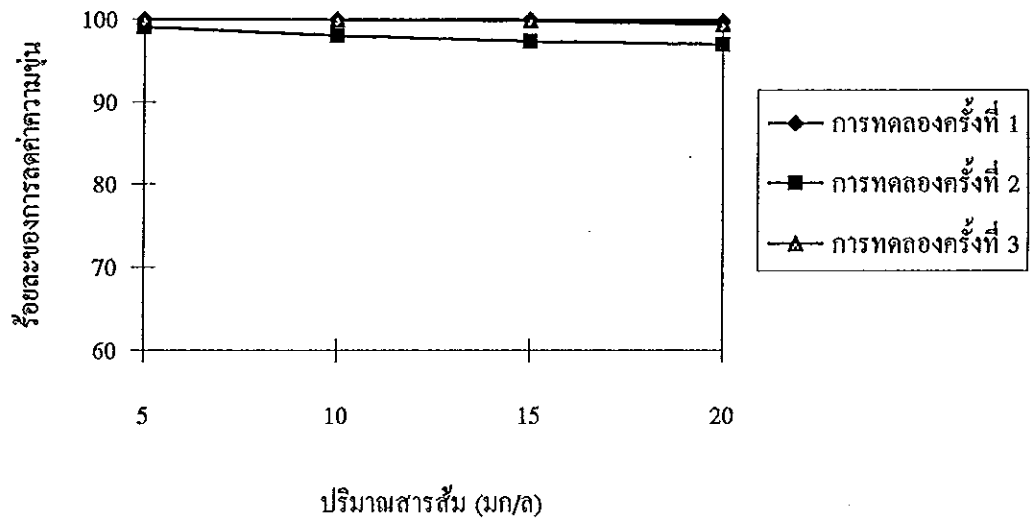
ตัวแปร	ร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆ (มก/ล) เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล			
	5	10	15	20
COD	96.4±2.2	94.1±3.1	94.2±3.4	93.4±3
SS	98.9±0.8	98.6±1	97.9±1.7	97.2±6.6
Turbidity	99.6±0.4	99.3±0.9	99±1.2	98.6±1.3



ภาพประกอบ 18 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล



ภาพประกอบ 19 แสดงร้อยละของการลดสารแขวนลอยเมื่อใช้สารส้มปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล



ภาพประกอบ 20 แสดงร้อยละของการลดความขุ่นเมื่อใช้สารส้ปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

2.8 การทดลองโดยใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์

การทดลองครั้งนี้ใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนขั้นต้น (Precurer) เหมือนกับกรณีของสารส้มในหัวข้อ 2.2 โดยใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล ผลการทดลองในตาราง 13 และภาพประกอบ 21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ปูนขาว 20 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นปริมาณของสารสร้างตะกอนที่ลดค่ามลสารในน้ำเสียได้ดีที่สุด สามารถลดค่า COD จาก 16,500 มก/ล เหลือ 440 มก/ล สารแขวนลอยจาก 5,000 มก/ล เหลือ 20 มก/ล และปริมาณความขุ่นจาก 15,000 NTU เหลือ 35 NTU เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร (ดูตาราง 14 และภาพประกอบ 22-24) สามารถลดค่า COD จาก 4,400 - 16,500 มก/ล ได้ประมาณร้อยละ 94.1 ± 2.7 ปริมาณสารแขวนลอยจาก 1,400 - 5,000 มก/ล ได้ร้อยละ 98.9 ± 0.6 และปริมาณความขุ่นจาก 4,800 - 15,000 NTU ได้ร้อยละ 99.2 ± 0.7

ตาราง 18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณต่างๆ เป็น
สารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

การ ทดลอง ครั้งที่	ตัวแปร	ก่อนการ ทดลอง	ปูนขาวปริมาณต่างๆ(มก/ล) ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล							
			5	% Removal	10	% Removal	15	% Removal	20	% Removal
1	COD(mg/l)	16,500	840	94.9	500	96.9	370	97.8	440	97.3
	SS(mg/l)	5,000	50	99.0	15	99.7	20	99.6	20	99.6
	Turbidity (NTU)	15,000	180	98.8	20	99.9	15	99.9	35	99.8
	Rubber(gm)	-	7.63		7.49		6.63		6.30	
	pH	8.18	8.18		8.15		8.16		8.18	
2	COD(mg/l)	4,400	400	90.9	410	90.7	520	88.2	410	90.7
	SS(mg/l)	1,400	35	97.5	40	97.1	50	96.4	25	98.2
	Turbidity (NTU)	4,800	90	98.1	100	97.9	110	97.7	80	98.3
	Rubber(gm)									
	pH	8.1	8.1		8.09		8.1		8.12	
3	COD(mg/l)	9,600	680	92.9	630	93.4	510	94.7	540	94.4
	SS(mg/l)	3,400	90	97.3	30	99.1	25	99.3	35	99
	Turbidity (NTU)	8,200	150	98.2	40	99.5	70	99.1	35	99.6
	Rubber(gm)	-	-		-		-		-	
	pH	8.58	8.59		8.59		8.60		8.60	

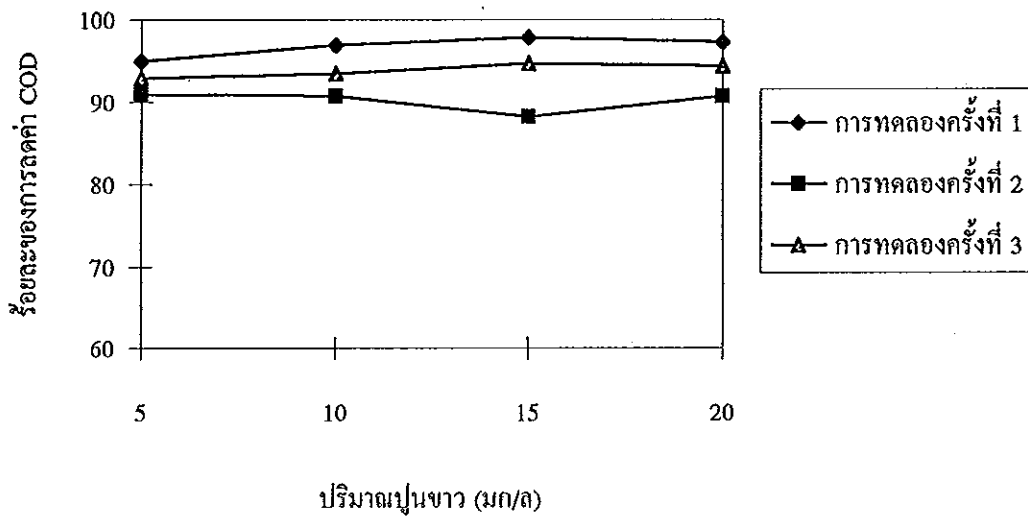
หมายเหตุ : ยางอบแห้ง 100 °C นาน 1 ชม. จากน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร



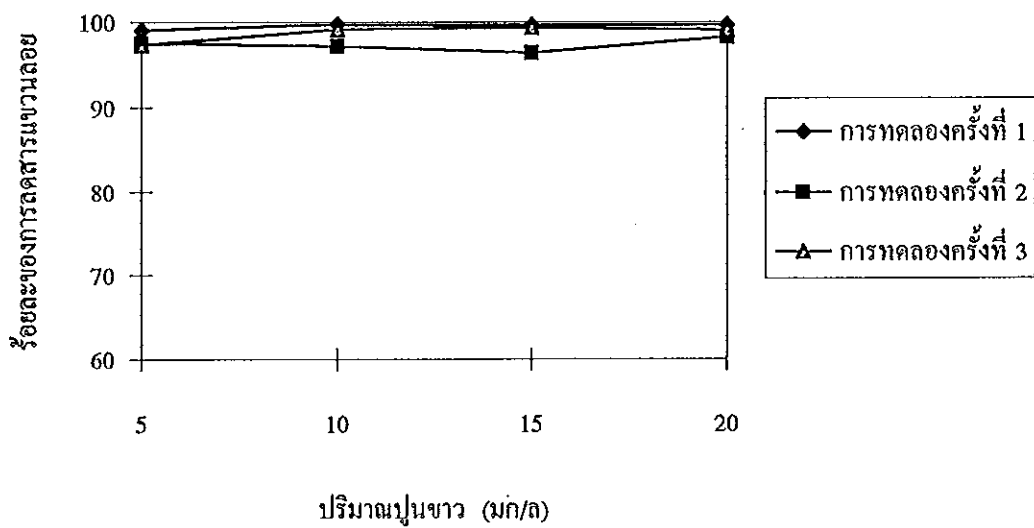
ภาพประกอบ 21 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณ
ต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4
มก/ล

ตาราง 14 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณ
ต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

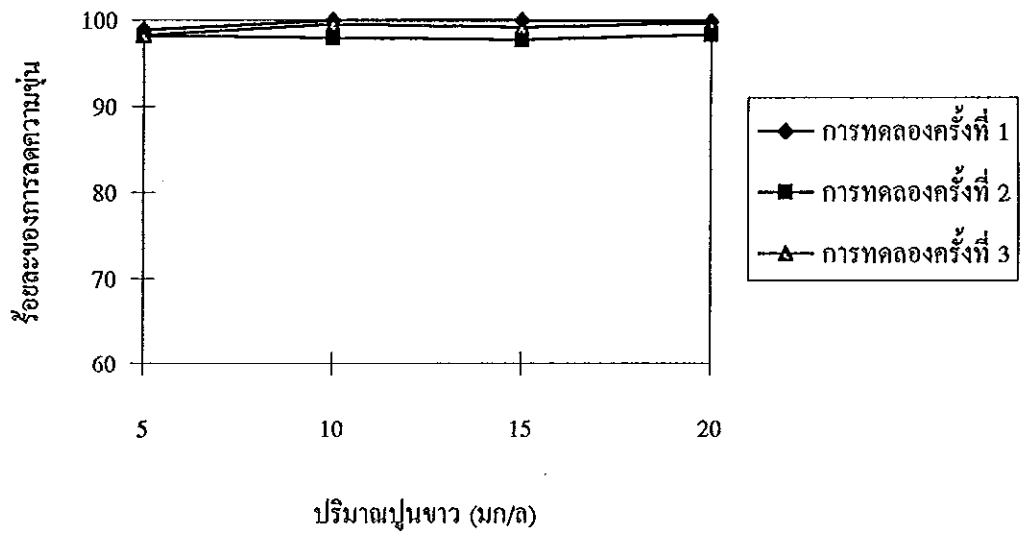
ตัวแปร	ร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้ปูนขาวปริมาณต่างๆ (มก/ล) เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล			
	5	10	15	20
COD	92.9±1.6	93.7±1.5	93.6±4	94.1±2.7
SS	97.9±0.8	98.6±1.1	98.4±1.4	98.9±0.6
Turbidity	98.4±0.3	99.1±0.9	98.9±0.9	99.2±0.7



ภาพประกอบ 22 แสดงร้อยละของการลดค่า COD เมื่อใช้ปุ๋ยหมักปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล



ภาพประกอบ 23 แสดงร้อยละของการลดปริมาณสารแขวนลอย เมื่อใช้ปุ๋ยหมักปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล



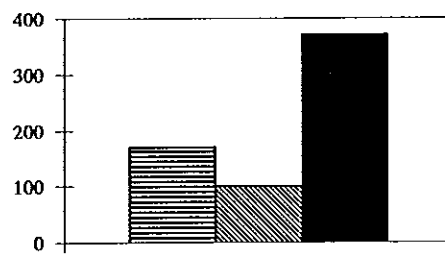
ภาพประกอบ 24 แสดงร้อยละของการลดความขุ่น เมื่อใช้ปูนขาวปริมาณต่างๆ เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

ผลการทดลองเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในน้ำเสีย เมื่อใช้โพลีเมอร์เป็นสารสร้างตะกอนเพียงตัวเดียว และเมื่อใช้สารส้มและปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล (ดูตาราง 15) จะเห็นว่าเมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนที่สามารถลดค่า COD ในน้ำเสียได้ดีที่สุด สามารถลดค่า COD จาก 16,500 มก/ล เหลือ 100 มก/ล ในขณะที่ใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล ลดค่าเหลือ 170 มก/ล และเมื่อใช้ปูนขาว 20 มก/ล ตามด้วย โพลีเมอร์ 4 มก/ล ลดค่า COD เหลือ 370 มก/ล และในการทดลองครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ก็เช่นเดียวกันจะเห็นว่าเมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล สามารถลดค่า COD ในน้ำเสียได้ดีที่สุด (ดูภาพประกอบ 25-27)

ดังนั้นในการทดลองแบบต่อเนื่องในขั้นตอนต่อไปจึงใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล

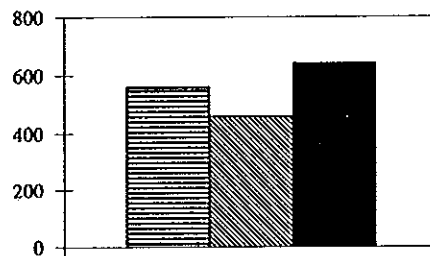
ตาราง 15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดมลสารเมื่อใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล, สารส้ม 5 มก/ล และปูนขาว 20 มก/ล ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน

ครั้งที่	ตัวแปร	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		
			โพลีเมอร์ 4 มก/ล	สารส้ม 5 มก/ล ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล	ปูนขาว 20 มก/ล ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล
1	COD (mg/l)	16,500	170	100	370
	SS (mg/l)	5,000	35	10	20
	Turbidity (NTU)	15,000	30	15	35
2	COD (mg/l)	4,400	310	240	410
	SS (mg/l)	1,400	30	30	30
	Turbidity (NTU)	4,800	60	50	80
3	COD (mg/l)	9,600	560	460	640
	SS (mg/l)	3,400	20	40	35
	Turbidity (NTU)	8,200	10	5	35



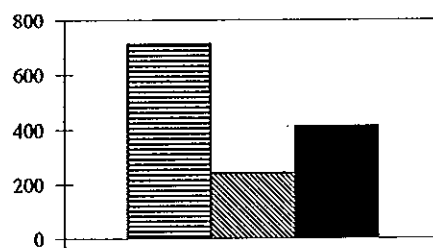
■ โพลิเมอร์ 4 มก/ล ■ สารส้ม 5 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล
 ■ ปูนขาว 20 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล

