



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาแกลบโดยการตกตะกอนเคมี

Chemical Coagulation of Effluent from Wet Scrubber Unit of Rice Husk Gasifier

นามผู้วิจัย นายปริญญาสิริ โล่ห์สุริยะ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์จักราภรณ์ สุวรรณวิทยา, M.Appl.Sc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สันติ ชินานุวัตินนท์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 15 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาแกลบโดยการตกตะกอนเคมี

Chemical Coagulation of Effluent from Wet Scrubber Unit of Rice Husk Gasifier

โดย

นายปริญญาสิริ โล่ห์สุริยะ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2549

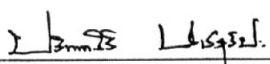
ISBN 974-16-1138-2

ปริญาสิริ โล่ห์สุริยะ 2549: การบำบัดน้ำจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาเคลือบ
โดยการตกตะกอนเคมี ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา, M.Appl.Sc. 120 หน้า
ISBN 974-16-1138-2

โรงสีข้าวร่วมเจริญสอง จังหวัดพิจิตร ใช้เกลบที่เหลือจากการสีข้าวมาเป็นเชื้อเพลิงใน
การผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ระบบสัมผัสแบบเปียกจับสารปนเปื้อนในก๊าซร้อนจากการเผาไหม้
ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นจำนวนมาก และโรงสีต้องการนำน้ำเสียนั้น กลับมาใช้ใหม่ในระบบ
โดยผ่านระบบตกตะกอนเคมี แต่ไม่ใช้สารสร้างตะกอน จึงทำให้น้ำมีคุณภาพต่ำ และเมื่อนำกลับ
มาใช้ใหม่ มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศลดต่ำลงด้วย

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากระบบสัมผัสแบบ
เปียก โดยใช้จาร์เทศต์ทดลองในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบความสามารถของสารสร้าง
ตะกอน ได้แก่ ขี้เถ้าเกลบ สารส้ม และใช้ขี้เถ้าเกลบร่วมกับสารส้ม และศึกษาสถานะที่เหมาะสม
ในกระบวนการตกตะกอน เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของโรงสี ให้มีคุณภาพเพียง
พอในการนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบสัมผัสแบบเปียกได้

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ดีที่สุด ซึ่งปริมาณสารส้มที่เหมาะสม
ในการสร้างตะกอน เท่ากับ 120 mg/l และพีเอชที่เหมาะสม เท่ากับ 7 สามารถกำจัดความขุ่น
(Turbidity) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และ COD ได้ร้อยละ 99.12, 95.24 และ 30.43 ตาม
ลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 97.65 ซึ่ง
มีสัดส่วนการแบ่งชั้นตะกอนเป็นส่วนบน ส่วนน้ำใส และ ส่วนด้านล่าง เท่ากับร้อยละ 10.00,
5.00 และ 85.00 ตามลำดับ



ลายมือชื่อนิสิต



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

25 / 2 / ๕๙

Parinyasiri Lohsuriya 2006: Chemical Coagulation of Effluent from Wet Scrubber
Unit of Rice Husk Gasifier. Master of Engineering (Environmental Engineering),
Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Patcharaporn Suwanvitaya, M.Appl.Sc.
120 pages.
ISBN 974-16-1138-2

Ruam Charean II Rice Mill at Pichit province used rice husk from rice mill process as fuel in the generator of electricity. Fume gas from combustion was treated by wet scrubber, resulting in large amount of wastewater. For economy reason, water from wet scrubber was reused. For reuse, the water was treated by precipitation process but without the use of coagulant. The reuse water was thus of low quality and resulted in low efficiency in wet scrubbing.

This study aimed to increase the wet scrubbing efficiency. The study employed laboratory jar test procedures and compared the efficiency of the following materials as coagulant; rice husk ash, Alum and rice husk ash-alum mixture. Suitable conditions for precipitation was also investigated. The results would be of benefit in improving the quality of reused water in rice mills.

The results indicated that alum was the best coagulant, with the optimum proportion being 120 mg/l and pH value of 7.0, where the reduction of turbidity, suspended solid and COD were 99.12, 95.24 and 30.43 percent respectively. Moreover, grease and oil were also reduced by 97.65 percent. It was found that the settlement of oil and grease in the top, the clear fluid and bottom part were 10.00, 5.00 and 85.00 percent respectively.

Parinyasiri Lohsuriya

Student's signature

Patcharaporn Suwanvitaya

Thesis Advisor's signature

25/02/06

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จลงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ
รองศาสตราจารย์ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
รองศาสตราจารย์ชาติ เขียมไชยศรี กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์สันติ ชินานุวัตร
กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จ และขอกราบขอบพระคุณ
รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ผู้แทนบัณฑิต ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจ
แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอาจารย์
และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ประเสริฐ สุวรรณวิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้
คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนความรู้ลึกที่ฝังมในความเป็นครูของศิษย์แก่ข้าพเจ้า และ
ขอขอบพระคุณอาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ และโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง อำเภอบางมูลนาค
จังหวัดพิจิตร ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำตัวอย่าง และข้อมูลต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณประเสริฐศักดิ์ โล่ห์สุริยะ คุณวรลักษณ์ โล่ห์สุริยะ และคุณกนกวรรณ
ศรีกระจำง กับกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และขอขอบคุณคุณปิยรัตน์ วัฒนศัพท์
คุณทัศนาศนา หลายสุขศิริ คุณจุลวัฒน์ กิตติอักษรกุล คุณณัฐพร ลิ้มปนิธิวัฒน์ และเพื่อนๆ ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เคารพอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนและ
โอกาสที่ดีแก่ข้าพเจ้า ในการศึกษาเล่าเรียนจนประสบความสำเร็จจนกระทั่งถึงทุกวันนี้ หากวิทยา
นิพนธ์เล่มนี้มีความดี และก่อเกิดประโยชน์แก่ส่วนรวม ข้าพเจ้าขอคุณความคิดทั้งปวงให้แก่ บิดา
มารดา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยส่งเสริมให้ข้าพเจ้าให้มีความรู้ ความสามารถ และ
ประสบความสำเร็จในการศึกษา

ปริญญาลิรี โล่ห์สุริยะ

ธันวาคม 2548

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
กระบวนการโคเอกกูเลชัน	3
อนุภาคคอลลอยด์	20
สารส้ม	31
จีไถ้เกลบ	35
น้ำมันและไขมัน	41
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการ	46
สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	49
ผลและวิจารณ์	51
สรุป	91
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	103
ภาคผนวก ข วิธีการทำ Jar Test	114
ภาคผนวก ค แบบรายละเอียดในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจาก เตาเผาแกลบ ของ โรงสี	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนของสารต่างๆ	21
2	การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์แบบต่างๆ	22
3	Bulk density ของเถ้าแกลบชนิดต่างๆ	37
4	คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบดำ	38
5	คุณสมบัติและองค์ประกอบของเถ้าแกลบดำ	39
6	การเปรียบเทียบกระบวนการแยกน้ำมันและไขมัน	44
7	พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง	47
8	ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาแกลบ	52
9	ผลการทดลองเดินระบบโดยไม่ใช้สารเคมี	53
10	การตกตะกอนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ	85
11	ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมัน และไขมัน เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ	86

ตารางผนวกที่

ก1	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำตัวอย่างจากระบบสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ	104
ก2	ผลการทดลองการเดินระบบโดยไม่ใช้สารเคมี	105
ก3	ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารสัมผัสที่เหมาะสม โดยกำหนดพีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง	106
ก4	ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้สารสัมผัสเป็นสารสร้างตะกอน	107
ก5	ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารสัมผัสที่เหมาะสม ที่พีเอชเหมาะสม	108
ก6	ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณเถ้าแกลบที่เหมาะสม โดยกำหนดพีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง	109
ก7	ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก8 ผลการทดลองเพื่อศึกษาขั้นตอนการใส่สารสร้างตะกอน และปริมาณสารส้ม ที่เหมาะสมเมื่อใช้ปริมาณจีเถ้าเกลบกongที่	111
ก9 ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณจีเถ้าเกลบกongที่เหมาะสม เมื่อใช้ปริมาณสารส้มคงที่	112
ก10 ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ	113

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)	4
2	ถังกวนเร็วแบบใช้ใบพัด (ก) ใบพัดแบบเทอร์ไบน์ (ข) ใบพัดแบบใบพัดเรือ (Propeller) (ค) ใบพัดแบบใบพายหรือใบแบน (Paddle)	5
3	การกวนเร็วโดยสร้างความปั่นป่วนในท่อ ด้วยการติดตั้ง Orifice	6
4	การกระจายของค่า G ของใบพัดแบบต่างๆ	9
5	ประเภทของถังกวนน้ำแบบใช้แผ่นกั้นน้ำ	10
6	ประเภทของถังตกตะกอน	12
7	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มและพีเอช	13
8	ความสัมพันธ์ของปริมาณความขุ่นตกค้างและปริมาณสารสร้างตะกอน	15
9	อุปกรณ์ในการทำ Jar Test	19
10	การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ	20
11	โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory	24
12	Electrical Double Layer Theory	25
13	แสดงแรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะต่างๆ	26
14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักและแรงดูด ก่อนและหลังการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์	27
15	ผลการเติมอออนที่มีประจุตรงข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติม (ข) หลังเติม	28
16	กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แบบต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์	30
17	แสดงสารประกอบเชิงซ้อน ของการไฮโดรไลซ์อะลูมิเนียม	31
18	แสดง Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีความขุ่น พื้นที่ภายในเส้นประเป็นบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนพื้นที่ภายนอกเส้นประแต่มีแรงเงาอยู่ มีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างช้าๆ	32
19	แผนภูมิที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม	35
20	แผนผังแสดงการดำเนินการทดลอง	50
21	Turbidity และปริมาณ, SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน	56
23	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน	57
24	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช	58
25	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจาก อิทธิพลของพีเอช	60
26	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช	61
27	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด ในช่วงพีเอชเหมาะสม	62
28	การแยกชั้นของตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม	63
29	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสม	64
30	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสม	65
31	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้จีเถ้ากลบเป็นสารสร้างตะกอน	67
32	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้จีเถ้ากลบเป็นสารสร้างตะกอน	69
33	ร้อยละการแบ่งชั้นการตกตะกอน เมื่อใช้สารส้ม และจีเถ้ากลบเป็นสารสร้างตะกอน	70
34	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้จีเถ้ากลบเป็นสารสร้างตะกอน	70
35	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้จีเถ้ากลบเป็นสารสร้างตะกอน	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้ซีเถ้าเคลบเป็นสารสร้างตะกอน	74
37	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้ซีเถ้าเคลบเป็นสารสร้างตะกอน	75
38	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มร่วมกับซีเถ้าเคลบ	77
39	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เมื่อใช้สารส้มร่วมกับซีเถ้าเคลบ	79
40	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มร่วมกับซีเถ้าเคลบ	80
41	Turbidity และปริมาณ SS, TS และ TVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับซีเถ้าเคลบ	81
42	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับซีเถ้าเคลบ	83
43	ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับซีเถ้าเคลบ	84
44	แผนผังระบบไหลเวียนน้ำ และระบบหลักๆ ของโรงสี	86
45	แผนผัง และส่วนปรับปรุงในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงสี	88

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

rpm	=	รอบต่อนาที
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
min	=	นาที (minute)
mth	=	เดือน (month)
d	=	วัน (day)
s	=	วินาที (second)
kW	=	กิโลวัตต์
W	=	วัตต์
hr	=	ชั่วโมง (hour)
m	=	เมตร (meter)
m ³	=	ลูกบาศก์เมตร
°C	=	องศาเซลเซียส
SS	=	ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)
TS	=	ของแข็งทั้งหมด (Total Solid)
TVS	=	ของแข็งระเหยได้ (Total Volatile Solid)
COD	=	Chemical Oxygen Demand
NTU	=	Nephelometric Turbidity Unit
บาท/ลบ.ม.	=	บาทต่อลูกบาศก์เมตร

การบำบัดน้ำจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาแกลบโดยการตกตะกอนเคมี

Chemical Coagulation of Effluent from Wet Scrubber Unit of Rice Husk Gasifier

คำนำ

แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าว ซึ่งปริมาณแกลบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก ในข้าวเปลือกจะมีแกลบประมาณ 22.5% - 25.2% โดยน้ำหนัก (ศูนย์สารสนเทศ, 2542) ซึ่งถ้าประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ในปริมาณมาก นั้นหมายถึงปริมาณแกลบที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจะมีปริมาณมากเช่นกัน ซึ่งปัจจุบันโรงสีส่วนใหญ่ ได้นำแกลบใช้เป็นเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับโรงสี เพื่อเป็นการลดรายจ่ายกระแสไฟฟ้า และลดค่าการจัดการแกลบอีกด้วย แต่จะมีปัญหาน้ำเสียตามมา ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการบำบัดอากาศจากเตาเผา ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเอง หากปล่อยทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะ ก็จะทำให้สัตว์น้ำ และพืชล้มตายเป็นจำนวนมาก

โรงสีข้าวร่วมเจริญสอง ตั้งอยู่ในอำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร เป็นโรงสีข้าวที่ใช้ แกลบที่เหลือจากกระบวนการสีข้าว มาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และ มีน้ำเสียที่เกิดจากระบบบำบัดอากาศจากเตาเผา ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่นกัน ซึ่งโรงสีต้องการนำน้ำเสียนั้น กลับมาใช้ใหม่ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber ซึ่งเป็นระบบบำบัดอากาศที่โรงสีเลือกใช้) โดยวิธีการตกตะกอนเคมี แต่กระบวนการไม่สมบูรณ์ เพราะโรงสีไม่ใช้สารสร้างตะกอนในการเดินระบบตกตะกอน ไม่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และไม่มีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดี ทำให้น้ำคุณภาพต่ำ และเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดอากาศต่ำลงด้วย

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาตั้งแต่คุณภาพน้ำของน้ำเสีย และหาแนวทางบำบัดน้ำ เพื่อสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในระบบสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) โดยเสนอแนะให้ปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิม ร่วมกับการพยายามใช้ของเสียที่เกิดในโรงสีคือ ขี้เถ้าแกลบ ซึ่งจะทำได้ประโยชน์ทั้งทางด้านประหยัดค่าจัดสร้างระบบ ต้นทุนสารสร้างตะกอน และค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบความสามารถของสารสร้างตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ จีเถ้าแกลบ สารส้ม และสารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber)
2. ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนเคมีจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ซึ่งได้แก่ ระดับค่าพีเอช (pH), ปริมาณสารเคมี และอุณหภูมิ
3. กำหนดสภาวะของกระบวนการตกตะกอนเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร

ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นน้ำเสียจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ จากโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร
2. สารสร้างตะกอนที่ทำการศึกษา ได้แก่ จีเถ้าแกลบ สารส้ม และสารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ
3. ทำการศึกษาสภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสม โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test)
4. พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งระเหยได้ (TVS) ความเป็นกรด – ด่าง (pH) อุณหภูมิ (Temperature) ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี (COD) และปริมาณน้ำมัน และไขมัน (Grease and Oil)
5. พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาการสร้างตะกอน ได้แก่ ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยได้ (TVS)
6. พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาความสามารถในการบำบัดปริมาณน้ำมัน และไขมัน ได้แก่ น้ำมัน และไขมัน (Grease and Oil)

การตรวจเอกสาร

กระบวนการโคแอกกูเลชัน

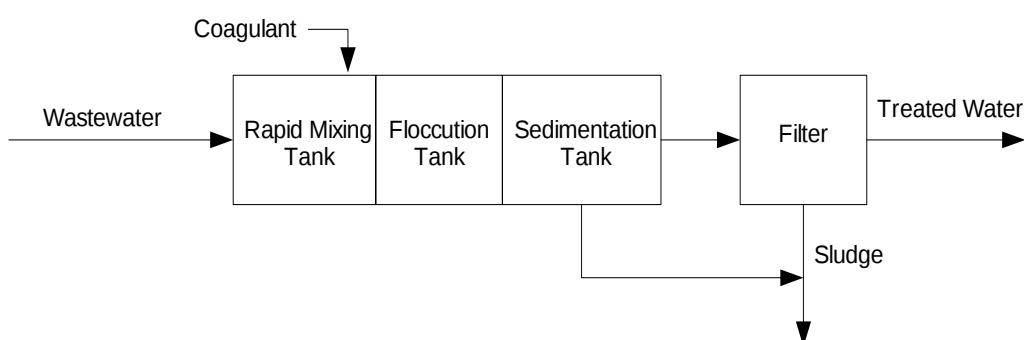
กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค และการสร้างสัมพัทธ์โดยให้อนุภาคเคลื่อนที่มากระทบ หรือสัมผัสกันมากที่สุด และอนุภาคสามารถเกาะติดกันแน่นจนหลุดจากกันได้ยาก

องค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่าง คือถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังกวนช้า (Flocculation Tank) ในถังกวนเร็วจะการเติมสารสร้างตะกอน ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายสารเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคเกิดขึ้น ส่วนถังกวนช้าจะรับน้ำต่อจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมพัทธ์ให้กับอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก

ภาพที่ 1 เป็นแผนภาพแสดงเส้นทางการไหลของน้ำและองค์ประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน น้ำดิบถูกส่งไปยังถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมสารเคมีเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาค ทั้งนี้การกวนน้ำจะเกิดอย่างรุนแรงแต่กินเวลาน้อยมาก (เช่น ประมาณ 1 นาที หรือน้อยกว่า) โดยปกติมักใช้ถังกวนเร็วเพียงใบเดียว แต่บางครั้งอาจใช้ถังกวนเร็ว 2 ใบ ต่อกันอย่างอนุกรมเนื่อง จากต้องเติมสารเคมีหลายชนิดซึ่งไม่สามารถเติมพร้อมกันได้ การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) จะเกิดขึ้นรวดเร็วมมาก และต้องให้เกิดได้อย่างสมบูรณ์ภายในถังกวนเร็ว น้ำที่มีอนุภาคซึ่งปราศจากเสถียรภาพแล้วจะถูกส่งไปยังถังกวนช้า เพื่อสร้างโอกาสสัมพัทธ์ให้กับอนุภาคเหล่านั้น ภายในถังกวนช้าการกวนน้ำกระทำโดยใช้ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วต่ำ ทำให้ความปั่นป่วนเกิดขึ้นน้อย สารสร้างตะกอนที่เติมลงไปในถังกวนเร็วจะช่วยทำให้อนุภาคขนาดเล็กซึ่งสัมผัสกัน เกิดการเกาะจับกันจนกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ อนุภาคที่รวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ จนสามารถมองเห็นรูปร่างเป็น 3 มิติได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่าเรียกว่า ฟล็อก (Floc) โดยปกติการกวนน้ำ มักกระทำโดยใช้ใบพัดแต่บางครั้งอาจกระทำโดยอาศัยแผ่นกั้นน้ำหลาย ๆ แผ่น หรือใช้วิธีอื่น ๆ

แม้ว่าถังกวนเร็วและถังกวนช้า ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอน และถังกรอง ซึ่งตามมาทีหลัง ตะกอนที่ถูกกำจัดออกไปนั้น เป็นอนุภาคที่อยู่ในน้ำร่วมกับสารสร้างตะกอนที่เติมในถังกวนเร็วด้วย ตะกอนเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากระบบทางก้นถังตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนที่สะสมตัวนี้มีลักษณะคล้ายเลนซึ่งเรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) โดยรายละเอียดของแต่ถัง สามารถอธิบายได้ดังนี้

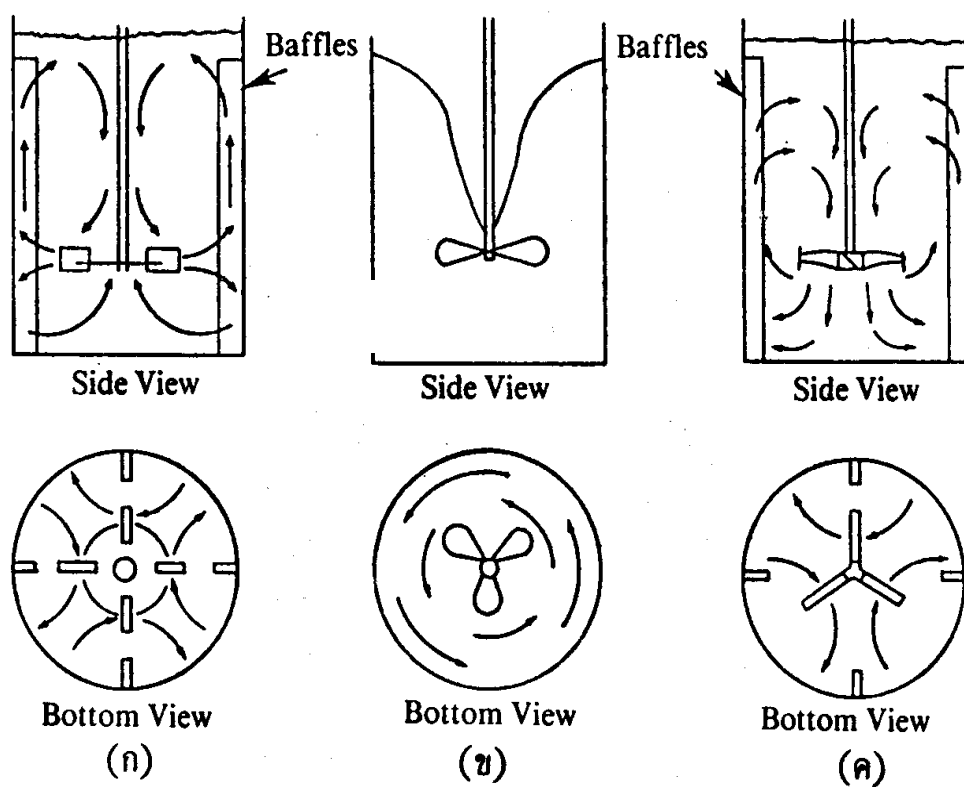


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank)

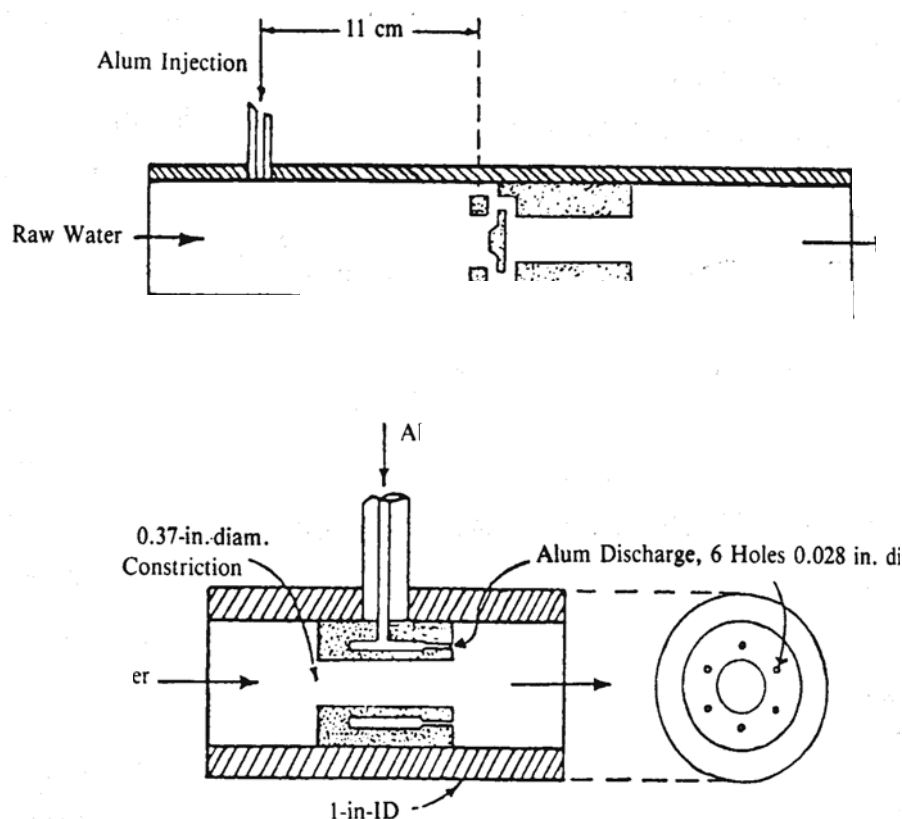
เมื่อพิจารณาถึงหน้าที่และพื้นฐานของการกวนเร็วแล้ว อุปกรณ์ใดๆ ก็สามารถใช้เป็นถังกวนเร็วได้ ถ้าสามารถทำให้น้ำและสารสร้างตะกอนเกิดการผสมผสานจนการเป็นเนื้อเดียวกันได้ภายในชั่วพริบตา ด้วยเหตุนี้ในทางปฏิบัติจึงมีอุปกรณ์การกวนเร็วเกิดขึ้นหลายชนิด ได้แก่ แบบที่ใช้ใบพัด ดังแสดงในภาพที่ 2 ถือเป็นแบบธรรมดา

นอกจากนี้การกวนเร็วอาจออกแบบให้เกิดขึ้นภายในท่อส่งน้ำ โดยใช้ Orifice พร้อมๆ กับการใช้หัวฉีดสารเคมี ภาพที่ 3 หรือใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Static Mixer ซึ่งทำเป็นเกลียวติดอยู่ภายในท่อ ให้น้ำที่ไหลผ่านมีความปั่นป่วนได้เอง



ภาพที่ 2 ถังกวนเร็วแบบใช้ใบพัด (ก) ใบพัดแบบเทอร์ไบน์ (ข) ใบพัดแบบใบพัดเรือ (Propeller) (ค) ใบพัดแบบใบพายหรือใบแบน (Paddle)

ที่มา: มั่นสิน (2538)



ภาพที่ 3 การกวนเร็วโดยสร้างความปั่นป่วนในท่อ ด้วยการติดตั้ง Orifice

ที่มา: มั่นสิน (2538)

พารามิเตอร์สำหรับการควบคุมถึงกวนเร็ว คือ ความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity Gradient) ซึ่งนิยมใช้ G เป็นสัญลักษณ์แทนความเร็วเกรเดียนท์ หมายถึง ความปั่นป่วนของน้ำ น้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับความปั่นป่วนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การผสมระหว่างสารเคมีกับน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและพร้อม ๆ กันทุกจุด ถึงกวนเร็วจะมีค่า G ไม่ต่ำกว่า 300 s^{-1} พารามิเตอร์ต่อมา คือ เวลาผสม (T) หมายถึง เวลาสัมผัสระหว่างสารเคมีและความปั่น เนื่องจากปฏิกิริยาทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้นจึงต้องการเวลาผสมเพียง 1 นาที หรือน้อยกว่า นอกจากนี้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการออกแบบ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำดิบทั้งทางกายภาพและทางเคมี ต่อมาคือ อัตราการไหลต่ำของน้ำ และสุดท้ายคือ ผลการทดลอง Jar Test ทั้งนี้ส่วนข้อมูลอื่นๆ นั้นขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของคุณภาพน้ำดิบ และขนาดของโรงงาน เป็นต้น

พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนในระดับ G อาจคำนวณได้จากสมการของแคมท์ และสไตน์ดังนี้

$$P = \mu V G^2$$

โดยที่	G	=	ความเร็วเกรเดียนท์(s ⁻¹)
	P	=	พลังงานที่ใช้ในการสร้างความปั่นป่วน (W)
	μ	=	ความหนืดของน้ำ หน่วย (N-s/m ²)
	V	=	ปริมาตรในถังกวนเร็ว (m ³)

ถังกวนช้า(Slow Mixing Tank)

ถังกวนช้ามีหน้าที่สร้างโอกาสสัมผัสให้กับอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพ รวมตัวเป็นกลุ่มก้อน หรือเรียกว่า ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบด้วยกัน ได้แก่ แบบที่ 1 คือ แบบ Perikinesis เป็นการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1-2 ไมคอน ทั้งนี้เกิดจากการเคลื่อนไหวยของอนุภาคตามธรรมชาติอย่างไม่เป็นระเบียบ (Brownian Motion) โดยที่อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งของการรวมตัวแบบนี้ แบบต่อมา คือ แบบ Orthokinesis เป็นการรวมตัวของอนุภาคในน้ำ โดยการสร้างสภาวะให้น้ำส่วนต่าง ๆ มีความเร็วไม่เท่ากัน เป็นผลให้อนุภาคในน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน จึงมีโอกาสมาสัมผัสและจับตัวกันได้มาก หนึ่งต้องตระหนักว่าการสัมผัสระหว่างอนุภาค ไม่จำเป็นต้องจับตัวและติดอยู่ด้วยกันเสมอไป แม้ว่าการสร้างโอกาสสัมผัสเท่ากับการสร้างโอกาสรวมตัวเป็นฟลอคก็ตาม

ฟลอคคูเลชันแบบ Perikinesis เกิดขึ้นช้ามากจนไม่เป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติ แต่การเกิดฟลอคคูเลชันในถังกวนช้าจะเป็นแบบ Orthokinesis เสมอ ดังนั้นการออกแบบถังกวนช้าจึงต้องเข้าใจในทางจลนศาสตร์ของการรวมตัวแบบ Orthokinesis เป็นสำคัญ

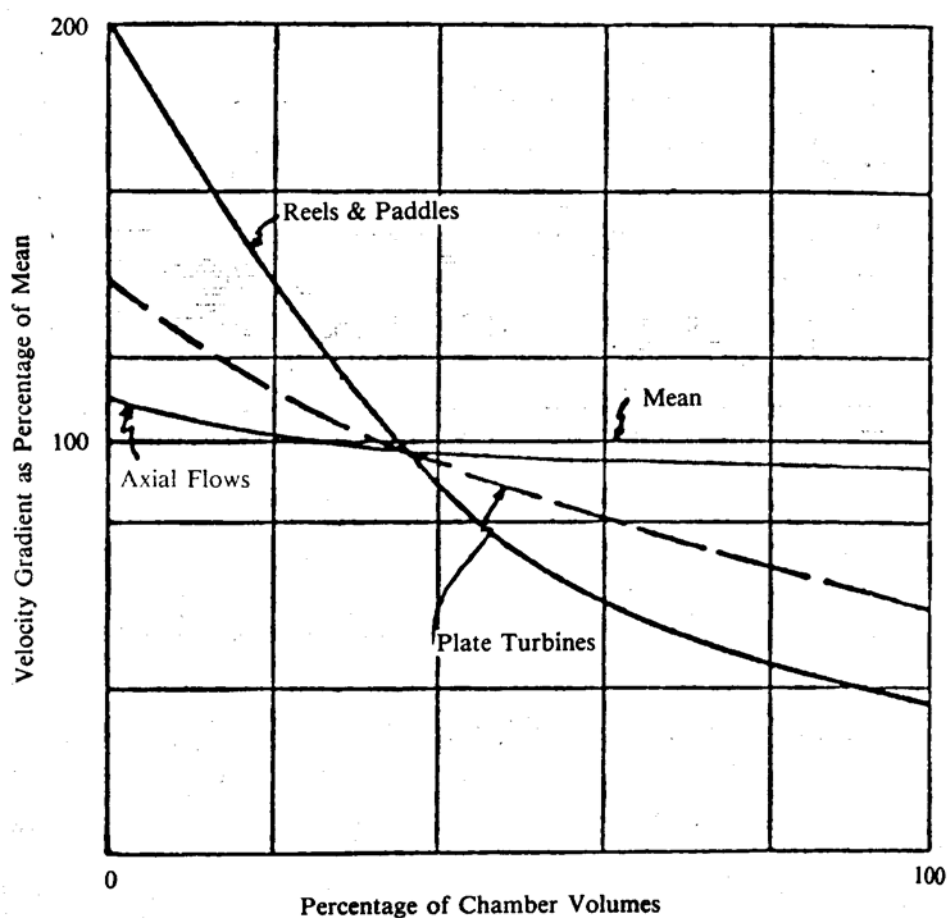
พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมเหมือนกับที่ใช้ในการออกแบบถังกวนเร็วดังที่ได้กล่าวไปแล้ว สิ่งที่แตกต่างกันอยู่ที่ระดับของพารามิเตอร์เท่านั้น ถังกวนช้าต้องการความปั่นป่วน (G) ต่ำ แต่ต้องการเวลาสัมผัส หรือเวลารวมตะกอน (T) นาน ซึ่งตรงกันข้ามกับถังกวนเร็ว ดังนั้นเพื่อให้ฟลอคคูเลชันเกิดขึ้นได้ผลดีที่สุด เวลารวมตะกอนหรือเวลาสัมผัส จึงควรมีค่า

ประมาณ 20-30 นาที การใช้เวลารวมตะกอนนานกว่านั้นไม่เป็นการประหยัด และระดับที่เหมาะสมที่สุดของความปั่นป่วน หรือ G ขึ้นอยู่กับค่าของ T ตามสมการต่อไปนี้

$$(G^*)^{2.8} T = K$$

โดยที่	G^*	=	ระดับความเร็วเกรเดียนท์ที่เหมาะสมที่สุด (s^{-1})
	T	=	เวลารวมตะกอน (min)
	K	=	ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสารสร้างตะกอนที่ใช้

ประเภทของถังกวนช้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทใบพัดแบบต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนน้ำมักเป็นใบพัด 3 แบบ คือ แบบใบพาย (Paddle) แบบเทอร์ไบน์ (Turbine) และแบบใบพัดเรือ (Propeller) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับที่ใช้ในถังกวนเร็ว ในบรรดาเครื่องกวนทั้ง 3 ชนิด เครื่องกวนแบบใบพัดเรือเป็นแบบที่ให้ค่า G กับถังกวนช้าสม่ำเสมอทั่วทั้งถังมากกว่าแบบอื่น ดังแสดงในภาพที่ 4 เครื่องกวนแบบใบพายซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุดให้ค่า G สม่ำเสมอน้อยที่สุด

