

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ

☐ ดีเยี่ยม

☐ ดีมาก

☒ ดี

☐ ปานกลาง



การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสา
ด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

พัชรินทร์ ถาปินตา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร
การเกษตรและสิ่งแวดล้อม
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสียากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสา

ด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

โดย

พัชรินทร์ ถาปันทา

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.พิกานต์ บรรเจิดกิจ)

วันที่ 29 เดือน ก.ค. พ.ศ. ๖๖

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี คงดี)

วันที่ 29 เดือน ก.ค. พ.ศ. ๖๖

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.นริศ วัฒนชัยกุล)

วันที่ 29 เดือน ก.ค. พ.ศ. ๖๖

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ทองวิทยา)

วันที่ 29 เดือน ก.ค. พ.ศ. ๖๖

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 29 เดือน ก.ค. พ.ศ. ๖๖

ชื่อเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
ชื่อผู้เขียน	นางสาวพัชรินทร์ ถาปินตา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร การเกษตรและสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.พีรกานต์ บรรเจิดกิจ

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในงานวิจัยนี้โดยใช้น้ำเสียจากบ้านต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งศึกษาปริมาณสารตกตะกอนและค่าความเป็นกรด – ด่างของสารส้ม และพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ ที่สามารถกำจัดได้ร้อยละ 50 โดยการใช้เครื่องจาร์เทส จากนั้นศึกษาน้ำเสียหลังการตกตะกอนผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผลิต ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ผลการทดสอบ พบว่าพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีกว่าสารส้ม และใช้ปริมาณสารตกตะกอนที่น้อยกว่าสารส้ม คือ 2,000 มก/ล.

ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ คือ ขั้นตอนเผาถ่าน 800 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที และ ขั้นตอนกระตุ้นด้วยสารเคมี 900 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ผลการทดสอบ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตมีประสิทธิภาพการดูดซับสีมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดจากผลของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและค่าเลขไอโอดีน

Title	Study on the Efficiency of Color Removal in Saa-Paper Industry Wastewater by Coagulation and Adsorption method
Author	Miss Patcharin Tapinta
Degree of	Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management
Advisory Committee Chairperson	Dr. Peerakarn Bunjerdkij

ABSTRACT

The study on the efficiency of color removal in Saa-paper industry wastewater in Tambol Tonpao, Amphur Sankampang, Chiangmai Province, was studied by coagulation and adsorption methods. The coagulation by alum and polyaluminium chloride of different concentrations and pH values had a 50 percent color removal through the use of Jar Test. This was followed by the application of activated carbon from lychee seeds carbonized at different temperatures in comparison with commercial activated carbon in the adsorption of color residues in wastewater.

Results showed that polyaluminium chloride showed high efficiency than alum in the removal of color at lower concentration (2,000 mg/L).

In the process of preparing lychee seeds for carbonization and chemical activation using an optimum temperature of 800°C for 45 minutes and 900°C for 30 minutes, respectively, results showed that home-made activated carbon was able to adsorb more dye as compared with commercial activated carbon due to higher pore volume as presented by SEM images and iodine number.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้จากความอนุเคราะห์ สนับสนุนให้คำปรึกษาจาก บุคคลหลายท่าน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณทุกท่านอย่างสูงที่ได้มอบความเมตตา สนับสนุนให้ คำปรึกษา ผลักดัน และกรุณามอบความไว้วางใจ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.พิรภานต์ บรรเจิดกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี คงดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น้ำเพชร วินิจลักษณ์ อาจารย์ ดร.บุญจรรย์ ใจถนันทน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรินทร์ ทองวิทยา และรองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์การจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ กรุณาอบรม สั่งสอน ให้วิชาความรู้ และให้ความเมตตาโดยตลอด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และคอยเป็นกำลังใจให้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่คอยให้ คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ สนับสนุน และให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

พัชรินทร์ ถาปินตา

กรกฎาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษสา	4
แหล่งที่มาของน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา	7
สีรีแอคทีฟ (Reactive Dye)	9
กระบวนการสร้างตะกอน	9
กระบวนการสร้างตะกอนโดยสารเคมีต่างๆ	10
กลไกการสร้างตะกอนของสารส้ม	12
การสร้างตะกอนด้วยพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)	13
คุณสมบัติของพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ เมื่อเป็นการสร้างตะกอน	14
กลไกการตกตะกอนด้วยพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์	15
ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวและรวมตัวกันเป็นฟล็อก	16
ลื่นจี	17
ความหมายของถ่านกัมมันต์	19
ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption Theory)	20
กลไกของกระบวนการดูดซับ	22
ทฤษฎีของกระบวนการดูดซับ (Adsorption Theory)	23

	หน้า
สมมูลของการดูดซับ	23
ขั้นตอนของกระบวนการดูดติดผิว (Steps of adsorption)	25
ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว	26
ชนิดของการดูดซับ	27
กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์	28
การกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์	29
การทดสอบการใช้งาน	31
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
การทดลองที่ 1	
ศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม(Alum) และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)	33
การทดลองที่ 2	
การศึกษขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่	34
การทดลองที่ 3	
ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถ่านกัมมันต์	37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	
การทดลองที่ 1	
ศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม(Alum) และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)	43
การทดลองที่ 2	
การศึกษขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่	60

	หน้า
การทดลองที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถ่านกัมมันต์	68
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ค่าตัวแปร	85
ภาคผนวก ข การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	94
ภาคผนวก ค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด	98
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณและข้อมูลการทดลอง	103
ภาคผนวก จ ภาพผลการทดลอง	117
ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย	119

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	คุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง (Influence ; INF) จากโรงงานผลิตกระดาษสา	44
2	การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ	45
3	การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด	47
4	การหาปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสม ในการตกตะกอนแบบหยาบ	49
5	การหาปริมาณสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสม ในการตกตะกอนแบบละเอียด	51
6	การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบหยาบ ในการตกตะกอนของสารส้ม	53
7	การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบละเอียด ในการตกตะกอนของสารส้ม	54
8	การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบหยาบ ในการตกตะกอนของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	56
9	การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบละเอียด ในการตกตะกอนของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์	57
10	ผลการไตรเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่าน ของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะต่าง ๆ	60
11	ผลการไตเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี ของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะต่างๆ	62
12	ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่าน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์ ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 3	68
13	ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่าน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์ ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 5	71

- | | | |
|----|--|----|
| 14 | ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่าน
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์
ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 7 | 73 |
| 15 | ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่าน
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์
ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 9 | 75 |

สารบัญภาพ

ตาราง		หน้า
1	ผังกระบวนการผลิตกระดาษและน้ำเสียที่เกิดขึ้น	8
2	แสดงกระบวนการสร้าง-รวมตะกอนเคมี	10
3	แสดงไดอะแกรมภาพตัดขวางของเปลือกผลล้นจีที่โตเต็มที่แล้ว	18
4	กลไกการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์	21
5	แสดงถึงการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ในลักษณะต่างๆ กันด้วยแรงทางฟิสิกส์	22
6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ce และ $C_e/(X/M)$	25
7	ขั้นตอนการหาปริมาณสารตกตะกอนและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ในการตกตะกอน	38
8	แสดงขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดล้นจี	40
9	แสดงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์จากเมล็ดล้นจี	42
10	แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารส้มแบบหยาบ	46
11	แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารส้มแบบละเอียด	48
12	แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของฟลูออรีนเนียมคลอไรด์ แบบ หยาบ	50
13	แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของฟลูออรีนเนียมคลอไรด์ แบบ ละเอียด	52
14	แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม แบบหยาบในการตกตะกอนของสารส้ม	54
15	แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม แบบละเอียดในการตกตะกอนของสารส้ม	55
16	การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม แบบละเอียดในการตกตะกอนของฟลูออรีนเนียมคลอไรด์	57
17	แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างแบบละเอียดที่เหมาะสม ในการตกตะกอนของฟลูออรีนเนียมคลอไรด์	58

18	แสดงผลการไตรเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็น ถ่านจากเมล็ดลันจีที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที	63
19	แสดงผลการไตรเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการ กระตุ้นทางเคมีจากเมล็ดลันจีที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที	64
20	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ดลันจี ที่ผ่านกระบวนการ เผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิ 120°C เวลา 10 นาที	65
21	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ด ลันจีที่ผ่านกระบวนการ เผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาที	66
22	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ด ลันจีที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) การเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาที	66
23	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์ ที่มีขายตามท้องตลาด	67
24	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ ตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลันจีเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 3	69
25	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ ตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลันจีเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 5	72
26	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ ตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลันจีเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 7	74
27	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการ ตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลันจีเทียบกับ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 9	76

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	ผลการไตร่ตรองสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านของเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะต่างๆ	107
2	ผลการไตร่ตรองสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการActivated ด้วยสารเคมีของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะ	110
3	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 3	113
4	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 3	113
5	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 5	114
6	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 5	114
7	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 7	115
8	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 7	115
9	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 9	116
10	ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 9	116

สารบัญภาพภาคผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1 เสาที่ 800°C เวลา 60 นาที	99
2 เสาที่ 800°C เวลา 45 นาที	99
3 เสาที่ 900°C เวลา 30 นาที	100
4 เสาที่ 800°C เวลา 30 นาที	100
5 เสาที่ 800°C เวลา 15 นาที	100
6 เสาที่ 500°C เวลา 15 นาที	100
7 เสาที่ 900°C เวลา 5 นาที	100
8 เสาที่ 900°C เวลา 30 นาที	101
9 เสาที่ 600°C เวลา 55 นาที	101
10 เสาที่ 600°C เวลา 30 นาที	102
11 เสาที่ 600°C เวลา 45 นาที	102
12 เสาที่ 600°C เวลา 15 นาที	102
13 ถ่านกัมมันต์ที่มีขายคาต้องตลาด	102
14 การหาปริมาณสารตกตะกอนของ PAC และ Alum แบบหยาบ	105
15 น้ำที่ผ่านกระบวนการ Jar test	119
16 การทดสอบประสิทธิภาพ Control เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด	119
17 การทดสอบประสิทธิภาพ Control เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิต	119

บทที่ 1

บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันนี้สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) เป็นโครงการหนึ่งที่รัฐบาลให้การสนับสนุนให้ประชาชนภายในท้องถิ่นได้รู้จักผลิตสินค้าให้มีคุณภาพ เพื่อส่งขายให้แก่ผู้บริโภค ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ประชาชนภายในชุมชน มีเศรษฐกิจที่ดีในระดับจุลภาค เมื่อเศรษฐกิจในระดับจุลภาคดีแล้ว ก็จะส่งผลให้ระบบเศรษฐกิจโดยรวมในระดับมหภาคของประเทศดีขึ้น และในปัจจุบัน สินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ต่างเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากการพัฒนาและปรับปรุงสินค้าให้มีความหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

กระดาษสาเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่ถูกผลักดันให้เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ทำรายได้ให้แก่ประชาชนเป็นจำนวนมาก โดยแต่เดิมนั้นขั้นตอนหรือขบวนการผลิตกระดาษสาจะทำกันภายในครัวเรือน ซึ่งกระบวนการผลิตกระดาษสาจะทำกันหลังฤดูการเก็บเกี่ยว ต่อมาได้มีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นกลายเป็นอุตสาหกรรมภายในครัวเรือน ซึ่งถือว่าเป็นการสืบทอดศิลปวัฒนธรรมไม่ให้สูญหายไป โดยขั้นตอน หรือขบวนการผลิตจะใช้แรงงานคนในการผลิต แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในขบวนการผลิต เช่น การนำเครื่องตีเยื่อมาใช้แทนแรงงานคน การนำเครื่องวัดกระดาษมาทำการวัดกระดาษ โดยวัดจุดที่ใช้ในการทำกระดาษสาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้ ยังคงเอาไว้โดยกระดาษสาทำมาจากเยื่อปอสา (paper mulberry) ที่สามารถพบได้ในท้องถิ่น โดยจะพบในป่าเบญจพรรณและ แหล่งที่ชุ่มชื้นทางภาคเหนือของประเทศในปัจจุบัน เนื่องจากคุณลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของกระดาษสาที่มีลวดลายสวยงาม ทำให้เป็นที่ต้องการของท้องตลาดจากเดิมผลิตกันภายในครัวเรือนเปลี่ยนมาเป็นการผลิตที่มีขั้นตอนการผลิตที่ใหญ่ขึ้น โดยขั้นตอนในการผลิตกระดาษสานั้นจะเกิดน้ำเสียขึ้นในขั้นตอนการไม่กระดาษสาซึ่งมีส่วนประกอบของเยื่อกระดาษ สีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมเป็นส่วนใหญ่ และมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่ที่ระบายน้ำสาธารณะโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดส่งผลทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ ทำต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ ส่งผลให้มาตรฐานของคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนลดน้อยลง

การบำบัดสีสังเคราะห์น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษสา โดยทำการตกตะกอนให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนจากนั้นผ่านกระบวนการดูดซับ (adsorption) ซึ่งกระบวนการดูดซับนี้จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเช่น เปลือกผลไม้และ เปลือกสุ่มดำ เป็นต้น นำมาใช้ใน

ขั้นตอนการบำบัด เนื่องจากการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งนั้นเกษตรกรหรือผู้ผลิตในเขตภาคเหนือ บางส่วนนิยมใช้วิธีการเผาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศตามมา จึง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาวิธีการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการเพิ่มมูลค่า ของเศษเหลือทิ้งให้มากขึ้นและ เป็นการลดปริมาณขยะที่มีเพิ่มมากขึ้นจากภาคการเกษตรกรรม เพื่อความยั่งยืนทางพลังงาน สิ่งแวดล้อมและระบบเศรษฐกิจของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการ ตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม และโพลีลูมิเนียมคลอไรด์
2. เพื่อการศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถ่านกัม มันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ และ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ในการบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานผลิตกระดาษสา โดยยึดหลักการบำบัดน้ำเสียต้นทุนต่ำ
2. ส่งเสริมการลดปริมาณขยะจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรและ ภาคอุตสาหกรรม
3. สามารถศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถ่านกัม มันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ และ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสา ด้วยกระบวนการตกตะกอน และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ครั้งนี้ มีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

1. กระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการแบบ batch test
2. ผลิตถ่านกัมมันต์ ศึกษาโดยใช้เมล็ดลิ้นจี่ ในระดับห้องปฏิบัติการและทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด
3. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียรวมของโรงงานผลิตกระดาษสา

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

กระบวนการผลิตกระดาษสา

กระบวนการในการผลิตกระดาษสา ก่อให้เกิดน้ำเสียจากขบวนการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและบริเวณใกล้เคียง โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่ได้แก่ กลิ่น สีและเศษเยื่อของกระดาษสาที่ไปอุดตันบริเวณท่อน้ำทิ้งเป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้โยงใยไปสู่ปัญหาด้านสุขภาพอนามัย และความไม่น่ามองของสิ่งแวดล้อม การแก้ไขปัญหาในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา นั้นมีด้วยกันหลายวิธี คือการบำบัดโดยใช้ระบบตะกอนเร่ง การบำบัดโดยใช้เครื่องกรองไร้อากาศชนิดไหลขึ้นและไหลลง รวมไปถึงการใช้วิธีการการบำบัดทางชีววิทยาเช่นการบำบัดโดยใช้สาหร่ายเกลียวทอง เป็นต้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การบำบัดแบบสร้างตะกอน โดยศึกษาขบวนการผลิตจาก บ้านต้นเปา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อที่จะได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปแก้ไขปัญหาลดความเค็มครีออนของชุมชนที่อยู่ใกล้บริเวณโรงงานที่ผลิตกระดาษสา พร้อมทั้งเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภคว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการผลิตที่เป็นมิตรต่อสังคม นอกจากนี้ เทศบาลตำบลต้นเปาสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทำการศึกษามาใช้พิจารณาเกี่ยวกับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

กระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์กระดาษสาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษสา

2. กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษสา

1. กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษสา มีขั้นตอนต่างๆ 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1.1 การเตรียมวัตถุดิบปอสา

เปลือกปอสาที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษสา นั้นจะถูกขนส่งโดยรถบรรทุกจากแหล่งเพาะปลูกในภาคเหนือ ถ้าเปียกชื้นก็จะนำไปตากแดดก่อนที่จะนำไปเก็บในโรงเก็บปอสา โดยเก็บเป็นมัดๆ ละประมาณ 40 kg โดยแบ่งเป็นเกรด A, B และ C ปอเกรด A จัดว่ามีคุณภาพดีที่สุดและเกรด C มีคุณภาพต่ำที่สุด

- 1.2 การแช่เปลือกสาในน้ำ

ปอสาที่เก็บไว้ในโรงเก็บปอจะถูกขนมาคัดเป็นชั้นที่เล็กลงด้วยเลื่อยไฟฟ้าแล้วนำไปแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน โดยแช่น้ำไว้ในอ่างขนาด 1.5 cm³ การใช้น้ำในการแช่ปอคือจะใช้ปอราว 60-80 kg ค่อน้ำประมาณ 600-1,000 L

1.3 การดัมเชื้อ

เพื่อให้เปลือกสาหมัและเชื้อแยกตัวได้ดีก่อนที่จะนำไปทบทดัมนี้โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 แบบ คือ ดัมโดยใช้ชี้เถ้าและดัมโดยใช้โซดาไฟ แต่โรงงานที่ทำการศึกษานี้ใช้โซดาไฟในการดัมเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดเวลาทั้งยังให้ผลแน่นอนกว่าการใช้ชี้เถ้าแต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า โซดาไฟที่ใช้ดัมจะใช้ 14-18 kg และยังใช้ผงซักฟอก 1 kg ค่อน้ำราว 600-800 L ในการเตรียมน้ำดัม 1 ครั้งจะใช้ดัมเชื้อได้ 3 ชุดๆ ละประมาณ 80 kg โดยใช้เวลา ประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากการดัมเสร็จแล้วจะนำปอขึ้นแล้วไปหมักทิ้งไว้โดยจะปล่อยให้เย็นเฉยๆ ได้ผ้าใบที่คลุมอยู่เป็นเวลา 1 สัปดาห์

1.4 การล้างเชื้อเพื่อกำจัดโซดาไฟ

การล้างเชื้อจะล้างหลังจากที่หมักไว้จนถึงเวลาแล้ว การล้างจะทำในอ่างล้างประมาณ 3-9 ครั้งในเวลา 1-3 วัน โดยล้างวันละ 3 ครั้ง

1.5 การฟอกเชื้อ

การฟอกเชื้อมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เชื้อที่ขาวขึ้น เนื่องจากเชื้อที่ผ่านการดัมมายังมีสี เข้มการฟอกจะใช้คลอรีน (โซเดียมไฮโปคลอไรด์, NaOCl) 20-30 kg ละลายน้ำเมื่อน้ำมีอุณหภูมิประมาณ 80 °C (จากการดัมโดยใช้ไอน้ำ) ในอ่างประมาณ 300 L การฟอกเชื้อจะเสร็จสิ้นเมื่อฟอกเชื้อทิ้งไว้ 30 นาทีโดยที่ขณะนั้นจะมีการกวาดเป็นพักๆ จากนั้นจะมีการปล่อยน้ำคลอรีนทิ้ง แล้วล้างเชื้อด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง

1.6 การล้างและฉีกเชื้อ

ขั้นตอนนี้จะทำโดยใช้แรงงานคน จะทำเหมือนกับการซักล้างด้วยน้ำเปล่า ขณะซักก็พยายามที่จะฉีกเชื้อและ คัดเชื้อที่มีขนาดไม่เหมาะสมออก

1.7 การทบทเชื้อ

เชื้อสาซึ่งผ่านการดัมทำความสะอาดแล้ว จะนำมาตีหรือทบทเชื้อให้แตกละเอียดสม่ำเสมอ เพื่อจะนำไปทำแผ่นกระดาษสาต่อไป โดยทั่วไปแล้วการทบทเชื้อสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทบทด้วยมือและทบทด้วยเครื่องทางโรงงานที่ทำการศึกษานี้ใช้วิธีทบทโดยใช้เครื่องทบท เพื่อให้ผลดีอย่างรวดเร็วขึ้นเพราะเครื่องปั่นปอสาจำนวน 2-3 kg ได้ในเวลา 30 นาที ปอสาจะแตกละเอียดเมื่อนำไปทำกระดาษสาจะได้กระดาษสาที่มีความหนาสม่ำเสมอ แต่การประสานตัวของเส้นใย

จะไม่เหนียวเท่ากับการทุบด้วยมือเมื่อเยื่อผ่านการทุบแล้วถูกนำไปสลัดน้ำให้แห้ง แล้วเก็บใส่ถุงไว้
ย้อมสีต่อไป

1.8 การย้อมสี

ขั้นตอนการย้อมจะมีวิธีการคล้ายการขั้นตอนการฟอกเยื่อแต่จะต่างกันตรงใช้
สารเคมีที่ใช้ย้อมและการผสมสี ลงในน้ำจะทำเมื่อน้ำมีอุณหภูมิถึง 80°C (โดยการต้มด้วยไอน้ำ) แล้ว
ค่อยใส่เยื่อลงไปย้อม แล้วคั้นน้ำย้อมเยื่อต่อไปอีกจนถึง 80°C อีกครั้งแล้วหยุดให้ความร้อนจากนั้น
จะแช่ทิ้งไว้ราว 8 ชั่วโมง โดยจะคนเยื่อในอ่างย้อมทุกชั่วโมงเป็นอย่างน้อยจากนั้นจะนำเยื่อขึ้น
แล้วนำไปสลัดให้แห้งด้วยเครื่องปั่นเยื่อ

2. กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษสา

กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษสา สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1 การผลิตโดยใช้เครื่องจักร (เครื่องรีดกระดาษ)

หน่วยการผลิตด้วยเครื่องรีดกระดาษ จะมีเครื่องจักรประกอบกันโดยทำหน้าที่กัน
อย่างต่อเนื่อง คือ อ่างตีเยื่ออ่างผสมน้ำเยื่อและ เครื่องรีดกระดาษ หลังจากตีเยื่อแล้วจะปล่อยเยื่อลงสู่
อ่างผสมน้ำเยื่อซึ่งอยู่ระดับต่ำกว่าเพื่อผสมน้ำเยื่อให้สม่ำเสมอแล้วป้อนเข้าเครื่องรีดกระดาษซึ่งจะ
ผลิตกระดาษ เป็นม้วนขนาดใหญ่และ สามารถขยายได้ทันที (โดยมาตรฐานของม้วนกระดาษ
สำเร็จรูป)จะมีน้ำหนัก 250 g โดยจะออกขายเป็นม้วนหรือเป็นแผ่นก็ได้

2.2 การผลิตโดยใช้มือ

จะเริ่มด้วยการตีเยื่อที่ถูกข้อมมาแล้วในอ่างขนาดเล็ก หลังจากตีเยื่อเสร็จแล้วก็
นำไปสลัดในเครื่องสลัดแล้วปั่นเป็นลูกกลมขนาดที่เหมาะสม เพื่อใช้ทำกระดาษสาในบล็อก
(น้ำหนักประมาณ 120 g/cm^3) อันดับต่อไปจะนำปั่นเยื่อกระดาษที่ได้ไปกระจายในบล็อกโดยจะ
ทำในอ่างที่มีน้ำอยู่ลึกพอท่วมบล็อก โดยจะใช้มือเกลี่ยกระดาษให้ทั่วทั้งบล็อกอย่างสม่ำเสมอแล้ว
นำไปตากแดดซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาเรียกว่าการแตะและการแตะจะทำในอ่างแช่น้ำเล็ก ($80\text{ cm} \times 122\text{ cm} \times 4\text{ cm}$) น้ำที่ใช้ในระหว่างการแตะจะสามารถใช้ได้หลายครั้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเปลี่ยนหลังจาก
แตะได้ 20-30 บล็อกแล้ว หลังจากตีเยื่อเสร็จแล้วจะนำไปตากแดดให้แห้ง ซึ่งถ้าหากฝนไม่ตกก็จะ
ไม่การผลิตในหน่วยกระดาษสามือ เนื่องจากกระดาษสาที่มีคุณภาพควรตากให้แห้งในแสงแดด
ในโรงงานที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้ใช้กระบวนการผลิตกระดาษสาโดยใช้มือ สุภวัฒน์ และอาช (2544)

แหล่งที่มาของน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา

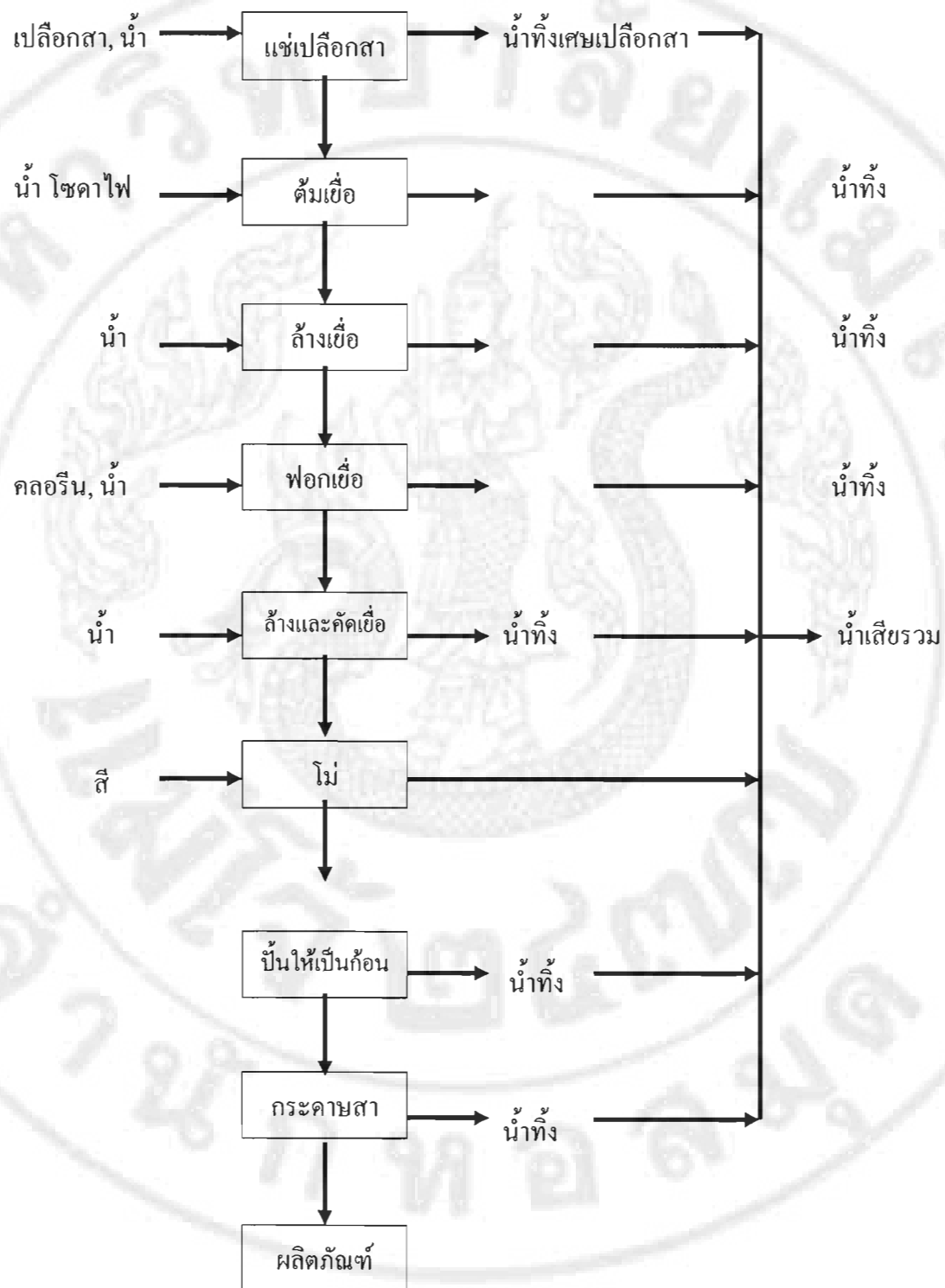
จากที่กล่าวถึงกระบวนการผลิตกระดาษสาที่ผ่านมาพอจะอธิบายได้ถึงการเกิดน้ำเสียต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของจุดเกิดน้ำเสียของกระบวนการผลิตกระดาษสาได้แสดงดังรายละเอียดในภาพ 1

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษสา มีดังต่อไปนี้

1. น้ำทิ้งจากการแช่เปลือกสาเป็นน้ำทิ้งที่มีสี กลิ่นรวมกันทั้งของแข็งที่เป็นเศษเยื่อ
2. น้ำทิ้งจากหม้อต้มเยื่อสาเป็นน้ำที่มีมวลสารสูงมากและจัดว่าสูงที่สุดในทุกกระบวนการผลิต
3. น้ำทิ้งจากการฟอกเยื่อซึ่งประกอบด้วย
 - น้ำทิ้งจากฟอกเยื่อด้วยคลอรีน
 - น้ำทิ้งจากการล้างหลังการฟอกด้วยน้ำเปล่า
4. น้ำทิ้งจากการล้างและฉีกเยื่อ
5. น้ำทิ้งจากสลัดเยื่อ
6. น้ำทิ้งจากอ่างล้างเยื่อ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษสา มีดังต่อไปนี้

1. จากเครื่องรีดกระดาษ เป็นน้ำที่มีค่ามวลสารต่ำ ซึ่งน่าจะพิจารณาถึงการนำกลับมาใช้ใหม่
2. จากหน่วยกระดาษสามือ ซึ่งประกอบไปด้วย
 - น้ำทิ้งจากการสลัดแห้ง
 - น้ำทิ้งจากอ่างแตะเยื่อ มีสีค่อนข้างเข้ม อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำทิ้งจากกระบวนการนี้มีปริมาณน้ำเสียน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ



ภาพ 1 ฟังกระบวนการผลิตกระดาศสาและน้ำเสียที่เกิดขึ้น

สีรีแอคทีฟ (Reactive Dye)