การทดลองครั้งที่ 1 : COD ของน้ำเสียเริ่มต้น 16,500 มก/ล



■ โพลิเมอร์ 4 มก/ล ■ สารส้ม 5 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล
 ■ ปูนขาว 20 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล

การทดลองครั้งที่ 2 : COD ของน้ำเสียเริ่มต้น 4,400 มก/ล



■ โพลิเมอร์ 4 มก/ล ■ สารส้ม 5 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล
 ■ ปูนขาว 20 มก/ลตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล

การทดลองครั้งที่ 3 : COD ของน้ำเสียเริ่มต้น 9,600 มก/ล

ภาพประกอบ 25-27 เปรียบเทียบผลของการทดลองการลดค่า COD ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว
 เมื่อใช้โพลิเมอร์ 4 มก/ล สารส้ม 5 มก/ล, ปูนขาว 10 มก/ล
 ตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน

3 ผลการทดลองแบบต่อเนื่อง

ในการทดลองนี้ใช้โพลีเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน โดยมีสารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก โดยกำหนด HRT ที่แตกต่างกันคือ 8, 10, 12, 15, 20 และ 30 นาที ให้อากาศในปริมาณ 410 ลบ.ซม./วินาที (2.00 ลบ.ม / นาที/ลบม.) ทำการทดลอง 3 ชั่วโมง กับน้ำเสียที่มีมลสารแตกต่างกัน ผลการทดลองดังตาราง 16 และภาพประกอบ 28-30 ซึ่งจะเห็นได้ว่า HRT ต่ำสุดที่ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีขึ้นคือต้องใช้ HRT 15 นาที สามารถลดค่า BOD_5 ที่มีค่าระหว่าง 240-470 มก/ล ลงเหลือ 90 มก/ล COD ที่มีค่า ระหว่าง 6,400 -9,400 มก/ล ลงเหลือ 280 - 360 มก/ล สารแขวนลอยที่มีค่าระหว่าง 1,300 -3,200 มก/ล ลงเหลือ 10 - 100 มก/ล และความขุ่นที่มีค่าระหว่าง 2,800 - 3,500 NTU ลงเหลือ 30 -160 NTU เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร (ดูตาราง 17 และภาพประกอบ 31-34) สามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 96 ± 0.4 BOD_5 72.9 ± 7.6 สารแขวนลอย 97.3 ± 1.7 และความขุ่น 96.9 ± 1.5 ระยะเวลาในการกักเก็บที่ นานกว่านี้ช่วยทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เมื่อทดลองปรับระดับตำแหน่งน้ำเข้าถังลอยตะกอนให้ห่างจากตัวให้อากาศแตกต่างกัน โดยใช้น้ำตัวอย่างเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 3 ที่ HRT 20 นาที คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดดูตาราง 18 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งน้ำเข้าถังลอยตะกอนที่ห่างจากตัวให้อากาศ 15 ซม. เป็นระยะที่ทำให้ได้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีที่สุด ตำแหน่งน้ำเข้าถังลอยตะกอนที่ห่าง หรือใกล้ตัวให้อากาศเกินไปทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดออกมามีคุณภาพไม่ดี

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่องจะเห็นได้ว่า HRT 15 นาที เป็นระยะเวลาที่กักเก็บต่ำสุด ที่ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีขึ้น และตำแหน่งน้ำเข้าถังลอยตะกอนที่ห่างจากตัวให้อากาศ 15 ซม. (จากกันถัง) ทำให้ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีที่สุด

ตาราง 16 แสดงผลการทดลองแบบต่อเนื่องเมื่อใช้ HRT ต่างๆกัน

ครั้งที่	ตัวแปร	กอนการ ทดลอง	HRT (นาที)											
			8	% Removal	10	% Removal	12	% Removal	15	% Removal	20	% Removal	30	% Removal
1	COD (mg / l)	8,600	760	91.2	540	93.7	430	95.0	360	95.8	320	96.3	360	95.8
	BOD ₅ (mg / l)	240	220	8.3	118	50.8	110	54.2	90	62.5	92	61.7	86	64.2
	SS (mg / l)	1,300	220	83.1	50	96.1	70	94.6	60	95.4	50	96.1	40	96.9
	Turbidity (NTU)	2,800	350	87.5	100	96.4	100	96.4	100	96.4	100	96.4	60	97.8
2	COD (mg / l)	6,400	-	-	1,000	84.4	640	90.0	280	95.6	280	95.6	240	96.2
	BOD ₅ (mg / l)	360	-	-	166	53.7	117	67.5	90	75.0	97	73.0	88	75.5
	SS (mg / l)	2,400	-	-	100	95.8	80	96.7	10	99.6	10	99.6	10	99.6
	Turbidity (NTU)	3,000	-	-	120	96.0	120	96.0	30	99.0	40	99.0	30	99.0
3	COD (mg / l)	9,400	850	90.9	500	94.7	400	95.0	320	96.6	300	96.8	320	96.6
	BOD ₅ (mg / l)	470	180	61.7	110	76.6	85	81.9	90	80.8	65	86.2	75	84.0
	SS (mg / l)	3,200	150	95.3	165	94.8	100	96.9	100	96.8	50	98.4	50	98.4
	Turbidity (NTU)	3,500	680	80.6	300	91.4	160	95.4	160	95.4	80	97.7	180	97.7



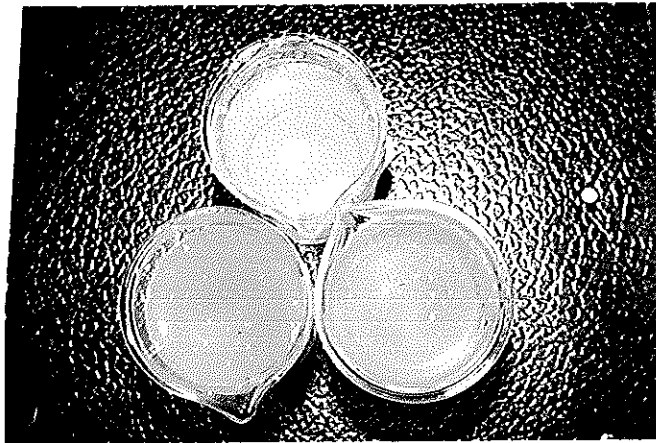
น้ำดิบ 12 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที

ภาพประกอบ 28 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อ HRT แตกต่างกัน



น้ำดิบ 15 นาที

ภาพประกอบ 29 แสดงลักษณะของน้ำดิบ เปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่านการบำบัด
เมื่อใช้ HRT 15 นาที



○ 30 นาที

○ 15 นาที ○ 20 นาที

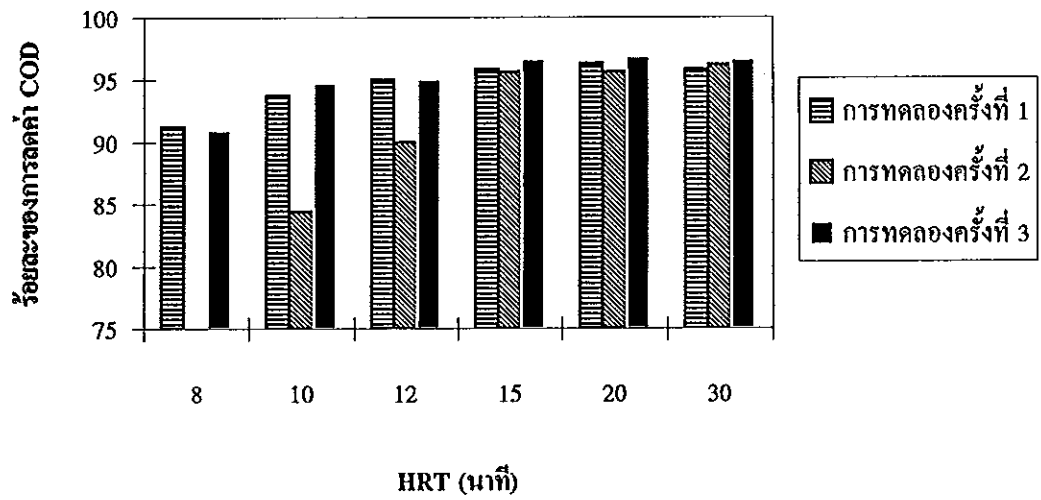
ภาพประกอบ 30 เปรียบเทียบลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อใช้ HRT 15 20
และ 30 นาที

ตาราง 17 แสดงร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสารเมื่อใช้ HRT ต่างๆกัน

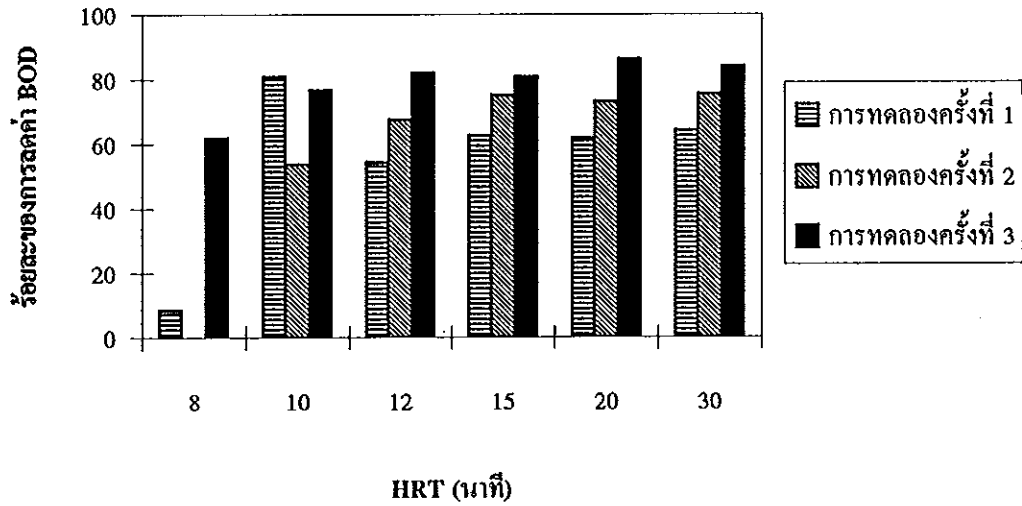
HRT (นาทื)	COD (%)	BOD ₅ (%)	SS (%)	Turbidity (%)
8	91.0 ± 0.1	35.0 ± 2.7	89.2 ± 6.1	84.0 ± 3.4
10	90.9 ± 4.1	60.4 ± 11.4	96.6 ± 0.3	94.6 ± 2.6
12	93.6 ± 2.5	67.8 ± 11.3	96.0 ± 1	95.9 ± 0.4
15	96.0 ± 0.4	72.9 ± 7.6	97.3 ± 1.4	96.2 ± 1.5
20	96.2 ± 0.5	73.6 ± 10	98.0 ± 1.4	97.6 ± 0.9
30	96.2 ± 0.3	74.6 ± 8.1	98.0 ± 1.4	98.2 ± 0.6

ตาราง 18 แสดงลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อปรับตำแหน่งน้ำเข้าถึงลอยตะกอนให้ห่างจากตัวให้อากาศแตกต่างกัน

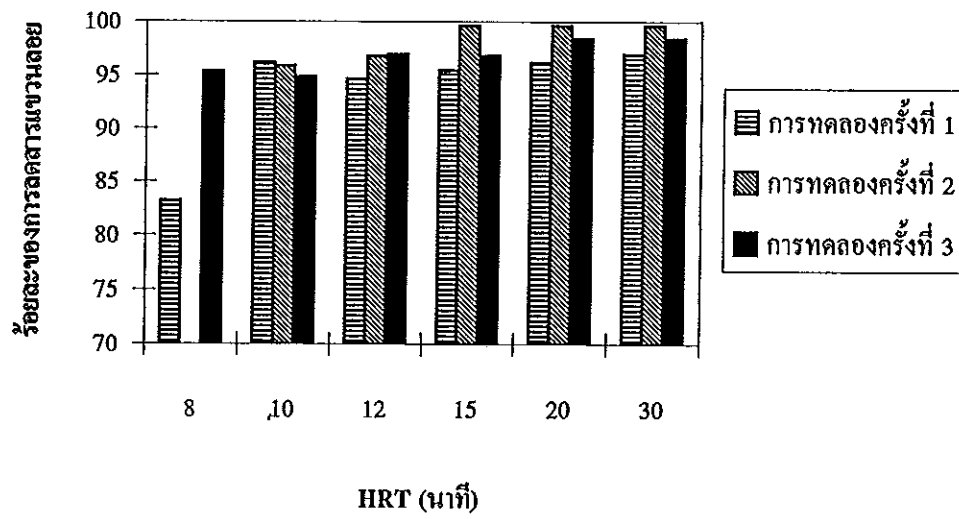
ระยะห่างระหว่างตำแหน่งน้ำเข้า ถึงลอยตะกอนกับตัวให้อากาศ (ซม.)	COD (มก./ล)	SS (มก./ล)	Turbidity (NTU)
7.5	288	50	85
15.0	216	30	50
22.5	324	60	100



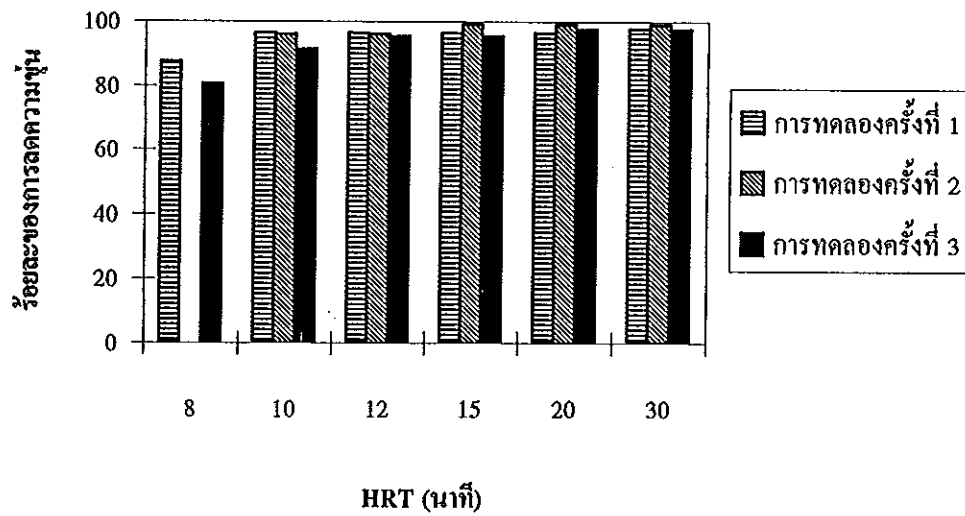
ภาพประกอบ 31 แสดงร้อยละในการลดค่า COD เมื่อใช้ HRT ต่างๆ