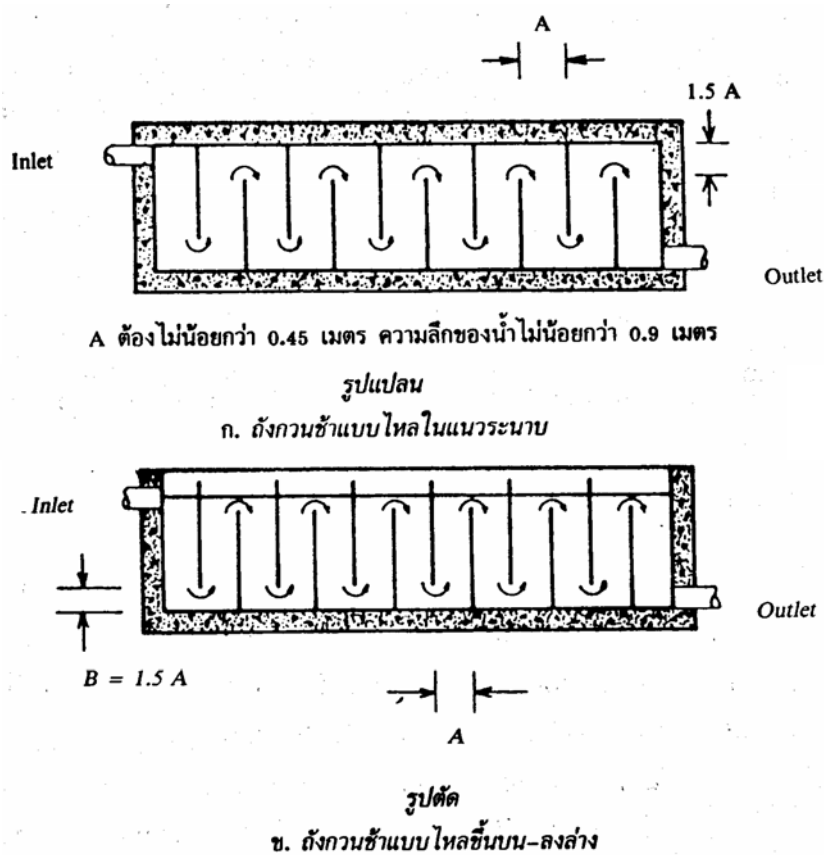


ภาพที่ 4 การกระจายของค่า G ของใบพัดแบบต่าง ๆ

ที่มา: มั่นสิน (2538)

ประเภทต่อมาได้แก่ ประเภทแพ่งกันน้ำ (ไม่ต้องใช้เครื่องจักร) กล่าวคือการบังคับให้น้ำไหลวนและเคลื่อนไปมาด้วยแพ่งกันน้ำ ก็สามารถสร้างความปั่นป่วน (G) ให้กับน้ำพอเพียงที่จะเกิดฟล็อกคูเลชันได้ ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงกังหันน้ำแบบใช้แพ่งกันน้ำ 2 แบบ แบบแรกเป็นการบังคับให้น้ำไหลวนในแนวระนาบ ส่วนแบบหลังบังคับให้น้ำไหลวนในแนวตั้ง จะเห็นได้ว่าแพ่งกันน้ำแบ่งถึงกังหันน้ำเป็นห้องเล็ก ๆ จำนวนมากมาย น้ำจะไหลวนไปตามห้องต่าง ๆ ทุกห้องอย่างนุ่มนวล ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนานเล็กจนกลายเป็นอนุภาคนขนาดใหญ่ หรือฟล็อกนั่นเอง ดังนั้นความเร็วในการไหลต้องไม่ต่ำเกินไปจนเกิดการตกตะกอน การใช้แพ่งกันน้ำช่วยทำให้มีการไหลลัดทาง (Short Circuit) เกิดขึ้นน้อยมาก แต่มีข้อเสียคือ ระดับความปั่นป่วนขึ้นอยู่กับ

อัตราการไหลของน้ำ ดังนั้นถ้าอัตราการไหลของน้ำมีความแปรปรวนมาก การออกแบบและการควบคุมฟลักคูเลชันให้ได้จึงเป็นเรื่องยาก



ภาพที่ 5 ประเภทของถังกวนน้ำแบบใช้แผ่นกั้นน้ำ

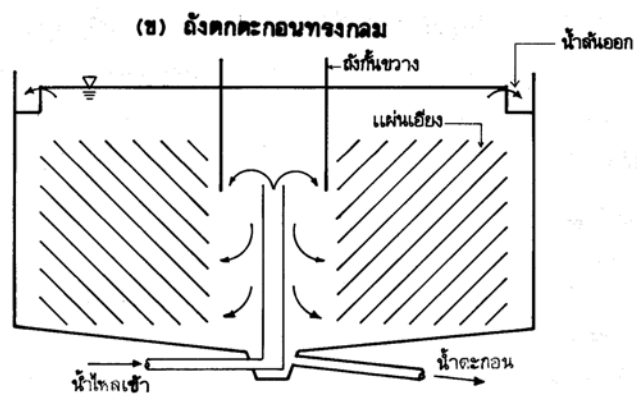
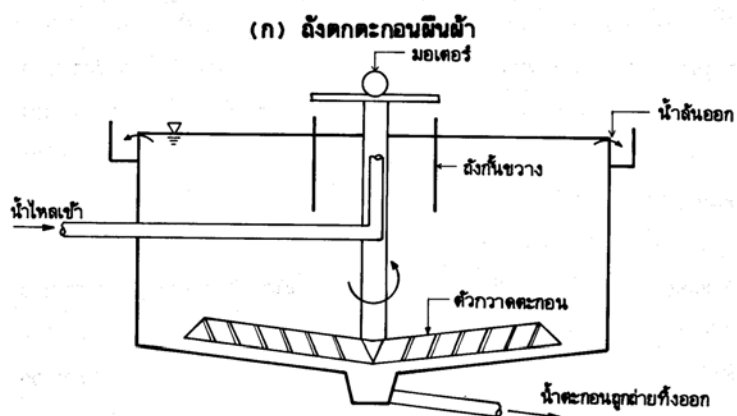
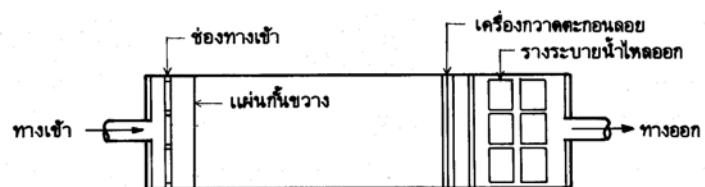
ที่มา: มั่นสิน (2538)

ถังตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอนเป็นวิธีการแยกอนุภาคของแข็งด้วยแรงดึงดูดของโลก ผลจากการตกตะกอนทำให้ได้ส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ น้ำใสและตะกอนเหลว ถ้าจุดมุ่งหมายของการตกตะกอนเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใส การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า Clarification แต่ถ้าจุดมุ่งหมายเป็นไปเพื่อให้ได้สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากที่สุด การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า Thickening

น้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำ อาจตกตะกอนแบบโคค หรือรวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของตะกอนหรืออนุภาค ถ้าตะกอนแขวนลอยไม่สามารถจับตัวเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบโคค ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบนี้ได้แก่ การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือเม็ดทรายขนาดต่าง ๆ ถ้าตกตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มในการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน การตกตะกอนจะเป็นแบบรวมกลุ่ม ตัวอย่างได้แก่ การตกตะกอนของน้ำเสีย หรือของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากสารสร้างตะกอนอื่น ๆ

ประเภทของถังตกตะกอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ซึ่งแบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำได้แก่ ประเภทที่ 1 ถังตกตะกอนแบบไหลในแนวนอนซึ่งโดยมากจะเป็นถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ประเภทที่ 2 ถังตกตะกอนแบบไหลในแนวตั้ง ซึ่งโดยมากจะเป็นถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปทรงกลม ประเภทที่ 3 ถังตกตะกอนแบบไปตามแผ่นหรือท่อ ซึ่งเป็นถังที่มีแผ่นหรือท่อติดตั้งเอียงจุ่มอยู่ในน้ำของถังตกตะกอน ซึ่งแสดงดังภาพที่ 6



(ค) ถังตกตะกอนแบบใช้แผ่นเอียง

ภาพที่ 6 ประเภทของถังตกตะกอน

ที่มา: เกียงศักดิ์ (2541)

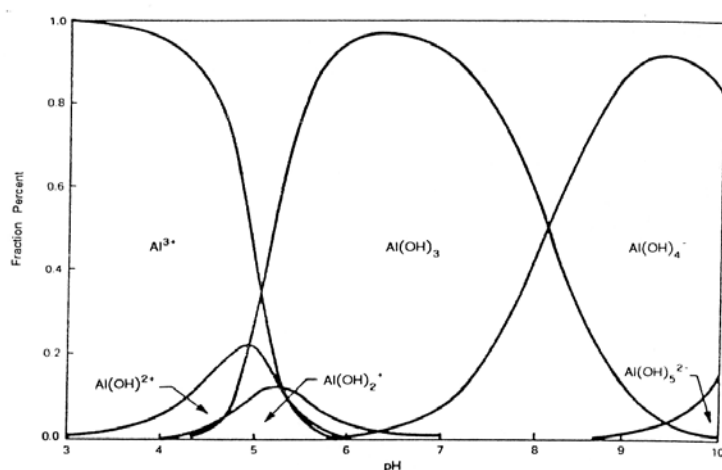
ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างตะกอนในกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

1. พีเอช

ระดับพีเอชของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมีของสารสร้างตะกอน (coagulant) แต่ละชนิด ดังนั้นในการเลือกใช้สารสร้างตะกอนชนิดใดนั้นต้องคำนึงถึงค่าพีเอชของน้ำด้วยจึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเคมีดีที่สุด

Kawamura (1976) แนะนำว่าน้ำที่มีความขุ่นปกติ นั้น พีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนคือ 6 – 7.8 และมีค่าอยู่ระหว่าง 4 – 8 เมื่อใช้ iron hydroxide เป็นสารสร้างตะกอน นอกจากนี้การปรับพีเอชก่อนการสร้างตะกอนด้วยสารส้มจะสามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าน้ำที่ไม่ปรับค่าพีเอช

สำหรับการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ นั้น เมื่อสารส้มละลายน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้น มีการแตกตัวของสารส้มเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีทั้งประจุบวก และลบในน้ำดิบที่เป็นกรดและด่างตามลำดับ ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการสร้างตะกอนที่ระดับพีเอชต่างๆ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มและพีเอช

ที่มา: Committee Report (1971)

จากภาพที่ 7 ในช่วงพีเอชน้อยกว่า 4 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูป Al^{+3} เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการใช้สารส้มในปริมาณปกติจะไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ เนื่องจาก Al^{+3} ถูกโมเลกุลของน้ำล้อมรอบถึง 6 โมเลกุลจึงทำให้กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุโดยสารส้มไม่อาจเกิดขึ้นได้ที่พีเอชน้อยกว่า 4

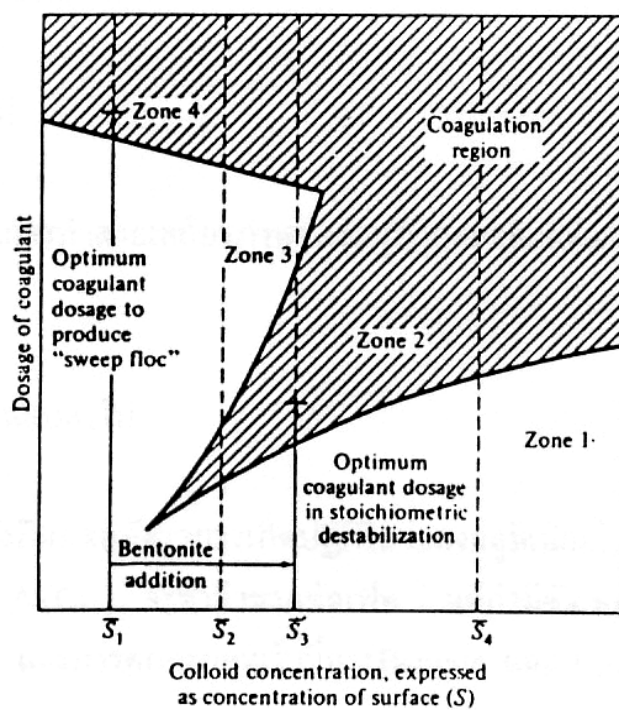
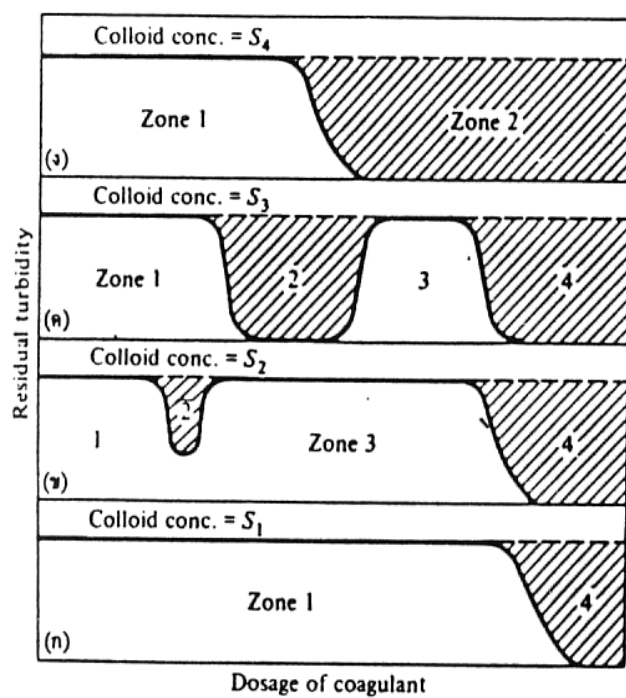
ในช่วงพีเอช 4 – 6 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูป $[Al(OH)]^{2+}$ และ $[Al(OH)_2]^+$ ซึ่งทั้งสองตัวนี้จะทำให้กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ ส่วนในช่วงพีเอช 6 – 8 นั้นจะพบ $Al(OH)_3$ มาก ซึ่ง $Al(OH)_3$ เป็นตัวที่มีบทบาทมากในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก

ส่วนในช่วงที่มีพีเอชมากกว่า 9 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูปของ $[Al(OH)_4]^-$ ซึ่งเป็นประจุลบเช่นเดียวกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นในกระบวนการสร้างตะกอนด้วยสารส้มที่มีพีเอชมากกว่า 9 จะไม่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ จึงทำให้น้ำยังคงมีความขุ่นอยู่

2. ความขุ่น

ความขุ่นในน้ำ หมายถึงปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์แขวนลอยจำนวนมากจะใช้สารสร้างในปริมาณจำนวนน้อยกว่า อีกทั้งยังตกตะกอนดีกว่า เนื่องจากมีเป่าสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า O. Melia (1972) ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความขุ่นตกค้าง และปริมาณสารสร้างตะกอน ดังในภาพที่ 8

ที่ระดับความขุ่นต่ำ ในภาพที่ 8 ก. อนุภาคคอลลอยด์มีปริมาณน้อยเกินไปที่จะตกตะกอนลง Zone 1 แม้ว่าจะมีการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุแล้วก็ตาม ดังนั้นในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนลงมานั้นกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึกจึงมีบทบาทมากขึ้น โดยการเติมสารส้มในปริมาณมากเพียงพอเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ สารส้มจะอยู่ในรูปของผลึก $Al(OH)_3$ และผลึกนี้จะทำหน้าที่เป็นเป่าสัมผัสให้อนุภาคคอลลอยด์ยึดติดกับผลึก $Al(OH)_3$ และตกตะกอนลงมา Zone 4



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของปริมาณความขุ่นตกค้างและปริมาณสารสร้างตะกอน

ที่มา: O. Melia (1972)

ที่ระดับความขุ่นสูง ในภาพที่ 8 ข. และ ค. เมื่อใช้สารส้มปริมาณน้อยจะเกิดกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุขึ้น และมีช่วงการทำงานแคบๆ ใน Zone 2 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมากขึ้นจะมีผลให้ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุเกิดมากขึ้น และเมื่อปริมาณสารส้มมากขึ้นไปอีกจะทำให้เกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ (restabilization) Zone 3 และกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก Zone 4

ที่ระดับความขุ่นสูงมาก ในภาพที่ 8 ง. จะมีอนุภาคคอลลอยด์ในปริมาณที่มากเพียงพอที่จะเกิดกลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิว และทำลายประจุใน Zone 2 และในการเกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ (restabilization) ของอนุภาคเป็นไปได้ยาก

3. อุณหภูมิ

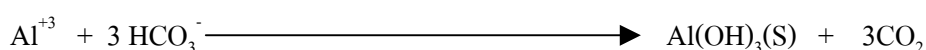
อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อความหนืดของน้ำด้วย ซึ่งความหนืดของน้ำจะมีผลต่อการตกตะกอน กล่าวคือที่อุณหภูมิสูงความหนืดของน้ำจะลดต่ำลง จึงทำให้กลุ่มตะกอนสามารถตกตะกอนดีขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลทำความหนืดของน้ำสูงขึ้น ทำให้การตกตะกอนของกลุ่มตะกอนช้าลง มีผลให้ช่วงที่เหมาะสม (Optimum pH) ในการทำการสร้างตะกอนลดต่ำลง ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนเพิ่มมากขึ้น

จากรายงานของ Hannah et. al., 1967 พบว่าอุณหภูมิแปรผันกับประสิทธิภาพกำจัดความขุ่น คือ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับ Morris and Knocke (1984) แต่อุณหภูมิไม่มีผลต่อการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน

Van Benschoten and Edzwald (1992) รายงานว่าอุณหภูมิต่ำ และพีเอชประมาณ 5 – 6 มีผลทำให้การละลายน้ำของสารส้มที่เติมลงไปนี้น้ำน้อยลง แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มพีเอชให้มากกว่า 7

4. ค่าความเป็นด่างของน้ำ

ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งเป็นสาเหตุความขุ่นของน้ำนั้น สารสร้างตะกอนที่ใช้จะทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นด่างในน้ำ ซึ่งความเป็นด่างในน้ำจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ด้านการเปลี่ยนแปลง pH เพื่อให้ปฏิกิริยาในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์โดยสารสร้างตะกอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับสารสร้างตะกอนบางตัวเช่น สารส้ม และเกลือของเหล็กซึ่งเป็นกรด เมื่อเติมลงไปไปในน้ำจะไปลดค่าความเป็นด่างของน้ำ ปฏิกิริยาระหว่างสารส้มกับไบคาร์บอเนตไอออนเป็นดังนี้ Letterman et. al., 1979



จากปฏิกิริยา สารส้ม $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ไบคาร์บอเนตไอออนลดลง 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเติมปูนขาว 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ความเป็นด่างไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นควรให้มีค่าความเป็นด่างเหลืออยู่ในน้ำประมาณ 10 – 15 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะไม่เช่นนั้นแล้วจะมีสารส้มตกค้างมีผลทำให้น้ำมีฤทธิ์กัดกร่อนได้ (โกลม และคณะ, 2534)

Kim et. al., 1965 ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความเป็นด่างต่อ pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของอนุภาคความขุ่นที่เกิดจากคาร์โบลิธ พบว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนจะลดลงเมื่อค่าความเป็นด่างของน้ำเพิ่มขึ้น

5. การกวน

การกวนในระบบตกตะกอนมี 2 แบบ คือการกวนเร็ว (rapid mixing) และการกวนช้า (slow mixing) การกวนเร็วเป็นการสร้างความปั่นป่วนให้แก่ตัวอย่างรุนแรง เพื่อให้สารเคมีกระจายในน้ำได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างสารเคมีและอนุภาคคอลลอยด์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจากรายงานของ Camp (1968) แนะนำให้ใช้ค่า G เท่ากับ 700 – 1,000 วินาที⁻¹ เป็นเวลา 2 นาที ซึ่งสอดคล้องกับ Qureshi and Malmberg (1985) ส่วนการกวนช้า นั้น เพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากขั้นตอนการกวนเร็ว สัมผัสกันและจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มตะกอนลงได้โดยง่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ หากกวนน้ำด้วยความเร็วสูงเกินไป จะ

ทำให้กลุ่มตะกอนแตกออกจากกันได้ ซึ่ง Camp (1955) Kawamura (1973) และ Eckenfelder (1980) ได้แนะนำในช่วงเดียวกันประมาณ 5 – 100 วินาที⁻¹

6. สารสร้างตะกอน

สารสร้างตะกอน (coagulation) แต่ละชนิดมีความเหมาะสมสำหรับทำลายอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้ ลักษณะของกลุ่มตะกอนที่เกิดขึ้น ความเร็วของการตกตะกอน และความยากง่ายในการใช้งานอีกด้วย ดังนั้นการใช้สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดนั้น ต้องจัดสภาวะที่เหมาะสม จึงจะทำให้เกิดการตกตะกอนที่ดี เช่น สารส้ม (Alum) ช่วงที่ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้คืออยู่ในช่วง pH 5 – 8 เป็นต้น

7. ปริมาณสารสร้างตะกอน

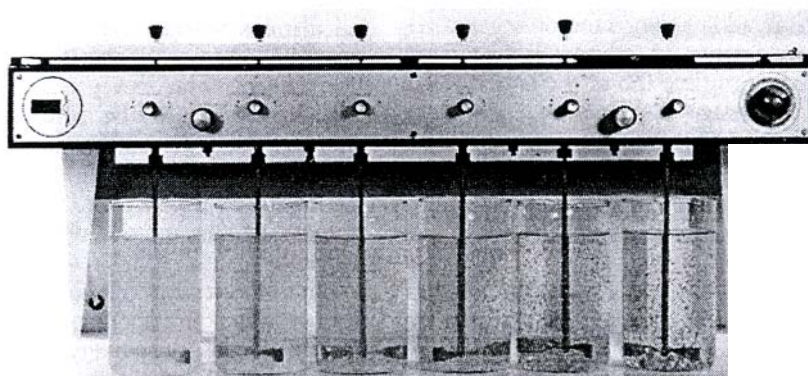
ปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์นั้น มีความสำคัญต่อการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้ในการใช้สารสร้างตะกอนนั้นควรใช้ในปริมาณที่ทำให้ค่าผลคูณของ ion product มีค่ามากกว่า ค่า K_{sp} (Solubility Product Constant) ของมันจึงจะทำให้สารนั้นตกตะกอนลงมา สำหรับในการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพื่อให้เกิดการตกตะกอนแบบกลไกห่อหุ้มด้วยอนุภาคด้วยผลึกนั้น จะต้องใช้สารส้มประมาณ 20 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทำให้เกิดการตกตะกอนของ $Al(OH)_3$ ตกลงมา จึงจะทำให้ผลคูณของ $[Al^{+3}][OH]^-$ สูงกว่าค่า K_{sp} ของมัน(มันสิน, 2526)

สำหรับการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมนั้น ควรทำด้วยวิธีจาร์เทสต์ เพื่อหาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ (Kawamura, 1976)

น้ำดิบที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการโอโซน ก่อนเข้าระบบตกตะกอน จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ที่จะทำให้ปฏิกิริยากับสารสร้างตะกอน รวมทั้งลดปริมาณสารสร้างตะกอนที่ต้องใช้ นอกจากนี้ ยังทำให้เกิด head loss น้อยในระหว่างกระบวนการอีกด้วย Edwards et. al., 1994

การหาอัตราความต้องการสารเคมีที่เหมาะสม โดยวิธี Jar Test

การหาอัตราความต้องการสารเคมีที่เหมาะสมในกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) สามารถทำได้โดยการทำ Jar Test ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบในปิเกอร์ เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องกวนที่ปรับความเร็วรอบได้ (ภาพที่ 9)



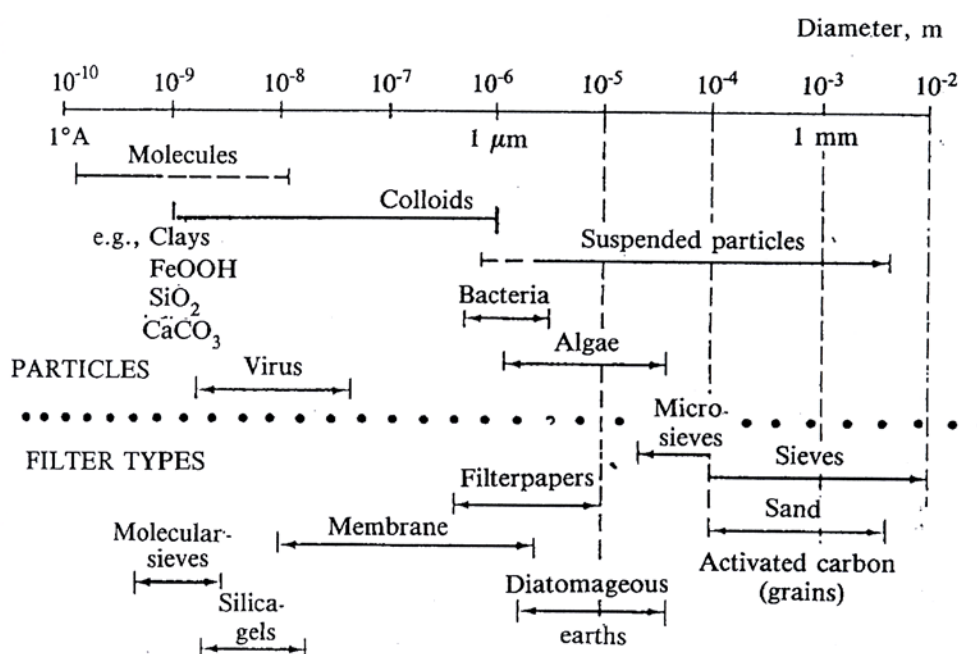
ภาพที่ 9 อุปกรณ์ในการทำ Jar Test

ที่มา: โสภณ (2545)

เสริมพลและไชยยุทธ (2524) กรรณิการ์ (2525) มั่นสิน (2538) และ Cleasby (1990) เสนอแนะให้ใช้อัตราการกวนเร็ว 100 รอบ/นาที ระยะเวลา 1 - 3 นาที เพื่อให้สารสร้างตะกอนผสมเข้ากันได้ดีกับน้ำตัวอย่าง แล้วเปลี่ยนมากวนช้า 30 - 40 รอบ/นาที ระยะเวลา 12 - 20 นาที เพื่อสร้างสัมผัสเกิดการจับตัวกันมากเพียงพอที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ด้วยตัวเองในเวลาอันสั้น แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 - 60 นาที เพื่ออนุภาคที่มีจับตัวกันมีระยะเวลาเพียงพอที่จะตกตะกอนเพื่อได้ส่วนเป็นน้ำใสอยู่ข้างบน แต่ Degremont, Inc (Mahasawat O&M Manual, 1995) ให้ใช้อัตราการกวนเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 200 รอบ/นาที ระยะเวลา 1 นาที ซึ่งเร็วกว่า และใช้เวลาในการกวนสั้นกว่า หลังจากนั้นเปลี่ยนมากวนช้า 50 รอบ/นาที ระยะเวลา 20 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที

อนุภาคคอลลอยด์ (Colloids)

ปัญหาในการบำบัดน้ำมักเกิดจากอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไป มีขนาด 10^{-6} mm. จนถึง 10^{-3} mm. (ภาพที่ 10) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมากจึงไม่ตกตะกอนได้ด้วยตัวเองในเวลาจำกัด จากการคำนวณ (ตาม Stoke' Law) ปรากฏว่า ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ขนาด 10^{-4} mm. เป็นระยะทาง 1 m. ต้องใช้เวลาถึง 730 วัน ในขณะที่ทรายละเอียดขนาด 0.1 mm. ใช้เวลาเพียง 2 นาที (ตารางที่ 1) ด้วยเหตุนี้ในการตกตะกอนคอลลอยด์ จึงจำเป็นต้องทำให้อนุภาค มีการเกิดการจับกลุ่มเป็นก้อน หรือเรียกว่า ฟล็อก ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 10 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ

ที่มา: Sawyer and McCarty (1976)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความเร็วในการตกตะกอนของสารต่างๆ

สารต่างๆ	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	เวลาที่ต้องการในการ ตกตะกอน 1 เมตร
กรวด	10	1 วินาที
ทรายหยาบ	1	10 วินาที
ทรายละเอียด	10^{-1}	2 นาที
ตะกอนดินเหนียว	10^{-2}	2 ชม.
แบคทีเรีย	10^{-3}	8 วัน
คอลลอยด์	10^{-4}	2 ปี
คอลลอยด์	10^{-5}	20 ปี
คอลลอยด์	10^{-6}	200 ปี

ที่มา : Sawyer and McCarty (1976)

การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยได้นานเป็นเวลานานๆ โดยไม่ตกตะกอน เรียกว่าเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง ในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไม่ต้องการให้ระบบคอลลอยด์มีเสถียรภาพ เพราะอนุภาคคอลลอยด์ทำให้น้ำขุ่น และสกปรก ดังนั้นจึงต้องมีการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เพื่อให้อนุภาคสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จนสามารถตกตะกอนได้

ระบบคอลลอยด์ หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว (Continuous Medium) อนุภาคต่างๆ นั้นเรียกว่า Dispersed Phase ส่วนสารตัวกลางเรียกว่า Dispersing Phase หรือ Dispersed medium ระบบคอลลอยด์อาจเกิดขึ้นจากการรวมตัวของสารทั้ง 3 สถานะได้ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าระบบคอลลอยด์ทั้งหมดมีเพียง 8 ประเภท ทั้งๆ ที่ควรเป็น 9 ประเภท ทั้งนี้เพราะก๊าซไม่สามารถเป็นทั้ง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ได้ เนื่องจากส่วนผสมของก๊าซทำให้เกิดสารละลายแท้ (True Solution) เสมอ

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทของระบบคอลลอยด์แบบต่างๆ

Disperse medium	Disperse phase	Name	Example
Liquid	Solid	Sol	Clay turbidity in water
Liquid	Liquid	Emulsion	Oil in water
Liquid	Gas	From	Whipped cream
Gas	Solid	Aerosol	Dust, Smoke
Gas	Liquid	Aerosol	Mist, Fog
Solid	Solid	-	Colored glass
Solid	Liquid	Gel	Jelly
Solid	Gas	-	Pumice

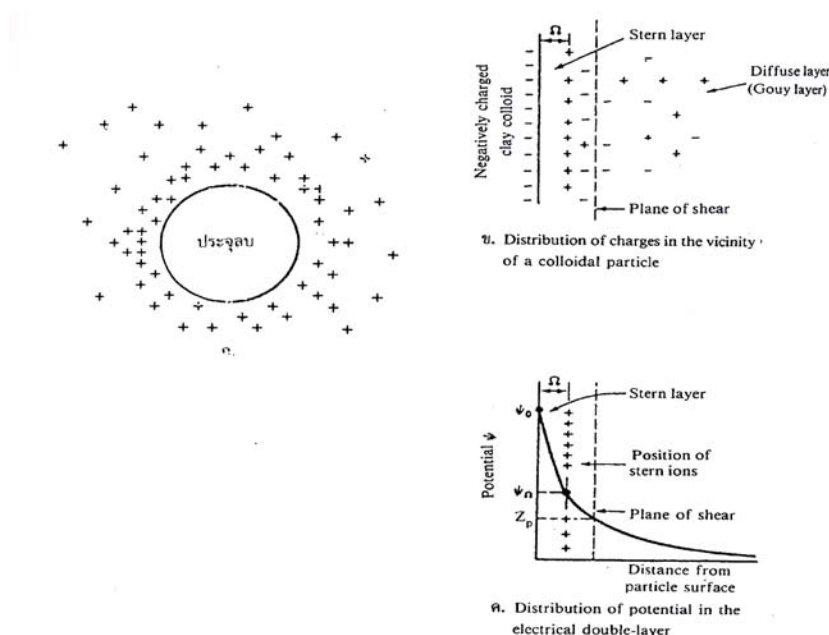
ที่มา : Sawyer and McCarty (1976)

ลักษณะที่สำคัญที่สุดของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่าง Dispersed Phase และ Dispersing Phase ขนาดเล็กมากของ Dispersed Phase ทำให้น้ำหนักไม่มีความสำคัญ เทียบเท่าพื้นที่ผิวของสาร (ด้วยเหตุนี้ เคมีที่เกี่ยวข้องกับระบบคอลลอยด์ จึงเรียกว่า Surface Chemistry ซึ่งใช้ในการอธิบายพฤติกรรมต่างๆ ของสารต่างๆ ของระบบคอลลอยด์) การแพร่กระจายของหยดน้ำมันในน้ำ หรือการระเหยเป็นไอของผิวน้ำ ถือเป็นตัวอย่างของระบบคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย ของเหลว – ของเหลว และของเหลว – ก๊าซ ส่วนระบบที่ประกอบด้วยของแข็ง และของเหลว อันได้แก่ สารแขวนลอย เป็นต้น เป็นระบบคอลลอยด์ที่อยู่ในความสนใจของวิศวกรสิ่งแวดล้อม

อนุภาคคอลลอยด์มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า คืออนุภาคคอลลอยด์อาจมีประจุบวกหรือประจุลบก็ได้ แต่ที่มักพบในงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมมักเป็นอนุภาคลบ และเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) เช่น ความขุ่นในน้ำผิวดิน ซึ่งส่วนมากเป็นอนุภาคของดินเหนียวชนิดต่างๆ ส่วนอนุภาคประจุบวกซึ่งเป็นอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก (อนุภาคที่ชอบน้ำ) เช่น สารอินทรีย์ สบู่ เป็นต้น การที่อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาค จึงเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ความแตกต่างระหว่างคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิก และแบบไฮโดรฟิลิก คือ เสถียรภาพของคอลลอยด์ ซึ่งแบบแรกเป็นผลมาจาก

แรงผลักระหว่างไอออนชนิดเดียวกัน ส่วนเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบหลังเกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงผลักเนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค (Particle Solvation)

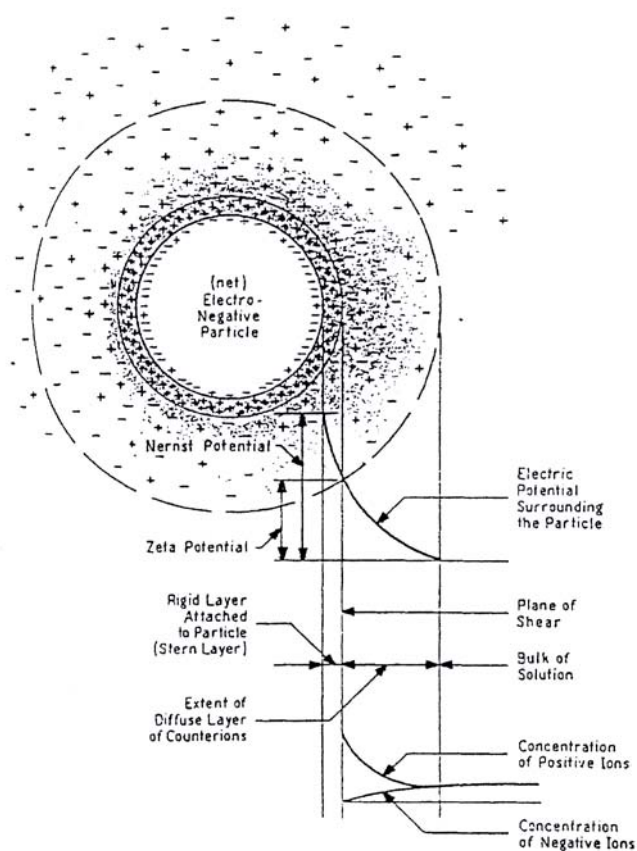
เนื่องจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ไอออนประจุบวก (ประจุตรงข้าม) ที่อยู่ใกล้น้ำวิ่งเข้ามาหาได้ จึงเกิดการแออัดของไอออนประจุบวกใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์ ดังแสดงในภาพที่ 15 ไอออนประจุบวกนี้เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของไอออน ประจุบวกจะสูงที่สุดในบริเวณที่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค ทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป (ภาพที่ 11) ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าไอออนไม่อยู่ภายใต้อำนาจของคอลลอยด์ ทำให้การกระจายตัวของไอออนประจุบวก และลบเป็นไปตามปกติ ตามทฤษฎี Double Layer ซึ่งเชื่อว่าไอออนชั้นในสุดไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะไอออนประจุบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์และจุดศูนย์กลางของไอออนที่อยู่ใกล้สุด (ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดไอออน) คล้ายมีเปลือกทรงกลมบางซึ่งมีความหนาเท่ากับ โอเมกา กันขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในของทฤษฎีนี้ ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกมีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกนอกมีชื่อเรียกว่า Diffuse Layer (ชั้นกระจาย) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี



ภาพที่ 11 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory

ที่มา: Sawyer and McCarty (1976)

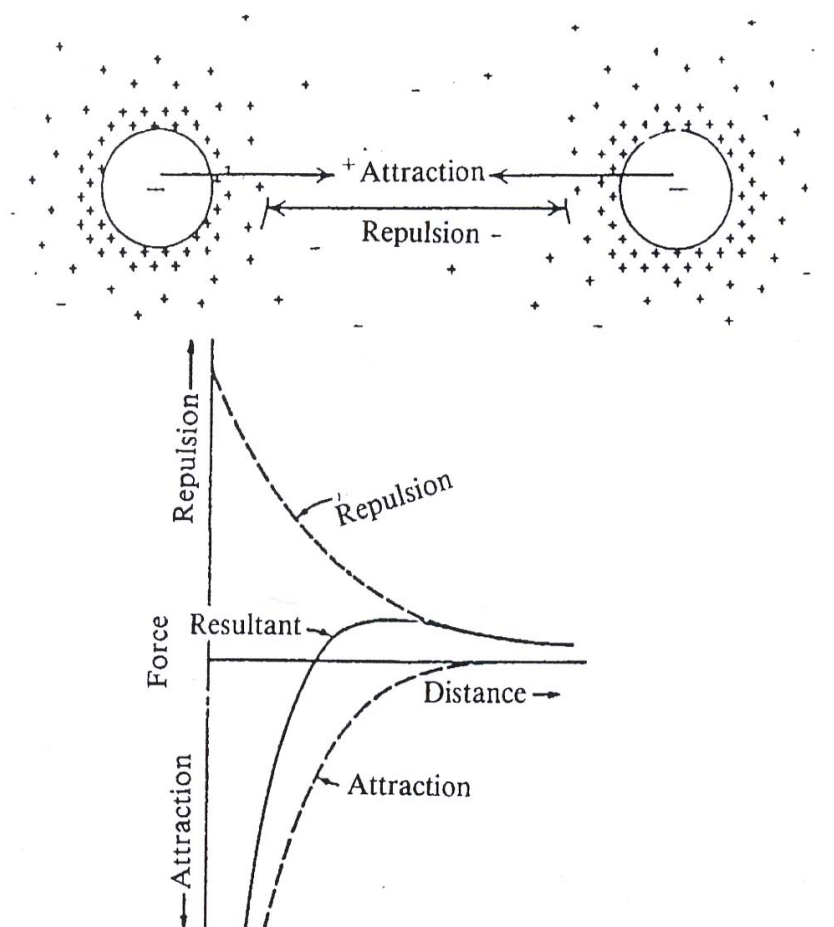
ศักย์ไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ หรือ Nernst Potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถวัดได้จากศักย์ไฟฟ้าที่จุดอื่น ซึ่งไม่ใช่ที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้โดยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (Electrophoretic Mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential, Z_p) ซึ่งหมายถึงศักย์ไฟฟ้าที่ผิว (หรือเปลือกนอก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ผิววนอกสุดนี้เรียกว่า Plane of Shear (ภาพที่ 12) เชื่อกันว่าตำแหน่งของ Plane of Shear Layer แต่ยังคงอยู่ใน Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของซีตาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียล ใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ เช่น ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูงมาก) จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางกลับกัน ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำ และทำให้เกิดการรวมตัวเป็นฟlocs ได้ง่าย



ภาพที่ 12 Electrical Double Layer Theory

ที่มา: AWWA (1999)

เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดูดระหว่างอนุภาค เรียกว่า Van Der Waals Force เป็นแรงอ่อนที่มีผลลัพท์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิด ขึ้นอยู่กับระยะระหว่างอนุภาค (ภาพที่ 13) จะเห็นได้ว่าแรงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแล้วแรงผลัก ซึ่งเกิดจากซีตาโพเทนเชียล ไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน



ภาพที่ 13 แสดงแรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะต่างๆ

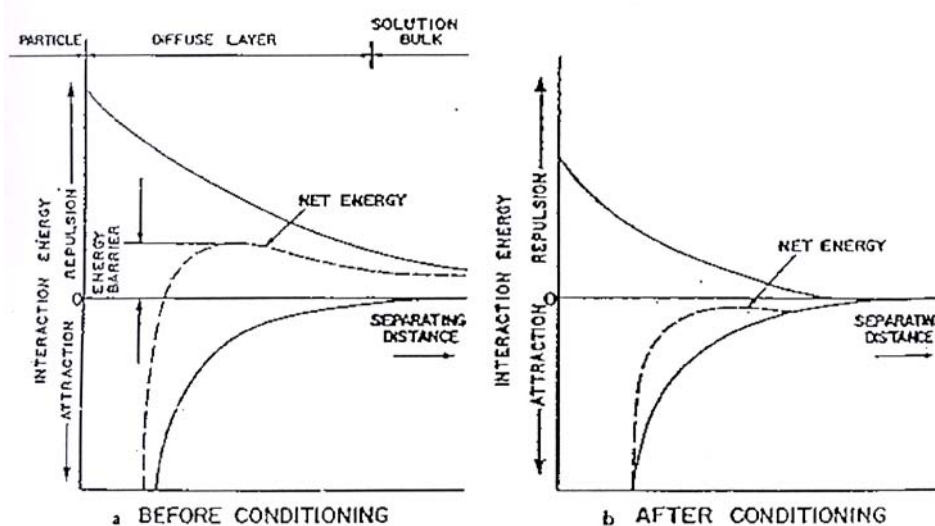
ที่มา: Sawyer and McCarty (1976)

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถเกิดขึ้นได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1. การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับประจุของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวน Counter ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้น คือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง และทำให้ Z_p ลดลงตามไปด้วย (ภาพที่ 14 a และ b) การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมี

ประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ทำให้อำนาจประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม



ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักและแรงดูด ก่อนและหลังการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

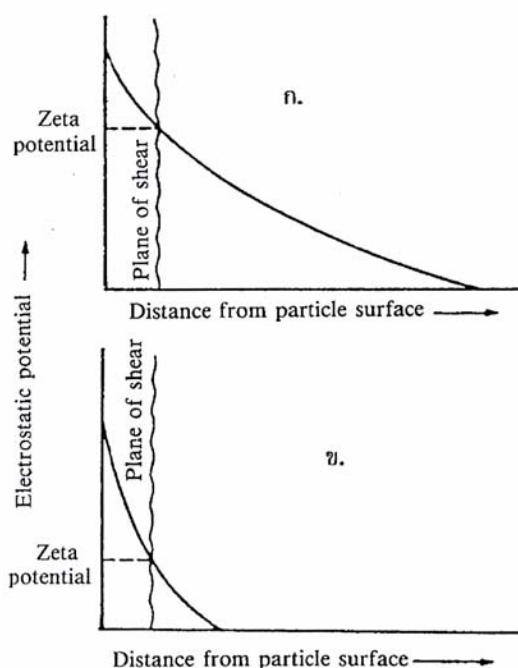
ที่มา: AWWA (1999)

2. การดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and charge neutralization) โดยใช้สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถในการประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

3. การห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น (Sweep coagulation) การเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอจะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวเพื่อทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นหรืออาจจับตัวรวมกับผลึก เป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและสามารถตกตะกอนได้ เช่น การใส่สารส้มจะทำให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ ซึ่งผลึกสารที่ไม่ละลายน้ำ

กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผัน

กับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้สารสร้างตะกอนจำนวนมาก จึงจะเกิดการสร้างตะกอนได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้สารสร้างตะกอนน้อยกว่า เหตุผลก็คือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม การสร้างตะกอนอาจเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร การใช้สารสร้างตะกอนปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆ เพื่อเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกเท่าในกรณีแรก

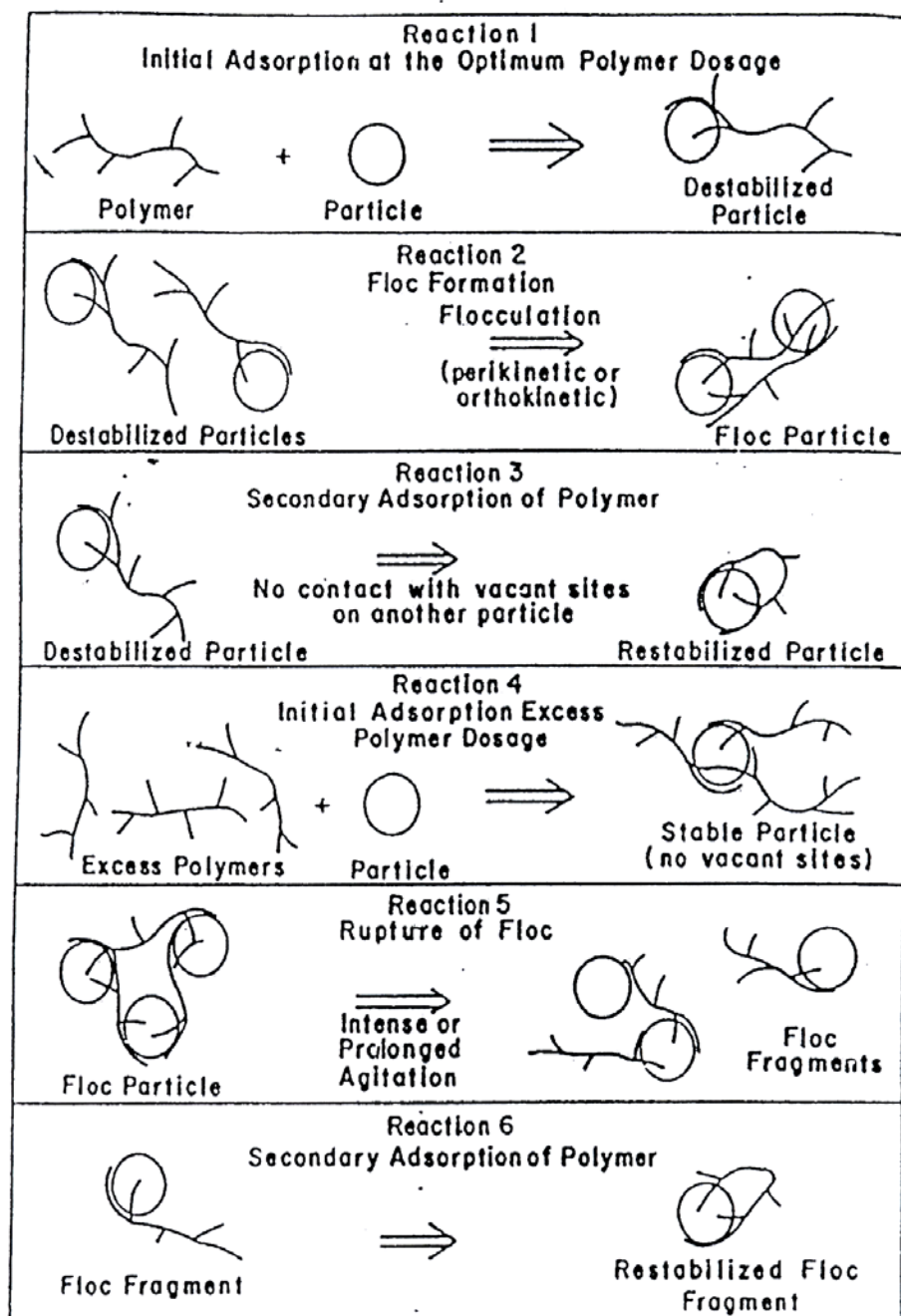


ภาพที่ 15 ผลการเติมอออนที่มีประจุตรงข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติม (ข) หลังเติม

ที่มา: Sawyer and McCarty (1976)

4. การใช้สารอินทรีย์โพลิเมอร์ เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging) สารอินทรีย์โพลิเมอร์มักมีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก ประจุไฟฟ้าประจำอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุเลยก็ได้ ซึ่งกลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer bridging (ภาพที่ 16) โมเลกุลของสารโพลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 1 ของภาพที่ 20 การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุ

ที่ต่างกันของโพลิเมอร์และคอลลอยด์ หรือเป็นแรงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลิเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลิเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีโพลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (ปฏิกิริยาที่ 2) การต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์จะเกิดขึ้นได้ตรงเท่าที่มีโพลิเมอร์และตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลิเมอร์ ไม่มีที่จะเกาะจับอนุภาคอื่น ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ทำให้เสียผลประโยชน์ 2 ประการคือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลิเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระ และไม่มีที่ว่างเรียกว่า อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ การใช้โพลิเมอร์มากเกินไป อาจก่อให้เกิดผลเสียได้ เพราะโพลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลิเมอร์อื่นๆ (ปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไปหรือนานเกินไปก็ก่อผลเสียได้ เนื่องจากฟล็อกที่เกิดขึ้นแตกออกเป็นส่วนๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้โพลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคเดิม เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่อีก (ปฏิกิริยาที่ 6)

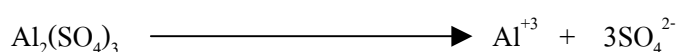


ภาพที่ 16 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์

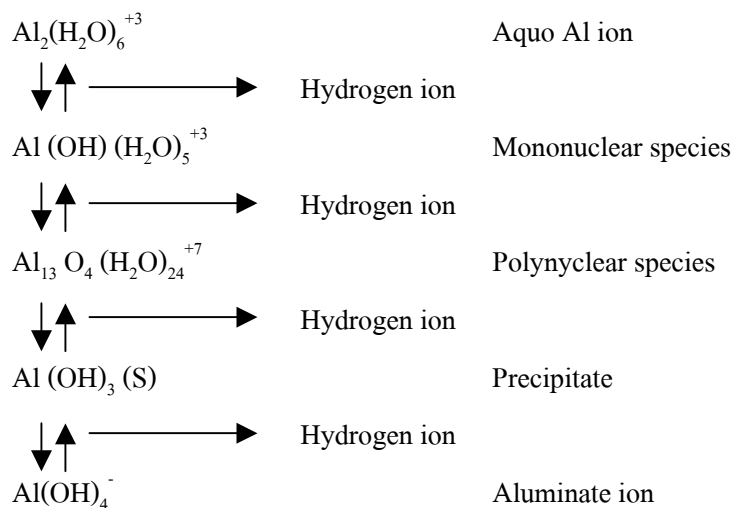
ที่มา: Weber (1972)

สารส้ม (Alum)

สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้มมีสูตรโมเลกุล $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ เมื่อละลายน้ำจะมีการแตกตัวของไอออนบวก และลบเกิดขึ้นดังนี้ (มันสิน, 2538)



ซึ่งอุมิเนียมไอออนจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำในทันที ได้เป็น $\text{Al}_2(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ สามารถสะท้อนประจุและทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ได้ เนื่องจาก Al^{+3} มีอำนาจเป็นกรดซึ่งสามารถให้ H^+ จึงพร้อมที่จะไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) ให้เป็นไอออนต่างๆ ของอุมิเนียม ซึ่งมี OH^- เข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ระหว่างอุมิเนียม กับไฮดรอกไซด์ไอออน ดังภาพที่ 17

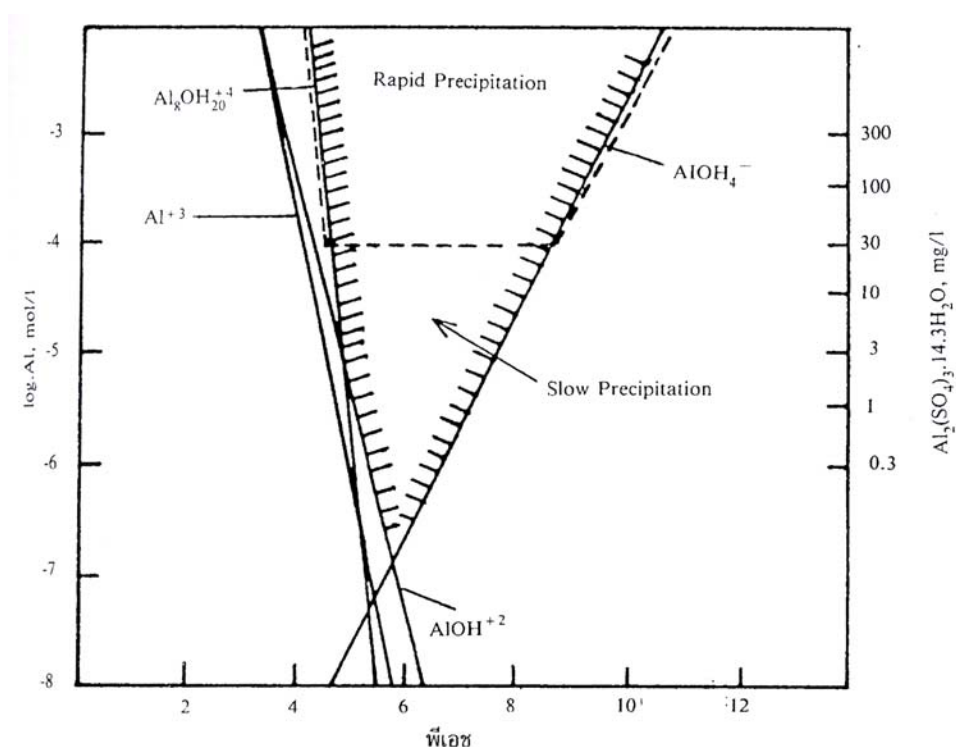


ภาพที่ 17 แสดงสารประกอบเชิงซ้อน ของการไฮโดรไลซ์อะลูมิเนียม

ที่มา: มันสิน (2538)

อออนคอมเพล็กซ์ที่มีไฮดรอกซิล (Hydroxo Metal Complex) พร้อมทั้งจะดูพฤติกรรมของอนุภาคคอลลอยด์ และหากล้างประจุคอลลอยด์ได้ ถ้าอออนมีประจุตรงข้ามและมากกว่าของคอลลอยด์ คอลลอยด์จะแสดงประจุเป็นตรงข้ามกับของเดิม (Charge Reversal)

พีเอชของน้ำเป็นปัจจัยกำหนดความเข้มข้นและชนิด ของอออนคอมเพล็กซ์ต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ภาพที่ 17) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช และความเข้มข้นของอออน คอมเพล็กซ์ชนิดต่างๆ สามารถแสดงได้ด้วยไดอะแกรมที่เรียกว่า Stability Diagram บนภาพเดียวกันนี้ แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการตกผลึก $Al(OH)_3$ อีกด้วย ส่วนฟลักซ์สารส้มที่มีพีเอชเป็นกลางจะมีประจุบวก แต่จะกลายเป็นลบเมื่อมีพีเอชเป็นด่าง



ภาพที่ 18 แสดง Stability Diagram ของสารส้มในน้ำที่ไม่มีความขุ่น พื้นที่ภายในเส้นประเป็นบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนพื้นที่ภายนอกเส้นประแต่มีแรงเงาอยู่ มีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

ที่มา: มั่นสิน (2538)

จากภาพที่ 18 พบว่าน้ำที่มีค่าพีเอชต่ำ จะมี Al^{+3} มากที่สุด ถ้าพีเอชเพิ่มขึ้น จะได้ไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกลดน้อยลง และถ้าพีเอชเข้าใกล้ความเป็นกลาง สารประกอบ $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากกว่าไอออนอื่นๆ ซึ่งเขตพื้นที่ที่แรงเงาไว้แสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ ส่วนพื้นที่ภายในเส้นประแสดงถึงบริเวณที่มีการตกผลึกของ $Al(OH)_3$ เมื่อพีเอชอยู่ในช่วงของความเป็นค่า ไอออนคอมเพล็กซ์จะมีประจุลบ ด้วยเหตุนี้การสร้างตะกอนด้วยสารส้มกับน้ำตามธรรมชาติ จึงควรมีพีเอชเป็นกลาง หรือกรดเล็กน้อย น้ำไม่ควรมีพีเอชต่ำ เนื่องจาก Al^{+3} ไม่ดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีประจุบวกมากก็ไม่ดีเหมือนไอออนคอมเพล็กซ์อื่นที่มีประจุน้อยกว่าแต่ดูดซับผิวอนุภาคได้

กลไกการทำลายเสถียรภาพของสารส้ม

สารส้มสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนเกิดโคแอกกูเลชันได้ด้วยกลไก 3 ประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของโคแอกกูแลนต์ และพีเอชของน้ำ (พีเอชดังกล่าวต้องเป็นของน้ำภายหลังเกิดโคแอกกูเลชันแล้ว มิใช่เป็นพีเอชของน้ำก่อนเกิดปฏิกิริยา) กลไกดังกล่าว คือ

1. กลไกแบบดูดซับผิวและทำลายประจุ (Adsorption and charge neutralization) กลไกนี้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ซึ่งสามารถดูดซับบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ และทำลายประจุของคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ และพร้อมที่จะรวมตัวกันหลายๆ อนุภาคจนเป็นฟล็อก กลไกนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อปริมาณของสารส้มมีน้อยจนกระทั่งผลคูณของ (Al^{+3}) และ $(OH^-)^3$ ต่ำกว่าค่า K_{sp} และ pH ต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไป กลไกแบบนี้มีข้อดีคือ เปลืองสารส้มน้อยและให้ตะกอนที่มีคุณภาพดี คืออัดตัวแน่นหรือคั่งน้ำออกจากตะกอนได้ง่าย อย่างไรก็ตามกลไกการออกแบบและควบคุมการสร้างตะกอนแบบนี้มักทำได้ยาก เนื่องจากกลไกแบบนี้ต้องเกิดขึ้นและเสร็จสิ้นภายในเวลา 10^{-4} ถึง 1 วินาที ไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีประจุบวกต่างๆ ต้องดูดซับผิวอนุภาคคอลลอยด์ภายในเวลาดังกล่าว มิฉะนั้นแล้วไอออนคอมเพล็กซ์จะไฮโดรไลซ์ต่อไปจนเกิดผลึก $Al(OH)_3$ ซึ่งทำให้เกิดกลไกแบบที่สอง

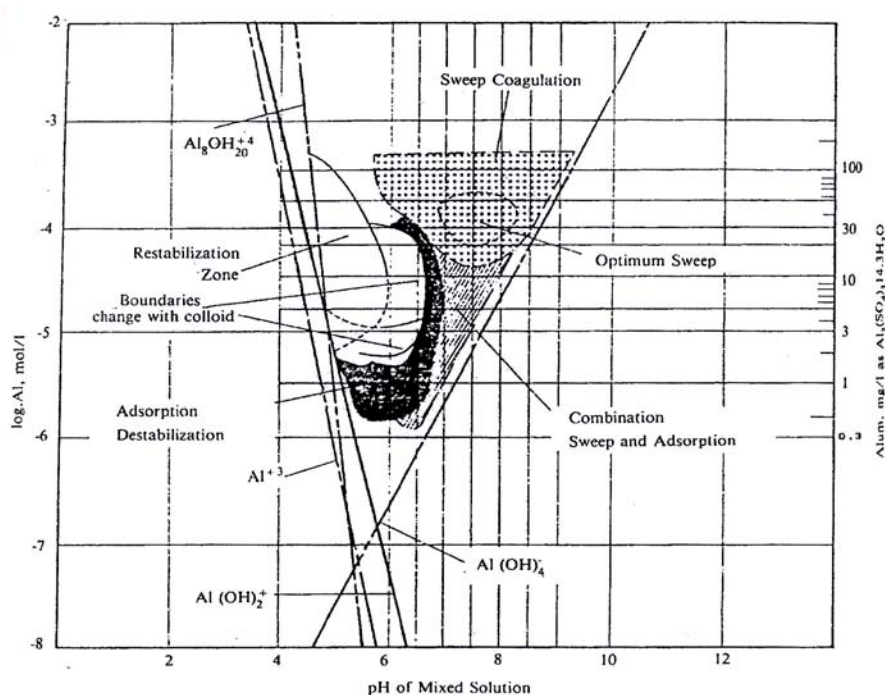
2. กลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึกหรือกลไกแบบกวาด (Sweep coagulation) เกิดโดยการสร้าง $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะคล้ายปุย เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อกจนขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนได้ง่าย สารส้มที่ใช้ต้องมีปริมาณสูงพอจนทำให้ผลคูณของ (Al^{+3}) และ $(OH^-)^3$ มีค่าเกินกว่าค่า K_{sp} นอกจากนี้ pH ของน้ำควร

อยู่ในช่วง 6 – 7.5 จึงจะได้ผลดีที่สุด กลไกเกิดได้ง่ายกว่าแบบแรก แต่มีข้อเสียคือ เปลือกสารส้มและเกิดตะกอนจำนวนมากที่มีคุณภาพต่ำ คืออัดตัวไม่แน่นและคั่งน้ำออกยาก

3. กลไกโคแอกกูเลชันแบบรวม (Combination coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และกลไกแบบกวาด ซึ่งกลไกนี้ใช้สารส้มสูงกว่ากลไกแบบแรก แต่น้อยกว่ากลไกแบบที่สอง

เนื่องจาก pH ของน้ำ เป็นปัจจัยกำหนดความเข้มข้นและชนิดของไอออนคอมเพล็กซ์ของสารส้ม ดังนั้นการสร้างตะกอนด้วยสารส้มจึงควรพิจารณาค่า pH ที่เหมาะสมก่อน Degremont (1991) ศึกษาพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับสร้างตะกอนด้วยสารส้ม คือ 6.0 – 7.4 Steel และ McGhee (1979) ศึกษาพบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม คือ 4.0 – 7.0 ขณะที่ AWWA (1999) รายงานไว้ว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม คือ 5.5 – 8.5

Amirtharajah and Mills (1982) เสนอหลักการออกแบบและควบคุมการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม ดังภาพที่ 19 เห็นว่าการสร้างตะกอนด้วยกลไกแบบ Sweep coagulation จะได้ผลดีที่สุดที่ pH 6.8 ถึง 8.2 และสารส้ม 20- 50 mg/l ส่วนกลไกแบบดูดติดผิว/ทำลายประจุ และแบบผสมทำให้เกิดการสร้างตะกอนด้วยสารส้มน้อยกว่า 10 mg/l



ภาพที่ 19 แผนภูมิที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม

ที่มา : Amirtharajah and Mills (1982)

ขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk)

ในการสีข้าวจะได้แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ปริมาณแกลบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงปริมาณข้าวเปลือก ในข้าวเปลือกจะมีแกลบประมาณ 22.5% - 25.2% โดยน้ำหนัก และถ้าเผาแกลบจำนวน 4 กิโลกรัมจนเป็นเถ้าห่มจะได้เถ้าประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ในปริมาณมาก จากสถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2540 – 2541 พบว่าไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 64 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวประมาณ 23 ล้านตัน และได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 4.7 ล้านตันต่อปี (ศูนย์สารสนเทศ, 2542) แสดงให้เห็นว่าในแต่ละปีมีแกลบเกิดขึ้นในปริมาณมาก แกลบส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสี นอกนั้นใช้เผาอิฐ เคี้ยวน้ำตาล หรือไม่ก็เผาทิ้งไป ดังนั้นในปีหนึ่งๆ จะมีเถ้าแกลบไม่น้อยที่ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

ประเภทของเถ้าแกลบ

ลักษณะ และคุณสมบัติของแกลบ จะแปรตามชนิดของข้าว สภาพดิน และสภาพภูมิอากาศที่ปลูกข้าว โดยจะมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ แกลบเป็นเปลือกข้าวที่ได้จากการสีข้าว มีสีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีทอง มีขนาดยาว 5 – 10 mm. กว้าง 2.5 – 5.0 mm. ความหนาแน่นเฉลี่ย 125 kg./m^3 ส่วนประกอบของแกลบเป็นเซลลูโลสร้อยละ 40 ลิกนินร้อยละ 30 และเถ้าร้อยละ 20 (Chimdaprasirt, 1983) ซึ่งไม่เหมาะที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์

เมื่อนำแกลบมาเผาจะได้เถ้าแกลบ ซึ่งเถ้าแกลบที่เผาได้จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสภาวะที่เผา คือ เถ้าแกลบดำ เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ (ไม่เกิน $1,200^\circ\text{C}$) เช่น ได้จากการเผาแกลบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีข้าว ทำให้มีคาร์บอนเหลืออยู่มาก (5 - 30%) เถ้าแกลบลักษณะนี้นำไปทำสารดูดสี หรือถ่านกัมมันต์ ส่วนเถ้าแกลบเทาได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิไม่เกิน 600°C และเถ้าแกลบขาวได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิสูงและมีอากาศเพียงพอ หรือเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำจนได้สีเทาแล้วค่อยๆ เผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ $1,000^\circ\text{C}$ จนเปลี่ยนเป็นสีขาว เถ้าแกลบชนิดนี้ใช้ทำเป็นวัสดุทนไฟ ซึ่งสามารถทนได้ถึง $1,400^\circ\text{C}$ หรือใช้หลอมทำแก้วแทนทรายขาว หรือใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารประกอบซิลิกาอื่นๆ

เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นพอประมาณ ซิลิกาจะอยู่ในรูปของ amorphous แต่ถ้าได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งจะอยู่ในรูปของ amorphous จำนวนน้อย และจะอยู่ในรูปของ cristobalite มาก ส่วนเถ้าแกลบเทาจะอยู่ในรูปของ amorphous และเถ้าแกลบดำจะอยู่ในรูปของ cristobalite เป็นส่วนมาก จากการหา bulk density เถ้าแกลบขาวจะมี bulk density น้อยกว่าเถ้าแกลบเทา และเถ้าแกลบดำมี bulk density น้อยที่สุด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Bulk density ของเถ้าแกลบชนิดต่างๆ

ชนิด	ลักษณะการเผา	bulk density (กรัม/มล.)
1. เถ้าแกลบขาว	- เผาที่อุณหภูมิสูง	0.5876
	- เผาที่อุณหภูมิต่ำจนได้สีเทาแล้วจึงปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น	0.8126
2. เถ้าแกลบเทา	- เผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส	0.7573
3. เถ้าแกลบดำ	- เผาแกลบจากโรงสีข้าว	0.8837

ที่มา : อนุชิต (2524)

คุณสมบัติทั่วไปของเถ้าแกลบดำ

เถ้าแกลบดำประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) ประมาณ 70 – 95% และมีคาร์บอนประมาณ 5 – 30% ที่เหลือเป็น CaO , MgO , NaO_2 , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ Sulfates โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรงซึ่งทำหน้าที่ในการกรองได้ดี การที่มีถ่านปนอยู่ด้วยจะช่วยให้การฟอกสีและกลั่นได้ด้วย (อนุชิต, 2524) ซิลิกาในเถ้าแกลบแตกต่างกับทรายมากตรงที่เบาและแตกง่ายเพราะเป็นก้อนพรุน

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีของถ้ำเกลบดำ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ				
	David	ชุมพล	กฤษณา	สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ	
	(1972)	(2534)	(2537)	(2540)	(2543)*
1. SiO ₂	86.9 – 97.3	88.33	91.16	88.28	62.176
2. C	-	-	-	6.004	5.23
3. Al ₂ O ₃	-	0.48	0.51	-	-
4. Fe ₂ O ₃	0.0 – 0.54	3.37	0.86	0.049	0.04
5. CaO	0.2 – 1.5	0.52	0.57	2.54	1.42
6. MgO	0.12 – 0.96	0.28	0.24	0.27	0.99
7. SO ₂	-	-	trace	-	-
8. Na ₂ O	0.0 – 1.75	0.15	0.07	0.134	0.38
9. K ₂ O	0.58 – 2.5	2.76	2.88	3.30	15.55
10. Loss of ignition	-	3.71	0.24	-	-
11. Cl ₂	0.0 – 0.42	-	-	-	-
12. MnO ₂	-	-	-	0.225	0.92
13. ZnO	-	-	-	0.005	0.012
14. CuO	-	-	-	0.01	0.002

หมายเหตุ * อยู่ในรูปของธาตุ

ที่มา : อนุชิต (2524)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติและองค์ประกอบของถ้ำเกลบดำ

คุณสมบัติ	ร้อยละ
ความชื้น	8.1 – 11.5
ถ้ำ	16.4 – 18.3
คาร์บอน	19.2 – 20.7
สารระเหย	61.1 – 64.4
กำมะถัน	0.1 – 0.2
เซลลูโลส	42.1 – 46.6
ลิกนิน	22.1 – 22.8
เพนโทแซน	13.9 – 18.3
แป้ง	7.6 – 7.9
เส้นใย	39.1 – 41.1
โปรตีน	1.8 – 1.9
ไขมัน	0.28 – 0.31
พลังงานความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3790 – 4000
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	105 - 107

ที่มา : จดหมายข่าวศูนย์ข้อมูลพลังงานแห่งประเทศไทย ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2527

วิธีการทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญของถ้ำเกลบดำ

ค่าความเป็นกรด – ด่าง เป็นคุณสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งเพราะ การดูดติดผิวของสารบางชนิดเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อมีความเป็นกรด บางอย่างอาจจะเป็นด่างหรือบางอย่างอาจจะเป็นกลาง

วิธีการหาความเป็นกรด – ด่าง ทำได้โดยชั่งถ้ำเกลบดำ 2 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml แล้วอุ่นให้ได้ 90 °C แล้วยกตั้งทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องทำการวัดความเป็นกรด – ด่างด้วยเครื่องมือ Beckman Zeromatic pH meter

ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำได้โดยชั่งตัวอย่างหนัก 2 g อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งอีกครั้ง น้ำที่หายไปคือความชื้นของสารนั้น ความชื้นนี้ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวลดลง

ความหนาแน่นของสารที่มีความพรุน เป็นสิ่งที่แสดงถึงโครงสร้างของคาร์บอน หรือ ถ้าแปลตรงตัวว่ามีความพรุนมากน้อยเพียงใด ถ้ามีความพรุนมากจะมีความหนาแน่นน้อย และถ้ามีความพรุนน้อยก็จะมีค่าความหนาแน่นมาก วิธีการทำได้โดยนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำไปบรรจุขวดที่ใช้หาความหนาแน่น (pycnometer) ขนาด 5 ml ที่รู้น้ำหนักแล้ว และเจาะให้ตัวอย่างอยู่ที่ระดับ 5 ml และนำไปชั่งเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นต่อไป