สีรีแอคทีฟ เป็นสีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดพันธะทางเคมีกับเส้นใยในสภาวะที่เหมาะสมได้ ก่อนที่จะมีการค้นพบสีรีแอคทีฟ เมื่อปี ค.ศ. 1956 นั้น สีย้อมฝ้ายที่สำคัญ มีเพียงสีไคเร็กซ์ สี แว็ต และสีอะโซอิกเท่านั้น สีย้อมทั้ง 3 ประเภทนี้ ล้วนมีข้อจำกัดในการใช้งาน กล่าวคือ สีไคเร็กซ์แม้ว่าจะใช้ง่าย ราคาถูก แต่ความคงทนต่อการซักยังไม่ดีพอ ส่วนสีแวนั้นแม้จะให้สีที่มีความคงทนดีเลิศแต่ก็มีราคาแพงและ วิธีการก็ค่อนข้างยุ่งยาก อีกทั้งสีก็มีค่อนข้างจำกัด ส่วนสีอะโซอิกนั้นก็ยังมีปัญหาสีย้อมสีเดิมได้ยาก โดยเฉพาะในกรณีใช้สีผสม การค้นพบสีรีแอคทีฟ เป็นสีย้อมง่าย ได้สีที่มีความสว่างสดใสมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับสีไคเร็กซ์หรือสีแวน และยังมีสีสันท่างๆ ให้เลือกมาก ส่วนในด้านราคาก็ไม่แพงเกินไป จนเป็นที่ยอมรับกันว่า สีรีแอคทีฟได้ทำให้ปริมาณการใช้สีย้อมฝ้ายประเภทอื่นๆ ลดลง โดยเฉพาะสีแวนซึ่งในปัจจุบันสีรีแอคทีฟได้กลายเป็นสีย้อมที่มีความสำคัญมากประเภทหนึ่ง

สีรีแอคทีฟสามารถละลายน้ำได้ ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ในเส้นใยเซลลูโลส ได้พันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างสีไคเร็กซ์กับเส้นใยเซลลูโลส มาก จึงมีความคงทนต่อการซักดี

กระบวนการสร้างตะกอน

กระบวนการสร้างตะกอน เป็นกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี ที่ทำให้อนุภาคแขวนลอยหรืออิมัลชันต่างๆ ในน้ำรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถแยกออกจากน้ำได้ โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ในกระบวนการสร้างตะกอนจะประกอบด้วยกลไก 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคและขั้นตอนการทำให้อนุภาคเหล่านี้เกาะหรือรวมตัวกัน

โดยทั่วไประบบที่ใช้เป็นระบบสร้างตะกอนนั้นจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ

1. ถังกวนเร็ว (rapid mixing tank)

ถังนี้จะใช้ในการผสมสารเคมีหรือสารตกตะกอนที่จะไปทำลายเสถียรภาพของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและจะทำหน้าที่กระจายสารเคมีหรือสารสร้างตะกอน ไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว

2. ถังกวนช้า (flocculation tank)

จะทำหน้าที่ในการสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วให้รวมตัวกันเกิดเป็นฟล็อก

3. ถังตกตะกอน (clarifier)

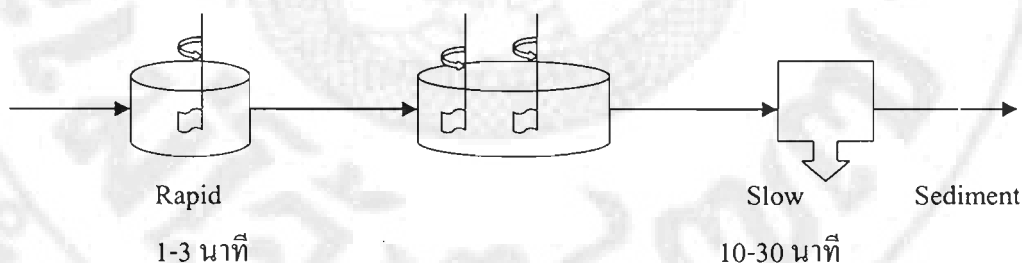
จะเป็นถังไว้สำหรับพักหรือปล่อยให้ตะกอนส่วนใหญ่จมด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเกิดการแยกตัวจากน้ำใสได้ง่าย

4. ถังกรอง (filter tank)

จะทำหน้าที่ในการกรองเอาตะกอนบางส่วนที่ยังคงหลงเหลืออยู่จากถังตกตะกอน

กระบวนการสร้างตะกอนโดยสารเคมีต่างๆ

สารสร้างตะกอนเคมีที่ใช้กันในระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่นิยมใช้กันได้แก่ สารส้ม($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), Ferrous Sulfate, Ferric Salts, Sodium Aluminate เป็นต้น สำหรับการทำให้ประสิทธิภาพของการสร้างรวมตะกอนเคมีได้ดีจำเป็นต้องเติมสารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation Aids) ได้แก่ กรด ค่าง, Activated Silica, Polyelectrolyte, ดินเหนียว เป็นต้น และจะมีค่าความเป็นกรด – ค่าง (pH) ที่เป็นปัจจัยหนึ่ง เพราะถ้า pH อยู่ในระดับที่เหมาะสมอาจไม่จำเป็นต้องเติมสารสร้างตะกอนเคมีมากเกินไป โดยจะต้องการหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น



ภาพ 2 กระบวนการสร้าง-รวมตะกอนเคมี

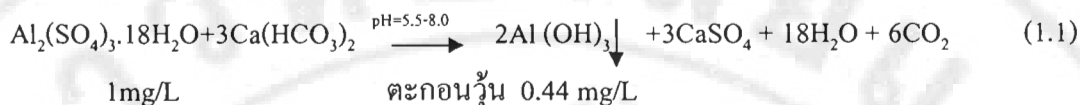
ที่มา: (เกรียงศักดิ์, 2542)

รายละเอียดของสารตกตะกอนเคมี

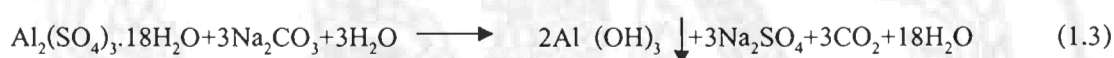
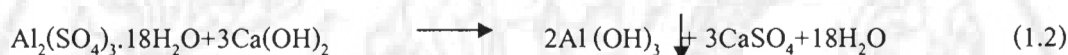
กระบวนการสร้างตะกอนด้วยสารส้ม (Alum) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

(เกรียงศักดิ์, 2542) ได้อธิบายว่า สารส้ม มีสูตรโมเลกุล $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 666.7 จะมีทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นก้อนๆ เป็นผง หรือเป็นของเหลว เมื่อสารส้มทำปฏิกิริยากับน้ำเสียซึ่งถ้ามีสภาพเป็นด่าง (alkalinity) จะเกิดตะกอนวุ้นรูปร่างคล้ายหัวเข็มหมุดของ

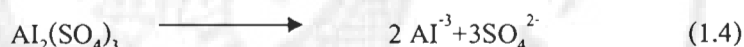
Al(OH)₃ (Aluminum Hydroxide) ดังในสมการ (1.1) คือ เมื่อสารส้ม 1mg/L ผสมกับน้ำเสียจะลดปริมาณค่า 0.5 mg/L ของ CaCO₃ และเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 0.44 mg/L



ถ้าน้ำเสียไม่มีสภาพต่างอยู่ จำเป็นต้องเติมค่าผสมลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่างในน้ำเสีย เช่น เติมน้ำขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือพวก Soda ash (Na_2CO_3) ดังแสดงในสมการ(1.2)และ(1.3)



(กุลภัทร์และ จักรกฤษ, 2543) ได้อธิบายว่า เมื่อละลายลงในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนลบ และไอออนบวกดังสมการ (1.4)



ไอออนบวก(Al^{3+}) จะมีน้ำมาจับ 6 โมเลกุลในรูปของ เรียกว่า Aquametal Ion ซึ่งมีลักษณะเป็นกรด ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ไอออน H_3O^+ และสารประกอบเชิงซ้อนชนิด monomeric hydroxo complex ดังสมการ 1.5-1.8



จากสมการจะเห็นว่าความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อน จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอลูมิเนียมและpH สามารถคำนวณได้จากสมดุลของปฏิกิริยาและแสดงได้เป็น Stability Diagram สารประกอบเชิงซ้อนแบบ monomeric hydroxo complex สามารถทำปฏิกิริยาและรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอลูมิเนียมมากกว่าหนึ่งอะตอมเรียกว่า polymeric hydroxo complex เช่น $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{+5}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{+4}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$ และ $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{+3}$ นอกจากนี้ไอออนลบในน้ำเช่น SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^- ก็สามารถแทนโมเลกุลของน้ำในสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ได้ด้วย

1. กลไกการสร้างตะกอนของสารส้ม

สารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จนเกิดสร้างตะกอนได้ด้วยกลไกหลัก 2 ประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารสร้างตะกอนและความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ กลไกดังกล่าวคือ กลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ และกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึก ในการทำการสร้างตะกอนด้วยสารส้มหรือเหล็กของน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่มักมีกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึกเป็นกลไกหลัก โดยอาจมีกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุเป็นกลไกร่วมซึ่งมีบทบาทน้อยกว่า แสดงให้เห็นถึงกลไกทั้งสองชนิดที่สารส้มใช้ในการสร้างตะกอน

1.1. กลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ

สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา hydrolysis ของสารส้มจะสามารถจุดติดผิวของอนุภาค และถ้าสารประกอบเชิงซ้อนเป็นประจุบวกก็จะลดประจุของอนุภาค (ประจุลบ) ลง ทำให้เสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอยลดลง จนสามารถรวมตัวกันเป็นฟล็อกจมตัวลง กลไกนี้จะเกิดขึ้นในเวลา $10^{-4} - 1$ นาทีและจะต้องมีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนที่พอเหมาะเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมให้เกิดกลไกนี้จึงทำได้ยาก

1.2. กลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก (sweep coagulation)

ถ้าสารจุดติดผิวไม่เกิดขึ้นในเวลา 1 นาทีหรือมีการเติมสารส้มจนความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงกว่าจุดอิ่มตัวปฏิกิริยา Hydrolysis ก็จะดำเนินต่อไปจน hydrolysis complex กลายเป็น $Al(OH)_3$ เกิดเป็นกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึก $Al(OH)_3$ ซึ่งมีลักษณะคล้ายปุย เมื่ออนุภาคแขวนลอยสัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ ก็จะเกาะจับอยู่กับผลึกนั้น ทำให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นและจะจมตัวลงกลไกนี้จะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อใช้สารส้มในปริมาณมากพอจนทำให้ผลคูณ Al^{3+} และ $(OH)^{-}$ มีค่ามากกว่า K_{sp} และ pH ของน้ำควรอยู่ในช่วง 6–7.5 กลไกแบบนี้จะเกิดง่ายกว่าแบบแรกแต่จะเปลืองสารส้มกว่าและให้ตะกอนที่อัดตัวไม่แน่นคือน้ำออกได้ยาก ในบางสภาวะการสร้างตะกอนจะมีกลไกทั้งสองแบบเกิดขึ้นร่วมกัน ซึ่งถือว่าเป็นกลไกการสร้างตะกอนแบบร่วม

การออกแบบและควบคุมการสร้างตะกอนด้วยสารส้มแสดงให้เห็นว่าการสร้างตะกอนด้วยกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึกจะได้ผลดีที่สุดที่ความเป็นกรดต่าง 6.8 ถึง 8.2 และใช้สารส้ม 20 ถึง 50 mg/L กลไกแบบเกาะติดผิวกลไกแบบเกาะติดผิวและทำลายประจุและแบบผสม ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้ด้วยสารส้มน้อยกว่า 10 mg/L (มันสิน, 2542)

เกียรติศักดิ์ และ คณิต (2542) ได้ทำการศึกษาการบำบัดขั้นต้นน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสาโดยกระบวนการสร้างตะกอน ใช้น้ำเสียจากกระบวนการต้มเปลือกสาจากโรงงานผลิตกระดาษสาแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ นำมาทดลองจําเรตเพื่อหาความเข้มข้นที่

เหมาะสมของสารสร้างตะกอนชนิดต่างๆ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสร้างแต่ละชนิด ในการบำบัดค่า COD (chemical oxygen demand) และแข็งแขวนลอย(suspended solid, SS) จากผลการศึกษาพบว่าการใช้สารส้ม 15 mg/L เฟอร์ริซัลเฟต 900 mg/L และ เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) 1,000 mg/L สามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 45.8 ร้อยละ 45.4 และร้อยละ 42.0 และสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 78.4 ร้อยละ 85.2 และร้อยละ 37.6 สรุปได้ว่าสารส้มมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดขั้นต้นและมีราคาถูกที่สุด

ศุภวัฒน์ และ อาชว์ (2544) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษสาแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเกิดจากกระบวนการต้มเปลือกสา (pulpig waste) โดยใช้กระบวนการตกตะกอน ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (pre-treatment) โดยการทดลองนี้โดยใช้วิธีจาร์เทส บำบัดตัวแปรต่างๆ สูงสุด ได้แก่ ความขุ่น(turbidity) SS COD และ TKN (total kjeldahl nitrogen) และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่ประสิทธิภาพสูงสุดต่อปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) ที่ใช้ต่อหน่วยความเข้มข้นเริ่มต้น พบว่าเฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) ที่ใช้สามารถกำจัดความขุ่น, ร้อยละ 16–90, SS ร้อยละ 87–96 COD ร้อยละ 72-88 และ TKN ร้อยละ 76–87 และปริมาณการใช้เฟอร์ริคคลอไรด์(FeCl_3) ลดลง เมื่อ dilution factor เพิ่มขึ้น

จิตรลดา และ วรวรรณ (2538) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการต้มเปลือกสา โดยการใช้สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอยู่ 2 ประการ คือ เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสีย โดยการใช้ตัวแปร คือ สี pH และใช้คลอโรฟิลล์ในการศึกษา เพื่อหาปริมาณการเจริญเติบโตของสาหร่ายและสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง โดยทำการทดลองที่ค่าสีของน้ำเสียต่างๆ ดังนี้ คือ 100 160 300 600 1,200 และ 2,500 หน่วยสี โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ALGAE POND ซึ่งการศึกษครั้งนี้ได้จำลองระบบให้มีปริมาตรเท่ากับ 25 L โดยใช้เวลาในการศึกษาแต่ละการทดลองประมาณ 20 -30 วัน พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทดลองประมาณ 20 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดสีประมาณร้อยละ 60 – 70 ประสิทธิภาพในการบำบัด COD อยู่ในช่วงร้อยละ 80 -95 พบว่าปริมาณการเติบโตของสาหร่ายจะสูงสุดเมื่อใช้ค่าความเข้มสี 300 หน่วยสี ในการทดลองประมาณ 30 วัน และพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสี จะมีค่าสูงคือร้อยละ 72 ประสิทธิภาพในการบำบัด COD จะมีค่าสูงสุดคือร้อยละ 92 เมื่อใช้ค่าความเข้มสี เท่ากับ 300 หน่วยสี

2 การสร้างตะกอนด้วยพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)

กาญจนา (2536) ได้กล่าวว่า ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นต่อกระบวนการสร้างตะกอน คือ ผลกระทบจากค่า pH และค่าสภาพต่างหาก pH ไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกระบวนการตกตะกอนจะมี

ประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีประสิทธิภาพเลย ตัวอย่างเช่น การใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอนเพียงปริมาณเล็กน้อย จะทำให้ค่า pH ลดต่ำลงมากดังสมการ (2.1)

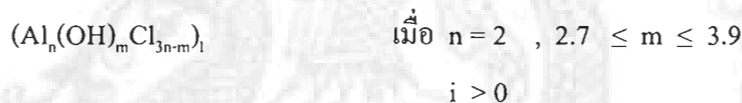


ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอันได้แก่ สารประกอบไฮดรอกไซด์ซึ่งจะตกตะกอนลงมา และกรดแรงแทำให้ pH ลดต่ำลง มีผลต่อค่าสภาพด่างในน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพของน้ำไม่ให้มี pH ต่ำลงมาก ดังสมการ (2.2)