ภาพประกอบ 32 แสดงร้อยละในการลดค่า BOD เมื่อใช้ HRT ต่างๆ



ภาพประกอบ 33 แสดงร้อยละในการลดปริมาณสารแวนลอยเมื่อใช้ HRT ต่างๆ



ภาพประกอบ 34 แสดงร้อยละในการลดปริมาณความชุ่มเมื่อใช้ HRT ต่างๆ

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตถุงมือยาง

1.1 ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียจากทั้ง 2 แหล่งที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีมีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอยและความขุ่น สูงกว่าในน้ำเสียรวม น้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีมีลักษณะสีขาวคล้ายน้ำยางและมี ส่วนประกอบของยางอยู่เป็นจำนวนมาก ก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำเสียของโรงงาน ได้ใส่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วนประมาณ 75 มก/ล เพื่อให้ส่วนเนื้อ ยางจับตัวกันแล้วกวาดเนื้อยางที่จับตัวกันออกก่อนปล่อยน้ำที่เหลือลงสู่ท่อระบายน้ำ แต่แคลเซียมคลอไรด์สามารถทำให้ยางจับตัวเนื้อยางได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ยังมี ส่วนของยางเหลืออยู่ในน้ำอีกมากทำให้น้ำเสียที่ปล่อยออกสู่ท่อระบายน้ำมีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอย และ ความขุ่น สูง

ส่วนน้ำเสียรวมนั้นมีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอย และ ความขุ่นต่ำ เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตถุงมือนั้นมีน้ำยางออกมากับน้ำเสียน้อย น้ำเสียที่ออกมา ส่วนใหญ่เป็นน้ำล้างแบบฟิมพ์ และน้ำล้างถุงมือหลังจากผ่านกรรมวิธีจนจบ ถึงเมื่อน้ำ เสียส่วนนี้ จะมารวมกับน้ำที่ล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยางผสมสารเคมีที่ความเข้มข้น ของมลสารสูงก็ตาม แต่น้ำล้างภาชนะที่ใช้ล้างภาชนะบรรจุน้ำยางผสมสารเคมีมี จำนวนน้อยก็มีเพียง 7.4 ลบ.ม/วัน เมื่อรวมกับน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตซึ่งมี น้ำเป็นปริมาณมากคือ 28 ลบ.ม/วัน จึงทำให้ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสีย เจือจางลง เมื่อนำมาวิเคราะห์จึงพบว่า มีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอย และ ความขุ่นต่ำ

1.2. เหตุผลในการเลือกน้ำเสียจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาสผสม

สารเคมีมาทำการศึกษา

ในการผลิตถุงมือยางนั้นจะนำน้ำยาสผสมกับสารเคมีไว้ประมาณ 1 คิน เพื่อให้อย่างเกิดการวัลคาไนซ์ หลังจากนั้นจะนำน้ำยาสที่บ่มจนได้ที่แล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถุงมือยาง ในทุกวันจะมีการถ่ายน้ำยาสจากถังบ่มไปยังกระบวนการผลิต จึงต้องมีการล้างทำความสะอาดถังบ่ม ซึ่งจะใช้เวลาในการล้างถังวันละประมาณ 2 ชั่วโมง น้ำเสียที่เกิดจากการล้างถังบ่มวันละประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร น้ำที่ออกมาจะมีลักษณะสีขาวคล้ายน้ำยาสและมีส่วนผสมของเนื้อยางอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนำน้ำจากส่วนนี้มาวิเคราะห์พบว่ามีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอย และความขุ่นสูงมาก อุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติคือ 28 °C

ส่วนน้ำเสียนั้นจะเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยวันละ 28 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิขึ้นๆลงๆอยู่ในช่วง 43 °C- 47 °C ค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอยและความขุ่นต่ำกว่าน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาสผสมสารเคมีมาก

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกทำการศึกษาและหาทางบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาสผสมสารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการเกิดน้ำเสียแค่ 2 ชั่วโมง และปริมาณน้ำเสียที่มีน้อยทำให้ง่ายต่อการบำบัด และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อย ไม่ว่าจะเป็นค่าสารเคมี หรือค่าการดูแลบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียจากส่วนนี้ยังมีปริมาณเนื้อยางและค่ามลสารสูงมาก ถ้าปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียนั้นทำงานหนัก ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอาจจะมีคุณภาพไม่ดีพอที่จะผ่านมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม นอกจากนี้น้ำเสียที่ประกอบด้วยยางสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธีการรวมตะกอน โดยใช้สารส้มและเกลือของเหล็กสามารถลดค่า BOD₅ ได้ถึงร้อยละ 84-87 (Morzychi, 1966 quoting in Nemorow, 1978) ส่วนการบำบัดน้ำทิ้งจากยางพาราโดยใช้บ่อหมักแบบไม่เติมอากาศเป็นการบำบัดขั้นต้น ลดค่า COD ได้ร้อยละ 35 BOD₅ ร้อยละ 27 เท่านั้น (Keok Chew, 1985) ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้กระบวนการรวมตัวของตะกอนตามด้วยการลอยตะกอนเพื่อแยกเนื้อยางและสารแขวนลอยออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ในการบำบัดด้วยวิธีการรวม

ตัวของตะกอน น้ำเสียที่มีสารแขวนลอยและความขุ่นสูง จะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดดีกว่าน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยและความขุ่นต่ำ เพราะในน้ำที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมาก อนุภาคจะอยู่ชิดกันเพราะมีพื้นที่น้อย ดังนั้นโอกาสในการชนกันของอนุภาค และรวมตัวกันมีมากกว่า อุณหภูมิที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักจะไม่ส่งผลต่อการรวมตัวของตะกอน นอกจากนี้ยังซึ่งเป็นสารแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย มีความหนาแน่น 0.975 - 0.98 กรัม/มิลลิลิตร (ผลชิต บัวแก้ว, 2531) ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ มีโอกาสที่จะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำได้โดยธรรมชาติอยู่แล้ว การเป่าอากาศเข้าไปในน้ำเสีย ทำให้เนื้อเยื่อและสารแขวนลอยที่รวมตัวเป็นฟลอคมาเกาะกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตัวและลอยตัวของตะกอนมีคุณภาพดีขึ้น

2 ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน ที่มีผลต่อการรวมตัวของตะกอน

2.1 เมื่อใช้สารส้มและโพลีเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอน ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี

จากผลการทดลองในตาราง 11-12 และภาพประกอบ 17-20 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล จะทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีขึ้น สามารถลดค่าความขุ่นและสารแขวนลอยได้เกือบหมด ลดค่า COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 96.4 ± 2.2 ทั้งนี้เพราะการรวมตัวของตะกอนเกิดจากการที่อนุภาควิ่งชนกันแล้วเกาะติดกันเป็นฟลอคเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมากกว่าแรงผลึกที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้ารอบๆผิวของอนุภาค การรวมตัวของตะกอนจะเกิดในช่วงพีเอชที่อนุภาคที่อยู่ในน้ำมีศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุดหรือไม่มีเลย (พิชญ บุนนวล และก้องสกุล หนูวารี, 2536) ในน้ำยางจะมีส่วนของสาร โปรตีนซึ่งมีอนุโมลลบของคาร์บ็อกซิเลต ดูดซับอยู่รอบๆผิวของอนุภาคยาง และห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ (สถาบันวิจัยยาง, 2536) ทำให้น้ำยางมีประจุไฟฟ้าเป็นลบซึ่งก่อให้เกิดการผลึกกันระหว่างอนุภาคยาง การใส่สารส้มซึ่งมี Al^{3+} ลงไปทำให้ความหนาของชั้นประจุบางลง (Electrical Double Layer Compression) มีผลทำให้ศักย์ทางไฟฟ้าลดลงและแรงผลึกระหว่างอนุภาคลด

ลงด้วยอนุภาคจึงเข้าใกล้กันมากขึ้น หลังจากนั้นจะถูกดึงดูด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน (Deraquin and Landau, 1941 ; Verwey and Overbeek, 1984 ; Kuryt, 1952 ; Van Olphen, 1963 and Michaels and Bolger, 1964) ถ้าได้รับแรงจากภายนอก เช่นการกวนก็จะยิ่งทำให้อนุภาคเข้าใกล้กันและเกาะติดกันมากยิ่งขึ้น เมื่อใส่โพลิเมอร์ประจุบวกลงไป ประจุบวกของโพลิเมอร์จะไปจับกับประจุลบที่ยังเหลืออยู่ที่ผิวของอนุภาค เมื่ออนุภาคตั้งแต่สองอนุภาคขึ้นไปมาจับกับโพลิเมอร์จะมีการสร้างสะพานตลอดความยาวของสายโพลิเมอร์ สายโพลิเมอร์ที่มีอนุภาคเกาะติดกันมาเกี่ยวพันกัน มีการรวมกันทั้งสามมิติทำให้ได้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเป่าฟองอากาศเข้าไปในน้ำ ฟองอากาศจะพาตะกอนขึ้นสู่ผิวน้ำ และถูกกวาดทิ้งต่อไป น้ำที่ได้จึงมีความใส และมีค่า COD, BOD₅, สารแขวนลอย และความขุ่นต่ำลงมาก

2.2 ปริมาณสารโพลิเมอร์ และสารส้มที่มากเกินไปกับคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด

ในการรวมตัวของตะกอนนั้น ปริมาณสารสร้างตะกอนจำนวนหนึ่งเท่านั้น ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนในน้ำเสียดีที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนพื้นที่ผิวของสารแขวนลอยต่อสารสร้างตะกอน การเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอน ไม่ว่าจะเป็ โพลิเมอร์หรือสารส้ม ไม่เพียงแต่ทำให้การรวมตัวของตะกอนไม่มีประสิทธิภาพเท่านั้นยังทำให้เกิดการ Restabilization ของคอลลอยด์ ทำให้น้ำใสที่ได้กลับขุ่นขึ้น (Jamil, K., 1991)

ในการทดลองแบบ Batch เมื่อใช้โพลิเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอน อย่างเดียว (ตาราง 6 และภาพประกอบ 13-16) จะเห็นว่าโพลิเมอร์ ปริมาณ 4 มก/ล ทำให้น้ำใสที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด สามารถลดค่า COD จาก 16,500 มก/ล ลงเหลือ 170 มก/ล สารแขวนลอยจาก 5,000 มก/ล เหลือ 35 มก/ล ความขุ่นจาก 15,000 NTU ลงเหลือ 30 NTU แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโพลิเมอร์เป็นสองเท่าค่า COD กลับเพิ่มขึ้นเป็น 370 มก/ล สารแขวนลอย 270 มก/ล ความขุ่น 600 NTU

สารส้มก็เช่นเดียวกันกับโพลิเมอร์ (ดูตาราง 11 การทดลองครั้งที่ 3 และภาพประกอบ 18-20) จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารส้ม 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรกตามด้วยโพลิเมอร์ 4 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอน สามารถลดค่า COD ลงเหลือ

460 มก/ล สารแขวนลอย 40 มก/ล และค่าความขุ่น ลงเหลือ 5 NTU แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มเป็น 20 มก/ล ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารกลับลดลง ค่า COD กลับเพิ่มขึ้นเป็น 780 มก/ล สารแขวนลอย 330 มก/ล และความขุ่น 35 NTU

8 การทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

8.1 HRT ในถังลอยตะกอนกับคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด

ในกระบวนการรวมตัวและลอยตัวของตะกอนนั้นต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อให้เกิดการผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำ และระยะเวลาในการลอยตัวของตะกอน จากผลการทดลอง (ดูตาราง 16-17 และภาพประกอบ 28-34) จะเห็นว่าต้องใช้ HRT ในถังลอยตะกอน 15 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้กลุ่มฟล็อกไปจับกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้น้ำที่ได้มีคุณภาพดี ร้อยละในการลดปริมาณสารแขวนลอย ความขุ่น ค่า COD และค่า BOD_5 เท่ากับ 97.3 ± 1.4 , 96.2 ± 1.5 , 96 ± 0.4 และ 72.9 ± 7.6 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย ถ้าอัตราการไหลเข้าเร็วซึ่งหมายถึง HRT ต่ำประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารจะลดลง จากตาราง 16 จะเห็นว่าที่ HRT 8 นาที ประสิทธิภาพในการลดค่า COD, BOD_5 , สารแขวนลอย และความขุ่นต่ำกว่าที่ HRT 15 นาที HRT ในถังลอยตะกอนที่นานกว่านี้ไม่ได้ทำให้น้ำใสมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิมมากนัก เพราะจำนวนของอนุภาคในน้ำมีจำนวนน้อยลงถึงจะใช้ระยะเวลาในการกักเก็บนานๆ อนุภาคที่มากเกาะกับฟองอากาศมีน้อย น้ำใสที่ได้จึงมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม (HRT 15 นาที) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของโกทาสและแฮนเซนที่ได้รายงานว่าการกำจัดสารแขวนลอยและคอลลอยด์ในน้ำเสียโดยใช้สารสร้างฟองร่วมกับทำให้อากาศสามารถกำจัดสารแขวนลอยได้เกือบหมด ระยะเวลาการกักเก็บเพื่อให้ได้น้ำใสควรใช้เวลา 15 นาที (Gotass and Hansen, 1943 quoted in Jamil, K., 1991) ไฮกีและคณะ ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเฟอริกคลอไรด์ และโพลีเมอร์ที่ใส่ในถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำเสียจากสถาบันเทคโนโลยีเอเชียได้ชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 , ฟอสเฟต และสารแขวนลอย ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ถ้าอัตราการไหลเข้าเร็ว ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลง พบว่าระยะเวลาในการผสมสารเคมี ควรมากกว่า 30 วินาที ระยะเวลาในการเก็บกักควรมากกว่า 10 นาที