ปริมาณเถ้า แกลบเมื่อเผาในที่อับอากาศเป็นถ่านแกลบดำแล้ว จะมีส่วนประกอบของ คาร์บอนและซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเผาไล่อากาศออกไปหมดแล้วส่วนที่เหลืออยู่จะเป็นเถ้า ซึ่งส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดจะเป็นซิลิกา วิธีการหาปริมาณเถ้านี้ทำได้โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 2 g เผาที่อุณหภูมิ 600 °C นานประมาณ 15 นาที แล้วเพิ่มความร้อนจนได้ 900 °C อีกประมาณ 15 นาที ส่วนที่เหลือจะเป็นเถ้า

ขนาดของเถ้าแกลบดำ หาได้โดยการร่อนเถ้าแกลบดำผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆ ที่วางเรียงโดยให้ตะแกรงที่มีรูใหญ่กว่าข้างบน และตะแกรงที่มีรูเล็กอยู่ใต้ เมื่อร่อนเถ้าแกลบดำผ่านตะแกรงเรียบร้อยแล้ว

น้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

น้ำมัน และไขมันอาจลอยหรือจมน้ำก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วิธีใช้ วิธีการผลิต และอุณหภูมิของน้ำเสีย แม้แต่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย น้ำมัน และไขมันก็มีกลิ่นที่น่ารังเกียจและชอบจับตัวอยู่บนผนังของถังหรือภาชนะต่างๆ น้ำมันที่ตกตะกอนลงก้นบ่อ หรือสระน้ำ อาจจะไปยับยั้งการย่อยสลายตามปกติของจุลินทรีย์ที่ก้นบ่อได้ นอกจากนี้ น้ำมันและไขมันยังเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และเป็นปัจจัยที่เข้ารบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษจำนวนมากที่ละลายในน้ำมัน ได้ดีกว่าในน้ำ

ประเภทของน้ำมัน และไขมัน

1. ไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา (Light Hydrocarbon) ส่วนใหญ่พบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม น้ำมันประเภทนี้ได้แก่น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันเครื่องบิน รวมทั้งตัวทำละลายต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม เช่น คลอโรฟอร์ม (Choloroform) เฮกเซน (Hexane) เป็นต้น ไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาในน้ำเสียอาจทำให้การกำจัดไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักทำได้ยากขึ้น

2. ไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก (Heavy Hydrocarbon) น้ำมันและไขมันชนิดนี้ประกอบด้วย น้ำดิบ น้ำมันดีเซล Slop Oil รวมทั้งน้ำมันแอสฟัลท์ที่ใช้ราดถนน

3. น้ำมันหล่อลื่น และ Cutting Fluid น้ำมันชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด อย่างแรกคือ น้ำมันอิสระ เช่น น้ำมันหล่อลื่น และไขมันหล่อลื่นชนิดต่างๆ อย่างที่สอง คือ น้ำมันที่กลายเป็นอิมัลชันได้ (Emulsifiable Oil) เช่น Cutting Oil, Rolling Oil รวมทั้งสบู่และไขมันต่างๆ

4. น้ำมันและไขมันจากพืชและสัตว์ น้ำมันและไขมัน (ในน้ำเสีย) ชนิดนี้มักได้จากกระบวนการผลิตอาหาร และวัสดุธรรมชาติ สารกลุ่มนี้ล้วนเป็นสารประกอบเอสเทอร์ต่างๆ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ และกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic)

เนื่องจากการใช้น้ำมันและไขมันกันอย่างแพร่หลายในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม นานาชนิด จึงมักพบน้ำมันและไขมันในน้ำเสียต่างๆ สถานะน้ำมันและไขมันในน้ำเสียสามารถ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ น้ำมันละลายน้ำ น้ำมันที่อยู่ในรูปของอิมัลชันที่มี Surfactant น้ำมันที่อยู่ใน รูปของอิมัลชันที่ไม่มี Surfactant และน้ำมันเป็นชั้นลอยอยู่เหนือ น้ำ

สถานะของน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

1. น้ำมันละลายน้ำ โดยทั่วไปมักคิดว่าน้ำมันไม่เข้ากับน้ำหรือน้ำมันไม่ละลายน้ำ แท้ที่จริง แล้วน้ำมันสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติประจำตัว ของน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ง่าย มักมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และละลายน้ำได้ดี ส่วนโมเลกุล ที่ไม่อมตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนเบนซีน จะละลายน้ำได้ดี อาจสรุปได้ว่า ไฮโดรคาร์บอนที่มีโพลาริตีสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะละลายน้ำได้ดี ส่วนน้ำมันที่ละลายน้ำมัก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่อาจรู้ได้ด้วยการดมหรือชิม นอกจากนี้มักพบว่าน้ำมันละลายน้ำมักเป็น พิษ และเป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง

2. น้ำมันลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม) น้ำมัน หรือไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่มักมีความหนา แน่นต่ำกว่าน้ำ จึงเป็นเรื่องปกติที่จะพบว่าลอยอยู่บนผิวน้ำเป็นฝ้าหรือเป็นฟิล์ม ซึ่งขวางกั้นการ ถ่ายเทออกซิเจนหรือแสง น้ำมันปริมาณเล็กน้อยก็สามารถสร้างฟิล์มปิดพื้นที่ผิวน้ำได้มากมาย เนื่องจากฟิล์มเหล่านี้มักเป็นโมเลกุลเดี่ยว โดยเฉพาะน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ

3. น้ำมันที่อยู่ในรูปของอิมัลชัน เป็นน้ำมันที่อยู่ในรูปอนุภาคขนาดเล็กคล้ายคอลลอยด์ ดังนั้นจึงมองเห็นเป็นความขุ่นในน้ำ น้ำมันละลายน้ำหรือลอยน้ำอาจกลายเป็นอิมัลชันได้เมื่อถูก กระทำด้วยแรงภายนอก เช่น ถูกบดอัด (เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันถูกสูบด้วยเครื่องสูบลอยโข่ง) เป็นต้น ขนาดเม็ดน้ำมันมีตั้งแต่เล็กกว่า 20 ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ประเภทของไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนที่มีแรงดึงดูดสูงจะมีขนาดใหญ่ ส่วนเม็ดน้ำมันขนาด เล็กจะเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีแรงดึงดูดต่ำ

ในกระบวนการกลั่นน้ำมัน จะพบได้น้ำมันอิสระและน้ำมันอิมัลชัน ยกตัวอย่างเช่น ใน กระบวนการกำจัดสารละลายเกลือแร่ออกจากน้ำมันดิบ (Crude Oil Desalting) จะต้องล้างน้ำมันดิบ ด้วยน้ำ (ประมาณ 5% ของน้ำมัน) และมีการกวนผสมกัน เป็นผลให้เกิดอิมัลชันในน้ำที่ใช้ล้าง น้ำ

เสียที่เกิดขึ้นมีน้ำมันอิสระที่ต้องกำจัดทิ้ง หรือการกลั่นแบบใช้ไอน้ำ น้ำควบแน่นที่เกิดขึ้นเป็นน้ำเสียที่มีอิสระที่เกิดขึ้นจากความร้อน เมื่อน้ำมันมีขนาดเล็กมากเพียงไม่กี่ไมครอน และมีสีขาวขุ่น คล้ายสีนํ้านม สำหรับการกลั่นซึ่งใช้วิธีการลดความดันด้วยการฉีดไอน้ำผ่าน Ejector จะพบน้ำมันที่ระเหยง่ายผสมออกมากับไอน้ำ ส่วนน้ำเสียที่มีน้ำมันอิสระ (น้ำมันละลายเป็นฟิล์มน้ำมัน) เกิดจากการระบายน้ำทิ้งจากถังถึงน้ำมันดิบ น้ำอับเฉาเรือขนน้ำมัน เป็นต้น

ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท มีการใช้สารซักฟอกหรือ Surfactant ในงานชำระล้างน้ำมันหรืองานอื่นๆ ลักษณะของน้ำมันที่พบในน้ำจึงอาจมี Surfactant ละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันอิสระชนิดนี้เป็นน้ำมันที่มีความคงตัวมาก ทำให้แยกออกจากน้ำเสียได้ยาก สาเหตุที่อิสระชนิดนี้มีความคงตัวมากคือ สารซักฟอกทำให้เมื่อน้ำมันมีประจุชนิดเดียวกัน (อาจเป็น + หรือ - ก็ได้) และลดแรงดึงดูดของเมื่อน้ำมัน ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กมาก (มักเล็กกว่า 20 ไมครอน)

การแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

การแยกน้ำมันและไขมันในน้ำเสียมีหลายกระบวนการที่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีการแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพการผสมกันระหว่างน้ำมันกับน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาคูณลักษณะของอนุภาคน้ำมันในน้ำเสียก่อนที่จะตัดสินใจเลือกกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม ซึ่งหลักการพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบกระบวนการการแยกน้ำมันกับน้ำ ได้แก่ (Curbitt, 1998) ปริมาณน้ำมันในน้ำเสีย ขนาดของหยดน้ำมันเล็กๆ ที่แพร่กระจาย การใช้สารลดแรงดึงดูด หรือสารอิมัลซิฟายเออร์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน ความถ่วงจำเพาะของน้ำเสีย อุณหภูมิของน้ำเสีย และความของแข็งแขวนลอย เป็นต้น

กระบวนการแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสีย แต่ละวิธีต่างมีข้อดีและข้อเสีย ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การแยกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Separation) และการแยกโดยใช้อากาศลอยตัว (Air Floatation)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบกระบวนการแยกน้ำมันและไขมัน

กระบวนการ	ชนิดระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
การแยกด้วย แรงโน้มถ่วง	API,	- กำจัด SS ได้	- กำจัดน้ำมันที่เป็นอิมัลชันได้ไม่ดี
	CPI, TPS และ PPI	- กำจัดน้ำมันอิสระและ น้ำมันที่แพร่กระจาย ในน้ำได้ - ใช้งาน ประหยัด	- กำจัดน้ำมันที่ละลายน้ำไม่ได้ - ใช้ได้เฉพาะกับน้ำมันที่มีขนาด หยดใหญ่กว่า 20 ไมครอน - ต้องกำจัดตะกอนทางเคมีที่เกิดขึ้น
การลอยตัว ด้วยอากาศ	DAF	- กำจัด SS ได้	- ต้องกำจัดตะกอนทางเคมีที่เกิดขึ้น
	และ IAF	- กำจัดน้ำมันที่แพร่ กระจายในน้ำและที่ เป็นอิมัลชัน ได้ โดย การใช้สาเคมี - ทำงานได้ในสภาวะ Shock loads	
Chemical flocculation	การแยก ด้วยแรง โน้มถ่วงกับ ลอยตัวด้วย อากาศ	- กำจัดน้ำเสียที่มี SS สูงได้	- ต้องกำจัดตะกอนทางเคมีที่เกิดขึ้น
การกรอง	ทราย	- กำจัด SS ได้	- ต้องทำการล้างย้อน ซึ่งก่อให้เกิด ปัญหาจากน้ำหลังจากล้างย้อน
	แกรไฟต์ Anthracite, Multimedia	- กำจัดน้ำมันอิสระที่ เป็น อิมัลชัน และน้ำ มันที่แพร่กระจายใน น้ำได้	
กระบวนการ ทางชีวภาพ	Activated Sludge RBC	- สามารถกำจัดน้ำมันที่ ละลายน้ำได้	- ต้องบำบัดเบื้องต้นให้มีน้ำมันน้อย กว่า 40 มล./ล.

ที่มา : Corbitt (1998)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบกระบวนการแยกน้ำมันและไขมัน (ต่อ)

กระบวนการ	ชนิดระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
Colecence	Fibrous media	- กำจัดน้ำมันได้ทุก ลักษณะขกเว้นละลาย น้ำ	- ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มี SS สูง - ส่งผลเสียต่อระบบชีวภาพ - ต้องมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน
Membrane process	Reverse osmosis, Ultrafiltration, Hyperfiltration	- กำจัดน้ำมันได้ทุก ลักษณะรวมทั้งที่ ละลายในน้ำ	- ต้องมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน - ค่าใช้จ่ายมาก - มีระยะเวลาที่ต้องเปลี่ยนคาร์บอน
การดูดซึม ด้วยถ่าน คาร์บอน	คาร์บอนผง คาร์บอนเกร็ด	- กำจัดน้ำมันได้ทุก ลักษณะรวมทั้งที่ ละลายในน้ำ	- ต้องมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน - ค่าใช้จ่ายมาก - มีระยะเวลาที่ต้องเปลี่ยนคาร์บอน

ที่มา: Corbitt (1998)

น้ำมันและไขมันที่ปรากฏในน้ำเสียเป็นหยดเล็กๆ หรือไม่รวมตัวกับน้ำมันเรียกว่าอิสระ (Free Oil) ซึ่งมันจะละลายอยู่ที่ผิวน้ำ เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ น้ำมันอิสระนี้จะมีแรงกระทำกับหยदन้ำมันดังกล่าว 3 ชนิด ได้แก่ แรงลอยตัว (Buoyant force) แรงเสียดทาน (Drag force) และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) แรงลอยตัวและแรงเสียดทานของหยदन้ำมันจะเป็นสัดส่วนพอดิ กับปริมาตรและพื้นที่หน้าตัดของหยदन้ำมันตามลำดับ โดยเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหยदन้ำมันลดลง อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวของหยदन้ำมันก็จะลดลงเช่นกัน เนื่องจากความสัมพันธ์ของขนาดหยदन้ำมัน ซึ่งถ้าขนาดหยดใหญ่ก็จะมีโอกาสลอยขึ้นไปมากกว่าน้ำมันที่มีขนาดหยดเล็กที่มักจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ ความสัมพันธ์ลักษณะนี้เรียกว่า “กฎของสโตค” (Stoke’ Law)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น TB 244 Denver Instrument)
2. จานระเหย (Evaporating Dish)
3. ตู้อบความร้อน $25^{\circ} - 180^{\circ}\text{C}$ (Drying Oven รุ่น Memmert)
4. เครื่องอังไอน้ำ (Steam bath or water bath รุ่น BMB Heto Lab Equipment)
5. เครื่องดูดความชื้น (Desiccators รุ่น Dry Keep Sanplatec Corp)
6. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/c) เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 cm..
7. ชุดกรองสุญญากาศ
8. เตาเผา (muffle furnace Carbolite รุ่น Control)
9. เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส (pH meter รุ่น 215 Denver Instrument)
10. เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)
11. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter รุ่น 2100 An Hach)
12. ชุด Titration
13. หลอดย่อยสลาย (digestion vessel) ขนาด 20 * 150 mm.
14. เครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test รุ่น FUU 1 Stuart Scientific))
15. อุปกรณ์วิเคราะห์ Grease and Oil โดยวิธี Soxlet extraction apparatus
16. กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
17. เตาไฟฟ้าที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ (Electromantal ME)

วิธีการทดลอง

1. น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นน้ำที่จับสารปนเปื้อนในก๊าซร้อน จากเตาเผาเคลือบ โดยระบบสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร

2. สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนเคมี

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ จีเถ้าแกลบ ซึ่งได้จากเตาเผาแกลบของโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง) และสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการปรับค่าพีเอช ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 5 %v/v และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

3. วิธีการทดลอง

3.1 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างจากระบบสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ โดยวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ Standard Method for Examination of Water and Wastewater (20th ed, 1998 American Water Work Association) แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
pH	pH Meter
Temperature	Thermometer
Turbidity	Turbid Meter
SS	2540 D. Total Suspended Solid dried at 103 – 105 ^o C
TS	2540 B. Total Solids Dried at 103 – 105 ^o C
TVS	2540 E. Fixed and Volatile Solid Ignited at 550 ^o C
COD	5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method
Grease and Oil	5520 C. Soxhlet Extraction Method
Alkalinity	2320 B. Titration Method

3.2 ทดสอบการตกตะกอน ตามสภาวะเดิมที่โรงสีใช้อยู่ คือไม่ใช้สารเคมีในการสร้างตะกอน โดยใช้จาร์เทสต์ (Jar Test) ทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่ความเร็วรอบในการกวนเร็ว เท่ากับ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าเท่ากับ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และตกตะกอน 60 นาที และทั้งนี้พิจารณาการสร้างตะกอนโดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ Turbidity, SS, TS และ

TVS ส่วนการวิเคราะห์ Grease and Oil และCOD ใช้เป็นพารามิเตอร์ในการพิจารณาความสามารถในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน

3.3 ทดสอบการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีในการสร้างตะกอนตะกอน ซึ่งใช้วิธีจาร์เทสต์ (Jar Test) ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ความเร็วรอบในการกวนเร็ว เท่ากับ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าเท่ากับ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และตกตะกอน 60 นาที ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาการสร้างตะกอน และประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันเหมือนกับขั้นตอนข้างต้น โดยมีสารสร้างตะกอน ได้แก่ สารส้ม จีเถ้าแกลบ และใช้สารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ ตามลำดับซึ่งมีวิธีการหลักๆ ดังนี้

3.3.1 สารส้ม

ก. ศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ที่พีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง และใช้ปริมาณสารส้ม เท่ากับ 20, 50, 80, 110, 140 และ 170 mg/l

ข. ศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น และปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9

ค. ศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ที่พีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น ซึ่งในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณสารส้ม เท่ากับ 80, 90, 100, 110, และ 120 mg/l

3.3.2 จีเถ้าแกลบ

ก. ศึกษาปริมาณจีเถ้าแกลบที่เหมาะสม ที่พีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง ซึ่งในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณจีเถ้าแกลบ เท่ากับ 5, 10, 15, 20, และ 25 g/l

ข. ศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้จีเถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน ซึ่งในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณจีเถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น โดยปรับพีเอช เท่ากับ 6, 7, 8, 9 และ 10

3.3.3 สารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ

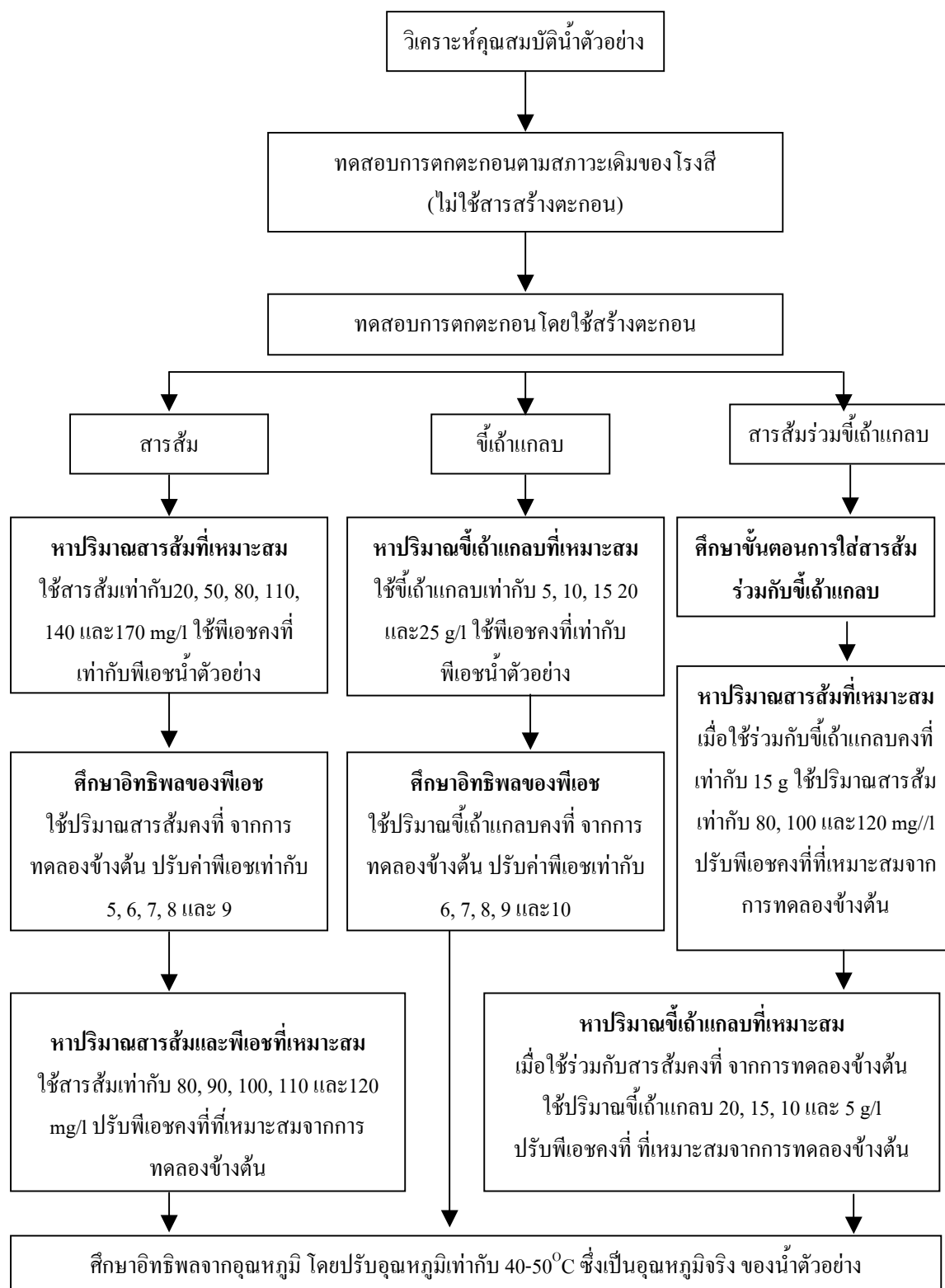
ก. ศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เมื่อปริมาณจีเถ้าแกลบคงที่ ซึ่งวัตถุประสงค์อย่างแรกของการทดลองในขั้นตอนนี้ คือศึกษาขั้นตอนการใส่สารสร้างตะกอนระหว่างสารส้ม กับจีเถ้าแกลบ ต่อมาศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน และสุดท้ายศึกษาการกำจัดปริมาณน้ำมันและไขมัน ซึ่งเลือกอัตราการกวนเร็วที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อผสมสารทั้งสอง โดยเริ่มจากใส่สารส้มก่อนแล้วตามด้วยจีเถ้าแกลบ เป็นชุดที่หนึ่งดังนี้ 120, 100 และ 80 mg/l ร่วมกับจีเถ้าแกลบคงที่เท่ากับ 15 g/l และชุดสองใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนในปริมาณเท่าเดิม แต่ใส่จีเถ้าแกลบก่อนแล้วตามด้วยสารส้ม อย่างไรก็ตามทั้งสองชุดนี้ ยังคงปรับพีเอชให้คงที่ เท่ากับ 7 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น

ข. ศึกษาปริมาณจีเถ้าแกลบที่เหมาะสม เมื่อใช้ปริมาณสารส้มคงที่ ซึ่งในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากขั้นตอนข้างต้น คือ 120 mg/l และปรับปริมาณจีเถ้าแกลบเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 g/l

3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ โดยการปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นจากอุณหภูมิ 27°C เป็น 40° – 50°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิเดิมของน้ำตัวอย่างซึ่งในขั้นตอนนี้เลือกใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม และพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นทั้งหมดของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด ได้แก่ สารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l ที่พีเอชเท่ากับ 7 สารสร้างตะกอนต่อมาคือจีเถ้าแกลบ มีปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 15 g/l ที่พีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 10 และสารสร้างตะกอนสุดท้ายคือใช้สารส้มเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับจีเถ้าแกลบ 15 g/l ที่พีเอชเท่ากับ 7 ทั้งนี้แผนการทดลองดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 21

4. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ในการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน และระยะเวลาทำการวิจัย ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ถึง เดือน กันยายน พ.ศ. 254



ภาพที่ 20 แผนผังแสดงการดำเนินการทดลอง

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาตั้งแต่คุณภาพน้ำของน้ำเสีย และหาแนวทางบำบัดน้ำ เพื่อสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) โดยเสนอแนะให้ปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิม ซึ่งใช้จาร์ทดสอบทดลองในห้องปฏิบัติการ ร่วมกับการพยายามใช้ของเสียที่เกิดในโรงสีคือ ขี้เถ้าแกลบ ซึ่งจะทำให้ได้ประโยชน์ทั้งทางด้านประหยัดค่าจัดสร้างระบบ ต้นทุนสารสร้างตะกอน และค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย โดยผลการศึกษา มีดังนี้

1. ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ

น้ำตัวอย่าง เป็นน้ำที่จับสารปนเปื้อนในก๊าซร้อน จากเตาเผาแกลบ โดยเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของโรงสีร่วมเจริญสอง อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร โดยเก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่าง ดังตารางที่ 9

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำตัวอย่างในตารางที่ 8 พบว่าน้ำตัวอย่างมีสีเข้ม เนื่องจากมีความขุ่นสูงถึง 1,540 mg/l และมีการปนเปื้อนของของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 1,895 mg/l โดยพบในรูปของของแข็งแขวนลอยต่ำ คิดเป็นร้อยละ 8 ของของแข็งทั้งหมด และอยู่ในรูปของของแข็งละลาย คิดเป็นร้อยละ 92 ของของแข็งทั้งหมด ในขณะเดียวกันค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างยังมีค่าสูงเท่ากับ 7,566 mg/l ซึ่งบ่งชี้ให้ทราบว่าน้ำตัวอย่างมีสารอินทรีย์สูงมาก เนื่องจากสภาวะการเผาไหม้ของเตาเผา เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีฝุ่นละอองในปริมาณสูง ปนเปื้อนมาในน้ำทิ้งจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ซึ่งเมื่อไม่มีกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม และนำกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก ในลักษณะหมุนเวียนน้ำ ก็จะได้น้ำที่มีคุณภาพต่ำ ไม่มีประสิทธิภาพในการดักจับสิ่งปนเปื้อน นอกจากการปนเปื้อนในรูปของแข็งแล้ว ยังพบการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันเท่ากับ 824 mg/l โดยพบในรูปของฟิล์มลอยอยู่บนผิวน้ำ และในรูปของอิมัลชันซึ่งมองเห็นเป็นความขุ่นของน้ำ จึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้มีสีเข้ม

ตารางที่ 8 ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกของเตาเผาเคลือบ

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย	ช่วง*	ค่าเฉลี่ย*
อุณหภูมิ (°C)	40 – 50	55
พีเอช	7.25 – 8.25	7.93
ความขุ่น (NTU)	1,431 – 1,650	1,540
ของแข็งแขวนลอย (mg/l)	147 - 162	155
ของแข็งทั้งหมด (mg/l)	1,804 – 1,974	1,895
ของแข็งระเหยได้ (mg/l)	1,058 – 1,263	1,156
ของแข็งละลาย (mg/l)	1,657 – 1,812	1,740
ของแข็งคงตัว (mg/l)	686 - 800	739
ความเป็นด่าง (mg/l)	750 – 900	833
ซีโอดี (mg/l)	7,007 – 8,157	7,566
น้ำมันและไขมัน (mg/l)	810 - 838	824

หมายเหตุ * ช่วง และค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ได้จากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 4 พ.ค. 2548 เวลา 14.30 น. ครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 22 พ.ค. 2548 เวลา 10.15 น. ครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 15 มิ.ย. 2548 เวลา 10.20 น. และ 14.20 น.

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำของโรงสีที่มีอยู่เดิม เป็นระบบตกตะกอนเคมี โดยไม่มีการใช้สารสร้างตะกอน ประกอบกับคุณลักษณะของน้ำตัวอย่างข้างต้น จึงได้เลือกศึกษาวิธีการตกตะกอนเคมี เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำของโรงสี ด้วยเหตุผลสำคัญ อย่างแรกคือใช้ระบบตกตะกอนที่มีอยู่เดิมของโรงสีมาปรับปรุงคุณภาพน้ำ อย่างที่สองคือ น้ำตัวอย่างมีความขุ่นสูง จึงทำให้ใช้สารส้มในปริมาณต่ำ ก็เพียงพอแล้วแก่การตกตะกอน อย่างที่สามคือ น้ำตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ที่อยู่ในรูปของฟิล์มลอยอยู่บนผิวน้ำ และในรูปของอิมัลชันซึ่งมองเห็นเป็นความขุ่นของน้ำนั้น เหมาะสำหรับการใช้ขี้เถ้าเคลือบ เพราะขี้เถ้าเคลือบตรงส่วนที่ลอยน้ำ มีคุณสมบัติในการดูดซับไขมัน ทำให้สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันได้ดี และบางส่วนสามารถตกตะกอนปริมาณน้ำมันและไขมันลงสู่ด้านล่างได้ดี มั่นสิน (2538) และอย่างสุดท้ายคือ น้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้เร็ว และความหนืดของน้ำต่ำ ทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นได้ดี

2. ผลการตกตะกอนตามสถานะเดิมของโรงสี (ไม่ใช่สารสร้างตะกอน)

การทดลองในขั้นตอนนี้ เลือกใช้จาร์เทสต์ (Jar Test) ทดลองในห้องปฏิบัติการ ตามสถานะเดิมของโรงสี (ไม่ใช่สารสร้างตะกอน) และทดลองที่ความเร็วรอบในการกวนเร็วเท่ากับ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าเท่ากับ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และตกตะกอน 60 นาที เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดเปรียบเทียบกับน้ำตัวอย่างก่อนเข้าระบบบำบัด ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดลองเดินระบบโดยไม่ใช้สารเคมี

Replic ations	Waste Water	pH	Turbidity (NTU)	Temp. (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil (mg/l)
1	Raw	8.00	1539	27	145.0	1978	1351	7692	860
	Treated	8.00	1528	27	142.5	1962	1343	7484	835
2	Raw	7.80	1456	27	140.0	1950	1306	6899	814
	Treated	7.80	1483	27	154.0	2007	1365	6970	841
3	Raw	8.00	1474	27	147.0	1969	1421	6532	809
	Treated	8.00	1454	27	142.0	1901	1432	7100	797
Avg.	Raw	7.93	1489.67	27	144.0	1965	1359	7041	827
	Treated	7.93	1488.33	27	146.1	1956	1380	7184	824

ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดเดิมที่โรงสีใช้ เมื่อเปรียบเทียบน้ำดิบจากเครื่องสัมผัสแบบเปียกกับน้ำที่ผ่านการบำบัด พบว่าการตกตะกอนตามสถานะเดิมของโรงสี (ไม่ใช่สารสร้างตะกอน) นั้น ไม่มีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำตัวอย่าง เนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ของน้ำดิบและน้ำที่ผ่านบำบัดแล้ว มีค่าใกล้เคียงกัน

3. ผลการตกตะกอนโดยใช้สารสร้างตะกอน

3.1 สารส้ม

สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูก และให้ผลดีในการตกตะกอนเคมี ซึ่งจากรายงานของกรมศร (2545) พบว่าสามารถตกตะกอนปริมาณน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 89.1 เมื่อใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับโพลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุในปริมาณ 0.4 mg/l ที่พีเอชเท่ากับ 7 อย่างไรก็ตามทางโรงสี ไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีหลายชนิด และมันสิน (2538) แนะนำว่า จากคุณลักษณะน้ำตัวอย่างที่มีความขุ่นสูง และมีความเป็นด่างสูงนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้สารช่วยสารตะกอน หรือสารต่างอื่นๆ เข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับน้ำตัวอย่าง ซึ่งการเลือกใช้สารส้มเพียงชนิดเดียวมาทดลอง ก็เพียงพอแก่การตกตะกอน โดยมีขั้นตอนการทดลอง 3 ขั้นตอน ดังนี้

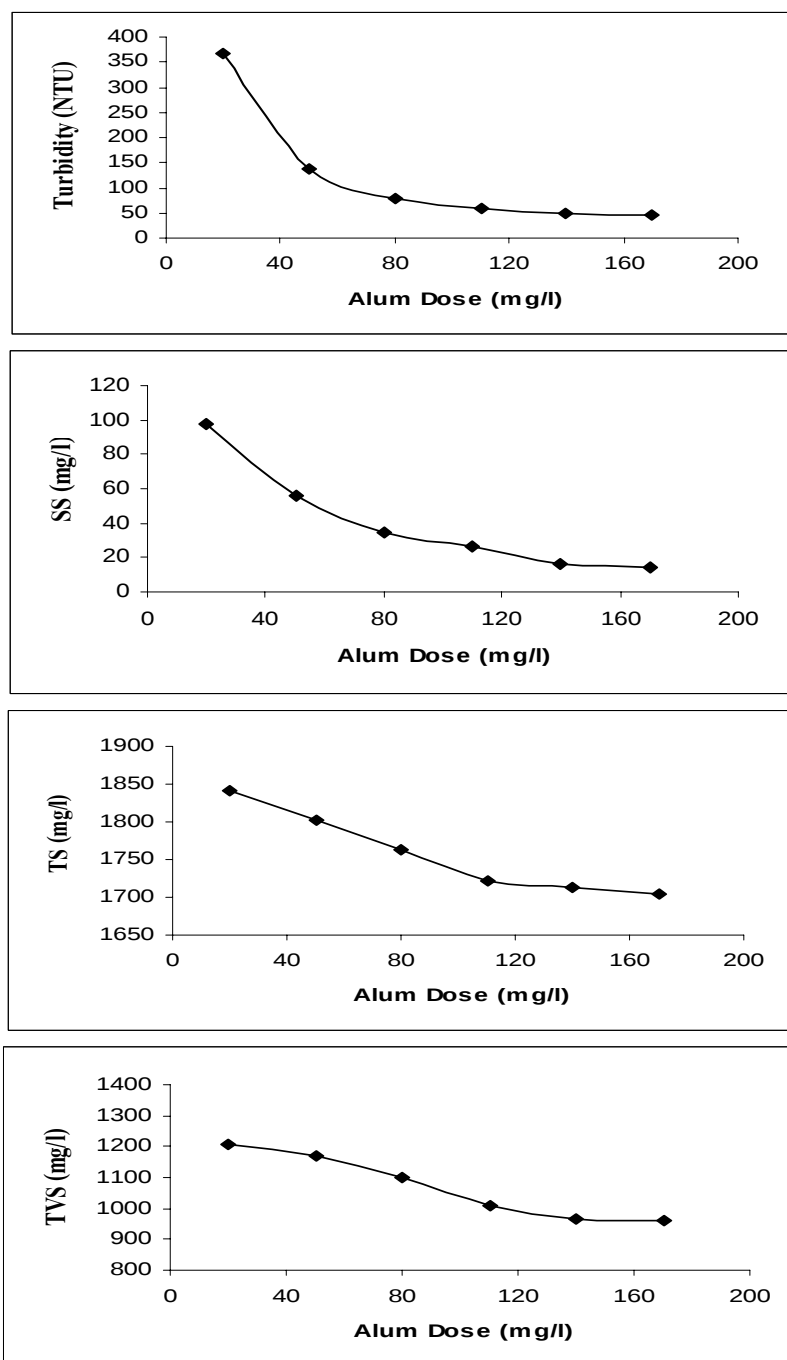
3.1.1 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ที่พีเอช (pH) ของน้ำตัวอย่างจากโรงสี