จากสมการข้างต้นทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งบางครั้งจะรบกวนขั้นตอนการตกตะกอน โดยที่ก๊าซนี้จะลอยขึ้นสู่เหนือน้ำแล้วดันตะกอนให้ลอยขึ้นมาด้วย หรือทำให้ตกลงสู่เบื้องล่างช้าลงและทำให้เกิดความกระด้างถาวรขึ้น

โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่มีสูตร โมเลกุลเรียงต่อกันเป็นสายยาว มีสูตรโมเลกุลดังนี้ คือ



โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นการสร้างตะกอนที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวในการทำปฏิกิริยา hydrolysis เมื่อมีการสร้างตะกอนเกิดขึ้น คลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเข้าร่วมกับตะกอนแล้วตกลงสู่เบื้องล่าง จึงไม่มีปัญหาสภาพเป็นกรดมากนักเมื่อเทียบกับ สารตกตะกอนอย่างอื่นๆ จึงไม่มีผลเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่าง เกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าจึงไม่ใช่ปัญหาเรื่องตะกอนลอยไม่เกิดความกระด้างถาวรเหมือนและจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำก็ใช้น้อยกว่าด้วยดังสมการ (2.3) ต่อไปนี้



คุณสมบัติของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ เมื่อเป็นการสร้างตะกอน

1. มีอำนาจในการสร้างตะกอนและการรวมตัวของตะกอนสูงและการตกตะกอนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าสารส้ม
2. สะดวกในการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี
3. ในการทำงานโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ จะมีช่วงความเป็นกรดต่ำ ในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าสารสร้างตะกอนตัวอื่นๆ ปกติจะมีความเป็นกรดต่ำอยู่ในช่วง 6 ถึง 9 แต่บางครั้งก็จะสามารถตกตะกอนในช่วงความเป็นกรดต่ำ 5 ถึง 10

4. โพลีลูมิเนียมคลอไรด์สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม โดยระยะเวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า

กลไกการตกตะกอนด้วยโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของแข็งหรืออยู่ในรูปสารละลายโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้ Al^{3+} เช่นเดียวกับกับสารส้ม ดังนั้นกลไกในการทำปฏิกิริยาจึงน่าจะใกล้เคียงกับกลไกการทำปฏิกิริยาของสารส้มซึ่งอธิบายได้ดังนี้

เมื่อโพลีลูมิเนียมคลอไรด์แตกตัวจะได้ Al^{3+} ที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการ Hydrolysis ของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_3(OH)_4^{+5}$, $Al_7(OH)_7^{+4}$, $Al_6(OH)_5^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งเป็นที่มีลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า polymeric hydroxo complex ซึ่งมีความสามารถในการปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียรแล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนความเป็นกรดค่างของน้ำจะมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการ hydrolysis เนื่องจากถ้าความเป็นกรดค่างต่ำ สารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวก จะเกิดขึ้นมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอนนอกจากจะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้วยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในกลายเป็นตะกอนเล็กๆ และเนื่องจาก มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติมโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ลงไปนั้นจะต้องผสมอย่างรวดเร็วทันทีแล้วจึงลดอัตราเร็วในการกวนช้าลง เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสดัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น แล้วจึงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

Boon et al (1999) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิดในการทดลองคือ แมกนีเซียมคลอไรด์ สารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) โดยใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการย้อมซึ่งเป็นสี ชนิด reactive dye ทำการทดลองโดยกระบวนการจาร์เทศ ทำการศึกษาดังผลของ pH ปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้และชนิดของ สารตกตะกอนที่ใช้มีต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนโดยทำการกวนและปรับ pH ที่ 80-85 rpm (round per minute) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นกวนช้าที่ 30-35 rpm เป็นเวลา 10 นาทีทำการปรับ pH ในช่วง 4-12 และปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้แตกต่างกัน 2-7 g ของสารตกตะกอนต่อลิตรของน้ำเสีย ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่า การตกตะกอนเกิดขึ้นได้ที่ความเป็นกรด- ค่าง 10.5-11 และเวลาในการสร้างตะกอนของแมกนีเซียมคลอไรด์ใช้เวลาน้อยกว่า PAC โดยร้อยละในการกำจัด CODและของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 97.9 88.4 และ95.5 ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวและรวมตัวกันเป็นฟล็อก (ศุภวัฒน์ และ อาชวี, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวและรวมตัวกันเป็นฟล็อกมีดังนี้คือ

1. pH

การใช้สารสร้างตะกอนที่ดี ขึ้นกับสภาพน้ำหากใส่เฟอริกคลอไรด์มากเกินไปจะทำให้ น้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้นทำให้อยู่ในช่วงความเป็นกรดค่าที่เหมาะสม

2. เกลือแร่ต่างๆ

ผลของอิออนชนิดต่างๆ เช่น ซัลเฟตต่อการจับตัวเป็นฟล็อกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- เปลี่ยนแปลงช่วง pH ที่ดีที่สุดในการเกิดฟล็อก
- เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดฟล็อก
- ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนจะเปลี่ยนไป
- ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหลือในน้ำเปลี่ยนแปลงไป

3. ความขุ่น

ความขุ่นในน้ำเกิดจากเศษดินและแร่ธาตุต่างๆ ขนาด 0.002 ถึง 0.005 cm³ อนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนนอนก้นได้เองถ้ามีเวลามากพอ การใช้สารสร้างตะกอนช่วยทำให้เกิดฟล็อกได้ง่ายและรวดเร็ว ปฏิบัติดังนี้ น้ำที่มีความขุ่นมาก โอกาสที่คอลลอยด์จะสัมผัสกันมีมากจึงใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำที่มีความขุ่นน้อย

4. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิลดลง ความหนืดของน้ำจะเพิ่มขึ้นอัตราการตกตะกอนของฟล็อกย่อมจะช้าลง เพราะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดค่าก็เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆย่อมลดลง

5. การกวน

เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นในน้ำในตอนแรกจะเป็นการกวนเร็ว ในขณะที่มีการเติมสารเคมีช่วยตกตะกอน เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำอย่างทั่วถึงและช่วยเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคความขุ่นกับสารเคมีให้มากขึ้น โอกาสที่จะจับตัวเป็นฟล็อกก็จะเพิ่มขึ้นระยะเวลาที่จะใช้ในการกวนเร็วประมาณ 30-60 นาที

6. อัตราการเกิดฟล็อก

ในระยะแรกของการเกิดฟล็อก จะมีอนุภาคมานชนกันถี่มากเท่าใด อัตราการเกิดฟล็อกก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มจำนวนฟล็อกแล้วยังเพิ่มน้ำหนักและขนาดฟล็อกอีกด้วย ทำให้จมตัวได้ง่ายขึ้นปัญหานี้แก้ไขได้โดยนำตะกอนที่ตกแล้วส่วนหนึ่งหมุนเวียนกลับมา

ใช้เพื่อเพิ่มโอกาสที่อนุภาคและฟลื้อจะชนกันให้เพิ่มมากขึ้น ถึงดกตะกอนแบบโซลิดซ์คอน-
เทกต์ให้หลักการนี้

ลิ้นจี่

ในปัจจุบันในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องเป็นที่นิยมนำลิ้นจี่มาเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่น่ามาแปรรูป จึงทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นปัญหาแก่ผู้ประกอบการในการกำจัดลิ้นจี่มีหลายสายพันธุ์แต่สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมนำมาแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ลิ้นจี่สายพันธุ์สงขลวย

ลิ้นจี่สายพันธุ์สงขลวย มีลักษณะต้นเป็นพุ่มใหญ่และค่อนข้างสูง โตเร็ว กิ่งก้านใหญ่และมักหักหักบริเวณมูมรอยต่อของกิ่ง ใบเป็นใบรวม ใบย่อยเรียงแบบสลับ ใบหนา ปลายใบแหลมฐานใบแคบ ขอบใบบิดเป็นคลื่น ขอดสี เหลืองปนเขียว ปกติออกดอกเดือนธันวาคมถึงมกราคม ดอกออกเป็นช่อจากปลายช่อบานจากโคนไปหาปลายช่อ ผลมีหนามใหญ่ปลายแหลมแข็งเมื่อผลสุกหนามจะห่างและไม่ค่อยแข็งส่วนเปลือกเปลือกผลมีการขยายตัวออกเรื่อยๆ ส่วนความหนาของชั้น cuticle ที่เคลือบอยู่ชั้นนอกสุดของเปลือกผลมีค่าลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเปลือกผล และ / หรือ การสังเคราะห์ cuticle ลดลง พร้อมรับการเกิดรอยแตกเล็กๆ บนเปลือก (Micro Cracking) ค่า pH ของเปลือกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณ phenolic-compounds) แอคติวิตีของแอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) และแอนไซม์เปอร์ซิเดส (peroxidase) รวมทั้งปริมาณกรด L-ascorbic มีค่าลดลง แต่แอนไซม์ฟีนิลอลานีนแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonialyase; PAL) มีแอคติวิตีเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลเป็นสีแดง โดยในช่วงแรกเปลือกผลจะมีสีเขียวเนื่องจากเปลือกผลมีเมล็ดคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งมีภายในมีรงควัตถุคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) อยู่กระจายอยู่ในชั้น upper- mesocarp ของเปลือกผล ซึ่งเมล็ดคลอโรพลาสต์เหล่านี้สามารถสังเคราะห์แสงได้จนกระทั่งผลเริ่มแก่คลอโรฟิลล์ก็จะเริ่มสลายตัวพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดคลอโรพลาสต์และเริ่มมีการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เพิ่มขึ้นซึ่งในตอนแรกจะพบรงควัตถุแอนโทไซยานินอยู่ในบริเวณเนื้อเยื่อส่วน upper mesocarp แล้วจึงขยายปริมาณออกไปด้านข้างจนต่อเนื่องกันตลอดทั่วทั้งชั้น mesocarp และยังสามารถพบได้ในชั้น epidermis อีกด้วย ทำให้เปลือกผลมีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่ (จำนง และคณะ, 2542)

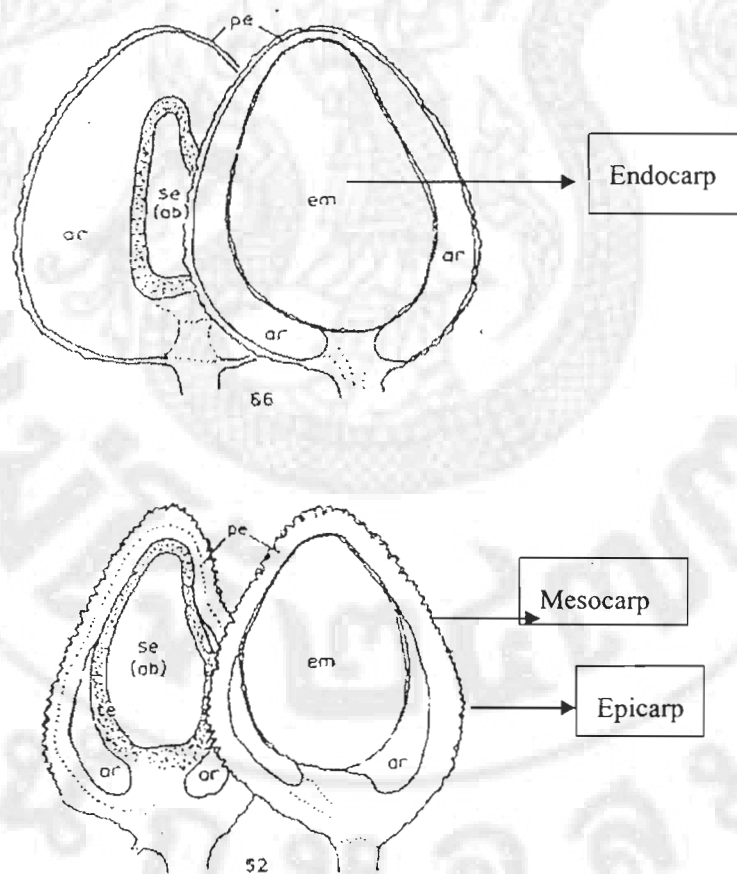
เปลือกที่แก่เต็มที่มีความหนาประมาณ 1-3 mm ประกอบด้วย 3 ส่วน (ภาพ 3) ดังนี้

1. ชั้น เป็นชั้นที่อยู่นอกสุดของเปลือกผล ประกอบด้วยชั้น Cuticle หนา 1-3 ไมโครเมตร ถัดมาเป็นชั้น epidermis และ sub-epidermal sclerenchyma

2. ชั้น mesocarp เป็นเนื้อเยื่อที่ถัดเข้ามาจากชั้น epicarp ประกอบด้วยเนื้อเยื่อของเซลล์พาราไคมา (parenchymatous tissue) ป็นชั้นที่มีความหนาที่สุดของเปลือก และมีคลอโรพลาสต์เมื่อผลยังอ่อนและเมื่อผลแก่ก็จะมีการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นในชั้นนี้

3. ชั้น endocarp เป็นชั้นที่อยู่สิ้นสุดของเปลือก เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กและแบนเรียงตัวกันแน่นและมักจะแยกออกจากเนื้อผลเมื่อผลแก่

คุณสมบัติของเมล็ดลีนจีที่มีความหนา เซลล์มีขนาดเล็กและแบนเรียงตัวกันแน่นมีเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งจากเดิมนั้นเปลือกลีนจีจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะกลายเป็นขยะเหลือทิ้งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์



ภาพ 3 โคอะแกรมภาพตัดขวางของเปลือกผลลีนจีที่โตเต็มที่แล้ว (ดัดแปลงมาจาก Underhill and Critchli, 1993) แสดงให้เห็นชั้น epicarp, endocarp และรอยแตกเล็กๆ (micro-cracking) บริเวณเปลือกผลและส่วนของ vascular bundle

ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ผ่านกรรมวิธีถ่านกัมมันต์จนได้ผลึกภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง สมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ถ่านกัมมันต์ มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ถ่านที่มีปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ และถ่านไวหรือถ่านดูดซับ ถ่านกัมมันต์นี้มีคุณสมบัติในการดูดซับได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การที่ดูดซับได้เพราะผิวของถ่านดังกล่าวมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวมาก (อยู่ในช่วง $300-500 \text{ cm}^2/\text{g}$) จึงมีสมบัติในการดูดซับ อนุภาคสารต่างๆ ได้ดี ถ่านกัมมันต์จึงเป็นเคมีภัณฑ์ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม และน้ำอัดลม ใช้ในโรงงานลูกกวาด ใช้กำจัดน้ำเสีย ในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ในชีวิตประจำวันก็มีการใช้ถ่านกัมมันต์ในรูปแบบต่างๆ มากมาย เช่น ดูดกลิ่นในตู้เย็นและดูดกลิ่นในห้องสุขา เป็นต้น (ถาวร, 2523)

ได้มีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับของสารอินทรีย์ออกจากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ คือ

1. ความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ลดลง
2. สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นแขนงสามารถดูดซับได้ดีกว่าพวกที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง การเพิ่มขึ้นของความยาวของสายโมเลกุลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง
3. หมู่ที่มาแทนที่ มีผลต่อการดูดซับ
4. ตัวถูกละลายที่แตกตัวเป็นไอออนได้มากจะถูกดูดซับได้น้อยกว่าพวกที่แตกตัวได้น้อยโดยทั่วไปโมเลกุลที่ไม่แตกตัวจะถูกดูดซับได้ดี
5. การดูดซับเพิ่มมากขึ้น เป็นไปตามความสามารถในการ Hydrolysis และเกิดการกรดหรือเบสที่ถูกดูดซับได้
6. ถ้ารูพรุนของถ่านไม่มีอะไรอุดตัน สารที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลเล็กซึ่งเป็นธรรมชาติทางเคมีอย่างหนึ่ง ส่วนกรณีที่ตัวถูกละลายเกิดพันธะเคมีกับถ่าน การคาย (Desorption) ซึ่งจะเกิดได้ยาก
7. โมเลกุลของตัวถูกละลายที่มีความมีขั้วต่ำจะถูกดูดซับได้ดีกว่าพวกที่มีความมีขั้วสูง (อังคณา และ อัญชมา, 2542)

ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption Theory)

กลไกของการดูดซับ (mechanism of adsorption) เนื่องจากการดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากก๊าซ หรือของเหลว มายัง ของแข็ง หรือ ของเหลว ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ ติดต่อกัน ดังแสดงในภาพ 4

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (adsorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของเม็ดถ่าน

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของเม็ดถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของเม็ดถ่าน ซึ่งอาจจะดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์ หรือทางเคมี หรือทั้ง 2 ชนิดพร้อมกัน ซึ่งแล้วแต่วัตถุประสงค์ของ ผู้ทดลองว่าต้องการแรงชนิดใด แต่ในทางกำจัดน้ำเสีย การดูดซับจะพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าแรงทางเคมี

การเกาะจับด้วยแรงทางฟิสิกส์มีลักษณะดังนี้ คือ

1. เป็นแรงดึงดูดกันทางไฟฟ้าสถิต เกิดระหว่างโมเลกุลที่เป็นชนิดโพลาร์กับโพลาร์ คือ โมเลกุลของ adsorbate เป็นชนิดโพลาร์ด้วยชนิดนอนโพลาร์และโพลาร์กับนอนโพลาร์ ซึ่งการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่างๆ เหล่านี้เกิดขึ้นจากผล 3 อย่าง ดังแสดงในภาพ 4

1.1 โพลาร์กับโพลาร์โมเลกุลเกิดจาก orientation effect คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

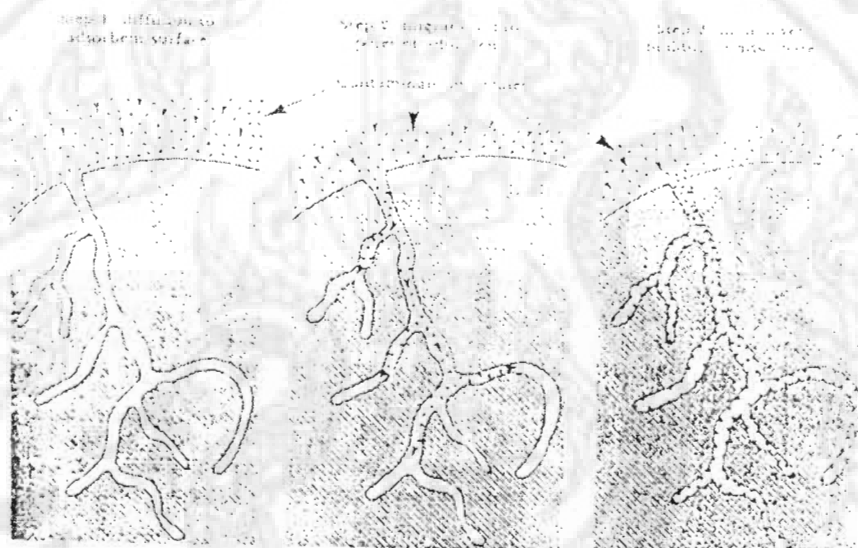
1.2 นอนโพลาร์กับนอนโพลาร์โมเลกุล เกิดจาก dispersion effect ซึ่งเป็นผลจากการอาศัยหลักการตรงที่ว่า นอนโพลาร์โมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุล ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มารวมกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก จะทำให้เป็นไดโพลโมเลกุลได้และเมื่อมีนอนโพลาร์ที่มีลักษณะเช่นเดียวกันนี้เข้ามา จะเกิดแรงดึงดูดกันมักเป็นแรงที่อ่อน (เช่น สารอินทรีย์ และ ถ่านกัมมันต์ เพราะสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นนอนโพลาร์โมเลกุล)

1.3 โพลาร์และนอนโพลาร์โมเลกุล ซึ่งเกิดจาก induction effect การเหนี่ยวนำของโพลาร์โมเลกุลเข้ามาใกล้กับนอนโพลาร์โมเลกุล เหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกัน

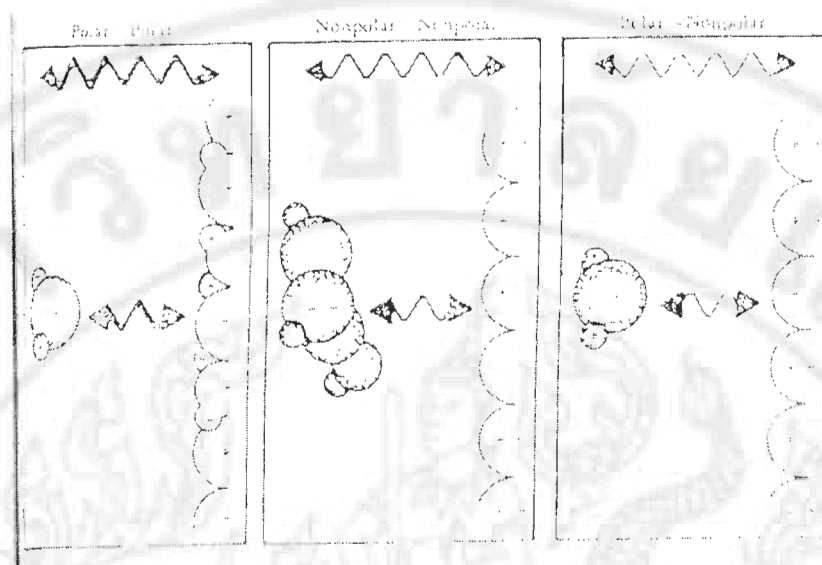
2. การเกาะจับกันเป็นแรงอ่อนๆ เรียกว่าแรง van der waals เนื่องจากเป็นแรงอ่อน จึงสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ ทำให้การฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

การเกาะจับด้วยแรงเคมี (Chemisorption)

1. เป็นชนิด chemical bond ที่เกิดจากการใช้อิเลคตรอนร่วมกันหรือให้อิเลคตรอนไปเลย หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเลคตรอน มีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแบบฟิสิกส์
2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากมีการจับกันเป็น chemical compound



ภาพ 4 กลไกการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์



ภาพ 5 แสดงถึงการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ในลักษณะต่างๆ กันด้วยแรงทางฟิสิกส์ (Control of Gaseous Emission Student Mannual, EPA)

กลไกของกระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิว (adsorption) เป็นกระบวนการกักพวกละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ ให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้ เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติด เรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้นี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (phase) ต่างๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ (gas) และของแข็ง (solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง

ในการดูดติดผิว โมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนผิวด้านกัมมันต์ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายใน โพรงของถ่านกัมมันต์และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อย เพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับถ่านกัมมันต์ โดยในการเกาะติดจะมี driving force อยู่ 2 แบบ ดังนี้

การดูดติดทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดจากความแตกต่างของพลังงาน หรือ แรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrical Attractive Force) อย่างอ่อนๆ ซึ่งเรียกว่าแรง van der waals การดูดติดโดยวิธีทางกายภาพนี้ adsorbate สามารถที่จะถูกดูดติดได้เป็นหลายๆ ชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ adsorbate

การดูดติดทางเคมี (chemical adsorption) เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของ adsorbate กับ adsorbent เกิดเป็นสารประกอบเคมี (chemical compound) โดยการดูดติดผิวชนิดนี้จะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น และจะเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ซึ่งไม่เหมือนกับการดูดติดทางกายภาพที่ไม่จำกัดบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาและสามารถเกิดการดูดติดได้หลายๆ ชั้น

อย่างไรก็ตามการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นทั้ง 2 กรณีในเวลาเดียวกัน และยากที่จะแยกได้ว่าการดูดติดผิวที่เกิดขึ้นอยู่ในลักษณะใด

ทฤษฎีของกระบวนการดูดติดผิว (Adsorption Theory)

โดยทั่วไปกระบวนการดูดติดผิวของโมเลกุลต่างๆ สามารถเขียนอยู่ในรูปปฏิกิริยาของการดูดติดได้ดังนี้



โดยที่ A คือ adsorbate B คือ adsorbent และ A*B คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดติดผิว (adsorbed compound) ในปฏิกิริยาของการดูดติดผิวที่เกิดขึ้นนี้ adsorbate จะถูกติดกับผิวของ Adsorbent ด้วยแรงทางเคมีและกายภาพชนิดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น แรงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน แรงไฟฟ้าชนิด dipole-dipole และแรง van der waals ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ (reversible) โมเลกุลของสารต่างๆ จะถูกดูดติดและสะสมอยู่บน adsorbent จนกระทั่งอัตราการดูดติดแบบไปข้างหน้าเท่ากับ อัตราการย้อนกลับของการดูดติด (desorption) ส่งผลให้เกิดสถานะที่เรียกว่า สถานะสมดุล (equilibrium) โดยที่สถานะนี้ การสะสมตัวของโมเลกุลต่างๆ บนผิวของ adsorbent จะไม่สามารถเกิดเพิ่มขึ้นได้อีกต่อไป

สมดุลของการดูดซับ

สมดุลจะเกิดเมื่อ Adsorbent เคลื่อนย้ายจากน้ำมายัง จนกระทั่งความเข้มข้นของ adsorbent ในน้ำเท่ากับความเข้มข้นในที่อุณหภูมิหนึ่งๆ นั้นเราใช้ adsorption isotherm เป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้นนั้น

adsorption isotherm คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับไป ต่อหน่วยน้ำหนักของ adsorbent และความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ในน้ำ แล้วนำไปพลอตกราฟ ล็อกการิทึม โดยให้ความเข้มข้นของสารที่เหลือในน้ำเป็นแกนนอนและปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปต่อน้ำหนัก Adsorbent เป็นแกนตั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมด

เรียกว่า adsorption isotherm ซึ่งมีประโยชน์มากในการหาความสามารถในการดูดซับของสิ่งสกปรกในน้ำ เปรียบเทียบชนิดถ่านที่ดีที่สุด

adsorption isotherm มีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎี ได้นำมาอธิบายเกี่ยวกับสมมูลของการดูดซับที่เกิดขึ้น ของ langmuir theory

langmuir adsorption isotherm บางครั้งเรียกว่า Ideal localized monolayer model มีสมมุติฐานที่สำคัญ ดังนี้

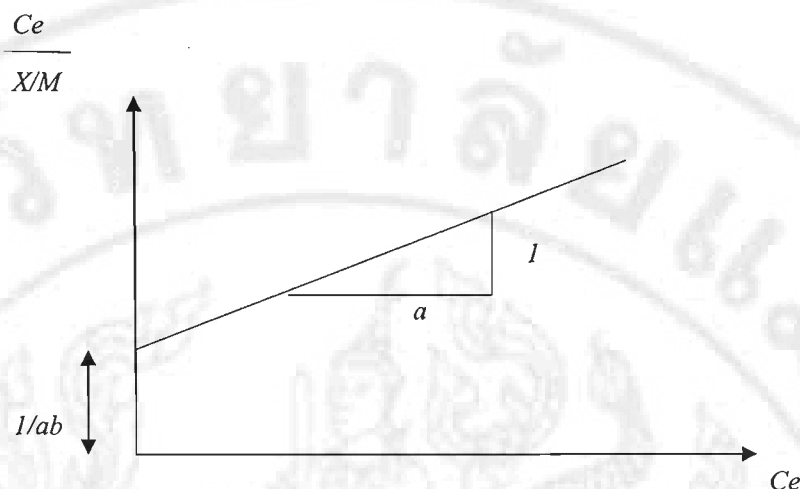
1. แต่ละตำแหน่งที่ถูกดูดติดผิวจะรับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้นหรือกล่าวได้ว่ามีการดูดติดผิวเพียงชั้นเดียว
2. มีพื้นที่ที่ถูกดูดติดจำกัด โมเลกุลที่ถูกดูดติดที่ผิวของของแข็งอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน
3. ตรงบริเวณดูดติดผิวจะเกิดอัตราการติดและหลุดออก ซึ่งอัตราการติดมีมากกว่าอัตราการหลุดจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล (อัตราการติดเท่ากับการหลุด)
4. พลังงานในการดูดติดมีค่าเท่ากันในทุกๆตำแหน่ง

นอกจากนี้ โมเลกุลที่ถูกดูดผิวไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาอย่างอิสระระหว่างพื้นที่ผิวหรือทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้ได้ โดยสมการ Isotherm ของ Langmuir แสดงไว้ในรูปดังนี้

$$\frac{X/M}{1+bCe} = \frac{abCe}{1+bCe} \quad (2.5)$$

และสามารถเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังนี้ โดยภาพ 7 แสดงกราฟสมการเชิงเส้นของ Langmuir Isotherm

$$\frac{Ce}{X/M} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} Ce \quad (2.6)$$



ภาพ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e และ $\frac{C_e}{X/M}$

โดยที่ค่า X/M คือ มวลสารของค่าความสกปรก/มวลสารของ adsorbent หรือ จำนวนโมลของ adsorbate/มวลสารของ Adsorbent ที่ภาวะสมดุล ค่า C_e คือ ค่าความเข้มข้นของ สารละลายของ adsorbate ที่ภาวะสมดุล ค่า a เป็นค่าคงที่ที่แสดงความสามารถในการดูดติดผิวสูงสุดของ adsorbate บน adsorbent ที่มีลักษณะของการดูดติดแบบ mono layer ส่วนค่า b จะแสดงถึง ค่าพลังงานของการดูดติด (energy of adsorption) โดยค่า b จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความแข็งแรงของ พันธะในการดูดติดมีค่าที่สูงขึ้น

ขั้นตอนของกระบวนการดูดติดผิว (Steps of adsorption)

การกำจัดสารต่างๆ ออกจากสารละลายโดยกระบวนการดูดติดผิวจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (bulk-solution transport) ในขั้นตอนนี้ adsorbate จะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลาย ไปสู่บริเวณที่ใกล้กับอนุภาคของ adsorbent การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้น โดยผ่านกระบวนการแพร่ (diffusion)
2. ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางๆ ที่ผิวของ adsorbate (film diffusion) ในขั้นตอนนี้ adsorbate จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบางๆ ของน้ำที่อยู่นิ่ง ซึ่งอยู่รอบๆ อนุภาคของ adsorbent โดยใช้วิธีการแพร่ (molecular diffusion) ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับ อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านอนุภาคของ adsorbent หรือการปั่นป่วนของน้ำใน bulk solution โดยเมื่อ อัตราการไหลและความปั่นป่วนมีค่าที่สูง ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆ นี้จะลดลง

3. ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างใน adsorbent (internal pore transport หรือ pore diffusion) ภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆ รอบอนุภาคของ adsorbent โมเลกุลของ Adsorbate จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในช่องว่าง (Pore) ของ Adsorbent การเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้นี้ (interparticle transport) อาจเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในช่องว่างใน adsorbent (pore diffusion) หรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของ adsorbent

4. ขั้นตอนการดูดติดผิว (adsorption)