ปริมาณน้ำฝนควรจะน้อยกว่า 1.2 ลิตร/ตร.ม./นาที่ (Heike et al., 1980. quoting in Okui, 1991)

3.2 ระยะห่างระหว่างน้ำเข้างัดลอยตะกอนกับตัวให้อากาศ ที่ใกล้หรือไกลเกินไปไปทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพไม่ดี

ตำแหน่งน้ำเข้าในถังลอยตะกอน มีผลต่อคุณภาพน้ำใส ตำแหน่งน้ำเข้าที่ใกล้หรือไกลจากตัวให้อากาศมากเกินไป ทำให้น้ำใสที่ออกมาคุณภาพไม่ดีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลของน้ำ (Hydrodynamic Pattern) ในถังลอยตะกอน

จากการทดลอง (ตาราง 18) จะเห็นว่าที่ตำแหน่งน้ำเข้าห่างจากตัวให้อากาศ 15 ซม. ทำให้น้ำใสที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด ส่วนที่ตำแหน่งน้ำเข้าห่างจากตัวให้อากาศ 7.5 ซม. เป็นตำแหน่งที่น้ำเข้าอยู่ใกล้กับตัวให้อากาศมากเกินไป ฟลอคเล็กๆจะถูกกระแสน้ำพัดพาให้เข้าไปอยู่ใต้ตัวให้อากาศ และจะออกมากับน้ำใสที่อยู่ส่วนล่างของถัง ทำให้น้ำใสที่ออกมาคุณภาพไม่ดี เมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่ามีค่า COD , สารแขวนลอย และความขุ่นสูง

ในทางกลับกันตำแหน่งน้ำเข้าที่อยู่ห่างจากตัวให้อากาศมากเกินไป จะทำให้ฟลอคที่มีขนาดโตถูกส่งไปยังผิวหน้าในอัตราเร็วสูง ทำให้อนุภาคหรือฟลอคขนาดเล็กติดไปกับเครือข่ายของฟลอคขนาดใหญ่ได้น้อย ดังนั้นอนุภาคเล็กๆหรือฟลอคที่แตกออกมาจากฟลอคขนาดใหญ่จึงถูกกระแสน้ำของของเหลวรอบๆฟองอากาศพัดพาลงสู่ส่วนล่างของถังและออกมากับน้ำใส ทำให้น้ำใสที่ได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร

4 ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในโรงงานผลิตถุงมือยาง

4.1 ค่าสารเคมีและผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวเนื้องาน (ไม่รวมค่ากระแสไฟฟ้า, ค่าติดตั้งระบบ ค่าบำรุงซ่อมแซมและค่าแรงงานที่ใช้ดูแลระบบ)

4.1.1 โพลีเมอร์ (M.266 Cationic Flocculant MW. 20×10^6 0.0397 gm polymer/gm emulsion) นำเข้ามาจากต่างประเทศ ราคา กิโลกรัมละประมาณ 200 บาท จากผลการทดลองต้องใช้โพลีเมอร์ 4 กรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นต้องเสียค่าโพลีเมอร์ 80 สตางค์ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

4.1.2 สารส้ม ราคา กิโลกรัมละ 10 บาท จากผลการทดลองใช้สารส้ม 5 มิลลิกรัม ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร (หรือประมาณ 5 กรัม/ลบ.ม.) ดังนั้นจะต้องจ่ายค่าสารส้ม 5 สตางค์ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

4.1.8 เนื้อหาที่เก็บเกี่ยวได้ จากการทดลองกับน้ำเสียที่มีค่า COD ประมาณ 16,500 มก/ล สารแขวนลอย 5,000 มก/ล ความขุ่น 15,000 NTU ได้เนื้อมีอย่างลอยขึ้นมาประมาณ 7.8 กรัม/ลิตร (น้ำหนักแห้ง) หรือประมาณ 7.8 กรัม/ลูกบาศก์เมตร

จากผลการทดลองเปรียบเทียบรายจ่ายค่าสารเคมีและเนื้อหาที่เก็บเกี่ยวมาจากการบำบัดน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าได้ผลตอบแทนคุ้มค่าเพราะสามารถเก็บเกี่ยวเนื้อมีอย่างได้เกือบหมด

ถ้าหากโรงงานผลิตดูมื่ออย่างใดๆ ที่มีกำลังการผลิตมากหรือมีน้ำเสียจากส่วนนี้มาก ก็จะสามารถเก็บเกี่ยวเนื้อมีอย่างเพิ่มมากขึ้น นอกจากโรงงานผลิตดูมื่ออย่างแล้ว โรงงานที่เกี่ยวข้องกับขางพาราที่มีน้ำเสียลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานผลิตดูมื่ออย่าง (น้ำล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาสผสมสารเคมี) ซึ่งมีน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมากก็จะสามารถเก็บเกี่ยวเนื้อมีอย่างกลับคืนมาได้มากขึ้นและเป็นแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการยอมเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเพราะผลตอบแทนที่ได้จากการเก็บผลผลิตจากเนื้อมีอย่างคุ้มค่ากว่าค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียและยังทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้น ทำให้ง่ายในการบำบัดขั้นที่สองต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรยาง เพราะใช้ยางอย่างประหยัดและคุ้มค่าและสูญเสียเนื้อมีอย่างน้อยที่สุดอีกด้วย

4.2 ความยากง่ายและความเป็นไปได้ในการนำระบบการรวมตัวและลอยตะกอนไปใช้

4.2.1 การติดตั้งระบบการลอยตะกอน ในการติดตั้งระบบครั้งแรกอาจทำให้ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในช่วงแรกมาก สิ่งที่จะต้องมึในระบบนี้คือ

4.2.1.1 Equalization Tank เพื่อลดความแปรปรวนของมลสารในน้ำเสีย เช่น สารแขวนลอยและความขุ่น เพราะในการล้างภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาสผสมกับสารเคมีนั้น ในการล้างทำความสะอาดช่วงแรกๆน้ำที่ได้จะขุ่นมาก เมื่อล้างต่อไปเรื่อยๆความขุ่นของน้ำก็จะลดลง ถ้าหากไม่มี Equalization Tank จะทำให้น้ำที่

ผ่านเข้าสู่ระบบมีสารแขวนลอย และความขุ่นไม่สม่ำเสมอจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการรวมตัวของตะกอน

4.2.1.2 ถังกวนที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลาและใส่สารเคมีตามอัตราที่ได้ทดลองเพื่อให้อนุภาคของของแข็งและคอลลอยด์ในน้ำ มีโอกาสชนกันมากขึ้นและเกาะติดกันเป็นฟล็อก ก่อนไหลเข้าสู่ถังลอยตะกอน

อนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีรางระบายน้ำยาวๆอาจจะไม่ต้องมีถังกวนก็ได้ อาจใช้บัพเฟอร์กันบริเวณขอบในของราง เพื่อให้หน้าที่ไหลมากระทบกับบัพเฟอร์แล้วมีการผสมกัน วิธีนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องกวน และค่าก่อสร้างถังกวน แต่อาจจะเกิดปัญหาว่าจะใส่สารเคมีบริเวณไหนถึงจะทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอนดีที่สุดและฟล็อกที่ได้ไม่แตกเพราะถ้าใส่สารเคมีไกลจากถังลอยตะกอนมากเกินไป อนุภาครวมตัวกันเป็นฟล็อกแล้วแต่ยังคงไหลไปกระแทกกับบัพเฟอร์อีกทำให้ฟล็อกแตกได้ หรือถ้าใส่สารเคมีใกล้กับ ถังลอยตัวของตะกอนมากเกินไป สารเคมีที่ไหลลงไปยังผสมกับน้ำเสียได้ไม่ดียังไม่เกิดฟล็อกการทำงานของระบบดังกล่าวก็จะไม่มีประสิทธิภาพ

4.2.1.3 ถังลอยตะกอน ไม่จำเป็นต้องสร้างให้มีขนาดใหญ่มากนัก ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียของโรงงาน จากการทดลองใช้ระบบบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ปรากฏว่าที่ HRT 15 นาที ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดี ซึ่งถือว่าเป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นในการออกแบบขนาดของถังลอยตะกอน จึงต้องคำนวณให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น

4.2.2 การดูแลให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.2.1 ต้องดูแลให้อัตราส่วนผสมของสารเคมีกับน้ำเสียถูกต้องเป็นไปในอัตราที่จะเกิดการรวมตัวของตะกอนดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำและสารเคมีอย่างใกล้ชิด

4.2.2.2 ในการเตรียมสารเคมีต้องเตรียมส่วนผสมให้ถูกต้องและให้สารเคมีมีปฏิกิริยาสมบูรณ์ ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้สำหรับสารเคมีชนิดนั้นๆ โดยเฉพาะสารโพลีเมอร์ และควรเตรียมเก็บไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น

4.2.2.3 ต้องดูแลให้อากาศตลอดระยะเวลาที่ทำการบำบัดน้ำเสีย

4.2.2.4 ต้องกวาดตะกอนที่ลอยขึ้นข้างบนออกตลอดเวลา เพราะมีตะกอน
ตะกอน จะตกลงไปปะปนอยู่ในน้ำเสียที่กำลังทำการบำบัดอยู่ทำให้น้ำใสที่ได้กลับขุ่นขึ้น

4.2.2.5 ดูแลให้ระบบมีการกวาดอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้อนุภาคมีโอกาส
ชนกันและรวมตัวฟล็อกได้ดี

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการศึกษา

1 ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนที่ทำให้น้ำเสียเกิดการรวมตัวของตะกอนและลอยตัวได้ดีที่สุด

จากผลการศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน ที่ทำให้น้ำเสียจากโรงงานดูมื่ออย่างที่มีลักษณะน้ำเสียดังตารางที่ 19 ที่ผ่านกระบวนการรวมตัวของตะกอนและลอยตัวของตะกอนแล้วมีคุณภาพดีขึ้น พบว่าการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์ ในปริมาณ 5 มก/ล และ 4 มก/ล ตามลำดับ เป็นชนิดและปริมาณของสารที่ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพดีที่สุดในแง่ค่า COD จาก 4,400-16,500 มก/ล ลงอยู่ระหว่าง 100-460 มก/ล. สารแขวนลอยจาก 1,400 -5,000 มก/ล ลงอยู่ระหว่าง 10-40 มก/ล และความขุ่นจาก 4,800-15,000 NTU ลงอยู่ระหว่าง 5-50 NTU เมื่อคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดมลสาร สามารถลดค่า COD ได้ถึง ร้อยละ 96.4 ± 2.2 สารแขวนลอย 98.9 ± 0.8 และความขุ่นได้ถึง 99.6 ± 0.4

ตารางที่ 19 แสดงลักษณะน้ำเสียจากโรงงานดูม็อยาง

Parameters	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
Temperature (°C)	26	26
pH	8.4 - 8.6	8.5
COD (mg/l)	9,600 - 16,500	13,400
BOD ₅ (mg/l)	410 - 470	440
SS (mg/l)	3,500 - 5,000	4,230
Turbidity (NTU)	8,200 - 15,000	10,730
Alkalinity (mg/l)	260 - 520	410
Acidity (mg/l)	0 - 10	3.3
Hardness (mg/l)	150 - 520	306
Total Phosphate (mg/l)	0.8 - 1.31	1.07

ส่วนการใช้ปูนขาวเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์นั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารต่ำกว่า การใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์

ดังนั้นสารส้มปริมาณ 5 มก/ล และโพลีเมอร์ 4 มก/ล จึงเป็นชนิดและ ปริมาณของสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้น้ำเสียที่มีส่วนประกอบของยาง อยู่เป็นจำนวนมาก และมีคุณสมบัติดังกล่าวเกิดการรวมตัวของตะกอนและลอยตัวได้ ดีที่สุด

2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง

จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง โดยใช้สารส้มปริมาณ 5 มก/ล เป็นสารสร้างตะกอนตัวแรก ตามด้วยโพลีเมอร์ 4 มก/ล โดยให้ระยะเวลาพักเก็บน้ำ เสียในถังให้อากาศนาน 8,10,12,15,20 และ 30 นาที พบว่าที่ระยะเวลาในการ

กักเก็บ 15 นาที เป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมี คุณภาพดีขึ้น โดยสามารถลดค่า COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 96.0 ± 0.4 BOD₅ 72.9 ± 7.6 สารแขวนลอย 97.3 ± 1.4 มก/ล และความขุ่นได้เฉลี่ย 96.2 ± 1.5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้กระบวนการรวมตัวของตะกอน และการลอยตัวของตะกอนสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของเนื้อมีอยู่ค่อนข้างจะประสบผลสำเร็จ ถึงแม้ว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่า BOD₅ สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมก็ตาม (ค่า BOD₅ < 20 มก/ล) แต่สามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยเฉพาะเนื้อมีซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ต่อไป

การทดลองครั้งนี้นอกจากเทคโนโลยีการรวมตัวและการลอยตัวของตะกอน จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้นแล้วยังสามารถเก็บเกี่ยวเนื้อมีกลับคืนจากน้ำเสียได้ประมาณ 7 กิโลกรัมต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งถือว่าการนำยางทุกหยดมาใช้อย่างคุ้มค่า มีประโยชน์สูงสุด เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างอนุรักษ์ และทำให้ผู้ประกอบการได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากเนื้อมีที่เก็บเกี่ยวขึ้นมาได้ และอาจจะเป็นแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับยางพาราหันมาใช้เทคโนโลยีการรวมตัวและลอยตัวของตะกอนเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและสุขภาพของคนที่มีกิจกรรมเกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำนั้น