ในขั้นตอนการทดลองนี้ แปรผันปริมาณสารส้ม เท่ากับ 20, 50, 80, 110, 140 และ 170 mg/l ที่พีเอชเท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง เพื่อศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

ก. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน

จากการทดลองบำบัดน้ำตัวอย่าง ด้วยการตกตะกอนด้วยสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ ในภาพที่ 21 พบว่าในน้ำที่ผ่านการตกตะกอนจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ (TVS) ลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับความขุ่น (Turbidity) โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสม คือ 100 – 150 mg/l ซึ่งสามารถลดความขุ่นจาก 1,539 NTU เหลือน้อยกว่า 60 NTU และของแข็งแขวนลอย จาก 145 mg/l เหลือน้อยกว่า 35 mg/l และทั้งสองคิดเป็นร้อยละการบำบัดได้มากกว่า 80 ทั้งนี้ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารละลายนั้นถูกบำบัดเพียงเล็กน้อย คือประมาณร้อยละ 12 และร้อยละ 25 เนื่องจากการตกตะกอนด้วยสารส้ม ไม่สามารถจับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่ละลายน้ำ

ให้ตกตะกอนได้ จึงยังคงมีสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ที่ละลายน้ำอีกมาก ที่ไม่สามารถบำบัด โดยการตกตะกอน

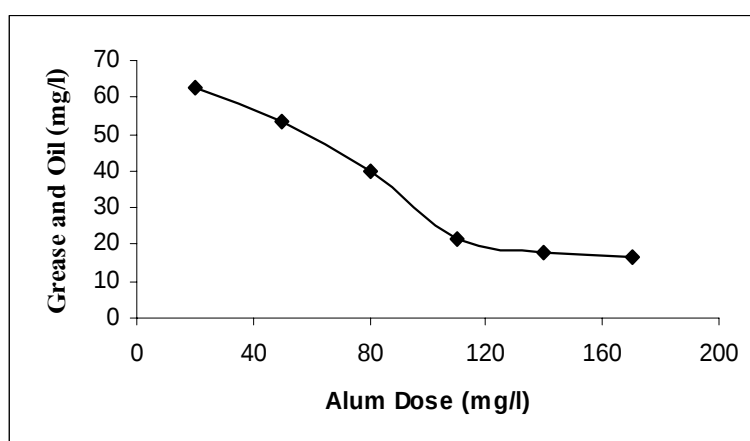


ภาพที่ 21 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

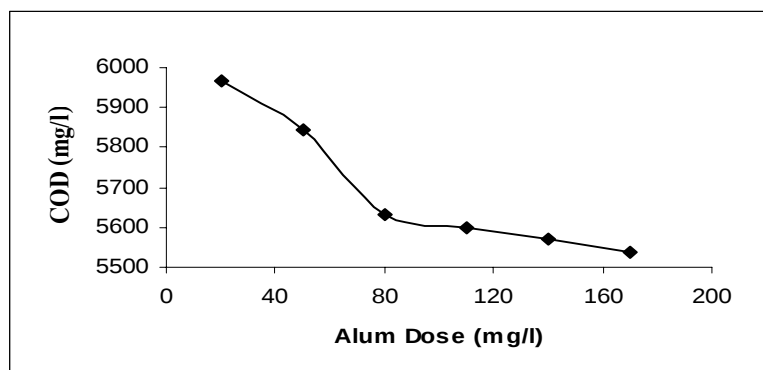
ข. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

เนื่องจากในน้ำเสียจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) มีปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) สูง ดังนั้นน้ำมันและไขมัน จึงเป็นพารามิเตอร์หลักที่ใช้ศึกษา ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาพที่ 22

จากการทดลองพบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 110 – 130 mg/l ซึ่งสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) จาก 820 mg/l เหลือ 20 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 97.56 โดยที่น้ำตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันและไขมันบางส่วน อยู่ในรูปของอิมัลชันซึ่งมองเห็นเป็นความขุ่น จึงทำให้น้ำมีสีเข้ม ม่นสีน (2545) ประกอบกับน้ำตัวอย่างนั้นมีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำ จึงเป็นการบ่งบอกว่า คอลลอยด์ที่มองเห็นนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำมันและไขมัน ดังนั้นจากการใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในช่วง 110 -130 mg/l นั้นเพียงพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation) ซึ่งสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ และกวาดอนุภาคน้ำมันและไขมันลงด้านล่างได้ นอกจากสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันข้างต้น แล้วยังสามารถบำบัดค่า COD ได้มากกว่าร้อยละ 27.20 ผลการบำบัดดังแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 22 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน



ภาพที่ 23 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

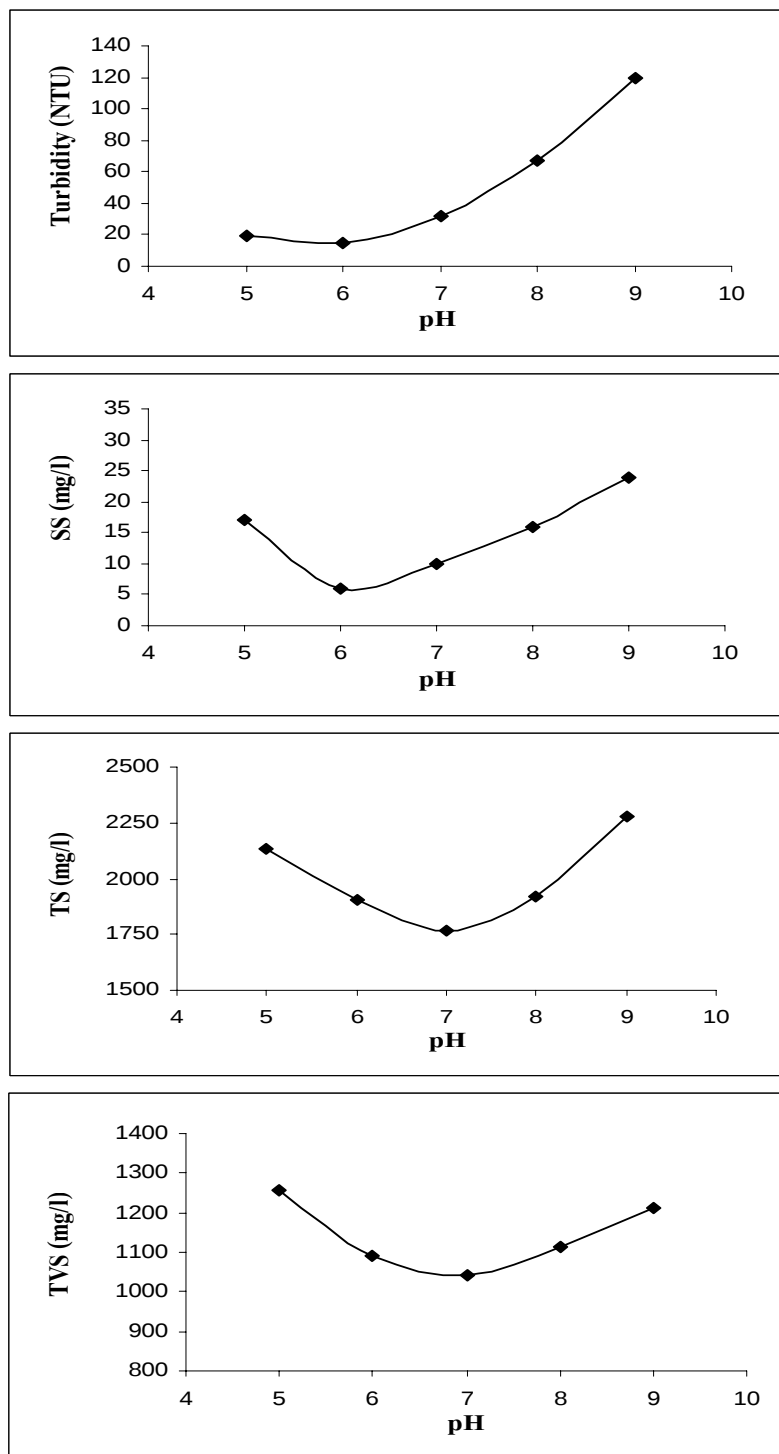
3.1.2 อิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

ในขั้นตอนการทดลองนี้ แปรผันเลือกใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.1.1 ข้างต้น คือ 120 mg/l โดยปรับค่าพีเอชเท่ากับ 5, 6, 7, 8 และ 9 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอชที่มีผลต่อการตกตะกอนของสารส้ม และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน

ก. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน

จากการทดลองพบว่า พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6 – 7 พิจารณาจากแนวโน้มของกราฟทั้ง 4 มีทิศทางสอดคล้องกันในลักษณะคล้ายระฆังหงาย (ในภาพที่ 24) ซึ่งแสดงระดับค่าพีเอชที่เหมาะสมได้อย่างชัดเจนที่จุดต่ำสุดของเส้นกราฟ และสามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) จาก 1,456 NTU เหลือ 15 NTU และของแข็งแขวนลอย (SS) จาก 140 mg/l เหลือ 6 mg/l โดยค่าทั้งสองคิดเป็นร้อยละการบำบัดได้มากกว่า 90 และพิจารณาค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และค่าของแข็งระเหยได้ (TVS) พบว่าสามารถบำบัดได้ร้อยละ 9 และ 20 ตามลำดับ เป็นเพราะสารส้มที่ใช้มีปริมาณมากเกินไปจนเกิด $Al(OH)_3$ เข้าห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ และตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation) เมื่อพิจารณาพีเอชในช่วงต่ำ ๆ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงเนื่องจาก มั่นสิน (2538) กล่าวว่า ival กลไกของสารส้มเมื่อสารส้มละลายน้ำจะแตกตัวได้ Al^{+3} เพิ่มขึ้นที่พีเอชต่ำๆ ซึ่งสภาวะของ Al^{+3} มากๆ จะไม่ดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์ เหมือนกับ อีออนคอมเพล็กซ์อื่นๆ ที่มีประจุน้อยกว่าแต่สามารถดูดซับผิวอนุภาคได้ ส่วนพีเอชในช่วงสูงๆ จะเกิดสาร

ประกอบที่มีประจุลบจำนวนมาก ซึ่งไม่มีประโยชน์ในการสร้างตะกอนให้กับคอลลอยด์ที่มีประจุลบเหมือนกัน



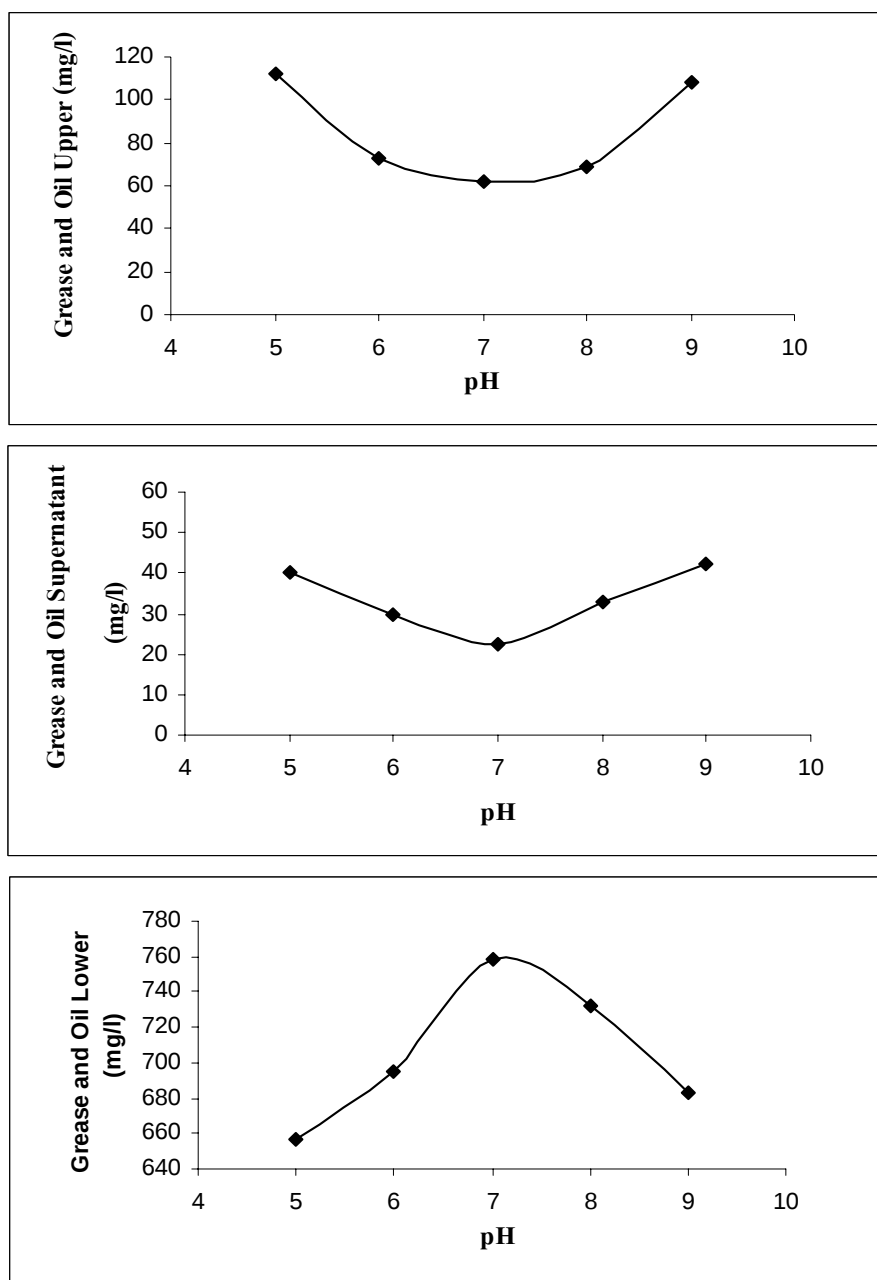
ภาพที่ 24 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช

ข. พีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) นี้ จะเก็บตัวอย่างจาก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เพื่อพิจารณาแนวโน้มการแยกส่วนของปริมาณน้ำมันและไขมัน ที่เหลือในน้ำ ทั้ง 3 บริเวณ หลังการตกตะกอน

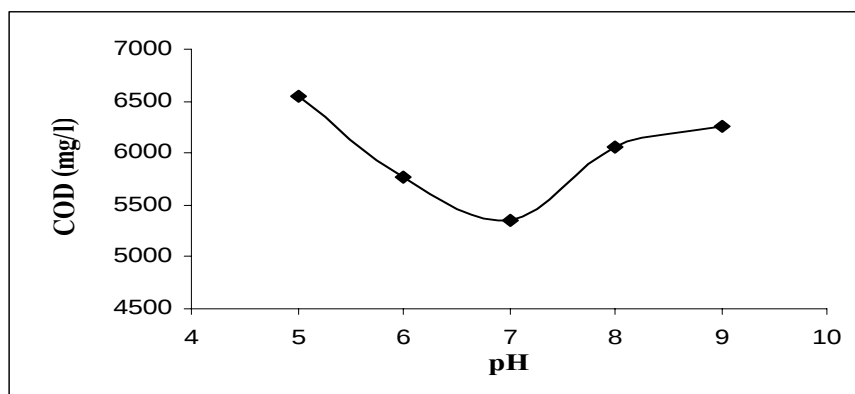
จากปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ในภาพที่ 25 พบว่าระดับค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอชเท่ากับ 7 สามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) จาก 814 mg/l เหลือ 23 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 97.24 โดยพิจารณากราฟส่วนน้ำใส (Supernatant) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันเหลือต่ำที่สุด จึงเป็นส่วนที่แนะนำให้ใช้น้ำที่บำบัดแล้วออกตรงส่วนนี้ ประกอบกับแนวโน้มของกราฟเป็นไปในลักษณะคล้ายระฆังหงาย ซึ่งเป็นการแสดงจุดที่เหมาะสมได้ชัดเจนที่สุดจุดนั่นเอง และช่วงพีเอชที่เหมาะสมนี้ จะทำให้สารส้มแตกตัวได้ดี และเกิดประจุบวกในปริมาณที่สามารถบำบัดน้ำมันและไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ที่ผ่านการบำบัด ทั้ง 3 ส่วน ในภาพที่ 25 พบว่า ณ สภาวะที่ดีที่สุดของการตกตะกอนด้วยสารส้ม คือ พีเอชเท่ากับ 7 นั้น มีปริมาณน้ำมันและไขมันต่ำที่สุดอยู่ตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) ในขณะที่ ตรงส่วนบน (Upper) มีปริมาณน้ำมันและไขมันเหลือค้ำสูงกว่า โดยที่ปริมาณน้ำมันและไขมันส่วนใหญ่จะไปสะสมตัวเพิ่มปริมาณอยู่ด้านล่าง (Lower) ทั้งนี้สามารถคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของ ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือค้ำในแต่ส่วนได้ดังนี้ ส่วนน้ำใสต่อส่วนบนต่อส่วนด้านล่าง ได้เท่ากับร้อยละ 10 ต่อ 5 ต่อ 85 ตามลำดับ



ภาพที่ 25 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช

นอกจากมีผลต่อการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) แล้ว ฟิเอชยังมีผลต่อการบำบัดค่า COD โดยพบว่าสภาวะที่ฟิเอชเหมาะสม คือ ฟิเอชเท่ากับ 7 นั้นสามารถบำบัดค่า COD จาก 6,899 mg/l เหลือ 5,350 mg/l เท่ากับถูกบำบัดไปได้ร้อยละ 22.45 ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของฟิเอช

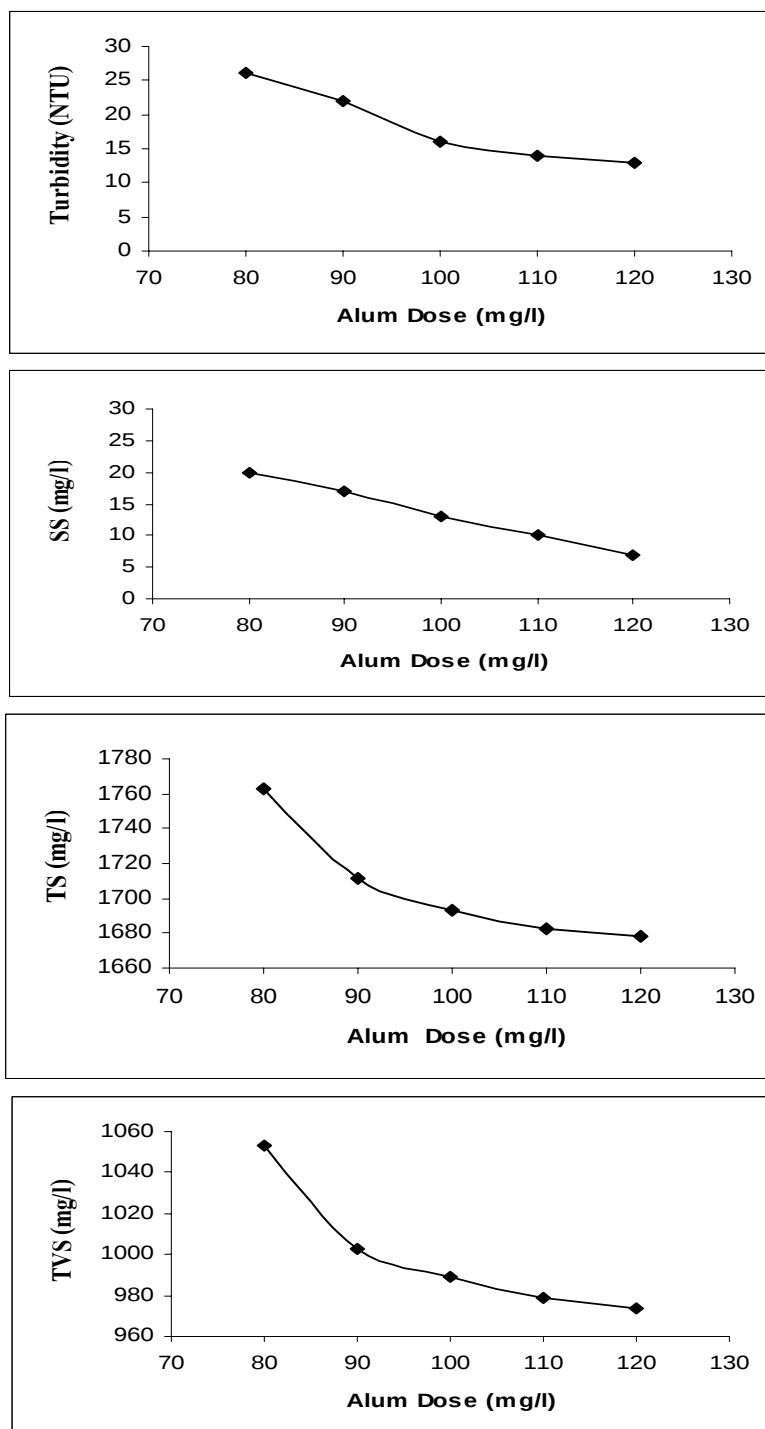
3.1.3 การตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม (ฟิเอชและปริมาณสารส้มที่เหมาะสม)

ในขั้นตอนการทดลองนี้ แปรผันปริมาณสารส้ม เท่ากับ 80, 90, 100, 110, และ 120 mg/l ที่ฟิเอชคงที่เท่ากับ 7 ซึ่งเป็นฟิเอชที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น เพื่อศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

ก. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ในการตกตะกอน ที่ฟิเอชเหมาะสม

จากการทดลองการตกตะกอนในสภาวะฟิเอชเหมาะสมคือ ฟิเอชเท่ากับ 7 และมีปริมาณสารส้มในช่วงที่เหมาะสม คือ 80 – 120 mg/l นั้น พบว่าค่าความขุ่น (Turbidity) ของแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งแขวนลอย (TVS) แปรผันโดยตรงกับปริมาณสารส้ม การเพิ่มปริมาณสารส้ม ในช่วงแรกๆ จะมีผลให้การบำบัดดีขึ้นมาก โดยที่ปริมาณเท่ากับ 120 mg/l ปริมาณสารส้มที่ดีที่สุดในการบำบัด กล่าวคือสามารถบำบัดความขุ่นจาก 1,474 NTU เหลือ 13 NTU และค่าของแข็งแขวนลอยจาก 152 mg/l เหลือ 7 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 99.12 และ 95.24 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งทั้งหมด และของ

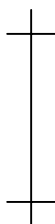
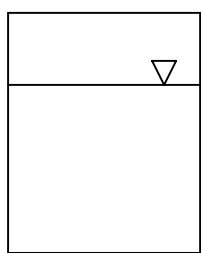
แจ้งระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารละลายนั้นสามารถบำบัดได้น้อย คือประมาณร้อยละ 14.78 และร้อยละ 31.46 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด ในสถานะที่เหมาะสม

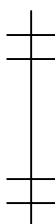
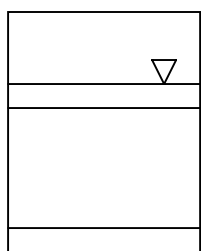
ข. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำมันและไขมัน ที่พีเอชเหมาะสม

จากการแปรผันปริมาณสารส้ม ในช่วงที่เหมาะสม คือ 80 -120 mg/l ที่พีเอชเหมาะสม เท่ากับ 7 นั้นพบว่า การเพิ่มปริมาณสารส้ม มีผลให้การบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ดีขึ้น ทั้งในส่วนบน (Upper) และส่วนน้ำใส (Supernatant) ซึ่งมีปริมาณน้อยสุด และสามารถบำบัดน้ำมันและไขมันจาก 809 mg/l เหลือ 19 mg/l เท่ากับถูกบำบัดได้ร้อยละ 97.65 ในขณะที่ปริมาณน้ำมันและไขมันจะไปสะสมในส่วนด้านล่างมากขึ้น ปริมาณน้ำมันและไขมันในส่วนบนและส่วนน้ำใสลดลง ทั้งนี้สามารถคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของ ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือค้างในแต่ละส่วน ได้ดังนี้ ส่วนน้ำใสต่อส่วนบนต่อส่วนด้านล่าง ได้เท่ากับร้อยละ 10 ต่อ 5 ต่อ 85 โดยผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 28 และ 29



ไม่มีการแยกชั้นของน้ำตัวอย่าง

ก. ก่อนเติมสารสร้างตะกอน



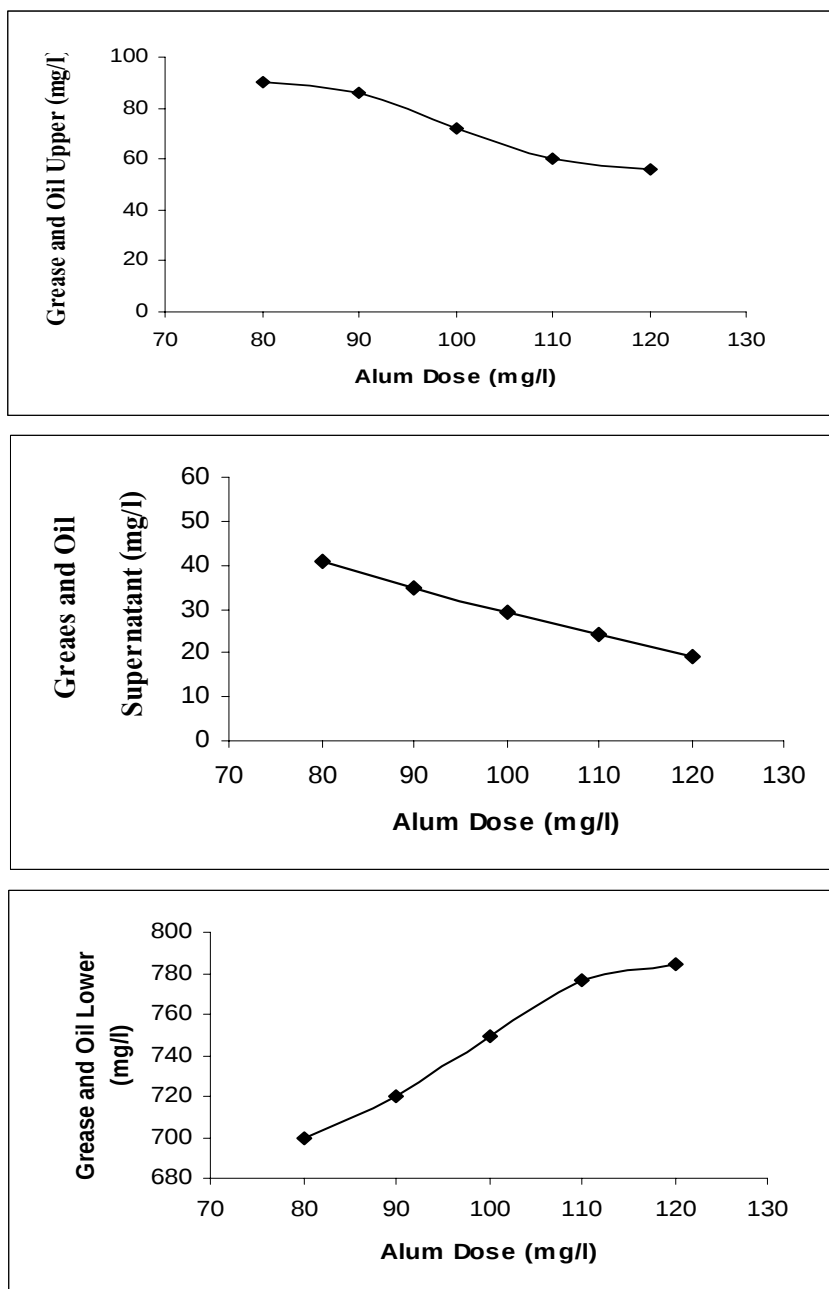
ส่วนบน (Upper)

ส่วนน้ำใส (Supernatant)

ส่วนด้านล่าง (Lower)

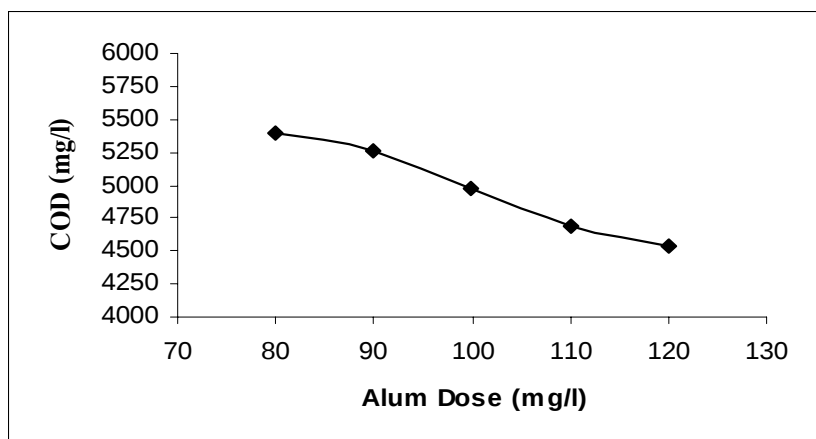
ข. หลังเติมสารสร้างตะกอน

ภาพที่ 28 การแยกชั้นของตะกอน ในสภาวะที่เหมาะสม



ภาพที่ 29 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ที่สภาวะเหมาะสม

นอกจากมีผลต่อการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) แล้วพบว่าปริมาณสารส้มในช่วงที่เหมาะสม คือ 80 -120 mg/l ที่พีเอชเหมาะสม เท่ากับ 7 นั้น ยังมีผลต่อการบำบัดค่า COD โดยสามารถบำบัดค่า COD จาก 6,532 mg/l เหลือ 4,544 mg/l คิดเป็นร้อยละ 30.43 ซึ่งรายละเอียดดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสม

3.2 จีเถ้าแกลบ

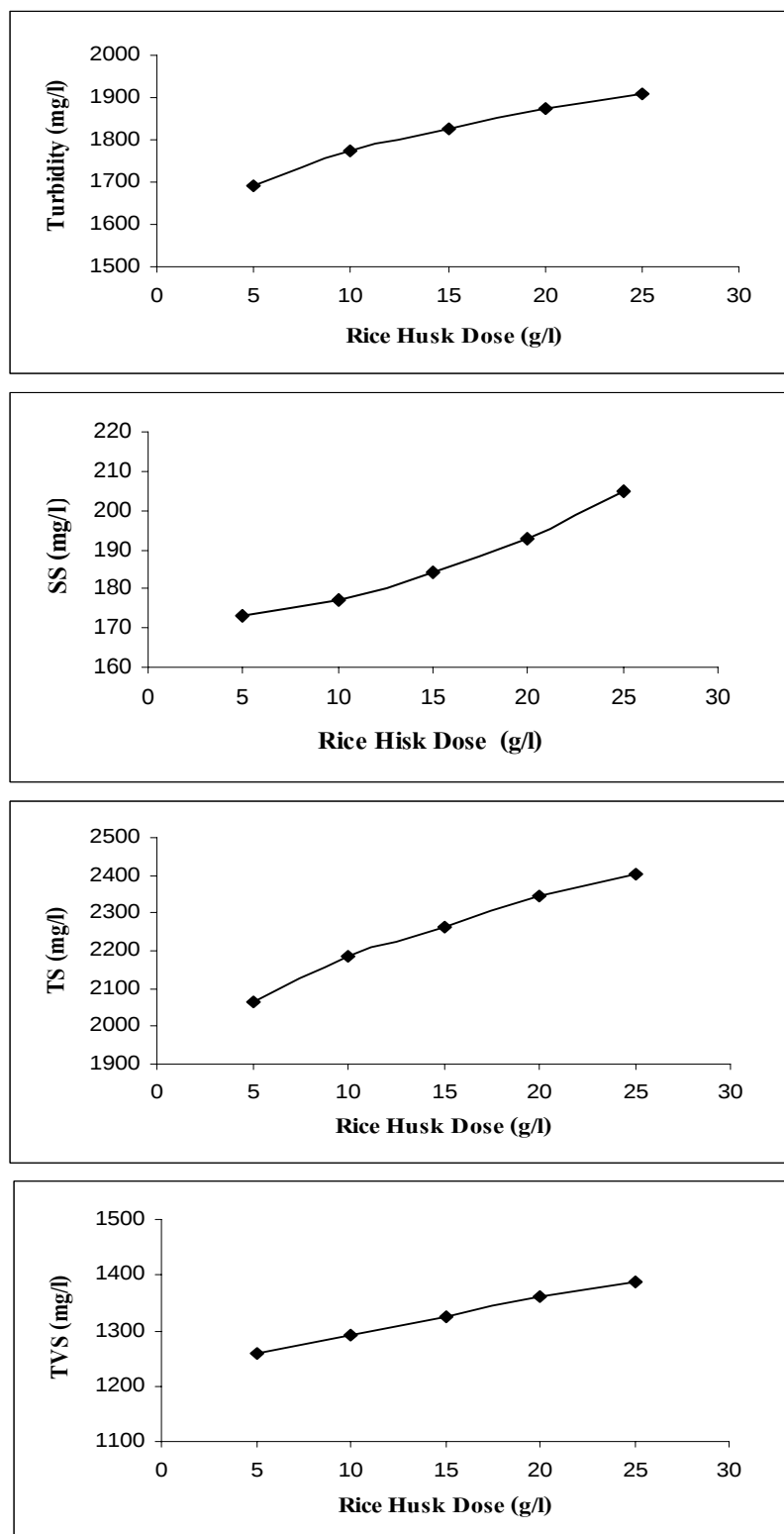
จีเถ้าแกลบ เป็นวัตถุดิบที่เหลือใช้จากกระบวนการเผาไหม้ของเตาเผาแกลบ ซึ่งมีปริมาณมาก และปัจจุบันทางโรงสีกำลังหาวิธีการนำจีเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ และบำบัดอยู่ ดังนั้นการนำจีเถ้าแกลบมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอน นับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโรงสี เนื่องจากทางโรงสีไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดจีเถ้าแกลบ และค่าสารสร้างตะกอนในกระบวนการตกตะกอนเคมี นอกจากนี้ยังสามารถนำจีเถ้าแกลบที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนเคมีแล้วไปสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นได้โดยการไล่น้ำออกจากสลัดจ์ เพื่อทำเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้ เพื่อศึกษาการใช้จีเถ้าแกลบเป็นสารตกตะกอน และบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ในน้ำจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber)

3.2.1 ปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสม ที่พีเอชของน้ำตัวอย่างจากโรงสี

ในขั้นตอนการทดลองนี้ แปรผันปริมาณขี้เถ้าแกลบเท่ากับ 5, 10, 15, 20 และ 25 g/l ที่พีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง เพื่อศึกษาปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสมในการตกตะกอน และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