เมื่อโมเลกุลของ adsorbate เข้ามาถึงบริเวณที่เป็นผิวของ adsorbent การสร้างพันธะของการดูดติด (adsorption bond) ระหว่าง adsorbent และ adsorbate จะเกิดขึ้น ขั้นตอนกระบวนการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับกระบวนการดูดติดผิวแบบกายภาพ (physical-adsorption) แต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดติดผิวเป็นการดูดติดผิวแบบเคมี (chemical-adsorption) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของ โมเลกุลที่ถูกดูดติดผิว เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ก็จะช้ากว่าการดูดติดผิวแบบกายภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว

1. ความปั่นป่วน (rpm)

อัตราเร็วของการดูดติดผิวนั้นจะขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ เมื่อความปั่นป่วนต่ำ ชั้นฟิล์มบางๆ ของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคของ adsorbent จะหนา เป็นเหตุให้การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในกรณีนี้ film diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ฟิล์มของน้ำที่ห่อหุ้มสารตัวกลางจะบาง การแทรกตัวของโมเลกุลผ่านชั้นฟิล์มของน้ำจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในช่องว่างของ adsorbent ในกรณีเช่นนี้ pore diffusion จะเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา ด้วยเหตุนี้เอง อัตราเร็วของการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์แบบผงจะขึ้นกับ pore diffusion เนื่องจากระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงมีความปั่นป่วนสูง ในขณะที่อัตราเร็วของการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดจะขึ้นอยู่กับ film diffusion ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดนั้นมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งมีระดับความปั่นป่วนของน้ำที่ต่ำ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (ผง/เม็ด)

โดยปกติถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็ก จะมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นถ่านกัมมันต์แบบผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด ส่วนความสามารถในการดูดติดผิวนั้นจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว เพราะฉะนั้นถ่านกัมมันต์

ที่มีพื้นที่ผิวสูงจะดูดติดโมเลกุลได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวดำ แต่เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในช่องว่างของ adsorbent ดังนั้นขนาดของถ่านกัมมันต์จึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกันความสามารถในการดูดติดผิวจึงใกล้เคียงกันด้วย

3. ความสามารถในการละลายน้ำของ Adsorbate (ผง/เม็ด)

โดยปกติแล้วสารที่ละลายน้ำได้น้อยมักดูดติดที่ผิวถ่านกัมมันต์ได้ดีกว่าสารที่ละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากว่า เมื่อมีการดูดติดเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดึงออกจากน้ำ ไปดูดติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารที่ละลายได้ดี แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารดังกล่าวกับน้ำก็จะมีมาก จึงทำให้ตัวละลายถูกดูดติดผิวได้ยาก แต่อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ข้างต้นก็ไม่เป็นจริงเสมอไป ในบางสถานการณ์และอาจเป็นไปในทางตรงกันข้ามได้

4. ขนาดของ adsorbate

ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายที่ต้องการกำจัดมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดติดผิว เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายใน pore ภายในถ่านกัมมันต์ จากการวิจัยพบว่าการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย กล่าวคือ พอดีที่จะเข้าไปในโพรงได้ เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและถ่านกัมมันต์จะมีค่ามากที่สุด

5. pH ของสารละลาย

เนื่องจาก pH ของสารละลายมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้น pH ของสารละลายจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย ตัวอย่าง เช่น กรดอินทรีย์จะถูกดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากกรดอินทรีย์จะแตกตัวได้น้อยที่ pH ดังกล่าว สำหรับ pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับนั้นหาได้จากการทดลองเท่านั้น

6) อุณหภูมิของสารละลาย

อุณหภูมิของสารละลายมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง เพราะปฏิกิริยาของการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาการคายความร้อน (มันสิน, 2542)

ชนิดของการดูดซับ

การดูดซับแบ่งตามความแข็งแรงของแรงที่กระทำต่อกันจะแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ได้

2 ชนิด

1. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)
2. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

1. การดูดซับทางเคมี

เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้จะเป็นการดูดซับที่มีค่าพลังงานสูงมากซึ่งทำให้ค่าความร้อนของปฏิกิริยาสูงจากการศึกษาโดยอาศัยเทคนิคทางสเปกโทรนิคสามารถยืนยันได้ว่าการดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับโดยพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จุดวิกฤตของตัวดูดซับ โดยมีค่าพลังงานความร้อนสูงมาก

2. การดูดซับทางกายภาพ

เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้แต่มีพลังงานความร้อนในการดูดซับต่ำและไม่ทำให้โครงสร้างของผิวของตัวดูดซับเปลี่ยนไประหว่างการดูดซับตัวถูกดูดซับสามารถที่จะเกาะรอบๆ ผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดแต่เกิดน้อยมากจึงสามารถทำให้ผิวของตัวดูดซับสะอาดได้ การดูดซับทางกายภาพจะถึงภาวะสมดุลได้เร็วโดยไม่ต้องใช้พลังงานกระตุ้นเหมือนการดูดซับทางเคมี (Hassler, 1974 Cited by Lowell, 1979)

กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. การกำจัดน้ำออก

โดยการอบวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ซึ่งในบางครั้งอาจใช้สารเคมีช่วยในการกำจัดน้ำ เช่น ซิงค์คลอไรด์

2. การเผาให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไนเซชัน

การทำการคาร์บอนไนเซชัน คือ การเผาให้เป็นถ่านในที่อับอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature carbonization) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ เมื่ออบวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 170°C น้ำภายในโมเลกุลจะถูกไล่ออกจนหมดวัตถุดิบแห้ง เมื่อร้อนถึง $270-280^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการสลายตัว บางส่วนเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติกและเมทิลแอลกอฮอล์ อะตอมของถ่านจะเปลี่ยนเป็นรูปผลึก (crystallographic formation) และจะมีน้ำมันทาร์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของคาร์บอนไปอุดตาม pore คาร์บอนทำให้ความสามารถในการดูดซับไม่ดีและเมื่อร้อนถึงอุณหภูมิ $400-600^{\circ}\text{C}$ จะเป็นการสิ้นสุดการทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะมีปริมาณคาร์บอนอยู่ประมาณร้อยละ 60

การเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิสูง (high temperature carbonization) เป็นการเผาให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ $950-1,150^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นน้ำมันทาร์ และก๊าซต่างๆ

3. การกระตุ้นเพื่อทำถ่านกัมมันต์ ทำได้ 2 วิธีคือ

การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) และการกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) ซึ่งบางครั้งอาจใช้ทั้งสองวิธีรวมกัน โดยกระทำการกระตุ้นทางเคมีแล้ว จึงทำการกระตุ้นทางกายภาพเพื่อให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับดีขึ้น

การกระตุ้นทางเคมี เป็นการกระตุ้นด้วยสารเคมีและความร้อน (pyrolysis) การเตรียมโดยวิธีนี้มีหลักการ คือ นำวัตถุดิบ เช่น ถ่านชาร์ (char) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันมาบดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ แล้วชุบลงในสารละลายเคมีที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลไฟด์ โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต กรดฟอสฟอริก และกรดซัลฟูริก บางครั้งอาจใช้สารประกอบไฮดรอกไซด์ของธาตุหมู่ IIA เช่น แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ให้อากาศเข้า เมื่อเย็นลงนำมาสกัดแยกออกแล้วทำปฏิกิริยาออกก็จะได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เป็นการกระตุ้นโดยใช้ ออกซิไดซ์-ซิงแก๊ส (oxidizing gas) เช่น ไอน้ำ อากาศ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อะตอมของคาร์บอนบางอะตอมในผลึกทำให้ผงถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามต้องการ

การกระตุ้นทางกายภาพนี้อาจในการดูดซับ (adsorptive power) จะมากหรือน้อยขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

1. ธรรมชาติของปฏิกิริยา และความเข้มข้นของแก๊สที่นำมาออกซิไดซ์
2. อุณหภูมิของปฏิกิริยา
3. ชนิดของเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบของถ่านชาร์

การกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์

การกระตุ้นมี 2 วิธี คือ ทางกายภาพ (physical activation) โดยใช้ไอน้ำ หรือแก๊ส และวิธีทางเคมี (chemical activation) โดยใช้สารเคมี ทั้งนี้อาจใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีร่วมกันได้

1. วิธีทางกายภาพ : นิยมใช้ไอน้ำอัดตัวยังยวดยในการกระตุ้น นอกจากนั้นใช้อากาศเป็นต้น โดยร่วมกับความร้อน โมเลกุลของคาร์บอนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ โดยมีการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งเพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับสูงขึ้น ข้อดีของการกระตุ้นโดยวิธีนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูง

การใช้ไอน้ำอัดตัวยังยวดยในการกระตุ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้



การกระตุ้นโดยใช้ระบบฟลูอิดไอเซชันให้ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากวัตถุดิบสัมผัสกับไอน้ำได้อย่างทั่วถึงเครื่องมือที่ใช้ คือ อุปกรณ์ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำในระบบฟลูอิดไอเซชัน (fluidized bed activator) ขนาดของอนุภาค ของวัตถุดิบมีความสำคัญมาก ควรมีขนาดประมาณ 0.515 mm (Kirubankaran, 1991).

2. วิธีทางเคมี: สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น โดยทั่วไปมักเป็นสารดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น กรดบางชนิด หรือด่างบางชนิด การกระตุ้นอาจทำได้โดยการเผาสารเคมีกับวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน หรือเผาด้วยระบบคาร์บอนในเซชันก่อน เพื่อไล่สารอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอนออก แล้วจึงกระตุ้นด้วยสารเคมีซึ่งจะช่วยให้เกิดรูพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวอนุภาคมากขึ้น (สุทธิสงค์ และคณะ, 2535)

สารเคมีซึ่งเป็นสารดูดน้ำนี้ช่วยเสริมกระบวนการเผาสารคาร์บอนโดยไม่ให้เกิดน้ำมันทาร์ และของเหลวอื่นๆ ช่วยทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี กลไกของการกระตุ้นทางเคมี ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน นอกจากว่าสารเคมีนั้นช่วยในการย่อยสลายเซลล์ลูลอส และเมื่อได้รับความร้อนจากการเผาก็เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำ ก่อให้เกิดรูพรุนขึ้นในถ่าน

(Smisek and Cerny, 1970; Hassler, 1963)

ในการกระตุ้นด้วย KOH ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังนี้:



เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 700°C K_2O จะถูกรีดิวซ์ โดยไฮโดรเจนหรือคาร์บอน กลายเป็นไอของโลหะ โพแทสเซียม แทรกเข้าไปในโครงสร้างของคาร์บอน ส่วนที่เป็นไอเหล่านั้น เมื่อระเหยออกไปก็จะเกิดรูพรุนขึ้นในถ่าน (Otowa, 1933)

การทดสอบการใช้งาน

ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากลิกไนต์ อัตราส่วน KOH ลิกไนต์ 3:1,4:1 และถ่านกัมมันต์จาก บริษัทวีเนี่ยนชาดจำกัด ในการดูดซับสิ่งสกปรกจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษสา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ :

- การนำถ่านกัมมันต์ที่บดแล้วอบแห้งที่ 105°C ตลอดคืนแล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

- ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ได้ จำนวน 0.1 0.2 0.5 1.0 g ใส่ลงในขวดชมพูขนาด 250 mg ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ขึ้นกับ สภาวะในการดูดซับ แต่ไม่ควรใช้น้อยกว่า 4 ค่า เช่น 0.5 0.1 0.2 0.3 g เป็นต้น

- เติมน้ำที่จะทดสอบลงไป 100 mg โดยวัด pH ก่อน

- นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอย่างน้อย 1 ชั่วโมง หากของผสมมีความหนืดมากควรเพิ่มระยะเวลาในการเขย่าเพื่อให้การดูดซับสู่สภาวะสมดุล

- เมื่อเขย่าเสร็จจึงนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกำจัดถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับแล้วออก และปรับ pH ของสารละลายที่ได้ให้เท่ากับ pH ก่อนการเติมถ่านกัมมันต์

- นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่า

- นำค่า COD และปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ มาคำนวณและสร้างกราฟตาม Langmuir-

Adsorption Isotherm

การทดลองนี้ใช้ค่า COD เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการดูดซับของเสียของถ่านกัมมันต์ โดยพิจารณาจากเปรียบเทียบค่า COD ของน้ำทิ้งก่อนและหลังการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสิ่งสกปรกตามการวิจัยของ (Fornwalt, 1966)

ขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดผง โดยวิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำของวัตถุดิบ มีความสำคัญต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ จึงมีการคัดขนาดอนุภาคในการทดลองต่อไปนี้

Srikumlaithong *et al.* (1994) ได้ทดลองทำการปรับสภาพด้วยกรดก่อนการเผา และการกระตุ้น ซึ่งทำให้ได้สภาวะของการปรับสภาพด้วยกรด การเผาและการกระตุ้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงนอกจากนี้พบการใช้ KOH ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับวิธีการกระตุ้นทางเคมี ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์คุณภาพสูง

Tsai *et al.* (2001) ศึกษาการผลิตตัวดูดซับจากขี้ข้าวโพด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยวิธีการกระตุ้นร่วมกันระหว่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ ในงานทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิช่วง $500-800^{\circ}\text{C}$ ในการกระตุ้นทางเคมี สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น มี 2 ชนิด

คือ KHO และ K_2CO_3 เป็นสารที่มีคุณสมบัติทำให้เกิดมลพิษน้อย และการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยา ผลของผลิตภัณฑ์สามารถตรวจสอบลักษณะทางกายภาพได้จาก การหาพื้นที่ผิว bet surface area ปริมาตร pore ทั้งหมด และความหนาแน่นที่แท้จริงเพิ่มขึ้น พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้จากขัง-ข้าวโพดสามารถนำมาใช้ในกระบวนการทำความสะอาดได้ ซึ่งยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์และนำทรัพยากรทางชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นตัวดูดซับที่ได้จากการทดลองนี้มีความเป็นไปได้สำหรับการนำมาควบคุมมลพิษและนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆต่อไป

Vera *et al.* (2005) ได้ทำการทดลองทำการตกตะกอนน้ำเสียสีจากหม้อย้อมผ้า ซึ่งสีที่ใช้เป็นสีชนิดที่ Reactive Dye โดยทำการศึกษาถึงค่า pH COD BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ AOX ในการทดลองใช้สารตกตะกอน 3 ชนิดคือ สารส้ม เพอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกคลอไรด์ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทั้ง 3 ชนิด โดยทดลองหาปริมาณของสารตกตะกอน ที่ใช้และ pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตกตะกอนโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ที่ 0.01-0.4 g/L และ pH ที่ 6-9 ทำการทดลองโดยวิธีจาร์เทส ทำการกวนเร็ว 2 นาทีด้วยความเร็วรอบ 100 rpm จากนั้นกวนช้า 20 นาทีด้วยความเร็วรอบ 20 rpm และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลานาน 30-150 นาทีซึ่งจากการทดลองพบว่า สามารถทำการบำบัดน้ำเสียสี ย้อมผ้าได้เป็นอย่างดี โดยที่สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของสี TOC และ COD ได้ ร้อยละ 98 50 และ 45 ตามลำดับ ซึ่งสารตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ สารส้มและ pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ 9

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยแบ่งเป็น 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ดำบลด้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

อุปกรณ์และเครื่องมือและสารเคมี

1. อุปกรณ์เครื่องมือ

1.1 วัสดุอุปกรณ์

ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

บีกเกอร์ (Beaker)

บีกเกอร์จาร์เทสต์ (Jar Test Beaker)

หลอด COD ขนาด 20 x 150 mm

ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Beaker)

1.2 เครื่องมือ

เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH Meter)

เครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test Equipment)

เตาอบ (Oven)

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)