ข้อเสนอแนะ

1 ข้อเสนอแนะด้านการวิจัย

เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและเวลา ทำให้ไม่สามารถทำการศึกษาวิจัยในทุกเรื่องที่เกี่ยวข้องได้ เรื่องที่น่าสนใจและควรจะศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป ได้แก่

1.1 ศึกษาการรวมตัวและการลอยตัวของตะกอนของน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้าง
ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาผสมสารเคมีที่ยังไม่ผ่านสารช่วยจับตัว

1.2 ปริมาณและฟองอากาศที่เหมาะสมต่อการลอยตัวของตะกอนแบบ Air
Flotation

1.3 ลักษณะของ Aeration Tank ที่ทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนในน้ำ
เสียได้ดีที่สุด

1.4 ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวของตะกอน เช่น ขนาดของอนุภาค
ต่อการรวมตัวของตะกอน

2 ข้อเสนอแนะทางการจัดการสิ่งแวดล้อม

2.1 ควรใช้ค่า COD ร่วมกับค่า BOD₅ เป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งสำหรับ
โรงงานดูมียาง

2.2 เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องควรจัดอบรมให้ความรู้แก่ผู้ดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย
ของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆที่ออกแบบให้ทำงาน
อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่ด้าน
สิ่งแวดล้อมจังหวัด ควรเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมให้แก่ผู้ประกอบการ
โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อให้ผู้ประกอบการเห็นความสำคัญของสิ่งแวดล้อม มี
จิตสำนึกและความตระหนักในปัญหาสิ่งแวดล้อมและร่วมมือในการป้องกันปัญหา
สิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากกิจการของตนเอง

2.4 หน่วยงานด้านการศึกษาเช่น มหาวิทยาลัย ควรร่วมมือกับโรงงาน
อุตสาหกรรมในการศึกษาวิจัยหาเทคโนโลยีใหม่ๆเพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่อาจเกิดขึ้น
กับสิ่งแวดล้อม

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2535. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2. กรุงเทพฯ : มิตรนรา
- บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย. 2534. เทคโนโลยีน้ำยางข้น. ม.ป.ท: ม.ป.พ.
- ผลชิต บัวแก้ว. 2531. “น้ำยางข้น” , ใน น้ำยางข้นและการผลิตดุงมือยาง : เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง อุตสาหกรรมน้ำยางข้นและเทคโนโลยีการผลิตดุงมือยาง 17-18 พฤศจิกายน 2531. หน้า 1-1 - 1-34
- พรพรรณ นิธิอุทัย, วราภรณ์ ขจรไชยกุล และบุญธรรม นิธิอุทัย, 2533. “การผลิตดุงมือยาง”, ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเรื่องการผลิตดุงมือยาง 28 มกราคม 2533.
- พิษณุ บุญนวล. 2537. “การแก้ปัญหาน้ำขุ่นด้วยกระบวนการก่อกลุ่ม” ใน อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ : การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ครั้งที่ 5 จัดโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ณ อำเภอหาดใหญ่ จ.สงขลา 24-25 พฤศจิกายน 2537 หน้า 5-86 - 5-93.
- พิษณุ บุญนวล และ ก้องสกล หนูวารี. 2536. “กระบวนการฟล็อกคิวเลชันกับปัญหาความขุ่นของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแร่และอื่นๆ”. ใน ประชุมใหญ่วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ณ โรงแรมเซ็นทรัลพลาซ่า (ลาดพร้าว) , 27 พฤศจิกายน 2536.

ภัทรา กานตศิลา. 2531. “สารเคมีผสมน้ำยาง”, ใน น้ำยางข้นและการผลิตถุงมียาง : เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนาเชิงวิชาการ เรื่อง อุตสาหกรรมน้ำยางข้นและเทคโนโลยีการผลิตถุงมียาง 17-18 พฤศจิกายน 2531. หน้า 2-1 - 2-47. กรุงเทพฯ.

วารสารณ์ ขจรไชยกูล. 2536. “ยาง.” ม.ป.พ. : สถาบันวิจัยยาง

วารสารณ์ ขจรไชยกูล. พลชิต บัวแก้ว และ ภัทรา กานตศิลา. 2533. “การผลิตถุงมียาง”, เอกสารวิชาการผลิตภัณฑ์ยาง, ฉบับที่ 3.

วิชาการเกษตร, กรม สถาบันวิจัยยาง, 2536. กรุงเทพฯ.

สุภาพร บัวแก้ว, วารสารณ์ ขจรไชยกูล และจรรยา แสงรักษาวงศ์. 2537. “ภาวะการตลาดของผลิตภัณฑ์ยาง.” ม.ป.พ. : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (สำเนา)

สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. 2533. “ศักยภาพการให้บริการแก่อุตสาหกรรมของศูนย์วิจัยยางไทย”. สงขลา : ศูนย์วิจัยยางสงขลา. (สำเนา)

..... 2529. “อุตสาหกรรมยางดิบ” ใน การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่หลักสูตร “วิชายาง” ณ ห้องประชุมศูนย์วิจัยยางสงขลา 4 - 21 สิงหาคม 2529

อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. 2536. “รายการคำนวณการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ยื่นต่อกระทรวงอุตสาหกรรม” สงขลา : อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (สำเนา)

_____ . 2536. “รายชื่อโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดสงขลา”
สงขลา : อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (สำเนา)

Abramson, H.A., Moyer, L.S. and Gonn, M.H. 1964. **Electrophoresis of Protein and the Chemistry of Cell Surface**. New York : Hafner Publishing. Co.Inc.

APHA AWWA and WPCR. 1985. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**, 16th edition. New York American Public Health Association.

Aplan, F.F. and Ennor, K.S. 1987. “Fatty Acids and Amines in Flotation” in **Fatty Acids**. Johnson, Ro, W and Firitz , E., editor : Marcel Dekker.

Bakti , Kadir and Bin , Nordin. 1991. “Characteristic of Industry Effluent”, in **SEAN/UNDP Workshop on Pollution Control in the Palm Oil and Rubber Industry**, January 7-18, 1991. Organized by Department of Environment Ministry of Science ,Technology and the environment Malaysia, 1-8.

Brydson , J.A. 1978. **Rubber Chemistry**. London : Applied Science Publishs. Ltd.

Bunnual, P. 1993. “Charification, Sedimentation and Consolidation of Flocculated Suspension”, Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University.

- Cornillez , J.F. 1979. "Influence of Particle Size on Coagulation ". Master Thesis, Asian Institute of Technology.
- Cox , C.R. 1969. **Operation and Control of Water Treatment Process.**, Geneva : World Health Organization Monograph.
- Deraquin, B.V. and Landau, L.D. 1941. "Theory of the Stability of Strongly Charged Lyophobic Soils and of Adhesion of Strongly Charged Particles in Solution in Electrolytes", *Acta Physiochim.* V. 14, pp. 633.
- Fair , M., Geyer , J.C. and Okun , D.A. 1971. **Elements of Water Supply and Wastewater Disposal.** New York : John Wiley and Sons.
- Gregory, J. and Xing, L. 1992. "Influence of Rapid Mix Conditions on Flocculation by Polymer", in **Engineering Foundation Conference on Dispersion and Aggregation : Fundamentals and Applications.** Florida.
- Ho, C.C and Tan , Y.K. 1989. "Comparison of Chemical Flocculation and Dissolved Air Flotation of Anaerobically Treated Palm Oil Mill Effluent : **Water Resource.** Vol 23 no.4.
- Hogg, R., Bunnaul, P. and Suharyono, H. 1993. "Chemical and Physical Variables in Polymer Induced Flocculation", **Minerals & Metallurgical Processing.** 10, pp. 81-85.

- Hogg, R., Klimpel, R.C. and Ray, D.T. 1987. "Agglomerate Structure in Flocculation Suspensions and Its Effect on Sedimentation and Dewatering", *Minerals & Metallurgical Processing*, 4, pp 108-113.
- Holland, F.A. and Chapman, F.S. 1966. *Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks*. New York : Reinhold Publishing Co.
- Industrial Pollution Control Association of Japan. 1981. *Industrial Pollution Control Vol. 1 Air and Water* . Tokyo: Technical Services. Co.
- Imhoff, K and Fair , G.M. 1956. *Sewage Treatment*. New York : John Wiley and Sons.
- Jamil ,K. 1991. "Flotation of Slaughterhouse Wastewater; Operational Optimization of a Full Scale Unit , Master Thesis, Asian Institute of Technology
- Jorgesen , S.E. 1979. *Studies in Environmental Science : Industrial Wastewater Management*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Keok Chew , K.L. 1985. "Land Treatment of Latex Wastewater Pretreated by Ponding System", Master Thesis, Asian Institute of Technology.
- Keys, R.O. and Hogg, R. 1979. "Mixing Problems in Polymer Flocculation", *The American Institute of Chemical Engineer*. V. 75, pp. 63-72.
- Kruyt, H.R. 1952. *Colloid Science*. Amsterdam-Houston New York London : Elsevier Pulishing Company.

Michaels, A.S. and Bolger, J.C. 1964. "Particle Interaction in Aqueous Kaolinite Dispersion", *I & EC Fundamentals*. V. 3, pp. 14-20.

Nemorow , N.L. 1978. **Industrial Wastewater Pollution, Origins, Characteristic and Treatment**. U.S.A. : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Okui , H. 1991. "Advanced Primary Treatment of a Domestic Wastewater with Polymer Technology" Master Thesis, Asian Institute of Technology.

Ray, D.T. 1985. "Agglomerate Breakage in Flocculated Suspension", Master Thesis, The Pennsylvania State University.

_____. and Hogg, R. 1987. "Agglomerate Breakage in Polymer Flocculated Suspension", *Journal of Colloid and Interface Science*. V. 116, pp. 256-268.

Ruerwin, R.A. and Ward, D.W. 1952. "Mechanism of Clay Aggregation by Polyelectrolytes", *Solid Science*. V.73, pp. 485-492.

Sanles , R.L. 1980. **Water Treatment of Technology Plant Design For the Practicing Engineer**. Michigan : Ann Arbor Science Publishers, Inc.

Smillie, R.H. and La Mer, V.K. 1985. "Flocculation, Subsidence and Filtration of Phosphate Slimes VI. Quantitive Theory of Filtration of Flocculated Suspension", *Journal of Colloid Science*. V.23, pp. 589-599.

Stokes, Sir. G.G. 1891. "Mathematical and Physical Paper III", Cambridge University Press. England.

Suttisonk, S. 1992. "Quality Consideration in Rubber Product Manufacture", in ANPRC Workshop of Rubber-Based Manufacturing Industries February 3-4, 1992, Bangalore INDIA. pp 1-8.

Tchobanoglous, G. 1979. Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse. Singapore : McGraw - Hill Book Company.

_____. 1991. Wastewater Engineerings : Treatment Disposal Reuse. Singapore : McGraw - Hill Book Company.

_____. 1968. Water and Wastewater Engineering Volume II. Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal. Singapore : Toppon Printing Co.

Van Olphen, H. 1963. An Introduction to Clay Colloid Chemistry. New York : Interscience.

Verwey , E.J. and Overbeek , J. In. G. 1948. Theory of the Stability of Lyophobic Colloids. Amsterdam : Elsevier.

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์น้ำ

1. พีเอช

การวัดค่าพีเอชของน้ำโดยใช้ pH meter ทำได้โดยใช้ glass electrode ซึ่งมีความสามารถในการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ การอ่านค่าพีเอชจาก pH meter สามารถอ่านเป็นค่าพีเอชโดยตรง ในการวัดพีเอชของตัวอย่างน้ำทุกครั้งต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน standardize เครื่องก่อนเสมอ

2. ความเป็นกรด (Acidity)

2.1 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N
- 2) methyl orange indicator
- 3) phenolphthalein indicator

2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ใส่น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เติลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) หยด methyl orange indicator 2 - 3 หยด เมื่อต้องการหา mineral acidity ทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสีของน้ำเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองอ่อนที่ pH 4.5
- 3) หยด phenolphthalein indicator 2 - 3 หยด เมื่อต้องการหา carbondioxide acidity ทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสีของน้ำเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูที่ pH 8.3

2.3 การคำนวณ

Acidity (mg / L as $CaCO_3$) = (A x N x 50,000) / ปริมาณตัวอย่างน้ำ (ml)

โดยที่ A = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์

3. ความเป็นด่าง (Alkalinity)

3.1 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน (H_2SO_4) 0.02 N
- 2) methyl orange indicator
- 3) phenolphthalein indicator

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) หยด phenolphthalein indicator 2 - 3 หยด ทิเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน 0.02 N จนกระทั่งสีของน้ำเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสีที่ pH 8.3
- 3) หยด methyl orange indicator 2 - 3 หยด ทิเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน 0.02 N จนกระทั่งสีของน้ำเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดงที่ pH 4.5

3.3 การคำนวณ

Alkalinity (mg / L as $CaCO_3$) = (A x N x 50,000) / ปริมาณตัวอย่างน้ำ (ml)

โดยที่ A = ปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถันที่ใช้ในการ
ทิเทรต (มิลลิลิตร)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน

4. ความกระด้าง (Hardness)

วิธีการวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำมีหลายวิธี ที่นิยมมากที่สุดคือ
วิธีการทิเทรตกับอีดีทีเอ (EDTA Titrimetric method)

4.1 สารเคมี

- 1) Buffer solution : ชั่ง NH_4Cl 16.9 กรัมละลายใน conc. NH_4OH 143 มิลลิลิตร
เติมเกลือแมกนีเซียมของ EDTA 1.25 กรัม เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเป็น
250 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ในขวดแก้วหรือพลาสติกที่ทนต่อการกัดกร่อน
และปิดจุกให้แน่นเพื่อป้องกันการสูญเสีย NH_3 หรือการดูดซึม CO_2 จากอากาศ
- 2) Total hardness indicator : ผสม Eriochrome Black T 0.5 กรัม และ NaCl
100 กรัม เข้าด้วยกันจะได้เป็น indicator ที่มีลักษณะเป็นผง