ก. ปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสมในการตกตะกอน

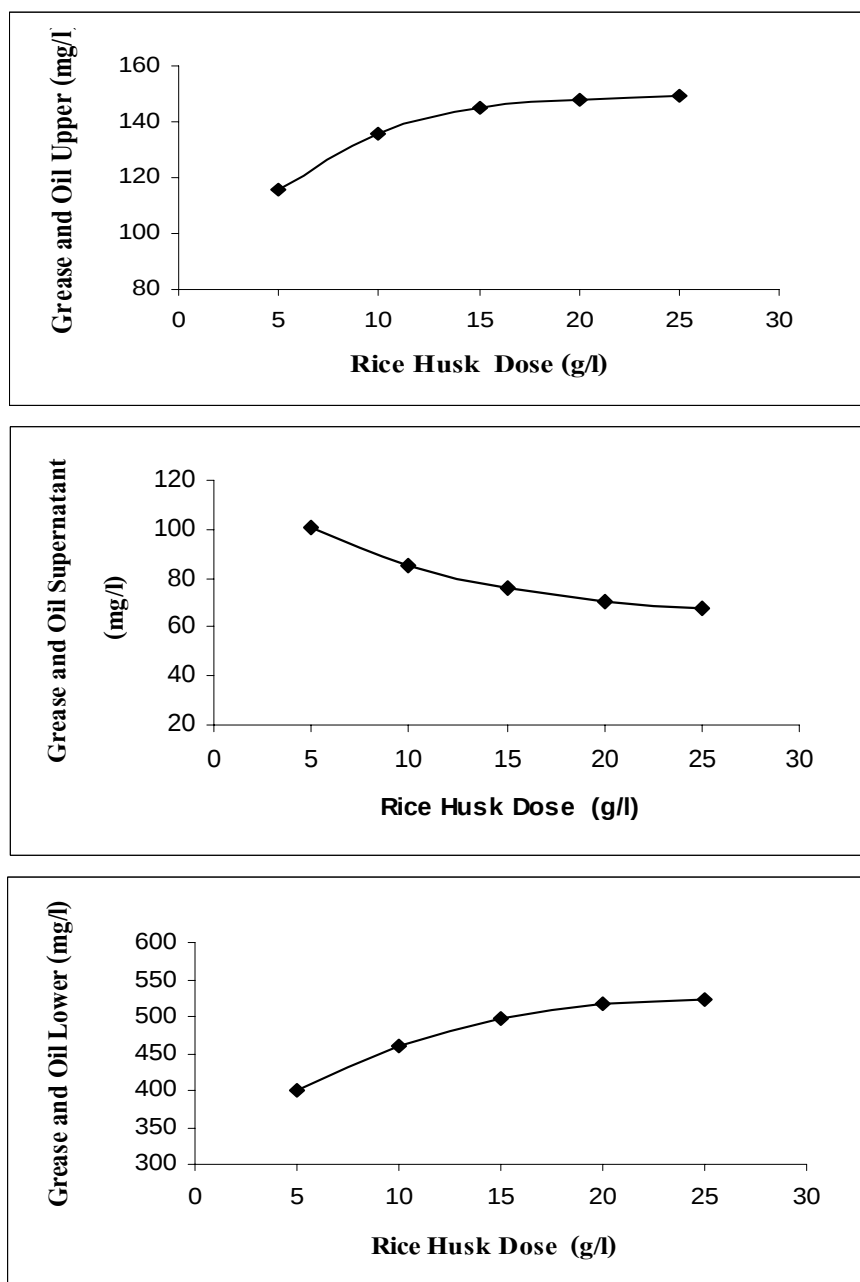
จากการทดลองเพื่อหาปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) พบว่าขี้เถ้าแกลบไม่มีผลต่อการตกตะกอนน้ำตัวอย่าง ในทางตรงกันข้าม กลับมีผลทำให้คุณภาพน้ำตัวอย่างต่ำลง กล่าวคือ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) รวมทั้งความขุ่น (Turbidity) เพิ่มขึ้นตามปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เพิ่มเติมลงไป ผลดังแสดงในภาพที่ 31 นอกจากนั้นแล้ว ขี้เถ้าแกลบซึ่งไม่ละลายน้ำจะกระจายอยู่ทั่วไป ทั้งที่ลอยบนผิวน้ำ และแขวนลอยในน้ำตัวอย่าง จึงมีผลให้น้ำตัวอย่างมีสีเข้มขึ้น มีบางส่วนที่จมตัวลงด้านล่าง แต่เนื่องจากเป็นตะกอนเบา เมื่อเกิดการกระทบกระเทือนเพียงเล็กน้อยก็พร้อมที่จะฟุ้งกระจายขึ้นมาทันที



ภาพที่ 31 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

ข. ปริมาณซีเถ้าเคลือบที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน

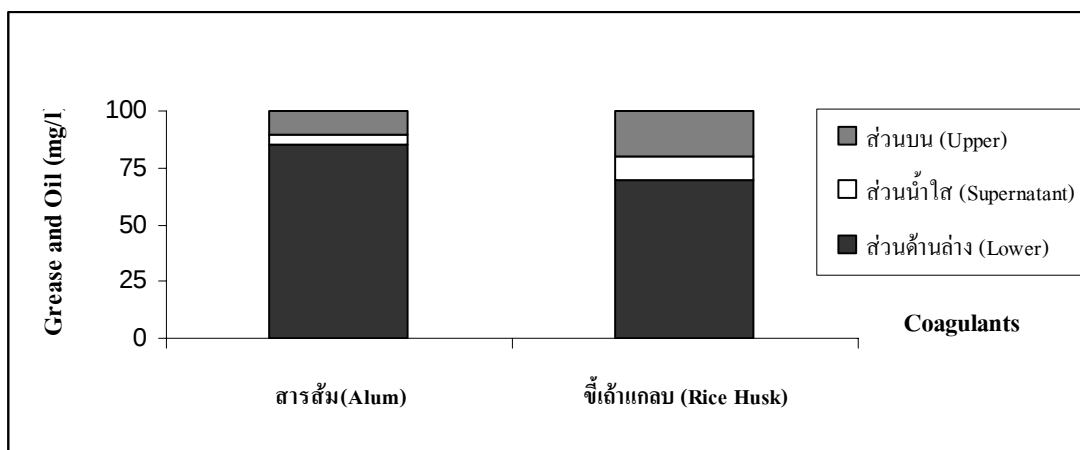
แม้ว่าซีเถ้าเคลือบจะไม่มีส่วนช่วยในการสร้างตะกอน หรือลดความขุ่นของน้ำ แต่จากการติดตามปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) พบว่าปริมาณซีเถ้าเคลือบที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณน้ำมันและไขมันลดลง โดยสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันได้มากกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้เป็นเพราะซีเถ้าเคลือบใช้กลไกการดูดติดผิวดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ที่ผิว จึงสามารถตกตะกอนได้ดี และตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง (Lower) มากที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มของปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เป็นแนวเดียวกับส่วนด้านบน (Upper) แต่มีปริมาณน้ำมันและไขมันมากกว่าด้านบน (Upper) ในขณะเดียวกันตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) จะมีปริมาณน้ำมันและไขมันน้อยที่สุด ดังนั้นหากปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกตรงส่วนนี้ ก็จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ซึ่งปริมาณซีเถ้าเคลือบที่เหมาะสมนั้นเท่ากับ 15 g/l สามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันจาก 733 mg/l เหลือ 76 mg/l คิดเป็นร้อยละ 90.05 รายละเอียดดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เมื่อใช้ใ้ถั่วแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

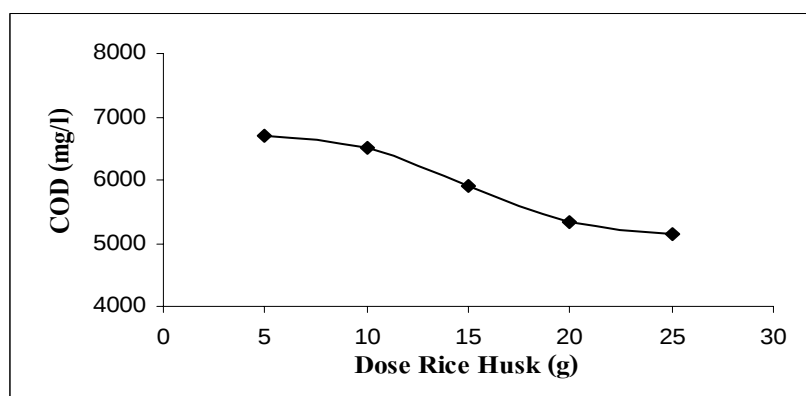
จากการใช้ใ้ถั่วแกลบพบว่า สัดส่วนปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ที่พบทั้ง 3 บริเวณ มีแนวโน้มเดียวกันกับการใช้สารส้ม (ภาพที่ 29) แต่ปริมาณน้ำมันและไขมันในส่วนด้านล่าง (Lower) ของการใช้สารส้มมีปริมาณสูงกว่าการใช้ใ้ถั่วแกลบ ประมาณร้อยละ 15 เนื่องจากกลไกการตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation) ของสารส้ม สามารถตกตะกอน

ปริมาณน้ำมัน และไขมันลงมาด้านล่างได้ดีกว่ากลไกการดูดติดผิวของขี้เถ้าแกลบ นอกจากนี้ยังมีขี้เถ้าแกลบบางส่วนที่สามารถดูดติดน้ำมันและไขมันในรูปของฟิล์มที่ลอยบนผิวน้ำ ซึ่งอยู่ในลักษณะเป็นชั้นหนาๆ ลอยบนผิวน้ำโดยไม่ยอมตกตะกอนลงด้านล่าง จึงเป็นเหตุให้สัดส่วนตรงส่วนบนของขี้เถ้าแกลบ จึงมากกว่าสัดส่วนของสารส้ม



ภาพที่ 33 ร้อยละการแบ่งชั้นการตกตะกอน เมื่อใช้สารส้ม และขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

นอกจากการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) พบว่าปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสมเท่ากับ 15 g/l นั้น สามารถบำบัดค่า COD จาก 7,654 mg/l เหลือ 5,917 mg/l คิดเป็นร้อยละ 22.70 ซึ่งรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 34



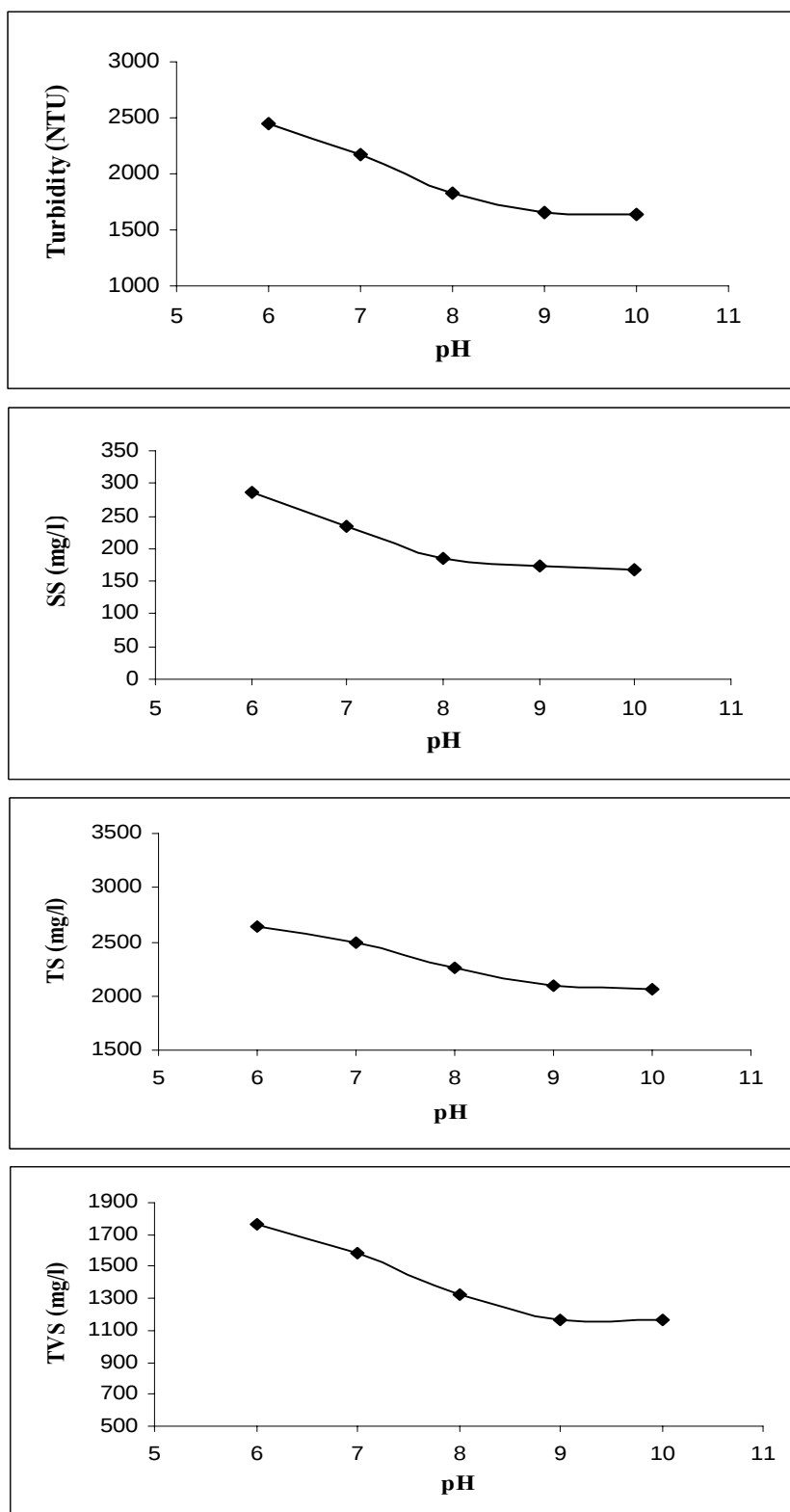
ภาพที่ 34 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

3.2.2 อิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

จากการทดลองข้อ 3.2.1 ขี้เถ้าแกลบไม่มีส่วนช่วยในการตกตะกอน แต่มีผลต่อการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) โดยปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 15 g/l ในขั้นตอนการทดลองนี้ จึงเลือกใช้ปริมาณขี้เถ้าแกลบ เท่ากับ 15 g/l โดยแปรผันพีเอชเท่ากับ 6, 7, 8, 9 และ 10 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอชที่มีผลต่อการตกตะกอนของขี้เถ้าแกลบ และการบำบัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน

ก. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนของขี้เถ้าแกลบ

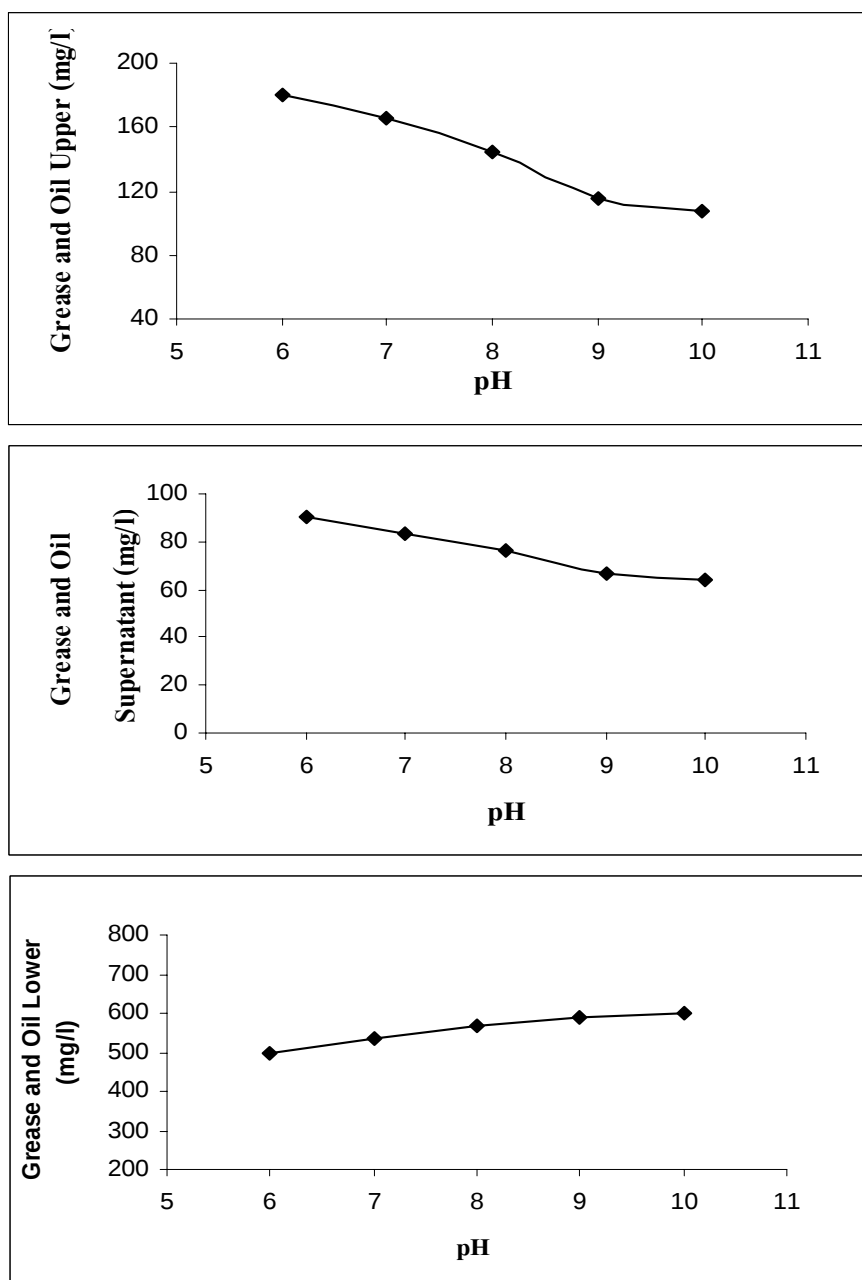
จากการแปรผันค่าพีเอชในภาพที่ 35 พบว่าพีเอชไม่มีส่วนช่วยในการตกตะกอนในน้ำตัวอย่าง โดยเฉพาะที่พีเอชเป็นกรด (พีเอชต่ำกว่า 7) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และความขุ่น (Turbidity) สูงกว่าเดิมมาก สำหรับพีเอชเป็นด่าง (พีเอชสูงกว่า 8) แม้ว่าจะไม่เอื้อให้เกิดการตกตะกอนดีขึ้น แต่ไม่มีผลเสีย (เพิ่มตะกอน) เท่ากับพีเอชเป็นกรด ทั้งนี้มันสิน (2538) กล่าวไว้ว่า พีเอชมีอิทธิพลต่อการละลายน้ำของสารต่างๆ และการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออน ซึ่งไฮโดรเจนไอออนเองสามารถดูดติดผิวขี้เถ้าแกลบได้ดีกว่าสารปนเปื้อนอื่นๆ ในน้ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างตะกอนลดต่ำลง



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพในการตกตะกอน เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้จีเถ้าเกลบ

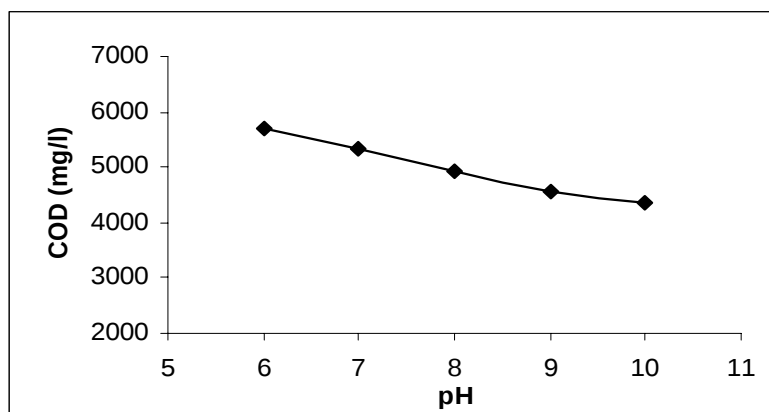
ข. พีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณน้ำมัน และ ไขมัน (Grease and Oil) ในภาพที่ 36 แสดงให้เห็นว่า การแปรผันค่าพีเอช ไม่ได้มีผลต่อการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน อย่างไรก็ตามช่วงพีเอชเป็นค่า (พีเอชสูงกว่า 8) ให้ผลการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันดีกว่าช่วงพีเอชที่เป็นกรด (พีเอชน้อยกว่า 7) คือที่พีเอชเท่ากับ 6 สามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันจาก 777 mg/l เหลือ 90 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 88.42 และที่พีเอชเท่ากับ 10 สามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันจาก 777 mg/l เหลือ 64 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 91.77 ทั้งนี้การบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันข้างต้นเป็นการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือค้างอยู่ในส่วนน้ำใส (Supernatant) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำมันและไขมันเหลือน้อยที่สุด จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมในการปล่อยน้ำออก ส่วนแนวโน้มการปริมาณน้ำมันและไขมันตรงส่วนด้านล่าง (Lower) นั้นมีการสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเป็นค่ามากขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับตรงส่วนบน (Upper) ที่มีปริมาณปริมาณน้ำมันและไขมันลดลงเมื่อพีเอชเป็นค่ามากขึ้นแต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าตรงส่วนน้ำใส



ภาพที่ 36 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้ขี้เถ้าเคลือบเป็นสารสร้างตะกอน

ในแง่ของการกำจัดค่า COD พบว่าแนวโน้มการแปรผันพีเอช เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) โดยที่พีเอชเท่ากับ 10 สามารถบำบัดค่า COD จาก 7,790 mg/l เหลือ 4,370 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 43.93 ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้จีเถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

3.3 สารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ

จากการทดลองข้างต้น (3.1 และ 3.2) พบว่าสารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ดี และสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 97.65 ในขณะที่จีเถ้าแกลบไม่มีส่วนช่วยในการสร้างตะกอน แต่สามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 91.77 ส่วนปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือค้างตรงส่วนด้านล่าง (Lower) มากที่สุด รองลงมาคือตรงส่วนบน (Upper) และน้อยที่สุดได้แก่ตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) จากคุณสมบัติเด่นในการการสร้างตะกอนของสารส้ม และคุณสมบัติการดูดติดผิวของจีเถ้าแกลบ ดังนั้นในขั้นตอนการศึกษานี้ จึงเลือกศึกษาการใช้สารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ

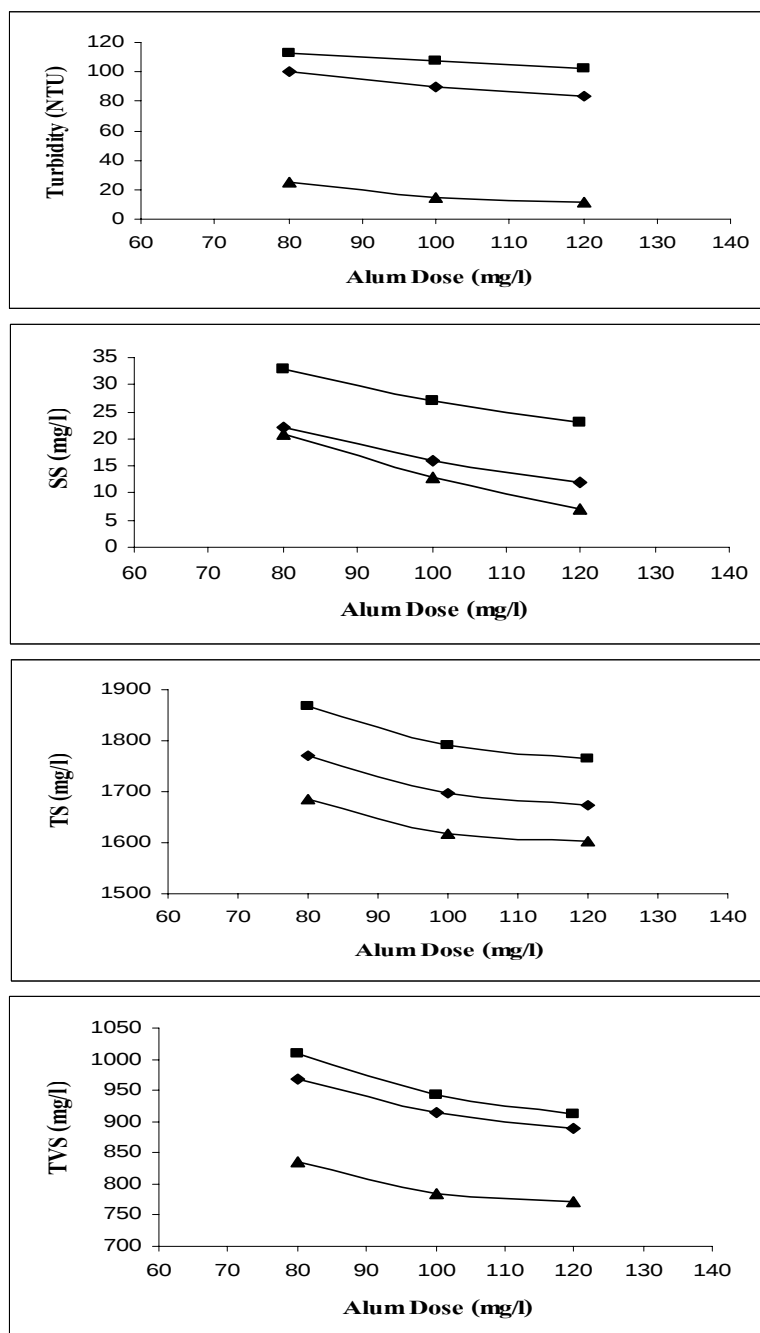
3.3.1 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เมื่อปริมาณขี้เถ้าแกลบคงที่

ในการทดลองนี้ทำการทดลองที่สภาวะพีเอชเท่ากับ 7 และแปรผันปริมาณสารส้ม 3 ค่า คือ 120, 100 และ 80 mg/l โดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมขี้เถ้าแกลบก่อน และหลังการเติมสารส้ม เพื่อดูผลต่อการตกตะกอน และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

ก. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน เมื่อปริมาณขี้เถ้าแกลบคงที่

ผลการทดลองการใส่สารสร้างตะกอน ในภาพที่ 38 พบว่าใส่สารส้มก่อนขี้เถ้าแกลบนั่น ให้ผลการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าใส่สารส้มทีหลังขี้เถ้าแกลบ และเมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นความขุ่น (Turbidity) ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS) มีค่าลดลง โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l เมื่อใช้ร่วมกับขี้เถ้าแกลบปริมาณ 15 g/l สามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และปริมาณของแข็งแขวนลอยจาก 1,414 NTU เหลือ 84 NTU และ จาก 154 mg/l เหลือ 12 mg/l และคิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 94.06 และ 92.21 ของน้ำตัวอย่างเดิม ตามลำดับ นอกจากนี้สามารถบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ จาก 1,881 NTU เหลือ 1,673 NTU และจาก 1,158 mg/l เหลือ 889 mg/l และคิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 11.06 และ 21.12 ตามลำดับอีกด้วย อาจเป็นเพราะสารส้มสามารถแตกตัวได้ดี ที่พีเอชเป็นกลาง ซึ่งจะเข้าห่อหุ้มอนุภาคเพื่อเกิดการกลไกการตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในขณะเดียวกันขี้เถ้าแกลบเมื่อใส่ทีหลัง อาจทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยสร้างตะกอน คือเพิ่มเป่าสัมผัสให้กับอนุภาค ดังนั้นจึงมีผลทำให้ตะกอนจับตัวกันมากขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนดีขึ้น

ผลการเปรียบเทียบการตกตะกอน เมื่อใช้สารสร้างตะกอนสารเพียงสารเดียว (สารส้ม) กับการใช้สารสร้างตะกอนร่วมกัน (สารส้มร่วมกับขี้เถ้าแกลบ) พบว่าใช้สารสร้างตะกอนเพียงสารเดียวสามารถบำบัดความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ได้ดีกว่าการใช้สารสร้างตะกอนร่วมกัน ดังนั้นเส้นกราฟของสารส้มจะอยู่ต่ำกว่าเส้นอื่นๆ



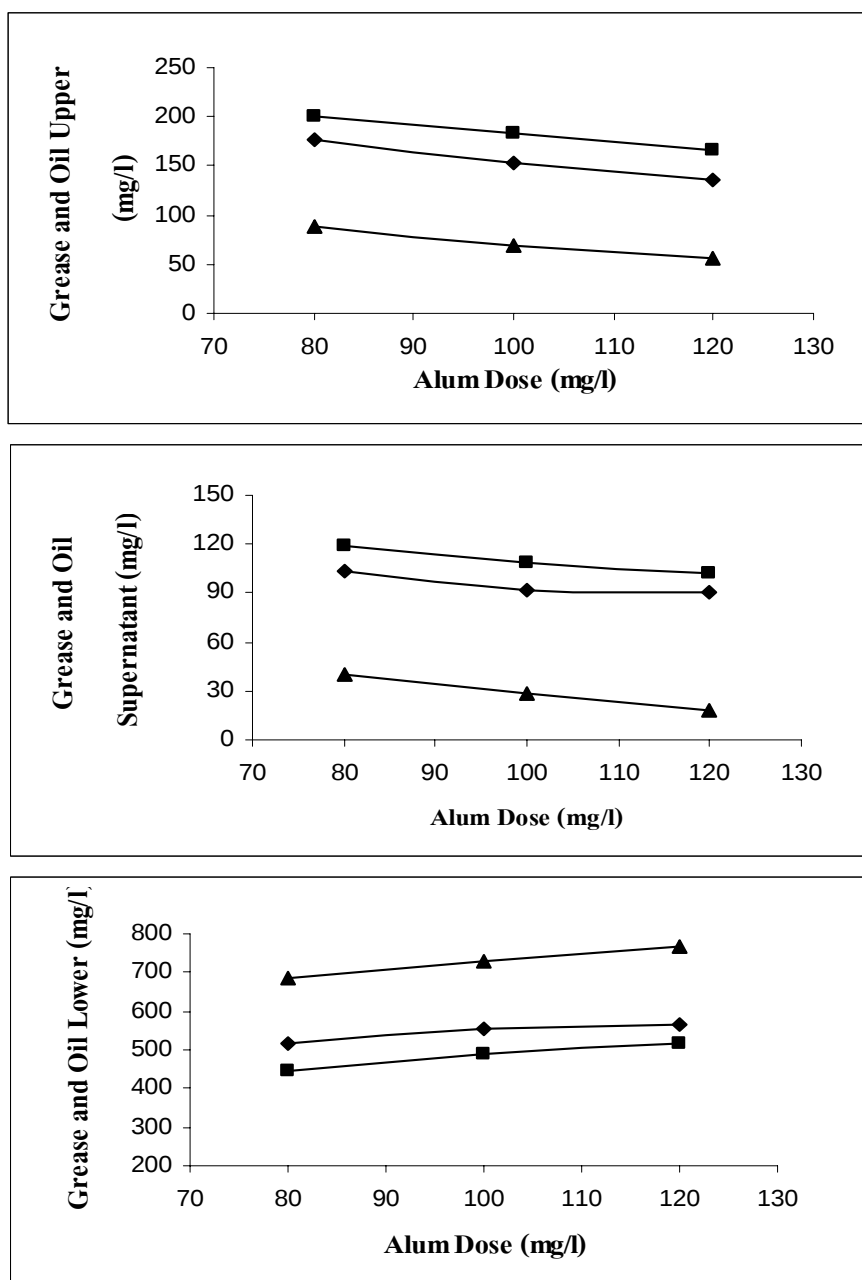
หมายเหตุ

- ◆ คือ เดิมสารส้มก่อนจี้เถ้าแกลบ ■ คือ เดิมสารส้มหลังจี้เถ้าแกลบ
 ▲ คือ เดิมสารส้มสารเดียว

ภาพที่ 38 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มร่วมกับจี้เถ้าแกลบ

ข. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน เมื่อปริมาณ จี๊ถั่วแกลบคงที่

ผลการทดลองเพื่อประเมินความสามารถในการบำบัดปริมาณน้ำมันและ ไขมัน (Grease and Oil) ในภาพที่ 39 พบว่าเมื่อสารส้มเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันและไขมัน ที่เหลือค้างตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) จะลดต่ำลง ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณน้ำมันและ ไขมันที่เหลือค้างตรงส่วนบน (Upper) แต่มีปริมาณน้อยกว่า ในขณะที่เดียวกันปริมาณน้ำมันและ ไขมัน จะมีการสะสมตัวมากขึ้นตรงส่วนด้านล่าง (Lower) และเมื่อคิดเป็นสัดส่วนการแบ่งชั้นของ ส่วนบน ส่วนน้ำใสและส่วนด้านล่าง ได้เท่ากับ 17, 11 และ 72 ตามลำดับ โดยปริมาณสารส้มที่ เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l เมื่อใช้ร่วมกับจี๊ถั่วแกลบในปริมาณ 15 g/l จะสามารถบำบัดปริมาณน้ำ มันและไขมันจาก 789 mg/l เหลือ 90 mg/l เท่ากับถูกบำบัดไปร้อยละ 88.59 เนื่องจากจี๊ถั่วแกลบ สามารถดูดซับไขมันและไขมันที่เป็นฟิล์มลอยน้ำ และบางส่วนของฟุ้งกระจายอยู่ในน้ำตัวอย่าง สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารส้มที่เติมไปก่อนหน้านี้ได้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด น้ำมันและไขมันดีขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟสารส้มสารเดียว พบว่าการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนเพียงสารเดียวให้ผลการบำบัดที่ดีกว่าใช้สารส้มร่วมกับจี๊ถั่วแกลบ

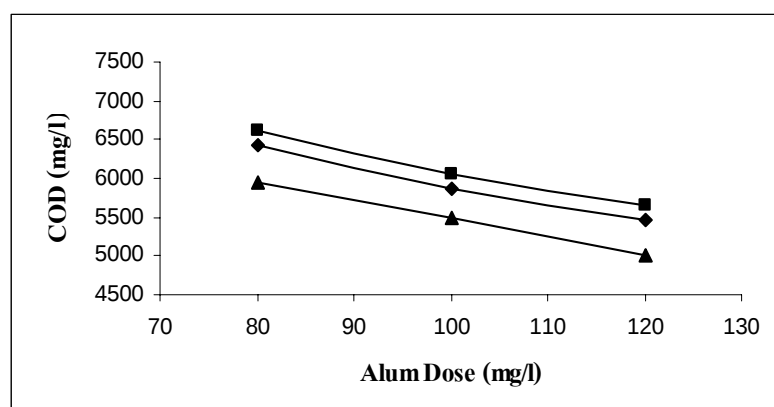


หมายเหตุ

- ◆— คือ เดิมสารส้มก่อนขี้เถ้าเคลือบ —■— คือ เดิมสารส้มหลังขี้เถ้าเคลือบ
 —▲— คือ เดิมสารส้มสารเดียว

ภาพที่ 39 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เมื่อใช้สารส้มร่วมกับขี้เถ้าเคลือบ

เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับซีเถ้าแกลบในปริมาณ 15 g/l นอกจากสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) แล้วยังสามารถบำบัดค่า COD จาก 7,200 mg/l เหลือ 5,472 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 24 ส่วนความแตกต่างในการบำบัดค่า COD ของสารสร้างตะกอนสารเดียวกับการใช้ร่วมกันนั้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 40