เครื่องวัดความขุ่น (Turbid Meter)

เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)

โถดูดความชื้น (Desiccators)

เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump)

2. สารเคมี

2.1 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ หรือ สารส้ม (Alum)

2.2 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ หรือ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC)

2.3 สารเคมีที่วัดตัวแปรต่าง ๆ คือ COD Color SS ความขุ่น
(ภาคผนวก ข)

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำเสียตัวอย่างก่อนทำการทดลองมาศึกษาค่าตัวแปร ดังนี้ สี (Color) วัดด้วยวิธีอ่านค่า OD (Optical density), ค่าความขุ่น (Turbidity) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตัวอย่างละอย่างน้อย 2 ข้าง เพื่อเป็นฐานข้อมูลของคุณสมบัติตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง
2. ทำการตกตะกอนค่าความสกปรกดังตัวแปรด้วยเครื่องจาร์เทสต์ใช้สารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม และ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ กำหนดปริมาณสารตกตะกอนคือ 2,000-10,000 mg ต่อปริมาตรน้ำเสีย 100 ml เพื่อหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dose)
3. จากนั้นทำการกำหนดค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ 5-8 เพื่อหาค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum pH) ภายใต้การใช้ปริมาณสารตกตะกอนที่ได้จากข้อ 2
4. นำสารละลายใสส่วนบนไปที่ได้จากข้อ 2 และ 3 วัดค่าความขุ่น pH สี และ COD ทดลองที่อุณหภูมิ $28 \pm 2^\circ \text{C}$ วิธีการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ดังแสดงภาคผนวก ก กระบวนการทดลองที่ 1 แสดงดังภาพ 7

การทดลองที่ 2 การศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1 วัสดุอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องแก้ว

ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Beaker)

กล่องนิเกิลครุชีเบิล (Nickel Crucible Box)

หลุม (Bed)

เมล็ดลิ้นจี่

1.2 เครื่องมือ

เตาอบ (Oven)

เตาเผา (Furnace)

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)

โถดูดความชื้น (Desiccators)

ตะแกรงขนาด 60 เมช (Sieve)

เตาแผ่นให้ความร้อน (Hot Plate)

2. สารเคมี

2.1 โซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

2.2 เก๊ลิคไอโอดีน (I_2)

2.3 แป้ง ($\text{C}_2\text{H}_{10}\text{O}_5$)

2.4 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

2.5 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

2.6 โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)

2.7 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

2.8 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

2.9 ผงอะลูมินา (Al_2O_3)

2.10 น้ำกลั่น (H_2O)

2.11 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Al_2O_3)

2.12 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1.1 การกำจัดน้ำออก

- นำเมล็ดลิ้นจี่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา 2 ครั้งและล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้งทิ้งไว้และตากแดดจนแห้ง
- นำเมล็ดลิ้นจี่ที่เตรียมไว้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นที่คงค้างอยู่ออกให้หมด

1.2 การเผาให้เป็นถ่าน (Carbonization)

- นำเมล็ดลิ้นจี่มาเผาที่อุณหภูมิ $400-900^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที

ตามลำดับ

- นำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อดูดความชื้นออกให้หมด
- นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละความชื้นจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่
- นำมาบดและร่อนในตะแกรงขนาด 60 เมช
- นำไปทดสอบเพื่อหาสถานะที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุดเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย

การวิจัย

1.3 กระบวนการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

- ชั่ง KOH และตัวอย่างที่เตรียมไว้โดยมีการกำหนดสัดส่วนคือ KOH : ตัวอย่าง (เมล็ดลิ้นจี่) ในสัดส่วน 0.5:1 (w/w)
- เติม KOH ลงในกล่องกลองนิเกิลครุซิบิลที่เตรียมไว้
- เติตัวอย่างคลุม KOH แล้วไปวางใน Bed ปิดฝาให้สนิท
- นำไปวางในกล่องชั้นนอกแล้วคลุมทับด้วยผองอะลูมิเนียมนำชั้นนอกเพื่อรักษาการถ่ายเทอุณหภูมิให้คงที่

ถ่ายเทอุณหภูมิให้คงที่

- นำไปเผาที่อุณหภูมิ 400-900 °C เป็น เวลา 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ
- นำไปทดสอบเพื่อหาสถานะที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการศึกษา

การศึกษา

ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพ 8

กระบวนการทดสอบประสิทธิภาพถ่านที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่

การทดสอบสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการหาค่าเลขไอโอดีน ซึ่งได้เตรียมด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต มีรายละเอียด ดังนี้

1. เตรียมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน (ภาคผนวก ข)
2. เติมสารละลายไอโอดีนมาตรฐานปริมาณ 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 150 ml
3. ทดสอบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ ณ สถานะต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที
4. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 210 rpm (round per minute) ต่อหน้าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำน้ำเสียที่เติมถ่านกัมมันต์กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และหาค่าร้อยละของการกำจัดไอโอดีนมาตรฐานที่เหลืออยู่

6. ถ่ายภาพถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ในแต่ละสถานะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การทดลองที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถ่านกัมมันต์

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดโดยศึกษาทดลองกระบวนการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง มีรายละเอียดดังนี้

1. นำน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (Optimum Dose, Optimum pH) จากการทดลองที่ 1 ปริมาณ 60 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 100 ml โดยวัดปริมาณค่า COD เริ่มต้นก่อนทำการทดลอง
2. ใส่ถ่านกัมมันต์จำนวน 500 1,000 1,500 2,000 2,500 3,000 3,500 และ 4,000 mg ปรับค่า pH ของน้ำเสียที่ pH 3 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 210 rpm ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และหำร้อยละของการกำจัด COD ที่เหลืออยู่
3. ดำเนินการทดลองตามข้อ 1 และ 2 โดยปรับค่า pH ของน้ำเสียเป็น pH 5 7 และ 9 ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลองที่ 3 แสดงดังภาพ 9

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน
ผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่าน
กระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้มและ
พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์

การตกตะกอนแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน

การหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum Dose)

นำน้ำเสียตัวอย่างก่อนทำการทดลองมาศึกษาค่าตัวแปร ดังนี้ สี, Turbidity, COD, SS และ
pH ตัวอย่างละอย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นข้อมูลคุณสมบัติตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง

1. เติมน้ำเสียใบละ 1 ลิตร ลงในบีกเกอร์ จำนวน 6 ใบ ใบที่ 1 ไม่เติมสารเคมีสำหรับการ
ตกตะกอน (Control) ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เติมสารส้มสำหรับการตกตะกอนปริมาณ
2,000, 4,000, 6,000, 8,000 และ 10,000 mg/L ตามลำดับ

กำหนดเงื่อนไขการทดลองคือ กวนเร็ว 120 นาน 1 นาที กวนช้า 30 นาน 5
นาที และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นาน 30 นาที

2. นำน้ำเสียตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนมาทดสอบหาค่า ตัวแปร ดังนี้ สี, Turbidity, COD,
SS และ pH ที่เหลืออยู่ภายหลังจากการตกตะกอนและเลือกช่วงความเข้มข้นที่มีการตกตะกอน
ของสีไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 เพื่อทำการทดลองขั้นต่อไป

3. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยกำหนดช่วงปริมาณสารส้มจากข้อมูลข้อ 2 เพื่อหา
ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (Optimum Dose)

ภาพ 7 ขั้นตอนการหาปริมาณสารตกตะกอนและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอน



ภาพ 7 (ต่อ)

การทดลองที่ 2 การศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1.การกำจัดน้ำออก

นำเมล็ดลิ้นจี่มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา 2 ครั้งและล้างด้วยน้ำ
กลั่น

นำเมล็ดลิ้นจี่ที่เตรียมไว้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น
นำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นที่คงค้าง
อยู่ออกให้หมด

2.การเผาให้เป็นถ่าน (Carbonization)

นำเมล็ดลิ้นจี่มาเผาที่อุณหภูมิ $400 - 900^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที
ตามลำดับ

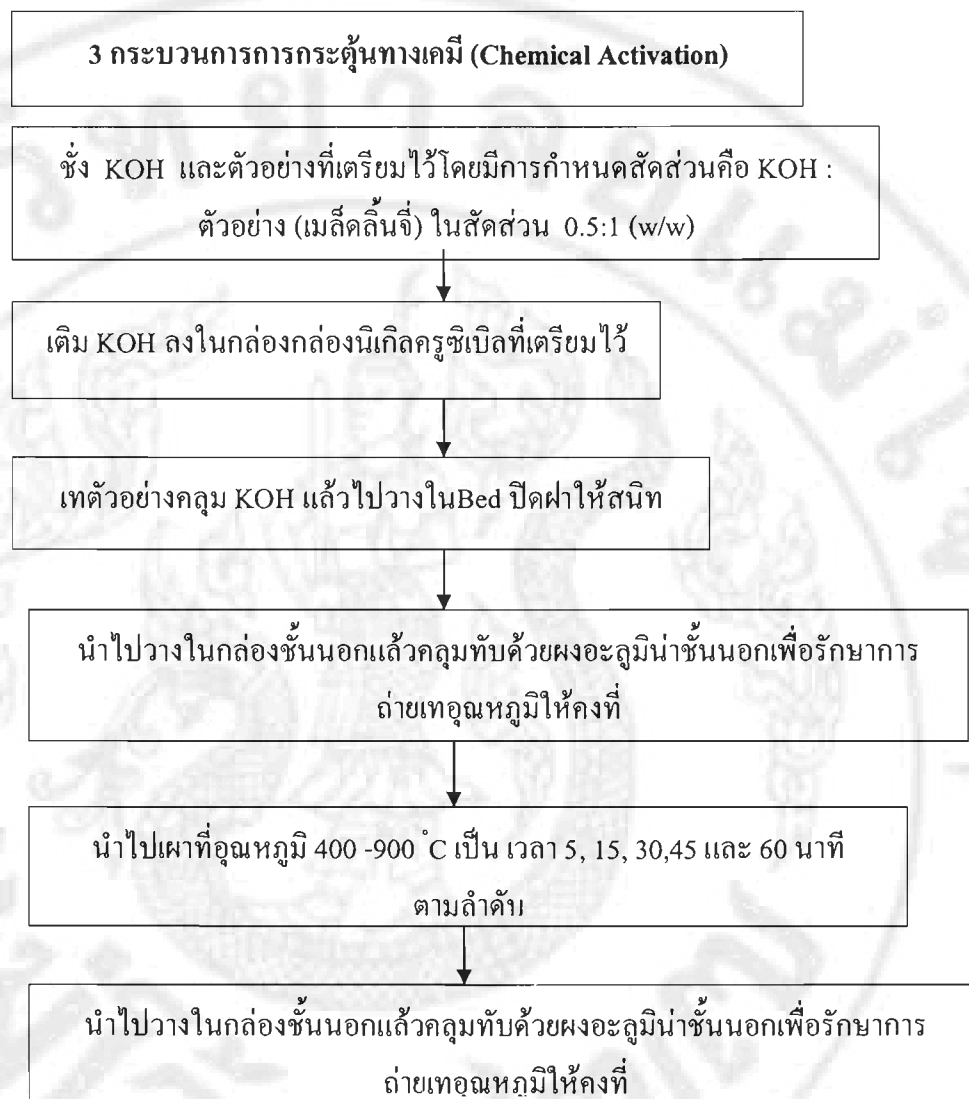
นำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกให้หมด

นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละความชื้นจนกว่าค่าที่ได้จะคงที่

นำมาบดและร่อนในตะแกรงขนาด 60 เมช

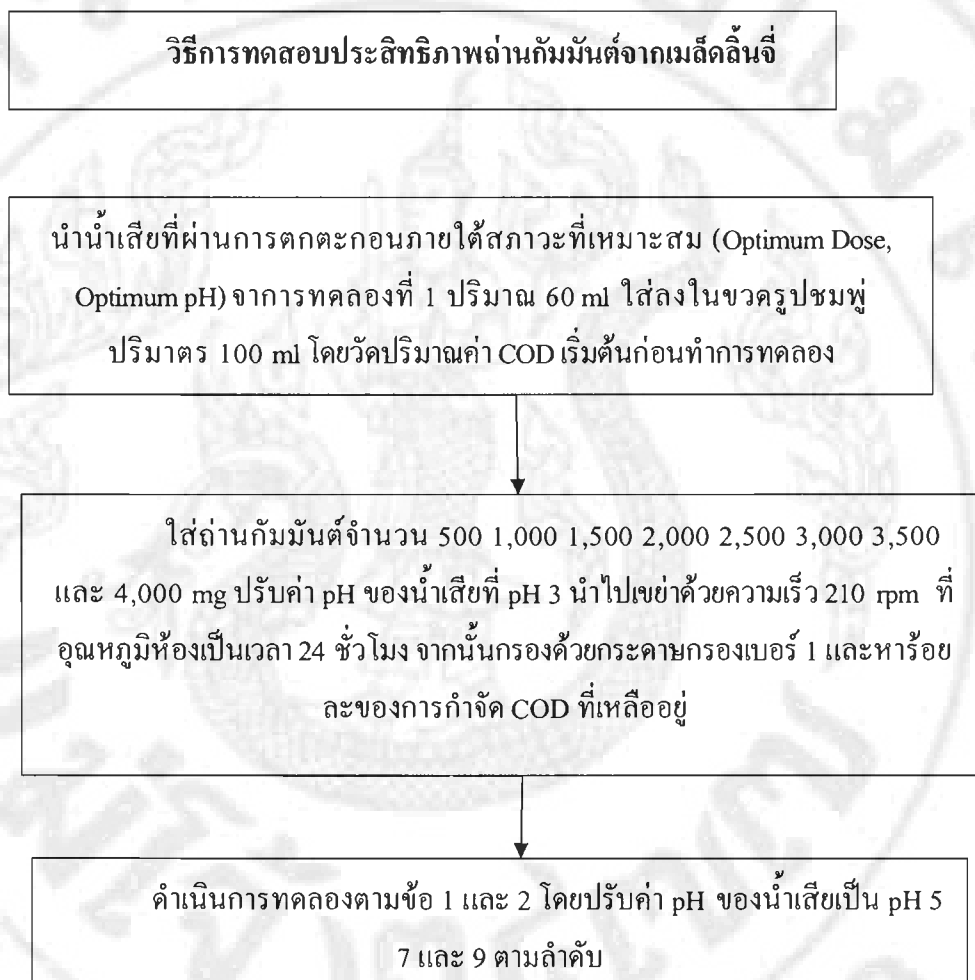
นำไปทดสอบเพื่อหาสถานะที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุดเพื่อ
นำมาใช้ในการวิจัย

ภาพ 8 การศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่



ภาพ 8 (ต่อ)

การทดลองที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของ
ถ่านกัมมันต์



ภาพ 9 แสดงวิธีการทดสอบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอน และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิด และปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม (Alum ; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) และ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC, $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_2$) ศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ งานวิจัยได้แบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนของสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้มและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

ในการวิจัยได้เก็บน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียดังนี้ วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สี (Color) ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD) ก่อนทำการตกตะกอน

ตาราง 1 คุณสมบัติของน้ำตัวอย่าง (Influence ; INF) จากโรงงานผลิตกระดาษสา

ครั้งที่เก็บตัวอย่าง (เดือน)	ค่าความเป็น กรด – ด่าง	สี	ความขุ่น (NTU)	ของแข็ง แขวนลอย (mg/L)	COD (mg/L)
มกราคม	7.12	2.15	27.93	353.33	1,973.33
เมษายน	6.95	2.64	35.78	489.56	2,230.56
กันยายน	7.05	2.1	26.45	345.23	1,965.32
ธันวาคม	6.96	2.78	38.56	502.35	2,465.23
เฉลี่ย	7.02	2.42	32.18	422.62	2,158.61