3) สารละลายมาตรฐาน EDTA 0.01 M : ชั่งผง EDTA disodium salt 3.723 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร โดยเก็บสารละลายนี้ในขวด polyethylene เพราะ EDTA สามารถสกัดไอออนบวกที่ทำให้เกิดน้ำกระด้างจากภาชนะที่ทำด้วยแก้วธรรมดาได้ ก่อนใช้ทุกครั้งต้อง standardize กับสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ทราบความเข้มข้น

4) สารละลายมาตรฐานแคลเซียม : ชั่งผง CaCO_3 1.000 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร วางกรวยแก้วไว้ที่คอขวด ค่อยๆเติม 1+1 HCl จนกระทั่ง CaCO_3 ละลายหมด เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 2 - 3 นาที เพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์ ทิ้งไว้ให้เย็นเติม methyl red indicator 2 - 3 หยด ปรับสีของสารละลายให้เป็นสีส้มด้วย 3 N NH_4OH หรือ 1+1 Hcl เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร เทในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติม Buffer solution 2 มิลลิลิตร
- 3) เติม Total hardness indicator 0.1 - 0.2 กรัม เขย่าให้เข้ากัน ถ้าได้สารละลายสีน้ำเงินแสดงว่าน้ำไม่มีความกระด้าง ถ้าได้สารละลายสีแดงให้ทีเทรตต่อ
- 4) ทีเทรตด้วย 0.01 M EDTA จนกระทั่งถึงจุดยุติเมื่อได้สารละลายสีน้ำเงินหรือสีเทา

4.3 การคำนวณ

Total Hardness (mg/L as CaCO_3) = (A x B x 1000) / ปริมาณตัวอย่างน้ำ (ml)

โดยที่ A = ปริมาณ-ของ EDTA ที่ใช้ในการทีเทรต (มิลลิลิตร)

N = มิลลิกกรัมของ CaCO_3 ที่สมมูลกับ 1.00 มิลลิลิตร EDTA

5. ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึงปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ และสามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (whatman GF/C) บางครั้งเรียกของแข็งประเภทนี้ว่า nonfilterable solids มีหน่วยเป็นมิลลิกกรัมต่อลิตร

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) กระจกทรงไข่แก้ว
- 2) กรองกรวยบุคเนอร์ (buchner funnel)
- 3) เครื่องดูดอากาศ (suction pump)
- 4) ตู้อบ (drying oven)
- 5) เครื่องชั่งละเอียด

5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) อบกระจกทรงไข่แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ซึ่งหำน้ำหนัก
- 2) เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัม
- 3) วางกระจกลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
- 4) ใช้น้ำกลั่นฉีดกระจกทรงไข่เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
- 5) กรองน้ำตัวอย่างโดยอาศัยแรงดูดจากเครื่องดูดอากาศ
- 6) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมด
- 7) ปิดเครื่องดูดอากาศ ไขปากคืบ คีบกระจกทรงใส่ภาชนะทนไฟ เช่นจานเพาะเชื้อ กระจกนาฬิกา หรือถ้วยอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบประมาณ 1 ชั่วโมง
- 8) ทิ้งให้เย็นลงจนเท่าอุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ ซึ่งหำน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

5.3 การคำนวณ

ของแข็งแขวนลอย (mg / L) = $[(A - B) \times 1000] /$ ปริมาณตัวอย่างน้ำ (ml)

โดยที่ A = น้ำหนักกระจกทรงก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระจกทรงหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

6. COD (Chemical Oxygen Demand)

6.1 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.25 M : เตรียมโดยชั่ง $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ 98 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร
- 2) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 M : ชั่ง $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 12.259 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร
- 3) สารละลายกรดกำมะถัน : ผสม Ag_2SO_4 และ conc. H_2SO_4 ด้วยสัดส่วน 5.5 กรัม ของ Ag_2SO_4 ต่อ 1 กิโลกรัมของ conc. H_2SO_4 ตั้งทิ้งไว้ 2 - 3 วัน ก่อนนำมาใช้
- 4) ผง HgSO_4
- 5) Ferrouin indicator solution : เตรียมโดยชั่ง 1,10 - phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 695 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 100 มิลลิลิตร

6.2 ขั้นตอนการทดลอง

6.2.1 หาค่าซีไอดี

- 1) ตวงตัวอย่างปริมาตร 20 มิลลิลิตรใส่ในขวดสำหรับหาค่าซีไอดีขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติม HgSO_4 0.4 กรัม และ glass beads 2 - 3 เม็ด
- 3) เติมสารละลายกรดกำมะถัน (มี Ag_2SO_4 ผสมอยู่ก่อนแล้ว) 5 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ ผสมและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 4) เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 M 10.0 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- 5) เติมสารละลายกรดกำมะถัน 25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
- 6) นำขวดหาค่าซีไอดีต่อกับ condenser เปิดน้ำหล่อเย็น
- 7) เปิดเตาให้ความร้อนทำการ reflux 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น ผสมน้ำกลั่น ปริมาตรรวมเป็น 140 มิลลิลิตร

8) ทิเทรตไดโครเมตที่มากเกินไปด้วย FAS 0.25 M โดยใช้ 2 - 3 หยด ferroin indicator solution จุดยุติคือจุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

6.2.2 หาความเข้มข้นของ FAS

- 1) ใช้น้ำเปิดจุดสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.0417 M 10 มิลลิลิตร เจือจางให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- 2) เติม conc. H_2SO_4 30 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น
- 3) ทิเทรตด้วย FAS 0.25 M โดยใช้ ferroin indicator solution 2 - 3 หยด จนกระทั่งถึงจุดยุติคือจุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

6.2.3 การคำนวณ

Molarity ของ FAS = [ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ (ml) x 0.25] / ปริมาณ FAS ที่ใช้ (ml)

COD (mg / L) = [(A - B) x M x 8,000] / ปริมาตรตัวอย่าง (ml)

โดยที่ A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับ Blank (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

M = Molarity ของ FAS

7. BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand)

วิธีการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีทำได้โดยหาความแตกต่างของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งจะใช้โดยวิธี Azide modification สำหรับการหาค่าบีโอดีมี 2 วิธี แยกตามปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังนี้

1. วิธีการหาโดยตรง เมื่อค่าบีโอดีน้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่เป็นน้ำจากแม่น้ำลำคลอง

2. วิธีทำให้เจือจาง ใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีความสกปรกสูงโดยมีค่าบีโอดีมากกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจำเป็นต้องทำให้น้ำมีความสกปรกเจือจาง โดยใช้น้ำผสมเจือจาง (dilution water) และควรวิเคราะห์อย่างน้อย

3 ความเข้มข้น

7.1 สารเคมี

- 1) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer solution) : ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.2
- 2) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium sulfate solution) : ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
- 3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride solution) : ละลาย anhydrous CaCl_2 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
- 4) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ : ชั่ง $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
- 5) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate solution) : ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 480 กรัม ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 400 กรัม หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 364 กรัม) ในน้ำกลั่น กรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะต้องไม่เกิดสีกับน้ำแป้ง ภายหลังการเติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide solution) ในสภาพที่เป็นกรด
- 6) สารละลายอัลคาไล - ไอโอไดด์ - เอไซด์ (Alkali - iodide - azide reagent) : เตรียมได้โดยสารละลาย NaOH 500 กรัม หรือ KOH 700 กรัม และ NaI 135 กรัม หรือ KI 150 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร เติม NaN_3 10 กรัม (ซึ่งเตรียมไว้ก่อนโดยละลายในน้ำกลั่นจำนวน 40 มิลลิลิตร) ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้งเมื่อทำให้เป็นกรดหรือทำให้เจือจาง
- 7) สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต 0.025 N : ชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6.205 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติม NaOH 0.4 กรัม หรือ NaOH 6 N 1.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1 ลิตร ทำการ standardize สารละลายนี้ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต
- 8) conc. H_2SO_4
- 9) น้ำแป้งอินดิเคเตอร์

10) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N : ซึ่ง $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 812.4 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร เก็บในขวดแก้วมีฝาปิด การ standardize สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N สามารถทำได้โดยตวงน้ำกลั่น 100 - 150 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติม KI 2 กรัม conc. H_2SO_4 2 -3 หยด และสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 N ปริมาตร 20.00 มิลลิลิตร ลงไป เติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทิเทรตไอโอดีนที่ถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 N ที่เตรียมไว้ จนกระทั่งใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายจางลง เติมน้ำแบ่งลงไป 1 มิลลิลิตร ทิเทรตต่อจนถึงจุดยุติ ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.025 N พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการทิเทรตจะเท่ากับ 20.0 มิลลิลิตร ถ้าไม่ได้ให้ปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตให้เท่ากับ 0.025 N พอดี เพื่อความสะดวกในการคำนวณต่อไป

7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยวิธีทำให้เจือจาง

7.2.1 การเตรียมน้ำผสมเจือจาง (Dilution water) ทำได้โดย

- นำน้ำกลั่นมาปรับอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 ± 1 องศาเซลเซียส
- ปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ โดยเติม

สารละลายต่อไปนี้อย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

- (1) สารละลายฟอสเฟตบิฟเฟออร์
- (2) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต
- (3) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์
- (4) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์

และเติมอากาศให้มียอกซิเจนละลายอิมตัว

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมี โดยจุลินทรีย์เป็นตัวกลางในการย่อยสลาย สภาพแวดล้อมจะมีผลต่อการวิเคราะห์มาก ทำให้ค่าบีโอดีที่ได้มีความผันแปรสูง การวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งๆ จึงมักจะทำการผสมเจือจางหลายๆ ความเข้มข้น (ไม่น้อยกว่า 3 ความเข้มข้น) ส่วนอัตราส่วนในการผสมเจือจาง อาจประมาณจากชนิดตัวอย่างหรือตามความเข้มข้น โดยประมาณตามตารางที่ ก.1

- ถ้อยๆ รินตัวอย่างที่ผสมกันเข้าดีแล้วนี้ ใส่ลงในขวดบีโอดีที่แห้งสะอาดจนเต็ม 3 ขวดปิดจุกให้สนิท ขวดหนึ่งนำไปวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายวันแรก อีกสองขวดนำไปใส่ในตู้บควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยให้ตรวจดูว่ามีน้ำหล่อที่ปากขวดหรือไม่และตรวจดูทุกวันอย่าให้แห้ง

หลังจากที่นำขวดหาค่าบีโอดีไปไว้ในตู้มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสครบ 5 วัน นำมาหาค่าออกซิเจนละลาย ตัวอย่างที่ใช้ได้จะต้องมีค่าออกซิเจนละลายเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการใช้ออกซิเจนไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ก.1 ช่วงค่าบีโอดีและวิธีการเจือจางตัวอย่างน้ำ

Using percent mixtures		By direct pipetting into 300 ml bottle	
% Mixture	Range of BOD ₅	Sample Volume (ml)	Range of BOD ₅
0.01	20,000 - 70,000	0.02	30,000 - 105,000
0.02	10,000 - 35,000	0.05	12,000 - 42,000
0.05	4,000 - 14,000	0.10	6,000 - 21,000
0.1	2,000 - 7,000	0.20	3,000 - 10,500
0.2	1,000 - 3,500	0.50	1,200 - 4,200
0.5	400 - 1,400	1.0	600 - 2,100
1.0	200 - 700	2.0	300 - 1,050
2.0	100 - 350	5.0	100 - 420
5.0	40 - 140	10.0	60 - 210
10.0	20 - 70	20.0	30 - 150
20.0	10 - 35	50.0	12 - 42
50.0	4 - 14	100.0	6 - 21
100.0	0 - 7	300.0	0 - 7

ที่มา : Sawyer, C.N. and P.L., McCarty (1978)

7.2.2 วิธีการหาค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen : D.O.)

- 1) ตวงตัวอย่างปริมาตรที่ต้องการตามช่วงค่าบีโอดีในตาราง 19 เทในขวดสำหรับหาค่าบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร
- 2) เติม Dilution water จนถึงคอขวด และเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร
- 3) เติม Alkali - iodide - azide reagent 2 มิลลิลิตร ปิดฝาอย่าให้เกิดฟองอากาศ เขย่าให้เข้ากัน
- 4) รอให้เกิดตะกอนของ $Mn(OH)_2$ เติม conc. H_2SO_4 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 5) ดูดตัวอย่างจากขวดหาค่าบีโอดี 203 มิลลิลิตร ทิเทรตด้วย 0.025 N $Na_2S_2O_3$ โดยมีน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จนสีของสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน
- 6) ทิเทรตด้วย 0.025 N $Na_2S_2O_3$ จนสีน้ำเงินหายไป

7.2.3 การคำนวณ

- 1) ออกซิเจนละลาย (D.O.)

$$1 \text{ ml } 0.025 \text{ N } Na_2S_2O_3 = 1 \text{ mg / L D.O. (ในตัวอย่างน้ำ 200 ml)}$$

- 2) BOD_5 (เมื่อไม่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$BOD_5 \text{ (mg / L) } = (D_1 - D_2) / P$$

- โดยที่
- D_1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - D_2 = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5 (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - P = อัตราส่วนการเจือจางตัวอย่างน้ำ

8. ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus) ด้วยวิธี Ascosbic Acid Method

8.1 สารเคมี

1. 11 N Sulfuric acid solution : 310 ml conc. H_2SO_4 เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
- 2) 5 N H_2SO_4 : เจือจาง 70 มิลลิลิตร conc. H_2SO_4 ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3) Potassium Antimonyl tartrate solution : 1.375 g $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2 H_2O$
ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

4) Ammonium molybdate solution (เก็บในขวดพลาสติก 4 องศาเซลเซียส)
: 20 g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$ ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

5) Ascorbic acid 0.01 M (เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส 1 อาทิตย์)
: 1.76 g Ascorbic acid ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

6) Combine Reagent ได้แก่

- 50 ml 5 N H_2SO_4

- 5 ml Potassium

- 15 ml Ammonium

- 30 ml Ascorbic

ผสมตามลำดับและผสมแล้วใช้ภายใน 4 ชั่วโมง

7) Stock Phosphate

KH_2PO_4 (anhydros) 219.5 mg ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
(1 ml = 50 ไมโครกรัม $PO_4 - P$)

8. Standard phosphate solution

เจือจาง 50 ml Stock phosphate ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
(1 ml = 2.5 ไมโครกรัม P) ปรับ pH ด้วย 1 N NaOH, 6 N H_2SO_4

8.2 การทำ calibration curve

1) ใส่สารละลาย standard phosphate ปริมาตร 0, 2, 6, 10, 16 และ 24 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนแต่ละบีกเกอร์มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่สารเคมีและวัดค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นดังนี้

standard	0	2	6	10	16	24	เติมน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร
	0	5	15	24	40	60	ไมโครกรัมฟอสเฟต / 50 มล.
	0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.2	มิลลิกรัมฟอสเฟต / ลิตร

8.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติม 11 N H_2SO_4 1 มิลลิลิตร และ $(NH_4)_2S_2O_8$ 0.4 กรัม
- 2) นำไปต้มเดือดประมาณ 30 - 40 นาที จนเหลือปริมาตรประมาณ 10 มิลลิลิตร
- 3) ตั้งไว้ให้เย็นและเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร
- 4) ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง $7 + 0.2$ ด้วย 6N H_2O_4 และ 1 N NaOH
- 5) เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 6) เติม reagent 8 มิลลิลิตร ตั้งไว้ประมาณ 10 นาที นำไปวัดค่าด้วยเครื่อง spectronic ที่ 780 นาโนเมตร
- 7) นำค่าที่ได้ไปพลอตใน standard curve เพื่อหาค่า Total phosphorus

ภาคผนวก ข.