หมายเหตุ

- ◆— คือ เดิมสารส้มก่อนซีเถ้าแกลบ —■— คือ เดิมสารส้มหลังซีเถ้าแกลบ
 —▲— คือ เดิมสารส้มสารเดียว

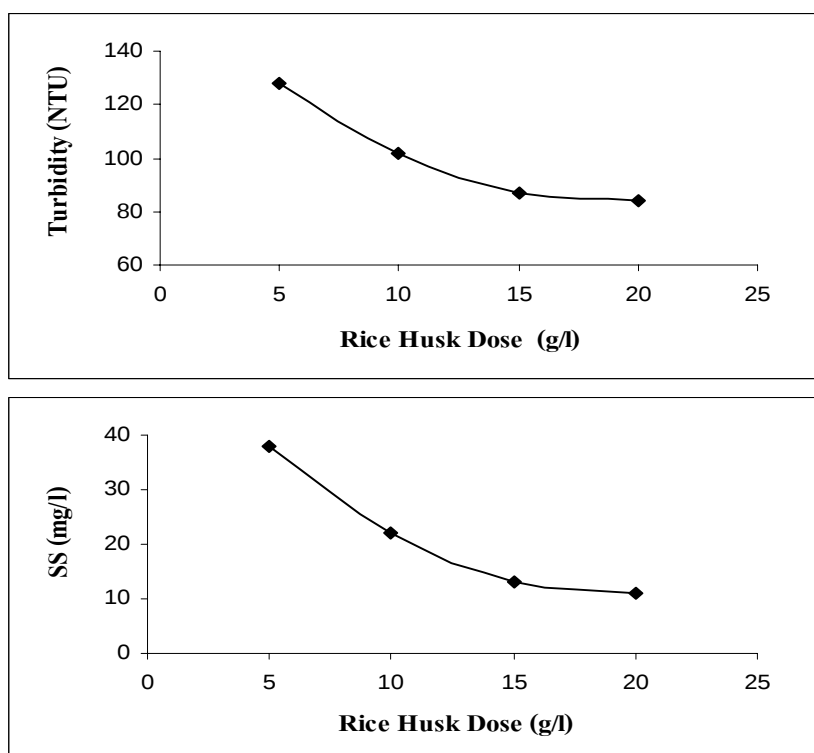
ภาพที่ 40 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้สารส้มร่วมกับซีเถ้าแกลบ

3.3.2 ปริมาณซีเถ้าแกลบที่เหมาะสม เมื่อใช้ปริมาณสารส้มคงที่

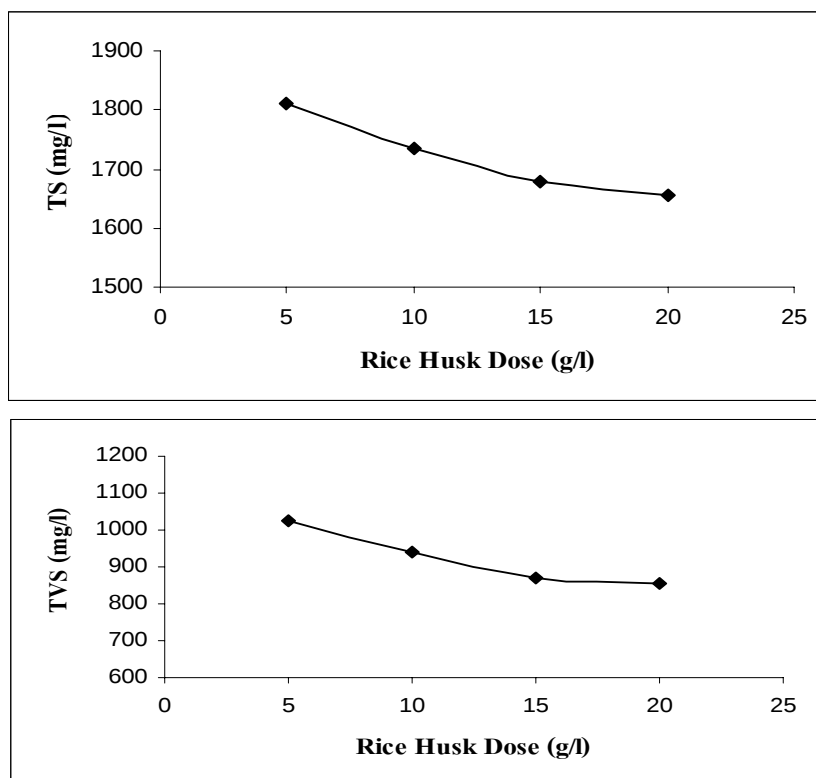
ในขั้นตอนการทดลองนี้ เลือกใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากขั้นตอนข้างต้น คือ 120 mg/l และแปรผันปริมาณซีเถ้าแกลบเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 g/l เพื่อศึกษาปริมาณแกลบที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน

ก. ปริมาณซีเถ้าแกลบที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ผลการทดลองเมื่อใช้ปริมาณสารส้มคงที่ และเพิ่มปริมาณขี้เถ้าเคลือบสูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณสารปนเปื้อนลดต่ำลงด้วย เนื่องจากแนวโน้มของกราฟทั้ง 4 มีทิศทางสอดคล้องกัน ในลักษณะลดลงมากในช่วงแรก และเริ่มคงที่ในช่วงท้ายๆ ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณขี้เถ้าเคลือบเหมาะสม และการใช้ปริมาณขี้เถ้าเคลือบที่เหมาะสมในปริมาณ 15 g/l ร่วมกับสารส้มในปริมาณ 120 mg/l. นี้สามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) จาก 1,414 NTU เหลือ 81 NTU และจาก 148 mg/l เหลือ 11 mg/l ซึ่งเท่ากับบำบัดได้มากกว่าร้อยละ 90 ของน้ำตัวอย่างเดิม ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ (TVS) นั้นสามารถบำบัดได้เพียงร้อยละ 10 และ 22 เท่านั้น เนื่องจากยังคงมีขี้เถ้าเคลือบ บางส่วนที่ฟุ้งกระจายปนเปื้อนอยู่ในน้ำ โดยที่ไม่สามารถดูดติดผิวอนุภาคของแข็งให้ตกลงด้านล่าง (Lower) หรือลอยค้ำที่ผิวตรงส่วนบน (Upper) ได้ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดค่าของแข็งทั้งหมด ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังแสดงในภาพที่ 41



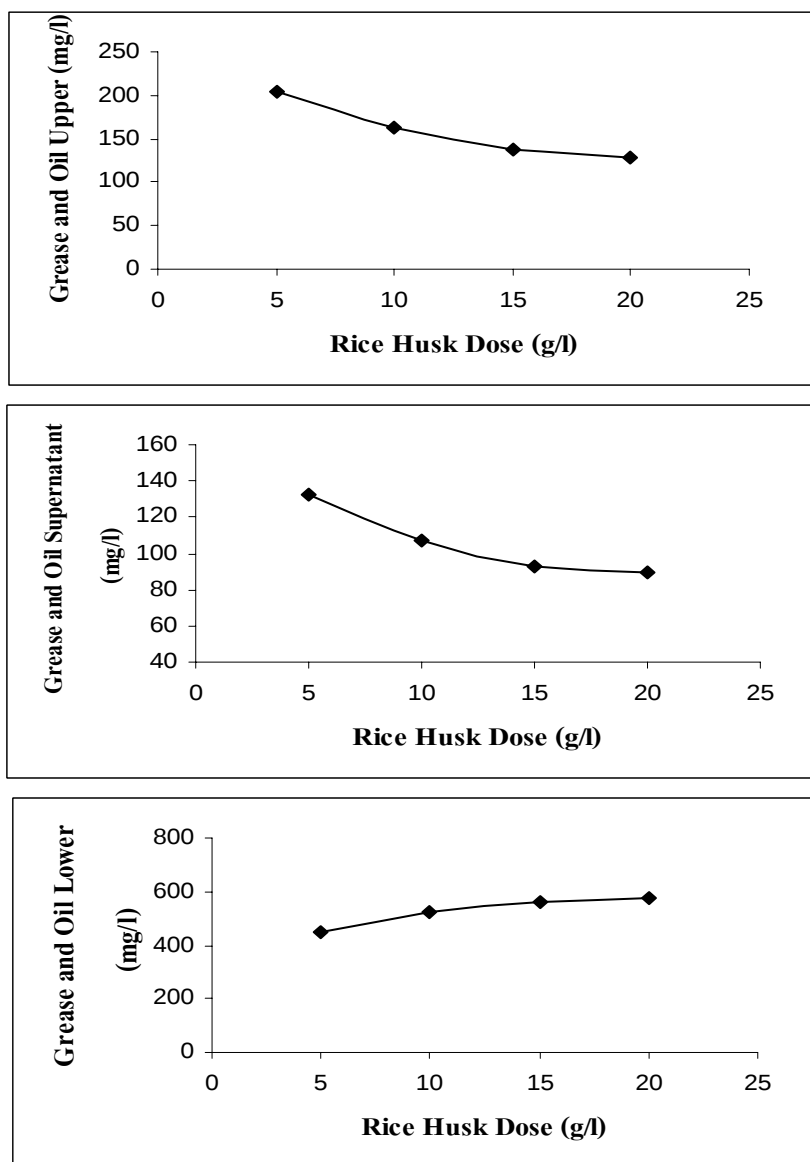
ภาพที่ 41 Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับขี้เถ้าเคลือบ



ภาพที่ 41 (ต่อ) Turbidity และปริมาณ SS, TS และTVS ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับจีเถ้าแกลบ

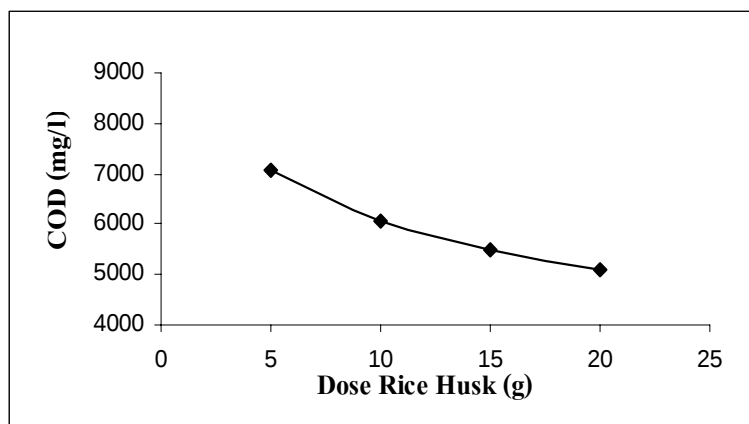
ข. ปริมาณจีเถ้าแกลบที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับจีเถ้าแกลบ

ผลการทดลองในตารางที่ 42 พบว่าปริมาณจีเถ้าแกลบที่เหมาะสมเท่ากับ 15 g/l เมื่อใช้ร่วมกับสารส้มในปริมาณ 120 mg/l สามารถตกตะกอนปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ให้อยู่ด้านล่าง (Sludge) ได้มากที่สุดเท่ากับ 563 mg/l และน้อยที่สุดอยู่ตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) ซึ่งสามารถบำบัดน้ำมันและไขมันจาก 789 mg/l เหลือ 93 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 88.21 ของน้ำตัวอย่างเดิม และหากพิจารณาแนวโน้มของกราฟปริมาณน้ำมันและไขมัน ตรงส่วนน้ำใส พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณจีเถ้าแกลบมากขึ้น ปริมาณน้ำมันและไขมันลดลงเพียงเล็กน้อย จึงเป็นการสิ้นเปลือง ถึงแม้ว่าจีเถ้าแกลบจะเป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงสีก็ตาม แต่จีเถ้าแกลบไม่เป็นสารสร้างตะกอนที่ดี แต่กลับเพิ่มสารปนเปื้อนกับน้ำตัวอย่าง เช่น ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งทั้งหมด (TS) เป็นต้น จึงเป็นปัญหาที่โรงสีต้องแก้ไขตามมา



ภาพที่ 42 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ทั้ง 3 ส่วน คือส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับ จีเถ้าแกลบ

นอกจากสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ข้างต้นแล้วยังสามารถบำบัดค่า COD ลดลงจาก 7,200 mg/l เหลือ 5,472 mg/l คิดเป็นร้อยละการบำบัดเท่ากับ 24 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ปริมาณ COD ที่ผ่านการบำบัด เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมร่วมกับขี้เถ้าแกลบ

3.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

น้ำตัวอย่างเป็นน้ำที่ผ่านเครื่องสัณผัดแบบเปียก (Wet Scrubber) ซึ่งทำหน้าที่จับก๊าซร้อนที่เกิดจากเตาเผาแกลบของโรงสี ทำให้น้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิสูง ประมาณ $40 - 50^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงนั้นมีผลต่อการตกตะกอนของสารสร้างตะกอน และประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณน้ำมัน และไขมัน (มันสิน, 2538) ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการตกตะกอน และการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน โดยการปรับอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างให้คงที่ประมาณ $40 - 50^{\circ}\text{C}$ และเลือกใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมจากทดลองข้างต้น คือใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 120 mg/l ต่อมาใช้สารส้มปริมาณเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับขี้เถ้าแกลบในปริมาณ 15 g/l และใช้ปริมาณขี้เถ้าแกลบในปริมาณเท่ากับ 15 g/l

3.4.1 การตกตะกอนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ

ผลการทดลองเพื่อประเมินความสามารถในการตกตะกอน เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 27°C เป็น $40 - 50^{\circ}\text{C}$ ในตารางที่ 10 พบว่าสารส้มทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นประมาณ $1\% - 3\%$ เนื่องจากอุณหภูมิมิมีผลต่อความหนืดของน้ำ ซึ่งความหนืดของน้ำมีผลต่อการตกตะกอน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูง ความหนืดของน้ำจะต่ำลง จึงทำให้กลุ่มตะกอนสามารถตกตะกอนได้ดีประสิทธิภาพการบำบัดจึงดีตามด้วย ต่อมาใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการสร้างตะกอนของขี้เถ้าแกลบ เนื่องจากขี้เถ้าแกลบไม่มีคุณสมบัติเป็นสาร

สร้างตะกอน แม้ว่าอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม จึงทำให้ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งต่างๆ มีค่าสูงขึ้นกว่าในน้ำเสียตัวอย่าง และถ้าใช้สารส้มร่วมกับขี้เถ้าแกลบ พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลให้การบำบัดดีขึ้น แต่การใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพียงสารเดียว จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าใช้สารส้มร่วมกับขี้เถ้าแกลบ

ตารางที่ 10 การตกตะกอนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ

Sample	pH	Temperature (° C)	Turbidity (%)	SS (%)	TS (%)	TVS (%)
Alum 120 mg/l	7	40 – 50	99.29	95.68	16.02	33.10
Alum and Rice Husk (120 mg/l and 15 g)	7	40 – 50	96.83	93.02	13.21	23.05
Rice Husk 15 g	10	40 – 50	-11.22	-9.97	-7.46	-1.95

3.4.2 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ

ผลการทดลองเพื่อประเมินการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ในตารางที่ 11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารส้มสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน ได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 97.65 เป็นร้อยละ 98.10 และปริมาณน้ำมันและไขมันจะตกตะกอนอยู่ด้านล่าง (Lower) เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 27 °C เป็นเพราะความหนืดของน้ำแปรผันตามอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของน้ำจะลดต่ำลง ทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับใช้ขี้เถ้าแกลบ แต่ปริมาณน้ำมันและไขมันจะตกตะกอนอยู่ด้านล่างลดลง เนื่องจากขี้เถ้าแกลบที่ลอยค้ำตรงส่วนบน สามารถดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ที่ผิวได้มากขึ้น ดังนั้นตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) จึงมีปริมาณน้ำมันและไขมันน้อยที่สุด ส่วนความสามารถการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันของสารส้มเมื่อใช้ร่วมกับขี้เถ้าแกลบ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้นเพียงเล็กน้อย เท่านั้น

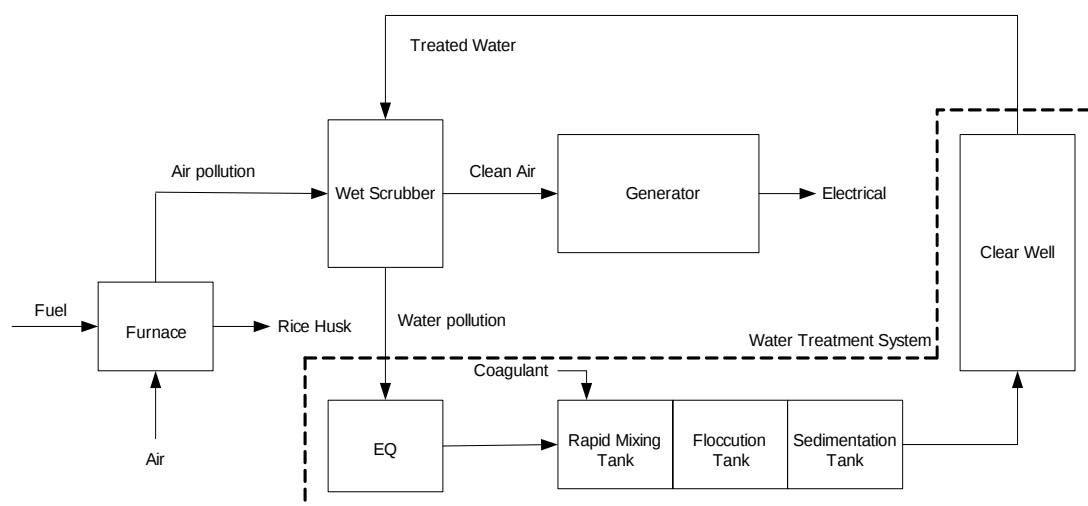
ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ

Sample	pH	Temp. (°C)	COD		Grease and Oil		
			Removal (%)	Removal (%)	Ratio Coagulation		
					Upper	Supernatant	Lower
Alum 120 mg/l	7	40-50	31.88	98.10	7.00	2.00	91.00
Alum and Rice Husk (120 mg/l and 15 g)	7	40-50	25.54	89.07	17.00	11.00	72.00
Rice Husk 15 g	10	40-50	40.66	90.56	15.00	10.00	75.00

4. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงสีข้าว

4.1. แผนผังการไหลเวียนน้ำ ในระบบบำบัดเดิมของโรงสี

แผนผังระบบไหลเวียนน้ำของโรงสี ซึ่งมีระบบหลักๆ ที่สำคัญอยู่ 4 ระบบได้แก่ เตาเผา ระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสั้มน้ำแบบเปียก (Wet Scrubber) กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator) และ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตกตะกอนเคมี ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 44

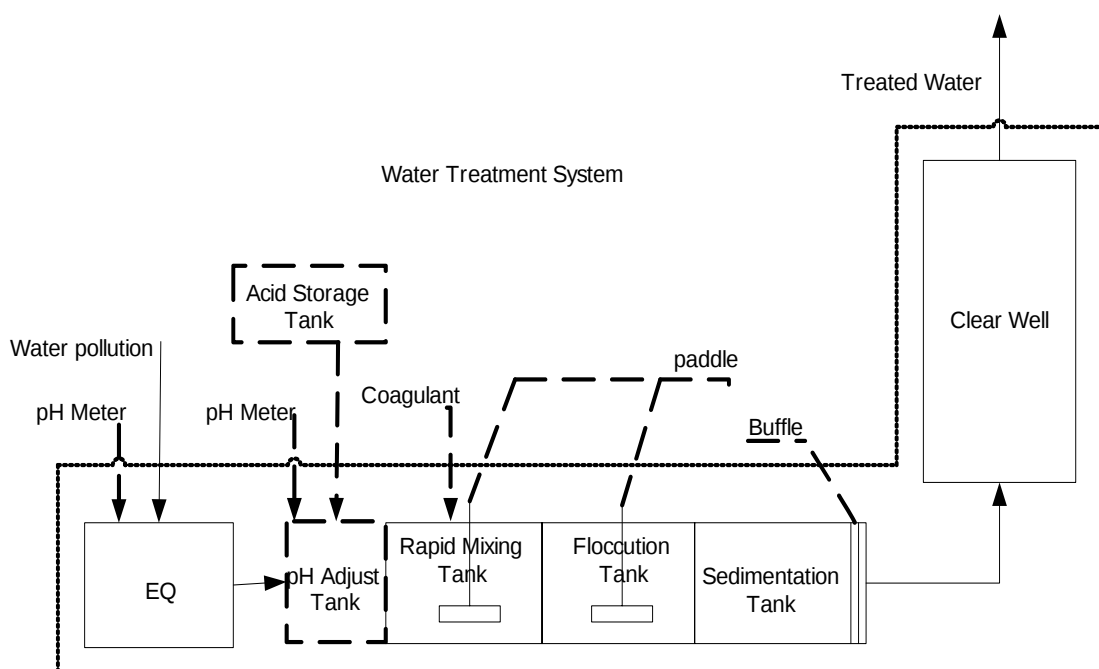


ภาพที่ 44 แผนผังระบบหมุนเวียนน้ำ และระบบหลักๆ ของโรงสี

จากภาพที่ 44 สามารถอธิบายระบบหลักๆ ที่สำคัญได้ดังนี้ ระบบแรกคือ เตาเผา (Furnace) ซึ่งมีหน้าที่เผาเชื้อเพลิง (แกลบ) เพื่อผลิตก๊าซร้อน แต่เนื่องจากการเผาแกลบนั้น จะมีฝุ่นและไอเสียจากการเผาแกลบ จึงต้องทำการบำบัดก่อนเข้ากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator) โดยผ่านระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ส่วนสารปนเปื้อนที่เหลือจากการทำความสะอาดในระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสัมผัสแบบเปียกนั้นจะอยู่ในสถานะของเหลว หรือน้ำเสียนั่นเอง ซึ่งทางโรงสีต้องการนำน้ำเสียตรงส่วนนี้กลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีตกตะกอนเคมี แต่กระบวนการไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลให้น้ำที่ผ่านระบบตกตะกอนเคมี มีคุณภาพน้ำต่ำ เมื่อนำน้ำกลับใช้ใหม่ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสัมผัสแบบเปียกนั้นต่ำ และทำให้ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามมา ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงเสนอการปรับปรุงระบบตกตะกอนเคมีที่มีอยู่เดิมของโรงสี ร่วมกับการหาวิธีการใช้ของเสียที่เกิดขึ้นในโรงสี (ขี้เถ้าแกลบ) เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียระบบใหม่ ลดค่าการจัดการของเสีย และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นต้น ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียมีดังหัวข้อต่อไป

4.2 ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงสี

การใช้สารสร้างตะกอนในระบบบำบัดของโรงสีนั้น แนะนำให้ใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 120 mg/l และแนะนำให้มีการปรับปรุงหน่วยบำบัดดังนี้



หมายเหตุ

----- ส่วนปรับปรุงในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงสี

ภาพที่ 45 แผนผัง และส่วนปรับปรุงในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงสี

4.2.1 ถังปรับเสถียร (Equalization Tank)

ถังปรับเสถียร (Equalization Tank) ในระบบบำบัดเดิมของโรงสี เป็นบ่อพักน้ำเพื่อปรับอัตราการไหล และลักษณะสมบัติของน้ำเสียให้สม่ำเสมอ โดยมีปั๊มสูบน้ำขนาด 400 m³/d 1 ชุด ในการปรับปรุงในครั้งนี้จึงเพิ่มปั๊มขนาดเท่ากัน 1 ชุด และใช้สวิตช์ลูกลอย 3 ตัวเพื่อควบคุมการทำงานของปั๊มสูบน้ำ โดยปรับอัตราการสูบน้ำให้สอดคล้องกับปั๊มสูบน้ำที่ทำหน้าที่สูบน้ำเข้าระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) เพื่อป้องกันน้ำในถังปรับเสถียรภาพแห้งซึ่งจะมีผลทำให้ปั๊มสูบน้ำเสียหาย

4.2.2 ถังปรับพีเอช

ในการปรับปรุงระบบบำบัดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดนั้น เสนอแนะให้เพิ่มปรับสภาวะพีเอชจาก 8 เป็น 7 (จากผลทดลองพบว่าสามารถบำบัดปริมาณของ

แข็งแขวนลอย (SS) และ น้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 95.24 และ 97.65) โดยการเพิ่มถังขนาด 500 ลิตร จำนวน 1 ถัง เพื่อเก็บสารละลายกรด พร้อมปั๊มป้อนสารเคมี 1 ชุด และเพิ่มถังปรับพีเอชขนาด 0.30 m^3 ($0.7 \times 0.7 \times 0.6$) และติดตั้งพีเอชมิเตอร์ 2 ชุด โดยติดตั้งในถังปรับเสถียรและในถังปรับพีเอช เพื่อควบคุมการป้อนสารเคมี และรักษาระดับค่าพีเอชในถังปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 อย่างไรก็ตามสภาวะพีเอชของน้ำดิบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8 (จากผลทดลองพบว่าสามารถบำบัดค่าของแข็งแขวนลอย และ ค่าน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 88.57 และ 95.95) ซึ่งหากโรงสียอมรับได้กับค่าบำบัดดังกล่าวโดยที่ไม่ปรับสภาวะพีเอช ก็ไม่ต้องเพิ่มการปรับสภาวะพีเอช

4.2.2 ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank)

กระบวนการกวนเร็ว (Rapid Mix) เป็นกระบวนการกวนผสมสารสร้างตะกอนกับน้ำเสีย ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี สำหรับการปรับปรุงระบบบำบัดในครั้งนี้ แนะนำให้ใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนโดยจะเติมสารส้ม (Alum) ในปริมาณความเข้มข้น 120 mg/l เพื่อช่วยในการสร้างฟล็อกในน้ำเสีย ซึ่งการกวนผสมสารส้มกับน้ำเสียให้ได้ทั่วถึงนั้น จำเป็นต้องทำให้น้ำเสียเข้าผสมสารเคมีที่ความเร็วรอบในการกวนเร็วเท่ากับ 100 รอบต่อนาที (เป็นผลจากการทดลอง) ซึ่งจะได้ความปั่นป่วนหรือมีความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity Gradient, G) ประมาณ $300 - 1,000 \text{ วินาที}^{-1}$ เพื่อให้การสร้างฟล็อกเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น เสนอแนะให้ใช้ถังเดิม โดยเพิ่มกำลังของมอเตอร์ขนาด 370 W โดยใช้แผ่นกวนขนาดกว้าง*ยาวเท่ากับ $0.4 * 0.05 \text{ m}$ และติด Baffle ขนาด 0.07 m ทั้ง 4 ด้านของถัง ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

เกณฑ์การพิจารณาในออกแบบถังกวนเร็ว (เกรียงศักดิ์, 2541)

ค่า Velocity gradient (G), s^{-1}	=	300 – 1,500
เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), s	=	20 – 60
ค่า Gt, ไม่มีหน่วย	=	30,000 – 60,000

กำหนดให้

อัตราการไหลของน้ำ (Q), m^3/d	=	400
เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), s	=	60
ค่า Velocity gradient (G), s^{-1}	=	800
ความหนืดของน้ำ (μ) ที่อุณหภูมิ 40°C	=	$0.653 * 10^{-3} \text{ N.s / m}^2$

ก.พิจารณาขนาดของถังกวนเร็ว

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดของถังกวนเร็ว} &= \text{กว้าง} * \text{ยาว} * \text{สูง} \\
 &= 0.7 * 0.7 * 0.6 \text{ m}^3 \\
 &= 0.30 \text{ m}^3 \\
 \text{ตรวจสอบเวลาเก็บกัก} &= (0.3 \text{ m}^3 * 86,400 \text{ s/d}) / 400 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 64.8 \text{ s ใช้ได้}
 \end{aligned}$$

ข.เพิ่มแผ่นกวนในถังกวนเร็ว

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ (P)} &= \mu V G^2 \\
 &= 0.653 * 10^{-3} \text{ N.s / m}^2 * 0.3 \text{ m}^3 * 800^2 \\
 &= 125 \text{ W} \\
 &= 125/0.6 \text{ (เมื่อคิดประสิทธิภาพมอเตอร์)} \\
 &= 209 \text{ W ใช้ 370 W} \\
 \text{ตรวจสอบ Gt} &= 800 * 64.8 \\
 &= 51,840 \text{ ใช้ได้}
 \end{aligned}$$

ค.คำนวณหาขนาดแผ่นกวน

$$\begin{aligned}
 \text{เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่นกวน} &= (0.5 - 0.8) * \text{ความกว้างถัง} \\
 &= 0.6 * 0.7 \text{ m} \\
 &= 0.42 \text{ m ใช้ 0.40 m} \\
 \text{ความกว้างของแผ่นกวน} &= (0.1 - 0.16) * 0.42 \text{ m} \\
 &= 0.125 * 0.42 \text{ d} \\
 &= 0.05 \text{ m} \\
 \text{ความกว้างของแผ่น Baffle} &= 0.1 * \text{ความกว้างถัง} \\
 &= 0.1 * 0.7 \text{ m} \\
 &= 0.07 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ง.คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ากระแสไฟฟ้า} &= 0.370 \text{ kW} * 10 \text{ h/d} * 22 \text{ d/mth} * 2 \text{ Baht / kWh} \\
 &= 163 \text{ Baht / mth}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{กระแสไฟฟ้าต่อปริมาตร} &= 163 \text{ Baht/mth} / 400 \text{ m}^3/\text{d} / 22 \text{ d/mth} \\ &= 0.02 \text{ Baht/m}^3\end{aligned}$$

จ.ปริมาณสารส้มที่ต้องการ และค่าสารส้ม

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณสารส้มที่ต้องการเดิม} &= 120 \text{ mg/l} * 400 \text{ m}^3/\text{d} / 1000 \\ &= 48 \text{ kg/d} \\ \text{ค่าใช้จ่ายสารส้ม} &= 48 \text{ kg/d} * 5 \text{ Baht/kg} * 22 \text{ d/mth} \\ \text{ราคาสารส้ม} &= 5,280 \text{ Baht/mth} \\ \text{หรือคิดเป็นต่อลิตร} &= 120 \text{ mg/l} * 5 \text{ Baht/kg} \\ &= 0.6 \text{ Baht} / \text{m}^3\end{aligned}$$

4.2.3 ถังกวนช้า (Flocculation Tank)

ถังกวนช้ามีหน้าที่สร้างโอกาสสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ที่สูญเสียเสถียรภาพ (Destabilized Colloid) เพื่อให้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก สำหรับการปรับปรุงระบบบำบัดในครั้งนี้ แนะนำให้ปรับความเร็วรอบในการกวนช้า เท่ากับ 40 รอบต่อนาที (เป็นผลจากการทดลอง) ซึ่งได้ผลดีได้ความปั่นป่วนหรือมีความเร็วเกรเดียนท์ (Velocity Gradient, G) ค่าประมาณ 20 - 50 วินาที⁻¹ และปรับเวลาในการรวมตะกอนประมาณ 20 นาที จึงจะทำให้กระบวนการสร้างฟล็อกเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนขนาดกำลังของมอเตอร์ที่ต้องการใช้เท่ากับ 100 W และใช้แผ่นกวนขนาด 0.06 m² ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

เกณฑ์ออกแบบถังกวนช้า (เกรียงศักดิ์, 2541)

$$\begin{aligned}\text{ค่า Velocity gradient (G), s}^{-1} &= 20 - 75 \\ \text{เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), min} &= 15 - 30 \\ \text{ค่า Gt, ไม่มีหน่วย} &= 10^4 - 10^5 \\ \text{ความเร็วหมุนของแผ่นกวน (v_p), m/s} &= 0.6 - 0.9\end{aligned}$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการไหลของน้ำ (Q), m}^3/\text{d} &= 400 \\ \text{เวลาเก็บกักของน้ำในถังผสม (t), min} &= 20\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่า Velocity gradient (G), s}^{-1} &= 50 \\ \text{ความหนืดของน้ำ } (\mu) \text{ ที่อุณหภูมิ } 40^\circ\text{C} &= 0.653 * 10^{-3} \text{ N.s / m}^2\end{aligned}$$

ก.พิจารณาขนาดถังกวนช้า

$$\begin{aligned}\text{ขนาดของถังกวนช้า} &= \text{กว้าง} * \text{ยาว} * \text{สูง} \\ &= 1.5 * 3.0 * 1.2 \text{ m}^3 \\ &= 5.4 \text{ m}^3 \\ \text{ตรวจสอบเวลาเก็บกัก} &= (5.4 \text{ m}^3 * 1,440 \text{ min/d}) / 400 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 19.44 \text{ min ใช้ได้}\end{aligned}$$

ข.ปรับปรุงกำลังของมอเตอร์

$$\begin{aligned}\text{กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ (P)} &= \mu V G^2 \\ &= 0.653 * 10^{-3} \text{ N.s / m}^2 * 5.4 \text{ m}^3 * 50^2 \\ &= 8.8 \text{ W} \\ &= 8.8/0.6 \text{ (เมื่อคิดประสิทธิภาพมอเตอร์)} \\ &= 14.7 \text{ W ใช้ 100 W} \\ \text{ตรวจสอบ Gt} &= 50 \text{ s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ s/min} \\ &= 60,000 \text{ ใช้ได้}\end{aligned}$$

ค.คำนวณหาขนาดแผ่นกวน

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ของแผ่นกวน (A)} &= 2P / (C_D \rho V^3) \\ &= (2 * 8.8) / (1.8 * 992.2 * (0.8 \text{ m} * 0.7)^3) \\ &= 0.06 \text{ m}^2\end{aligned}$$

ง.คำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}\text{ค่ากระแสไฟฟ้า} &= 0.1 \text{ kW} * 10 \text{ hr/d} * 22 \text{ d/mth} * 2 \text{ Baht/kWh} \\ &= 44 \text{ Baht / mth} \\ \text{กระแสไฟฟ้าต่อปริมาตร} &= 44 \text{ Baht/mth} / 400 \text{ m}^3/\text{d} / 22 \text{ d/mth} \\ &= 0.005 \text{ Baht/m}^3\end{aligned}$$

4.2.4 ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)

ถังตกตะกอนเป็นถังที่ใช้หลักการการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลก เนื่องจากน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีการตกตะกอนออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) ซึ่งการปรับปรุงในครั้งนี้นำให้ติดตั้งบัฟเฟอร์ช่วงที่ความลึก 50 cm. จากผิวน้ำ เพื่อความสะดวกแก่การกวาดตะกอนที่ลอยบนผิวน้ำ และติดตั้งท่อระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดตรงส่วนกลางของถังตกตะกอน เพื่อระบายน้ำออกจากระบบ ซึ่งจะได้น้ำที่มีคุณภาพดี

เกณฑ์ออกแบบถังตกตะกอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (เกรียงศักดิ์, 2541)

อัตราน้ำล้นของถัง (OFR), $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$	=	14 – 22
ความลึกของน้ำในถัง (D), m	=	3.0 – 5.5
อัตราน้ำล้นฝาย (WLR), $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$	=	143 – 179
เวลาเก็บกัก (DT), hr.	=	2 - 4