THAILAND -JAPAN
JOINT CONFERENCE & EXHIBITION
ON
SOLID - FLUID SEPARATION TECHNOLOGY

July 25-27, 1995
at Research Institute III Building

Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand

Co-organized by

Department of Chemical Technology
Faculty of Science, Chulalongkorn University
The Federation of Thai Industries
The Society of Chemical Engineers, Japan
The Filtration Society, Japan Association

TREATMENT OF WASTE WATER FROM A RUBBER-GLOVES PLANT SONGKLA PROVINCE, THAILAND

P. Bunnaul, N. Srisuwan, S. Arrykul and S. Danteravanich

Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkla Province, Thailand

Waste water from latex-related industry, particularly rubber-gloves plants, contains high content of suspended latex particulates and has high level of COD and BOD. Separation of latex particulates from waste water using flocculation and flotation techniques seems to offer ways to reduce the BOD and COD, apart from suspended solids content, down to a certain level. Series of tests have been performed and the results indicate that pre-coagulation by some indifferent electrolytes followed by polymeric flocculation and air flotation can remove most of suspended solids from the waste water. The process can reduce COD level from around 9500 mg/l down to 300 mg/l, the BOD₅ from 470 mg/l to 70 mg/l and reduce the suspended solids content from 3200 mg/l to 50 mg/l.

Biographical Information

P. Bunnaul is Head of the Department of Mining and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering. He graduated with B.Eng (Mining) from Chulalongkorn University in 1975, M.E. (Mining) from the University of New South Wales in 1981 and Ph.D (Mineral Processing) from Penn State University in 1993.

N. Srisuwan is a graduate student in the Faculty of Environmental Management. She graduated with a Diploma in Nursing from Songkla College of Nursing in 1989, B.Sc (Public Health) from Sukhothai Thammathirat University in 1991.

S. Arrykul is Dean of the Faculty of Engineering. He graduated with B.Sc (geology) from Chulalongkorn University in 1970, Dip (Mining Exploration) from I.T.C. in 1977 and Ph.D (Applied Geology) from the University of New South Wales in 1985.

S. Danteravanich is a lecturer in the Faculty of Environmental Management. She graduated with B.Sc (Public Health) from Mahidol University in 1987, M.Sc (Environmental Technology and Management) from Asian Institute of Technology in 1989 and Ph.D (Water Quality Control) from the University of Tokyo in 1992.

Introduction

Southern Thailand has long been one of world major latex (rubber) producing regions. There are quite a number of latex-related plants in operation and some of them are located in Songkla province, particularly rubber-gloves plants. There are now 12 plants in operation (1) and a number of new plants have potential to open in near future. Considerable volume of waste water from such plants needs well treatment before legally disposal. However, the waste water is quite difficult to treat since it contains

very fine and light latex particles and some other soluble chemicals. Thus, the prime objectives of this research are to study and develop techniques for treatment of waste water from latex-related plants. Waste water from a rubber-gloves plant of Hy-Care International Company Limited was chosen for the study because the company was in Hat Yai, Songkla province, which was in a very short distance from Prince of Songkla University.

Rubber-gloves are produced using a latex dipping process. Formers (hand-shaped models) are dipped into a compound latex bath to allow a thin layer of latex deposit on the formers. The formers are then brought into several steps in the production line. The compound latex used in the production line (approximately 18 tonnes a day) has been pretreated with chemicals such as vulcanizing agent, activator, accelerator and antioxidant for a day (maturation step) to have the compound latex uniformly mixed with chemical. After complete maturation, the compound latex is transferred into the bath in the production line. The maturation containers are then washed with water. Washing process takes around two-three hours in every morning. Total volume of washed water on each day is around 3,000-7,000 cubic meters. Calcium chloride solution (75 mg/l) is added into the washed water at the point where the washed water flows from a transfer channel into a concrete pond. Total amount of calcium chloride solution used is around 150 litres a day. Calcium chloride addition causes some of suspended latex particles to coalesce into big lumps and float to the surface and are skimmed off manually. However, the washed water still contains high content of fine latex particles and is very turbid. Actually, the maturation containers washed water is the main

source of polluted matter from the plant. Waste water from the production line is much less polluted as can be seen in Table 1. Thus, it is decided that the study be primarily emphasized on treatment of maturation containers washed water only. The study is also limited to the removal of suspended particulates, not the dissolved chemical constituents.

Table 1 Quality of Waste Water

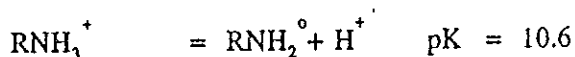
	Maturation Container Washed Water	Combined Plant Waste Water
pH	8.5 (8.4-8.6)	7.0 (6.9-7.2)
Temp. (°C)	28	45
Suspended Solids (mg/l)	4,200 (3,400-5,100)	1,200 (250-3,000)
COD (mg/l)	13,000 (9,600-16,000)	3,200 (320-8,000)
BOD ₅ (mg/l)	670 (400-1,100)	350 (160-540)
Alkalinity (mg/l)	430 (260-520)	330 (120-460)
Acidity (mg/l)	3 (0-10)	30 (10-70)
Hardness (mg/l)	430 (250-530)	100 (0-290)
Turbidity (NTU)	9,000 (4,200-15,000)	1,300 (730-2,500)

Remarks :

1. Data are average values from samples taken on 3 different days which are considerably fluctuated.
2. Total volume of washed water on each day widely fluctuates from 3,000 to 7,000 cu.m.
3. COD = Chemical oxygen demand.
4. BOD = Biological oxygen demand.

Characteristics and Surface Chemistry of Latex Particles

Latex freshly extracted from a rubber tree is in a form of a suspension of latex particles in liquid media called serum in which water is the major constituent. The suspension pH is around 6.5-7.0. Latex particles are 0.05-5 microns in size and their specific gravity is 0.975-0.980 (2). Latex particles comprise mainly of hydrocarbon (C₂H₈ - 86 %) and water (10 %) and minor amount of protein and lipid (3). Surface of a latex particle is coated with a thin layer of hydrated protein (4). It is quite reasonable to believe that the hydrated protein layer plays a major role in stabilizing a latex suspension. Protein contains a large number of amino (amine, NH₂), carboxyl (RCOOH) and other polar groups (5). Surface charge on a hydrated protein layer is controlled mostly by dissociation of carboxyl and amino groups according to the following equilibrium reactions (6):



Carboxyl is stable as a negative ion (RCOO⁻) at pH values above 4.7 and is in the form of neutral molecule at pH values below 4.7. Amine is stable as a positive ion at pH values below 10.6. Thus, net charge on the surface of hydrated protein layer is determined by concentration of negative carboxyl ions and positive amine ions. It has been found, however, that the isoelectric point of protein is at around pH 5 (5).

Since latex suspensions pH is around 6.5-7.0, latex particles surfaces are negatively charged. Thus, repulsion among similar charged particles keep latex particles from coming close to each other to form flocs. Generally, to make latex suspensions more stable, in the process for preparation of compound latex, ammonia solution is usually added to raise the suspensions pH before and after centrifusing for partially removal of water. It should be noted here, nevertheless, that prime objective of ammonia addition is to protect latex from bacteria. At higher pH, latex is charged more negatively and as result, the suspensions are more stabilized.

Application of Flocculation and Flotation for Removal of Latex Particulates

Flocculation and sedimentation have been widely used as aids in solid-fluid separation, particularly in the mineral industry. Fine particulates are coagulated or flocculated to form so much coarser size of flocs that settle more rapidly in a thickener or a settling pond and leave the overflow clear. However, sedimentation is not practical for latex particulates since latex density is less than that of water. Instead, flotation is a more applicable technique for removal of latex from waste water.

One of many factors influencing flotation rate and efficiency is the rate of collision among particles and air bubbles which is a function of particle size and concentration of both particles and air bubbles (7). Washed water from maturation containers contains very low concentration of fine latex particles. Flotation was found in rough preliminary tests to be inefficient for removal of fine latex particles. It is, thus advised that flocculation be applied to make larger flocs prior to air flotation. Movement of light flocs upwards can be considered to be similar to the settling of heavy particles but in an opposite direction. According to Stokes (8), settling velocity is proportional to particle diameter square. The velocity increases rapidly with particle size. In case of latex, larger flocs of latex float to the suspension surface at a higher rate while very fine latex particles trend to stay in the suspension due to high diffusional or Brownian movement. Introduction of air bubbles into the system then facilitates the transportation of all flocs of latex particles to the suspension surface more effectively.

Since latex particles surfaces are charged negatively, cationic polyacrylamide seems to be the right flocculant for latex. Cationic polyacrylamide can be adsorbed on solid surfaces by means of one or more of the following : electrostatic charge attraction, hydrogen bonding (9), covalent bonding

and hydrophobic interactions (10). Polymeric flocculant adsorbs onto many particles simultaneously like bridges and holds particles together to form large flocs (11).

Polymeric flocculation process efficiency depends very much on physical process variables such as solids concentration, rate of polymer addition, polymer stock solution concentration, agitation intensity during polymer addition and intensity of disturbance in subsequent handling of the flocculated suspension (12,13). It has been experimentally demonstrated that agitation or disturbance after polymer addition has been seized causes degradation of the already formed flocs (14,15). It has been also found that destabilization of suspensions using low-cost reagents prior to polymeric flocculation can improve the performance of flocculation process (13,14). Thus, precoagulation with lime and alum is also included in this study.

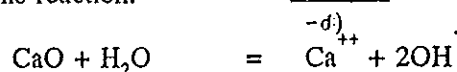
Preliminary Tests

Preliminary tests were conducted in a standard mixing tank originally designed by Holland and Chapman (16) and applied to flocculation studies by Keys and Hogg (17). The tank was constructed using a 1000-ml beaker. Four plastic baffles were glued on each of the opposite sides of the inside wall of the beaker. The impeller is a six-bladed radial type with the diameter of 3.5 centimeters. It is driven by a variable-speed stirrer. The suspension volume in each test was 1 litre. Two small aerators (porous ceramic frits) were placed at the bottom of the tank. Air was supplied by an aerator-pump normally used in a household aquarium which is connected to the frits by small plastic hoses. The polymeric flocculant used was a cationic polyacrylamide. The polymer was stocked at the concentration of 0.4 mg/ml (400 ppm). Indifferent electrolytes of lime and alum which were used for precoagulation were stocked at the concentration of 1 mg/ml (1000 ppm). Flocculants were added to the tank manually using 20-ml syringes at approximately 0.3 ml/sec addition rate. Well practice was required to keep the addition rate as consistent as possible. The end of the syringe needle was at the same level of the impeller (3.5 cm above the bottom of the tank). Once, the flocculant addition was complete the stirrer was switched off immediately to avoid floc degradation due to excess agitation. Having switched off the stirrer, the aerator pump was turned on to supply air to the frits to create sufficient concentration of air bubbles in the tank for the flotation of flocculated latex particles. Froth layer containing latex particulates were scooped out off the tank. Flotation was kept on for 3 minutes. Samples of water in the tank were then taken for quality analysis.

The results of the preliminary tests are illustrated in Figure 1. The results demonstrate that polymer addition leads to rapidly decreasing COD value, suspended solids content and suspension turbidity until minimum values have been reached at the polymer dosage around 4 mg/l (see Figure 1-a). Further polymer addition produces worse quality of

the effluent. However, the minimum suspension turbidity is still somewhat high. Fine latex particles suspended in the effluent can still be observed. This is possibly due to poor collision efficiency among fine particles and polymers that leaves some particles unflocculated and stay dispersed in the suspension. Precoagulation with lime apparently failed to improve the process performance while precoagulation with alum did (see Figure 1-b-1 to 1-b-3).

Eventhough precoagulation with lime was observed to be successful, lime addition seemed to create some other phenomena that hindered the subsequent polymeric flocculation. Apart from compressing the electrical double layer around latex particles that brought about mutual coagulation, lime addition might raise the pH of suspensions according to this reaction:



It has been reported before that raising the pH to a more basic range probably causes hydrolysis of a significant number of amide groups (-CONH₂) in a cationic polyacrylamide that produces negative charge sites of RCOO on the polymer (10,18,19). Moreover, amine functional groups in the cationic polymer are also hydrolyzable to convert from positive RNH₃⁺ sites to ionomolecular complex (RNH₃ · RNH₂) and to neutral RNH₂ groups as the pH increases to basic range (20). Therefore, addition of lime might possibly reduce number of positive charge sites of RNH₃⁺ and produce a significant number of negative charge sites of RCOO on a cationic polyacrylamide. Electrostatic repulsion among similar charge (RCOO⁻) on both the polymer and latex particles, coupled with the reduction of cationic sites (RNH₃⁺) on the polymer may lower the extent of cationic polyacrylamide adsorption on the precoagulated latex flocs surfaces and thus, these effects offset the benefit of precogulation that is expected to improve particles collision rate and flocculation efficiency. The preceding discussion seems to be a good explanation why lime addition does not improve the subsequent cationic polymeric flocculation.

In contrast, precoagulation with alum prior to flocculation with cationic polyacrylamide appears to significantly improve the effluent quality. The optimum dosage of alum lies around 5-15 mg/l. High ionic strength due to addition of alum (sulfate salt of aluminium) might effectively compress the electrical double layer around latex particles leading to coagulation of fine particles into small flocs. Formation of small flocs of much larger size than fine latex particles help improve collision rate in subsequent polymeric flocculation and thus improve flocculation efficiency and improve the effluent quality. Excess addition of alum seems to reduce the effluent quality. The possible explanation may be that excess alum addition might lead to specific adsorption of aluminium ions or their hydroxy complex onto the negative sites of latex particles surfaces leaving less number of negative sites available for electrostatically adsorption of cationic

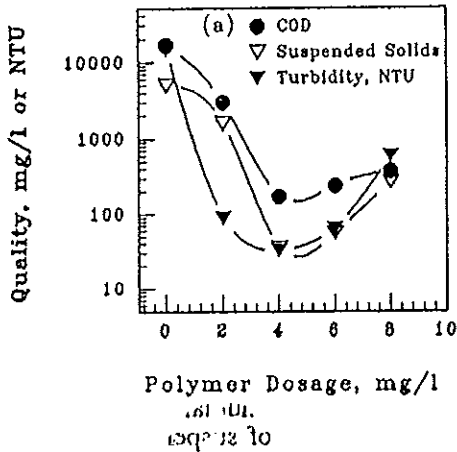
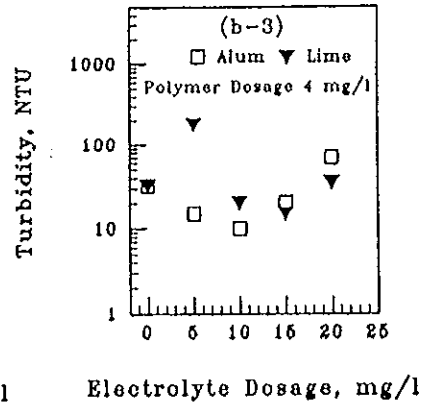
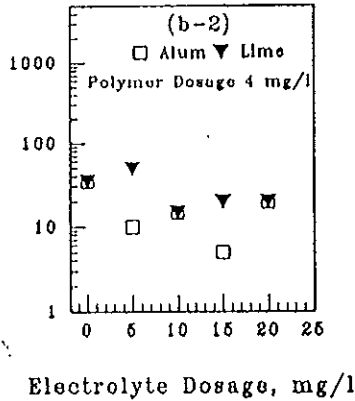
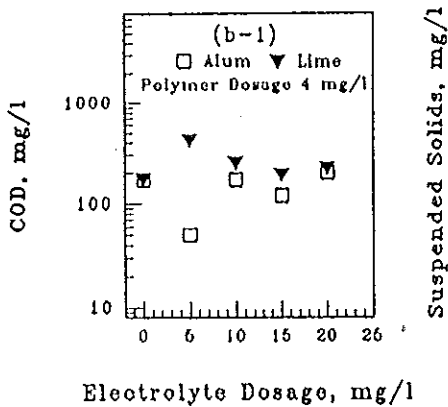


Figure 1 Batch flocculation and flotation tests results.

- a) Flocculation with cationic polyacrylamide alone.
- b) (1,2,3). Precoagulation with indifferent electrolytes (lime and alum), followed by polymeric flocculation.

Note: Quality of raw waste water:

pH	8.5	
COD	16,600	mg/l
Suspended solids	5,060	mg/l
Turbidity	15,000	NTU



polymer. However, detail study on surface chemistry of polymer adsorption is required for making better and conclusive explanation.

Continuous Tests

Series of continuous tests were performed in a set of tanks arranged as illustrated in Figure 2.

Raw waste water from a 80-litre tank was allowed to flow continuously into a pre-coagulation tank at a predetermined flow rate and constant static head (35 cm) via a 14-litre control tank and a flow rate control valve. Overflow from the pre-coagulation tank entered a polymeric flocculation tank near the bottom of the tank via a small hose. The pre-coagulation and flocculation tanks were similar to the standard mixing tank used in preliminary tests. The diameter of the tanks was 12 cm. and the height was 19 cm. The position of the impellers and flocculant addition tubes were at the level of 6 cm. above the bottom of the tanks. The speed of both stirrers was 1000 rpm. Alum solution was continuously added to the pre-coagulation tank at the rate of 5 milligrams per litre of suspension. Cationic polyacrylamide was added to the flocculation tanks at the rate of 4 mg/l. The flocculated suspension overflows into a 13.7-litre flotation tank. The flotation tank was a rectangular tank having a dimension of 23x23x30 cm (WxLxH). Froth weir was 4 cm below the top to the tank. Sixteen aerators (porous ceramic frits) were placed at the level of 6 cm above the bottom of the tanks. Air was supplied by four aerators pumps at the combined air flow rate of 400 ml/s. The feed inlet was located above the aerators and its position (level) was adjustable.

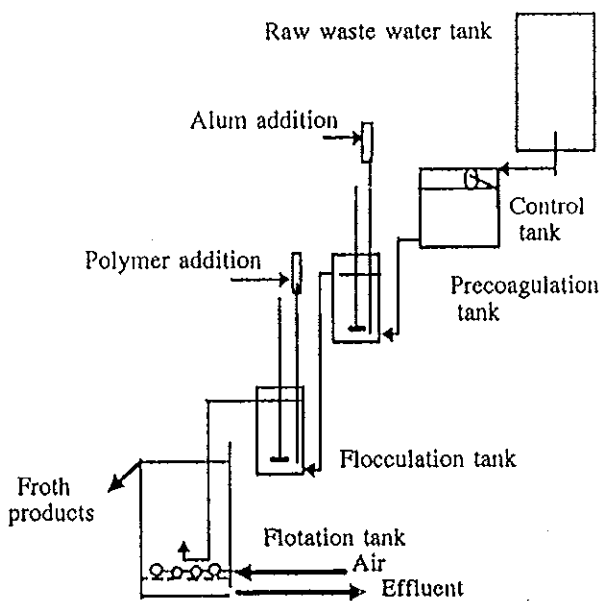
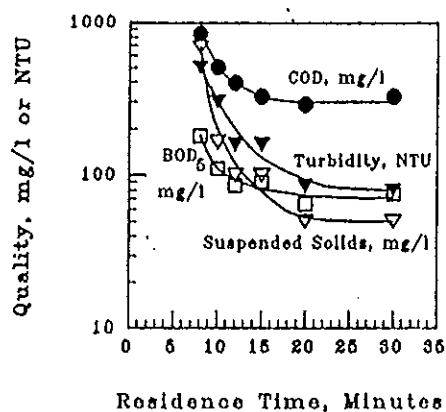


Figure 2 Experimental set-up for continuous tests

Shown in Figure 3 are the results of continuous tests performed at different volumetric flow rates of waste water. Mean residence times on the ordinate in Figure 3 were determined by dividing the flotation tank volume by the controlled volumetric flow rate.

Figure 3 Continuous flocculation and flotation tests results at different flow rate.



- Note : 1) Quality of raw waste water was :
 Turbidity 3500 NTU
 Suspended solids 3200 mg/l
 COD 9400 mg/l
 BOD 470 mg/l
- 2) The feed inlet level is at 7.5 cm above the bottom of the flotation tank.

Table 2 Continuous flocculation and flotation at different level of feed inlet to the flotation tank

Position of feed Inlet *	Turbidity, NTU	Suspended solids, mg/l	COD, mg/l
7.5	85	50	288
15.0	50	30	216
22.5	100	60	324

- Note 1) * cm above the bottom of the flotation tank.
 2) Mean residence time = 15 minutes

Figure 3 shows that the quality of the produced effluent is improved significantly. The minimum residence time required is around 15 minutes. Longer residence time does not provide any further improvement of the effluent quality. It can be seen, however, that the effluent turbidity and the COD level are still slightly high. Further adjustment of the experiment parameters are necessary. A position of the feed inlet to the flotation tank seems to be one of the adjustable parameters. Experiments at different position of the feed inlet using the same lot of waste water sample as used in the previous tests have also been performed and the results are given in Table 2. It is obviously shown in Table 2 that the optimum position lies at some distance above the aerators. Positioning the feed inlet too close or too high above the aerators results in worse quality of the effluent. Hydrodynamic pattern in the flotation tank seems to play an important role. With the feed inlet positioned too close to the aerators, more misplaced flocs (particularly small flocs) may be possibly allowed by hydrodynamic conditions to report into the zone beneath the aerators and flow out with the effluent stream at the bottom of the tank. On the

other hands, positioning the feed inlet too high might allow large flocs to be transported to the surface at a higher rate. As a result, the possibility of fine flocs or particles to be enmeshed or entrapped by networks of larger flocs is minimized. Thus, more fine flocs or particles those degraded from large flocs are left out of the networks and are carried by liquid stream around froth (bubbles) interstices and are drained down to the bottom of the tank and to the effluent stream.

Conclusions

The experimental results obtained in this study have shown that the application of flocculation and flotation processes for the treatment of waste water containing latex particulates are very promising even though the final quality of the effluent are still slightly high above the allowable standard. Cationic polyacrylamide works well as a polymeric flocculant. Precoagulation with lime prior to polymeric flocculation fails to further improve the process performance. However, significant improvement of the effluent quality can be achieved by precoagulation with alum. Optimum dosages of alum and the polymer are found to be around 5-15 gm/m³ and 4 gm/m³ respectively. Mean residence time in the flotation tank is indicated by continuous tests results to be around 15 minutes, and this is equivalent to the tank volume of 0.25 m³ required for a flow rate of 1 m³/hr of waste water. Study in more detail into other process parameters not included in the present study is recommended for further improvement of the process to produce the effluent with better quality. Such parameters may be flotation tank configuration, air flow rate, froth depth and some other flocculation process parameters. Addition of flotation reagents such as a frother might be helpful to the process.

However, without further study in detail, the process introduced in this study can still be applied for the primary treatment of waste water from a latex-related plant. The process is believed to tremendously reduce pollutant loading to the subsequent biological treatment of the waste water.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge Mr. P. Prabnarong of Hy-Care International Co. LTD for providing general plant data and for his assistance in the collection of samples, Mr. A. Paramal of the Faculty of Environmental Management for his great help in performing many complicated experiments. Graduate students research fund supported by the Graduate School, Prince of Songkla University is gratefully appreciated. Finally, sincere thanks are directed to Mrs. S. Tichakorn for preparation of this manuscripts.

References

1. Songkla Industrial Office., Unpublished Songkla Industrial Directory, (1994).

2. Kajornchayakul, W., "Latex", Unpublished circular, Rubber Research Institute, Ministry of Agriculture, Thailand, (1993).
3. Suttisong, S., "Latex Industry", Unpublished circular, Songkla Rubber Research Institute, (1986).
4. Rubber Research Institute, Unpublished circular, Ministry of Agriculture, Thailand, (1993).
5. Abramson, H.A., Moyer, L.S. and Gorin, M.H., "Electrophoresis of Proteins and the Chemistry of Cell Surfaces", Hafner Publishing Co. Inc., New York (1964).
6. Aplan, F.F. and Ennos, K.S., "Fatty Acids and Amines in Flotation", in "Fatty Acids", Johnson, R.W. and Fritz, E., editors., Marcel Dekker, (1987).
7. de Bruyn, P.L. and Modi, H.J., "Particle Size and Flotation Rate of Quartz", *Trans AIME, Min. Engng.*, 205, 415-419 (1956).
8. Stokes, Sir, G.G., "Mathematical and Physical Paper III", Cambridge University Press, England (1891).
9. Linke, W.F. and Booth, R.B., "Physical Aspects of Flocculation by Polymer", *AIME Trans.*, 217, 364-371 (1960).
10. Moudgil B. M., and Somasundaran, P., "Adsorption of Cationic Polyacrylamide on Hematite and Silica: Effect of Polymer-Sodium Dodecylsulfonate interaction", in "Fundamentals of Adsorption", Myers, A.L. and Belfort, G., Editors, United Engineering Trustees, Inc., 335-364 (1984).
11. Smellie, R.H. and La Mer, V.K., "Flocculation, Subsidence and Filtration of Phosphate Slimes VI. Quantitative Theory of Filtration of Flocculated Suspensions", *Journal of Colloid Science*, 23, 589-599 (1958).
12. Hogg, R., Klimpel, R.C. and Ray, D.T., "Agglomerate Structure in Flocculated Suspensions and Its Effect on Sedimentation and Dewatering", *Minerals & Metallurgical Processing*, 4, 108-113 (1987).
13. Hogg, R., Bunnaul, P. and Suharyono, H., "Chemical and Physical Variables in Polymer-Induced Flocculation", *Minerals & Metallurgical Processing*, 10, 81-85 (1993).
14. Ray, D.T., "The Role of Polymers in Flocculation Processes and in the Binding of Compacted Powders", Ph.D. Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, (1988).
15. Bunnaul, P., "Clarification, Sedimentation and Consolidation of Flocculated Suspensions", Ph.D. Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, (1993).
16. Holland, F.A. and Chapman, F.S., "Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks", Reinhold Publishing Co., New York (1966).
17. Keys, R.O. and Hogg, R., "Mixing Problems in Polymer Flocculation", *The American Institute of Chemical Engineer*, 75, 63-72 (1979).
18. Kulicke, W. and Klein, J., *Angwandte Makromol Chem.*, 69, 189 (1978).
19. Muller, G., Laine, J.P. and Fenyo, J.C., *Polymer Sci. (Polym. Chem.)* 17, 659 (1979).
20. Ananthapadmanabhan, K.P., "Associative Interactions in Surfactant Solutions and Their Role in Flotation", Eng.Sc. D. Thesis, Columbia University, New York (1979).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวแนนน้อย	ศรีสุวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	11 มกราคม	2510
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรพยาบาลศาสตร์	วิทยาลัยพยาบาลสงขลา	2532
สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสุโขทัย	2534
	ธรรมมาชิราช	