ก. กำหนดข้อมูลออกแบบดังนี้

ความลึกของถัง (D)	=	3 m
อัตราน้ำล้นฝาย (WLR)	=	$160 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$

ข. พิจารณารายละเอียดของถังตกตะกอน

พื้นที่ผิวของถัง	=	กว้าง * ยาว
	=	$1.5 \text{ m} * 14 \text{ m}$
	=	21 m^2
อัตราน้ำล้นจริงของถัง (OFR)	=	Q / OFR
	=	$400 \text{ m}^3/\text{d} / 21 \text{ m}^2$
	=	$19 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ใช้ได้
ความลึกของถัง (D)	=	3 m
ปริมาตรของถัง	=	$21 \text{ m}^2 * 3 \text{ m}$
	=	63 m^3

$$\begin{aligned}\text{เวลาเก็บกักของถัง} &= (63 \text{ m}^3 / 400 \text{ m}^3/\text{d}) * 24 \text{ hr/d} \\ &= 3.78 \text{ hr ใช้ได้}\end{aligned}$$

ค.พิจารณาฝาย (Weir)

$$\begin{aligned}\text{ตรวจสอบความยาวฝาย} &= Q / L \\ &= 400 \text{ m}^3/\text{d} / 1.5 \text{ m} \\ &= 266.67 \text{ m}^3/\text{m.d} \text{ ไม่ผ่าน}\end{aligned}$$

ดังนั้นออกแบบติดตั้งฝาย (Weir) ใหม่

เลือกใช้ฝายชนิดแผ่นเรียบธรรมดา ติดตั้งไว้บริเวณทางออก

$$\begin{aligned}\text{ความยาวฝายที่ต้องการ} &= Q / \text{WLR} \\ &= 400 \text{ m}^3/\text{d} / 160 \text{ m}^3/\text{m.d} \\ &= 2.5 \text{ m}\end{aligned}$$

ส่วนแบบรายละเอียดของถังต่างๆที่ได้ปรับปรุงข้างต้น แสดงในภาคผนวก ค

4.2.5 สรุปค่าใช้จ่ายในการเดินระบบตกตะกอนเคมี

การปรับปรุงระบบตกตะกอนเคมีนั้นมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ คือ

$$\begin{aligned}\text{ค่าสารส้ม} &= 0.600 \text{ Baht/m}^3 \\ \text{ค่าไฟฟ้าในถังกวนเร็ว} &= 0.020 \text{ Baht/m}^3 \\ \text{ค่าไฟฟ้าในถังกวนช้า} &= 0.005 \text{ Baht/m}^3 \\ \text{รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินระบบ} &= 0.625 \text{ Baht/m}^3\end{aligned}$$

เมื่อโรงสีข้าวได้รับการปรับปรุงตามรายละเอียดข้างต้น จะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นคือ ปริมาณของแข็งต่างๆ ทั้งในรูปแขวนลอย และละลายน้ำมีปริมาณลดลง นอกจากปริมาณของแข็งต่างๆลดลงแล้ว ยังพบว่าค่า COD ปริมาณน้ำมันและไขมันลดลงอีกด้วย ดังนั้นเมื่อคุณภาพน้ำดังกล่าวดีขึ้น ซึ่งเป็นน้ำที่นำไปใช้ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจับสารปนเปื้อนของเครื่องสัมผัสแบบเปียกดีขึ้น สารปนเปื้อนในก๊าซร้อนลดลง เครื่องจักรในการผลิตกระแสไฟฟ้าทำงานได้ต่อเนื่อง ไม่ต้องหยุดการผลิตเพื่อซ่อมแซม

สรุป

1. น้ำตัวอย่างจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) มีสีเข้ม เนื่องจากมีค่าความขุ่นสูงถึง 1,540 mg/l และมีการปนเปื้อนของของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 1,895 mg/l โดยพบในรูปของของแข็งแขวนลอยต่ำ คิดเป็นร้อยละ 8 ของของแข็งทั้งหมด และอยู่ในรูปของของแข็งละลาย คิดเป็นร้อยละ 92 ของของแข็งทั้งหมด ในขณะที่วัดค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างยังมีค่าสูงเท่ากับ 7,566 mg/l ซึ่งบอกให้ทราบว่าน้ำตัวอย่างมีสารอินทรีย์สูงมาก เนื่องจากสภาวะการเผาไหม้ของเตาเผา เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ จึงทำให้มีฝุ่นละอองในปริมาณสูง ปนเปื้อนมาในน้ำทิ้งจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก นอกจากการปนเปื้อนในรูปของแข็งแล้ว ยังพบการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันเท่ากับ 824 mg/l โดยพบในรูปของฟิล์มลอยอยู่บนผิวน้ำ และในรูปของอิมัลชันซึ่งมองเห็นเป็นความขุ่นของน้ำ จึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้มีสีเข้ม ซึ่งจากคุณสมบัติของน้ำข้างต้น การบำบัดน้ำแบบไม่ใช้สารสร้างตะกอน ไม่สามารถบำบัดน้ำให้มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก ในลักษณะหมุนเวียนน้ำได้ จึงทำให้น้ำมีคุณภาพต่ำและไม่มีประสิทธิภาพในการดักจับสิ่งปนเปื้อน

2. การใช้สารสร้างตะกอนในการตกตะกอน

2.1 สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ดีที่สุดในการตกตะกอน ซึ่งใช้สารส้มในปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l ที่พีเอชเหมาะสม เท่ากับ 7 สามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ (TVS) ได้ร้อยละ 99.12, 95.24, 14.78 และ 31.46 ตามลำดับ

2.2 ใช้สารส้มร่วมกับจีเถ้ากลบในปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับจีเถ้ากลบในปริมาณเท่ากับ 15 g/l และพีเอช ที่เหมาะสมเท่ากับ 7 สามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ (TVS) ได้ร้อยละ 94.06, 92.86, 12.97 และ 24.31 ตามลำดับ

2.3 จีเถ้ากลบไม่มีส่วนช่วยในการตกตะกอน

3. การใช้สารสร้างตะกอนในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil)

3.1 ใช้สารส้มในปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เท่ากับ 120 mg/l ที่พีเอชเหมาะสมเท่ากับ 7 นั้นสามารถแบ่งชั้นปริมาณน้ำมันและไขมันออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบน (Upper) ส่วนน้ำใส (Supernatant) และส่วนด้านล่าง (Lower) โดยมีปริมาณน้ำมันและไขมัน เหลือค้างตรงส่วนน้ำใสน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละการบำบัดได้เท่ากับ 97.65 ของน้ำตัวอย่าง ดังนั้นควรปล่อยน้ำออกตรงส่วนน้ำใส จึงจะได้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด นอกจากการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน ข้างต้นแล้วยังสามารถบำบัดค่า COD ได้ร้อยละ 30.43

3.2 ใช้ขี้เถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เท่ากับ 15 g/l ที่พีเอชเท่ากับ 10 นั้นสามารถบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน ได้ไม่ดีเท่ากับใช้สารส้ม คือสามารถบำบัดได้ร้อยละ 91.77 ของน้ำตัวอย่างเมื่อปล่อยน้ำออกตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ที่ผิวของขี้เถ้าแกลบตรงส่วนที่ลอยน้ำ จึงทำให้มีปริมาณน้ำมันและไขมันที่เหลือค้างตรงส่วนบน (Upper) มากกว่าการใช้สารส้ม นอกจากการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันข้างต้นแล้วยังสามารถบำบัดค่า COD ได้ร้อยละ 43.90

3.3 ใช้สารส้มในปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l ร่วมกับขี้เถ้าแกลบ 15 g/l และพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7 นั้นมีปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เหลือค้างตรงส่วนน้ำใส (Supernatant) น้อยที่สุดเช่นกัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับสารสร้างตะกอนข้างต้น คือสามารถบำบัดได้ร้อยละ 88.66 ของน้ำตัวอย่าง นอกจากการบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมันข้างต้นแล้วยังสามารถบำบัดค่า COD ได้ร้อยละ 29.33

4. อิทธิพลจากอุณหภูมิ

4.1 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เท่ากับ 120 mg/l และพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเพิ่มขึ้นจาก 27 °C เป็น 40 – 50 °C ซึ่งสามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยได้ (TVS) และปริมาณน้ำมัน และไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 99.29, 95.68, 16.02, 33.10 และ 98.10 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดค่า COD ได้ร้อยละ 31.88

4.2 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 120 mg/l เมื่อใช้ร่วมกับจีเถ้าแกลบปริมาณ 15 g/l และพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิของน้ำตัวอย่างสูงเป็น 40 – 50 °C ซึ่งสามารถบำบัดความขุ่น (Turbidity) และของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยได้ (TVS) และปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 96.83, 93.02, 13.21, 23.05 และ 90.56 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดค่า COD ได้ร้อยละ 40.66

4.3 อุณหภูมิไม่มีส่วนช่วยในการตกตะกอนของจีเถ้าแกลบ แต่สามารถการบำบัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) ได้ร้อยละ 89.07

5. ค่าใช้จ่ายเมื่อใช้สารส้ม 120 mg/l เพื่อเป็นสารตกตะกอน และบำบัดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Grease and Oil) เท่ากับ 0.625 Baht/m³ ส่วนจีเถ้าแกลบเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในโรงสี ดังนั้นจึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนค่าสารสร้างตะกอน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองเพิ่มเติมในระดับ Pilot Plant เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิจัย อันได้แก่ปริมาณสารสร้างตะกอน และพีเอชที่เหมาะสม เป็นต้น
2. ควรทำการศึกษาการนำจีเถ้าแกลบมาใช้เป็นวัสดุกรองน้ำ ในระบบกรองช้า เพื่อบำบัดน้ำที่ผ่านเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสารปนเปื้อน กับระบบตกตะกอน
3. ควรทำการศึกษาการควบคุมระบบการเผาไหม้ของเตาเผาแกลบ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และลดปริมาณสารปนเปื้อนที่มากับน้ำในเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber)
4. ควรทำการศึกษาการสร้างตะกอนของ PAC หรือ เพอร์ริคโคลไรด์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรณีการณ์ สิริสิงห์. 2525. **เคมีของน้ำและการวิเคราะห์**. ประยูรวงศ์จักรการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 387 น.

กฤษณา ผากานนท์ และศิรินทรเทพ เต้าประยูร. 2537. **การกำจัดสัณฐานิกเกิดโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ และซีเถ้าลอยลิไนต์**. การประชุมวิชาการคณะวิศวกรรมศาสตร์ 7 – 8 มิถุนายน 2537. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

โกมล ศิวบรร, เขายุทธ พรพิมลเทพ และสุวิทย์ ชุมชนศิริพันธ์. 2534. **การประปาเบื้องต้น**. หจก. ธนการพิมพ์, 216 น.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ 2541. **วิศวกรรมประปา** มิตรนราการพิมพ์, นนทบุรี. 217 น.

คมสร ฉิมวัย. 2545. **การแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียโดยกระบวนการสร้างตะกอนทางเคมีกรณีศึกษาโรงงานผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

จดหมายข่าวศูนย์ข้อมูลพลังงานแห่งประเทศไทย. 2527. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2527

ชุมพล จันทรสม. 2534 **การศึกษาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าแกลบ และซีเถ้าลอย** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น

มันสิน ต้นทุลเวศม์. 2538. **วิศวกรรมประปา เล่ม1**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 305 น.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2542. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2540/2541**. ไทยวัฒนาการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 150 น.

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการผลิตซี
ลิกาเจลดูดความชื้นจากขี้เถ้าแกลบ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุทธ. 2524. การกักน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่ง
ชุมชน. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 316 น.

โสภณ เอียดประพาล. 2545. การศึกษาทดลองหาเกณฑ์การควบคุม และประสิทธิภาพของถัง
กักความชื้นแบบใช้ชั้นตะกอนในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โรงงานผลิตน้ำประปา
แพงพวย จ.ราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อนุชิต กิจสวัสดิ์. 2524. การทำซีเมนต์จากถ่านแกลบ. กองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ.
56 น.

APHA, AWWA and WEF. 1992. **Standrad methods for examination of water and
wastewater**. 18th ed. American Public Health Association. Washington, DC. 1220 p.

Amirtharajah, A. and K.M. Mills. 1982. Repid – Mix for Mechanisms of Alum
Coagulation. **F. AWWA**. 74 : 210 - 216

Camp, T.R. 1955. **Flocuulation and flocuulation basin**. J Trans. 120 : 1 - 16

Chindaprasirt, P. 1983. **Low cost cement for rural area**. Pp. 120 – 136. In Report
NO.OTRD 2/1983 Submitted to the International Development Research Center.
Khon Kaen : office of technology for rural development, faculty of emgineering,
Khon Kaen University.

Cleasby, J.L. 1990. **Water Quality and Treatment**. (A Hand Book of Community
Water Supplies). 4th ed., McGraw – Hill, Inc., NewYok. 820 p.

Committee report. 1971. **State of the art of coagulation mechanisms and stoichiometry.**

J. Amer. Wat. Works Assoc. 63(2) : 99 – 108.

Corbitt, R.A. 1998. **Standard Handbook of Environmental Engineering.** 2nd ed.,

McGraw – Hill Book Company. New York. 1,216 p.

David, F.H. 1972. Rice hull, **rice chemistry and technology.** American Association of

Cereal Chemists. 1 : 56 – 96.

Degremont Inc. 1991. **Water Treatment Handbook.** Vol 1. 6th ed., Imprimerie Herissey

Evreux (Eure). France. 592 p.

Eckenfelder, W.W. 1980. **Principles of Water Quality Management.** CBI Publish

Company, Inc., Massachusetts. 717p.

Edwards, M., M.M. Benjamin and J.E. Tobiasson. 1994. **Effects of ozonation on**

coagulation of NOM using polymer alone and polymer/metal salt mixtures. J.

Amer. Wat. Work Assoc. 86(1) : 105 116.

Hannah, S.A., J.M. Conen and G.G. Robeck. 1967. **Control techniques for coagulation**

– filtration. J. Amer. Wat. Work Assoc. 59(9) : 1149 – 1163.

Kawamura, S. 1975. **Integrated Design of Water Treatment Facilities.** John Wiley and

Sons, Inc., New York. 658 p.

Kim, W., H.F. Ludwig and W.D. Bishop. 1965. **Cation - exchange capacity and pH in**

the coagulation process. J. Amer. Works Assoc. 57(3) : 327 – 348

- Letterman, R.D., M. Tabatabaie and J. Amer. Jr. 1979. **The effect of the bicarbonation concentration on flocculation with aluminium sulphate.** J. Amer. Works Assoc. 71(8) : 467 – 472
- Morris, J.K. and W.R. Knocke. 1984. **Temperature effect on the use of metal – ion coagulations for water treatment.** J. Amer. Wat. Works Assoc. 76(3) : 74 – 79.
- Qureshi, N. and R.H. Malmberg. 1985. **Reducing aluminum residuals in finished in finished water.** J. Amer. Wat. Works Assoc. 77(10) : 101 - 108
- O' Melia, C. R. and W. Stumm. 1969. **Theory of water filtration.** J. AWWA. 59 : 1393.
- Steel, E. W. and Terence J. McGhee. 1979. **Water Supply and Sewerage.** 5th ed., McGraw – Hill Book Company. New Yok. 206 – 239.
- Sawyer, C.N., and McCarty, P.L. 1967 **Chemistry for Sanitary Engineers.** McGraw – Hill Book Company. New Yok.
- Van Benschten, J.K. Edzwald and M.A. Rahman. 1992. **Effects of temperature and pH on residual alum and polyaluminium coaguants.** J. Wat. Supply 10(4) : 49 – 54.
- Weber, JR. 1972. **Physicochemical Processes for Water Quality Control.** John Wiley & Sons, Inc., New York. 640p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำตัวอย่างจากระบบสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ

Date	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	Grease and Oil (mg/l)
24 /5/48	7.8	1,539	65	155	1,908	1,147	7,536	850	824
26 /5/ 48	8.35	1,431	70	147	1,804	1,058	7,007	750	810
28 /5/ 48	7.65	1,650	60	162	1,974	1,263	8,157	900	824
Avg.	7.93	1,540	65	155	1,895	1,156	7,566	833	824

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดลองการเดินระบบโดยไม่ใช้สารสร้างตะกอน

Repli- cation.	Waste Water	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil (mg/l)
1	Raw	8.00	1,539	27	145	1,978	1,351	7,692	860
	Treated	8.00	1,528	27	142	1,962	1,343	7,484	835
2	Raw	7.80	1,456	27	140	1,950	1,306	6,899	814
	Treated	7.80	1,483	27	154	2,007	1,365	6,970	841
3	Raw	8.00	1,474	27	147	1,969	1,421	6,532	809
	Treated	8.00	1,454	27	142	1,901	1,432	7,100	797
Avg.	Raw Waste	7.93	1,489	27	144	1,965	1,359	7,041	827
	Treated	7.93	1,488	27	146	1,956	1,380	7,184	824

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม โดยกำหนดพีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง

Sample / Alum Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (⁰ C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil (mg/l)
Untreated	8	1,539	27	145	1,978	1,351	7,692	860
20	8	368	27	98	1,842	1,208	5,969	63
50	8	138	27	56	1,802	1,168	5,846	54
80	8	80	27	35	1,764	1,130	5,630	40
110	8	60	27	26	1,722	968	5,600	22
140	8	48	27	16	1,712	966	5,630	18
170	8	45	27	14	1,704	959	5,538	16

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

Sample / Alum Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,456	27	140	1,950	1,306	6,899	814	-	-	-
120	5	19	27	17	2,137	1,258	6,547	810	113	40	657
120	6	15	27	6	1,903	1,092	5,773	797	73	29	695
120	7	32	27	10	1,767	1,041	5,350	843	62	23	758
120	8	67	27	16	1,918	1,113	6,054	834	69	33	732
120	9	119	27	24	2,282	1,212	6,266	834	109	42	683

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม ที่พีเอชเหมาะสม

Sample / Alum Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,474	27	147	1,969	1,421	6,532	809	-	-	-
80	7	26	27	20	1,763	1,053	5,396	831	90	41	700
90	7	22	27	17	1,711	1,003	5,254	841	86	35	720
100	7	16	27	13	1,693	989	4,970	851	72	29	750
110	7	14	27	10	1,683	979	4,686	861	60	24	777
120	7	13	27	7	1,678	974	4,544	860	56	19	785

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณจี๊ด้าเกลบที่เหมาะสม โดยกำหนดพีเอชคงที่เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นพีเอชของน้ำตัวอย่าง

Sample / Rice Husk Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,481	65	152	1,938	1,153	7,654	733	-	-	-
5	8	1,693	27	173	2,066	1,260	6,693	616	116	101	399
10	8	1,772	27	177	2,184	1,291	6,499	683	136	86	461
15	8	1,828	27	184	2,265	1,326	5,917	716	145	73	498
20	8	1,853	27	193	2,346	1,372	5,335	736	148	70	518
25	8	1,909	27	205	2,402	1,387	5,141	742	150	68	524

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอช เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นสารสร้างตะกอน

Sample / Rice Husk Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (⁰ C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,484	27	154	1,942	1,157	7,790	777	-	-	-
15	6	2,445	27	286	2,643	1,765	5,700	767	180	90	497
15	7	2,178	27	235	2,485	1,583	5,320	784	166	83	536
15	8	1,828	27	184	2,265	1,326	4,940	787	145	76	566
15	9	1,656	27	174	2,102	1,168	4,560	772	115	67	590
15	10	1,638	27	168	2,060	1,165	4,370	774	108	64	602

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการทดลองเพื่อศึกษาขั้นตอนการใส่สารสร้างตะกอน และปริมาณสารส้มที่เหมาะสม เมื่อใช้ปริมาณขี้เถ้าแกลบคงที่

Sample / Alum and Rice Husk Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (⁰ C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,414	27	154	1,881	1,127	7,200	789	-	-	-
120 mg/l and 15 g	7	84	27	12	1,673	889	5,472	794	136	90	568
100 mg/l and 15 g	7	90	27	16	1,697	915	5,856	803	154	92	557
80 mg/l and 15 g	7	100	27	22	1,771	969	6,432	794	176	104	514
15 g and 120 mg/l	7	102	27	23	1,766	911	5,664	783	165	102	516
15 g and 100 mg/l	7	108	27	27	1,791	943	6,048	778	183	108	487
15 g and 80 mg/l	7	113	27	33	1,869	1,010	6,624	768	201	120	447

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณขี้เถ้าแกลบที่เหมาะสม เมื่อใช้ปริมาณสารส้มคงที่

Sample / Alum and Rice Husk Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (⁰ C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
								Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
Untreated	8	1,414	27	154	1,881	1,127	7,200	789	-	-	-
120 mg/l and 20 g	7	81	27	11	1,637	853	5,088	798	129	90	579
120 mg/l and 15 g	7	87	27	13	1,677	869	5,472	794	138	93	563
120 mg/l and 10 g	7	102	27	22	1,735	938	6,048	794	162	107	526
120 mg/l and 5 g	7	128	27	38	1,811	1,026	7,008	784	204	133	448

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

Date	Sample / Dose	pH	Turbidity (NTU)	Temperature (°C)	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	COD (mg/l)	Grease and Oil			
									Total (mg/l)	Upper (mg/l)	Supernatant (mg/l)	Sludge (mg/l)
1 / 8/48	Untreated	8	1,674	60 - 70	158	1,925	1,205	7,827	880	-	-	-
	120 mg/l	7	13	60 - 70	7	1,611	812	5,340	843	65	18	760
	120 mg/l and 15 g	7	52	60 - 70	12	1,658	916	5,874	909	162	97	650
	15 g	7	1,868	60 - 70	173	2,066	1,238	4,450	822	125	82	615
7 / 8/48	Untreated	8	1,446	60 - 70	143	1,746	1,103	6,774	804	-	-	-
	120 mg/l	7	9	60 - 70	6	1,472	732	4,606	817	58	14	745
	120 mg/l and 15 g	7	47	60 - 70	9	1,528	860	4,998	856	145	87	624
	15 g	7	1,602	60 - 70	158	1,879	1,115	4,214	782	115	77	590
Avg.(mg/l)	Untreated	8	1,560	60 - 70	151	1,836	1,154	7,301	842	-	-	-
	120 mg/l	7	11	60 - 70	7	1,542	772	4,973	830	62	16	753
	120 mg/l and 15 g	7	50	60 - 70	11	1,593	888	5,436	883	154	92	637
	15 g	7	1,735	60 - 70	166	1,973	1,177	4,332	802	120	80	603
Avg. (%)	Untreated	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120 mg/l	7	99.29	60 - 70	95.68	16.02	33.10	31.88	1.43	92.70	98.10	10.63
	120 mg/l and 15 g	7	96.83	60 - 70	93.02	13.21	23.05	25.54	-4.81	81.77	89.07	24.35
	15 g	7	-11.22	60 - 70	-9.97	-7.46	-1.95	40.66	4.75	85.75	90.56	28.44

ภาคผนวก ข
วิธีการทำ Jar Test

การทดสอบสถานะของการตกตะกอน โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar Test)

เครื่องมือ

1. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. เครื่องกวนผสมปรับความเร็วรอบได้

สารสร้างตะกอน

1. สารส้ม
2. จีเถ้าแกลบ
3. สารส้มร่วมกับจีเถ้าแกลบ

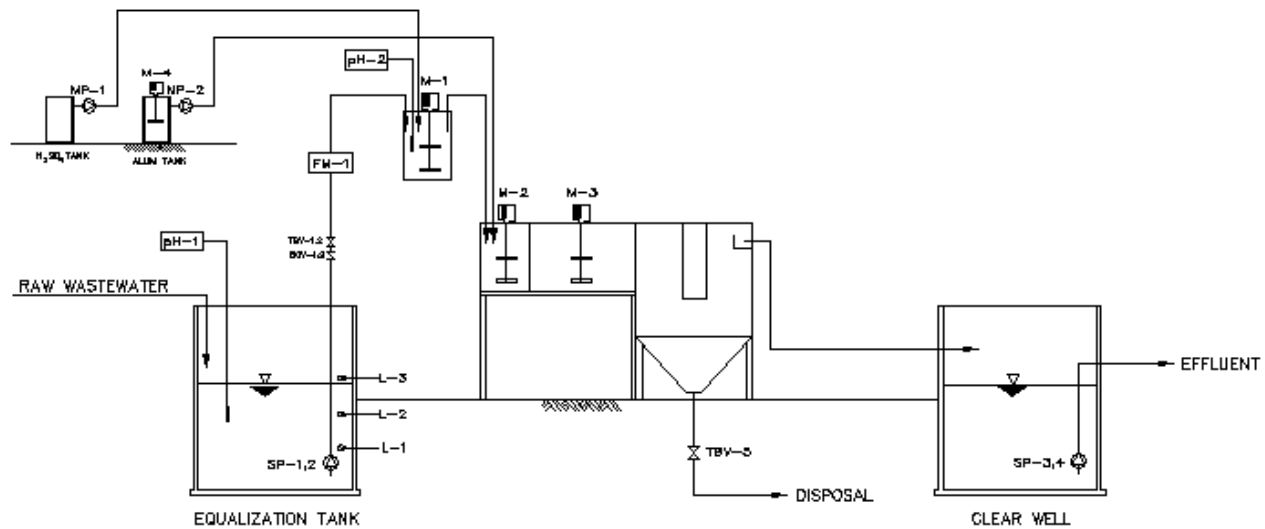
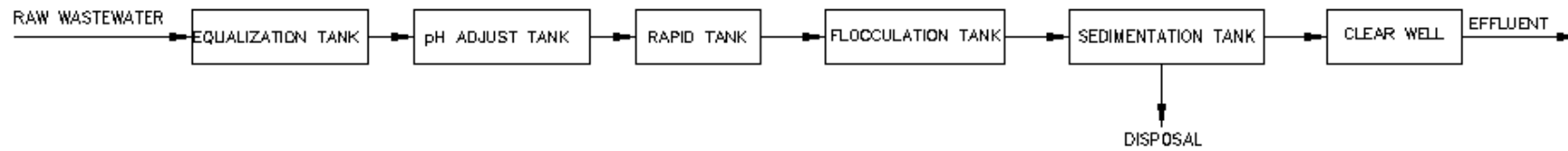
ขั้นตอนการทำจาร์เทสต์ (Jar Test)

1. เก็บตัวอย่างน้ำ ที่จะใช้ทำการทดลองใส่ถังน้ำ หรือแกลอน ประมาณ 20 -30 ลิตร
2. วิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่าง ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ข้างต้น
3. กวนน้ำให้ผสมกันให้ดี และเทน้ำใส่ลงบีกเกอร์ 6 ใบๆ ละ 1 ลิตร
4. นำบีกเกอร์วางบนเครื่อง Flocculation ปรับใบพัดให้อยู่ในส่วนกลางของบีกเกอร์
5. ตั้งค่าความเร็วรอบของใบพัดเพื่อความเร็วที่ 100 รอบ/นาที
6. ใช้ปิเปตดูดสารละลายสารเคมีในปริมาตรตามอัตราการใช้ที่ต้องการ ใส่หลอดทดลองเตรียมไว้
7. เติมสารละลายสารเคมีลงในบีกเกอร์ที่ทำการทดลองในเวลาพร้อมๆ กัน
8. กวนเร็ว เป็นเวลา 1 นาที
9. หลังจากนั้นให้ลดความเร็วรอบการหมุนของใบพัดให้เหลือ ประมาณ 30 รอบ/นาที เพื่อการกวนช้า 20 นาที บันทึกลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้น
10. เมื่อครบตามกำหนด ให้หยุดการกวน และเอาใบพัดออกให้เหนือพื้นน้ำ
11. ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที บันทึกลักษณะ และความเร็วของการตกตะกอน ในแต่ละบีกเกอร์
12. ใช้ที่ดูดช่องอบแบบกาลักน้ำ ดูดที่ความลึกของชั้นน้ำประมาณ 50% โดยดูดน้ำออกมาประมาณ 500 มิลลิลิตร
13. ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ดูดออกมา ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ข้างต้น

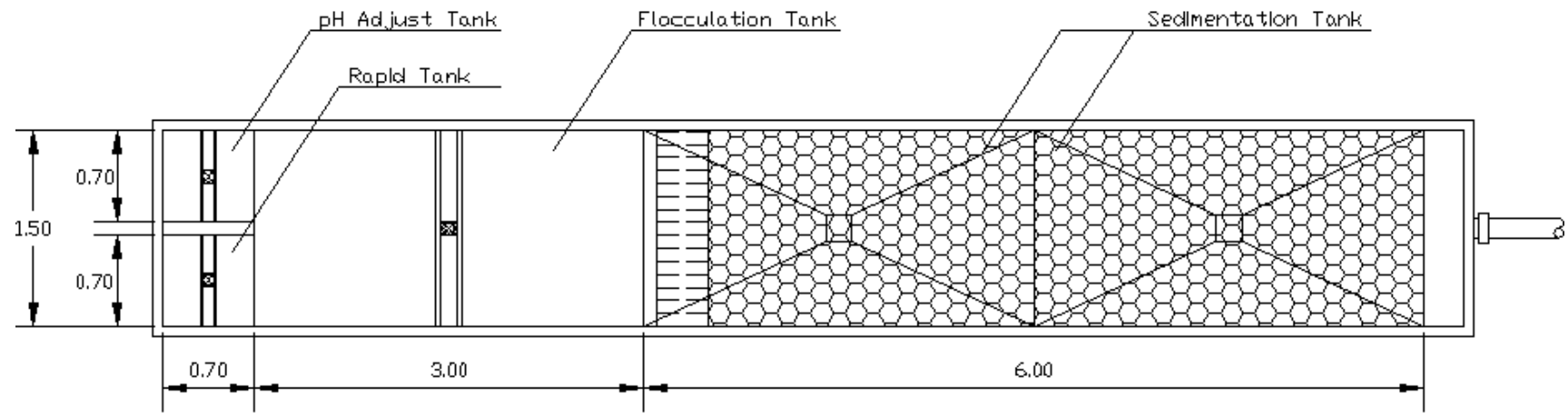
14. ถ้าผลการทดลองพบว่า คุณภาพน้ำในบีกเกอร์ใดดีกว่า ให้ทำการทดลองซ้ำโดยวิธีเดิม แต่แปรผันปริมาณสารเคมี
15. พล็อตกราฟระหว่างปริมาณสารเคมีที่ใช้ กับพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดเพื่อหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำ
16. เมื่อได้ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมแล้ว ทำการหาระดับค่า pH ที่เหมาะสม โดยทำตามข้อ 6 ถึง ข้อ 15
17. เมื่อได้ระดับค่า pH ที่เหมาะสมแล้ว ทำการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม โดยแบ่งให้มีความละเอียดมากขึ้น
18. ทำการทดลองหาระดับค่า pH และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ตามข้อ 1 ถึง ข้อ 17
19. ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำที่ผ่านระบบที่ผ่านระบบบำบัดอากาศแบบเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber) ของเตาเผาแกลบ โดยการนำค่าที่ได้จากการทดลองข้างต้นของสารสร้างตะกอนทั้ง 3 ชนิด มาทำตามข้อ 1 ถึง ข้อ 17 และปรับอุณหภูมิประมาณ $60^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากระบบเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubber)

ภาคผนวก ก

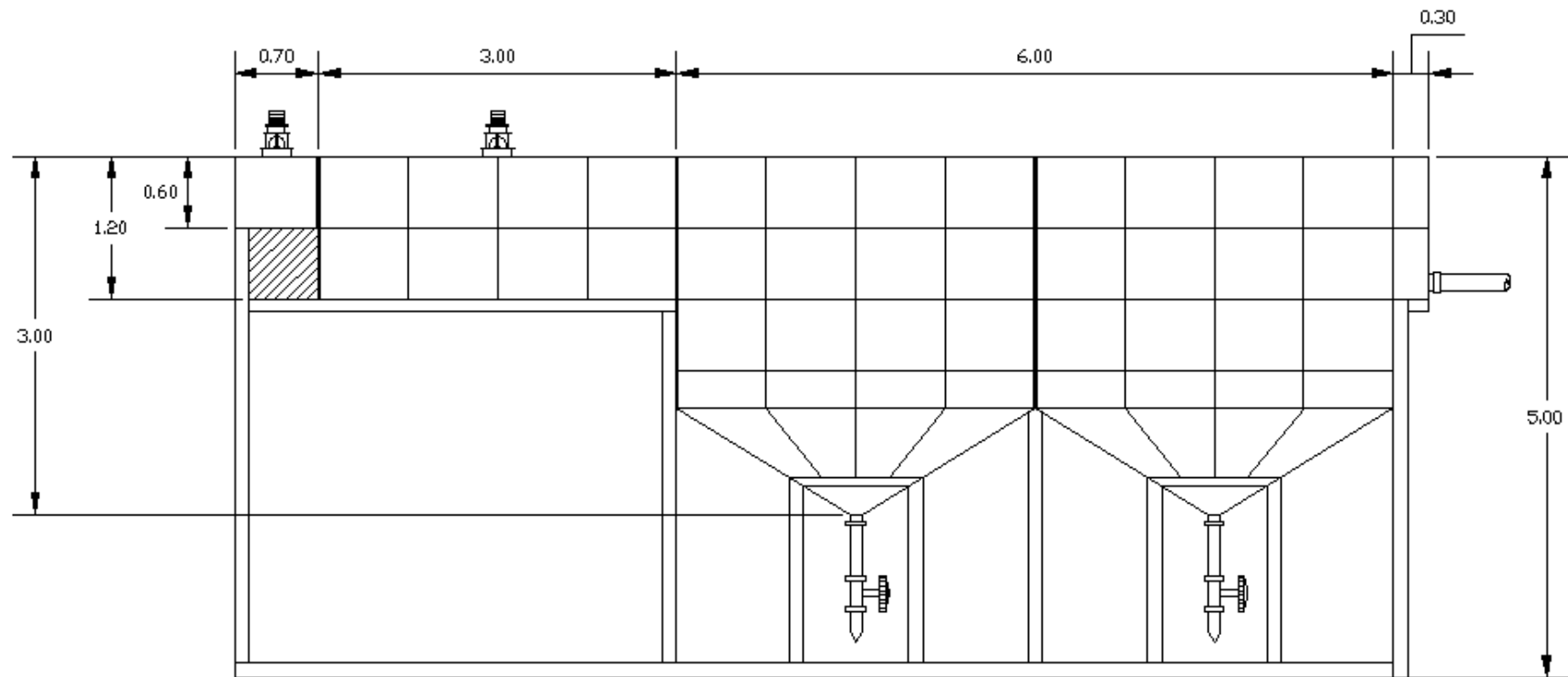
แบบรายละเอียดในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียจากเตาเผาเกลือ ของโรงสี



การปรับปรุงระบบตกตะกอนเคมีของโรงสีข้าวร่วมเจริญสอง



PLAN



SIDE VIEW