หมายเหตุ แต่ละตัวแปรทำการทดลอง 3 ซ้ำ

จากข้อมูลในตาราง 1 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของน้ำตัวอย่างจากโรงงานผลิตกระดาษสาได้ค่า pH อยู่ในช่วง 6.95-7.02 สีอยู่ในช่วง 2.10-2.78

ความขุ่นอยู่ในช่วง 26.45-38.56 NTU SS อยู่ในช่วง 345.23-502.35 mg/L และ ค่า COD อยู่ในช่วง 1,965.23-2,465.23 mg/L ตามลำดับ จากนั้นทำการตกตะกอนสี ความขุ่น SS และ COD ด้วยวิธีจาร์เทสต์โดยเปรียบเทียบสารตกตะกอน 2 ชนิดคือ สารส้มและโพลิ-อลูมิเนียมคลอไรด์ นำสารละลายใส่ส่วนบนวัดค่า pH สี ความขุ่น SS และ COD โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่เกินร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับ INF และควบคุมการทดลองที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. หาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum-Dose)
2. หาความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum pH)

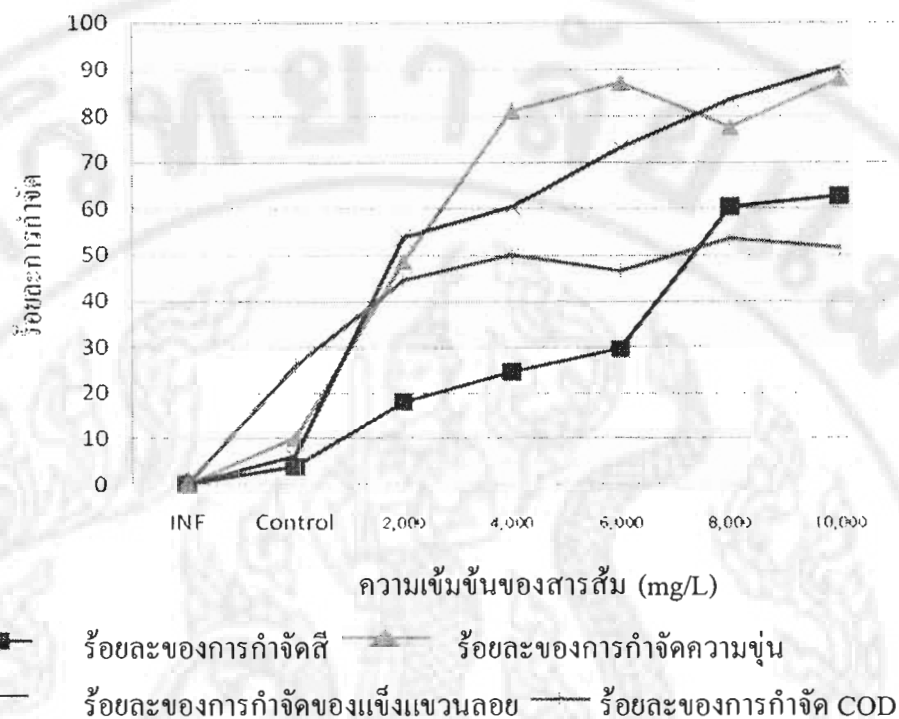
ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 2-9 ดังนี้

ตาราง 2 การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ

ปริมาณสาร ตกตะกอน (mg/L)	ค่าความเป็นกรด – ค่าหลังการ ตกตะกอน	ร้อยละของ การกำจัดสี	ร้อยละของ การกำจัด ความขุ่น	ร้อยละของการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย	ร้อยละของ การกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.85	3.80	10.03	5.99	25.84
2,000	5.66	17.92	48.67	53.84	44.48
4,000	5.31	24.58	81.08	60.40	50.13
6,000	4.66	29.49	87.12	73.16	46.49
8,000	4.75	60.40	77.55	83.36	53.66
10,000	4.45	62.75	87.95	90.52	51.64

หมายเหตุ INF หมายถึง น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด
Control หมายถึง น้ำเสียที่ไม่ได้มีการเติมสารตกตะกอนผ่านการกวนและทิ้งไว้ให้
ตกตะกอน
ร้อยละของการกำจัดสำหรับ Control คำนวณเทียบกับ INF
ร้อยละของการกำจัดสำหรับการใช้ปริมาณสารตกตะกอน (2,000-10,000 mg/L)
คำนวณเทียบกับ Control

จากข้อมูลในตาราง 2 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณสารส้มมากขึ้นค่า pH จะต่ำลง ค่าร้อยละของการกำจัดสีมีค่ามากขึ้นโดยที่ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ในช่วง 6,000–8,000 mg/L มีค่า pH หลังการตกตะกอน 4.66–4.75 ค่าร้อยละการกำจัดสี 29.49–60.40 ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 87.12–87.95 ค่าร้อยละการกำจัด SS 73.16–83.36 และค่าร้อยละการกำจัด COD 46.49–53.66 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการกำจัดระหว่าง INF และ Control (ตาราง 2) พบว่า Control มีค่า pH หลังการกวนลดลง แต่ค่าร้อยละการกำจัดตัวแปรต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกวนส่งผลให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคแขวนลอยในน้ำและทำให้เกิดการจมตัวอนุภาคแขวนลอยตามแรงโน้มถ่วงของโลกได้ในระดับหนึ่ง



ภาพ 10 แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารส้มแบบหยาบ

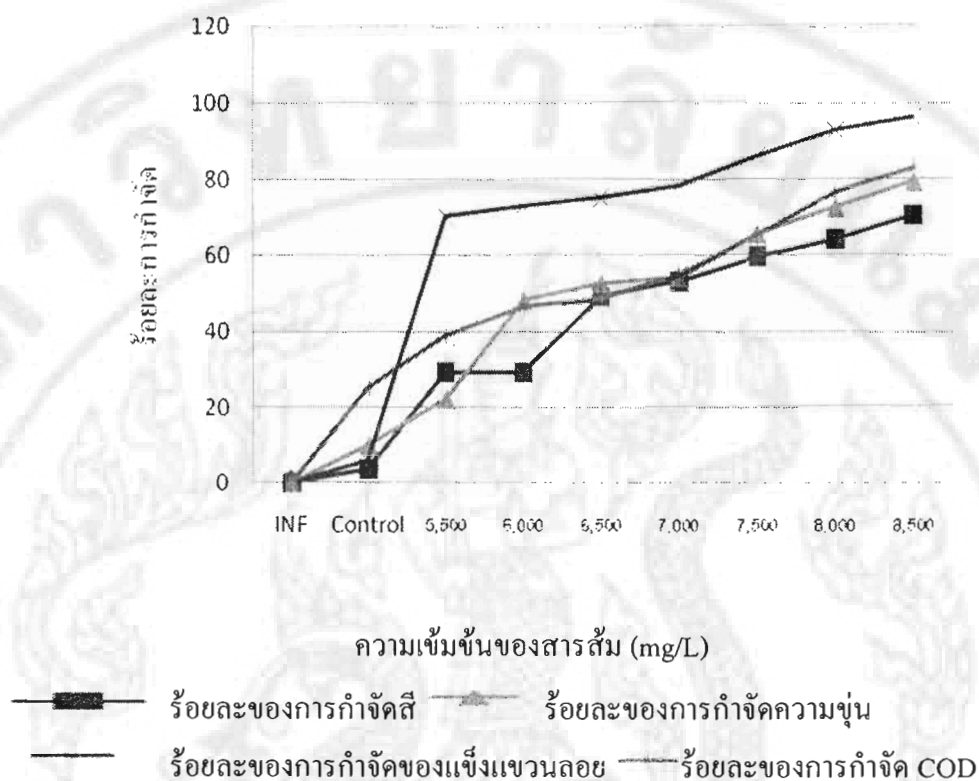
ดังจะเห็นได้จากภาพ 10 พบว่าแนวโน้มของสารส้มเพิ่มมากขึ้นค่า pH จะลดลง รวมทั้งค่าร้อยละในการกำจัดสี กำจัด SS และกำจัด COD จะเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นค่าร้อยละในการกำจัดความขุ่นที่มีค่าลดลงเมื่อใช้สารส้มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหากมีการเติมสารส้มจนความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงกว่าจุดอิ่มตัวอาจทำให้เกิดผลึกของ $Al(OH)_3$ แขวนลอยอยู่ในน้ำเพิ่มขึ้น (มันสิน, 2542) เช่นเดียวกับการศึกษาของโสภณ, 2548 ซึ่งทำการศึกษาหาปริมาณสารส้มจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตกระดาษพบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ในช่วง 6,000–8,000 mg/L ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 91.97–92.68 ค่าร้อยละการกำจัด SS 73.51–41.06 และค่าร้อยละการกำจัด COD 40.23–50.96

ตาราง 3 การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด

ปริมาณ สาร ตกตะกอน (mg/L)	ค่าความเป็น กรด – ค่า หลังการ ตกตะกอน	ร้อยละของ การกำจัดสี	ร้อยละของ การกำจัด ความขุ่น	ร้อยละของการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย	ร้อยละของ การกำจัด COD
INF	7.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.85	3.80	10.03	5.99	25.48
5,500	6.56	29.37	22.24	70.24	39.24
6,000	4.66	29.49	48.14	73.16	46.49
6,500	4.68	49.18	52.67	75.37	48.64
7,000	4.76	53.38	54.26	78.47	55.18
7,500	4.71	59.72	65.66	86.25	65.46
8,000	4.51	64.53	72.59	92.99	77.09
8,500	4.94	70.94	79.47	96.28	83.05

จากข้อมูลในตาราง 3 จะเห็นว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum Dose) อยู่ที่ 6,500 mg/L มีค่า pH หลังการตกตะกอน 4.68 ค่าร้อยละการกำจัดสี 49.18 ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 52.67 ค่าร้อยละการกำจัด SS 75.37 และค่าร้อยละการกำจัด COD 48.64

เมื่อพิจารณาภาพ 11 พบว่าแนวโน้มของสารส้มเพิ่มมากขึ้นค่า pH จะลดลงค่าร้อยละในการกำจัดสี ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น ค่าร้อยละการกำจัด SS และ ค่าร้อยละการกำจัด COD จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโสภณ (2548) พบว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียของกระบวนการผลิตกระดาษสาอยู่ที่ 6,500 mg/L มีค่าร้อยละการกำจัดดังนี้ ความขุ่น 94.10 SS 58.76 และ COD 55.93 เช่นเดียวกับเกียรติศักดิ์ และ คณิต (2542) ได้ทำการศึกษาการกำจัดขั้นต้นน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสาโดยกระบวนการสร้างตะกอน พบว่าใช้สารส้ม 15 mg/L เฟอร์รัสซัลเฟต 900 mg/L และเฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3) 1,000 mg/L สามารถลดค่า COD ได้ร้อยละ 45.8 45.4 และ 42.0 ตามลำดับ และสามารถลดค่า SS ได้ร้อยละ 78.4 85.2 และ 37.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารส้มมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดขั้นต้น



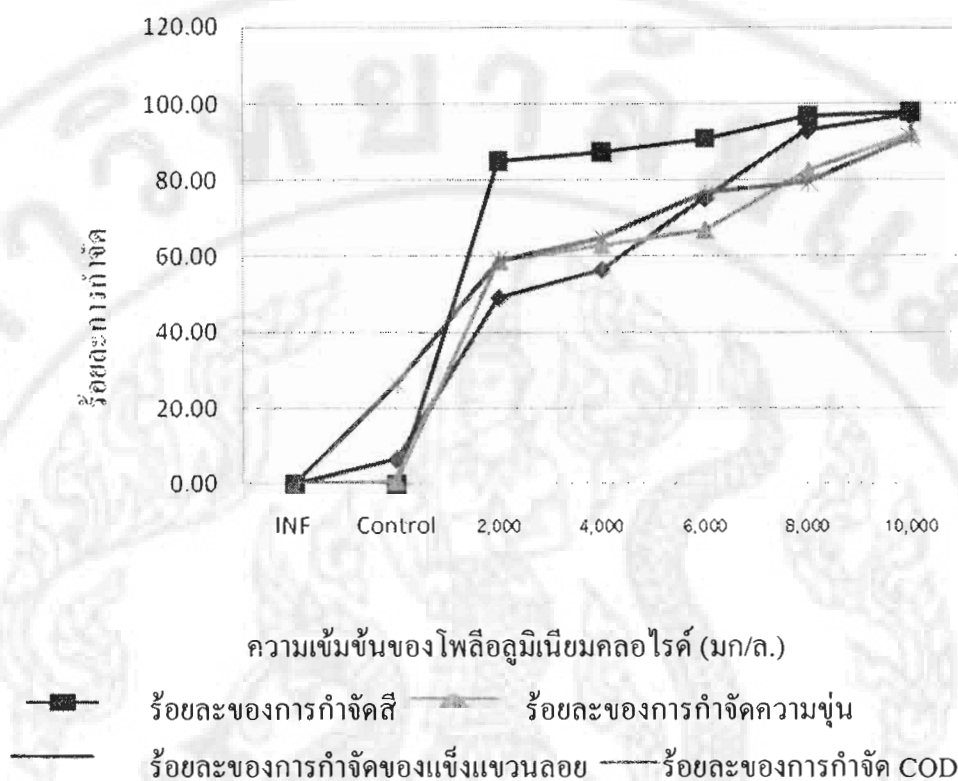
ภาพ 11 แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของสารส้มแบบละเอียด

ดังนั้นในการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ อยู่ในช่วง 6,000-8,000 mg/L และปริมาณสารส้มเหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด (Optimum Does) อยู่ที่ 6,500 mg/L และเมื่อเติมสารส้มในปริมาณที่สูงขึ้นจะสามารถกำจัด SS และ COD ได้มากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการเกิด Hydrolysis ของสารส้ม ทำให้สารส้มสามารถดูดติดผิวของอนุภาคและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุเป็นบวกจับตัวกับประจุลบของอนุภาค (สารแขวนลอย) ทำให้เสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอยลดลง จนสามารถรวมตัวกันเป็นฟล็อกจมตัวลง กลไกนี้เกิดขึ้นในเวลา 10^{-4} -1 วินาที และจะต้องมีปริมาณสารเชิงซ้อนที่พอเหมาะ ถ้าสารดูดติดผิวไม่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที ถ้ามีการเติมสารส้มจนความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงกว่าจุดอิ่มตัวปฏิกิริยา Hydrolysis จะดำเนินไปจน Hydrolysis Complex กลายเป็น $Al(OH)_3$ เกิดเป็นกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึก $Al(OH)_3$ มีลักษณะคล้ายปุยเมื่ออนุภาคแขวนลอยสัมผัสกับผลึก $Al(OH)_3$ จะเกาะจับอยู่ที่ผลึกนั้น ทำให้มีขนาดใหญ่อิ่มตัวลง (มันสิน, 2542)

ตาราง 4 การหาปริมาณโพลีลูมิเนสเซนซ์คลอไรด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบ

ปริมาณสาร ตกตะกอน (mg/L)	ค่าความเป็น กรด – ด่าง หลังการ ตกตะกอน	ร้อยละของ การกำจัดสี	ร้อยละของ การกำจัด ความขุ่น	ร้อยละของ การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย	ร้อยละ ของการ กำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.95	6.64	0.29	1.14	26.70
2,000	6.68	49.31	84.88	59.16	58.98
4,000	6.43	56.75	87.25	63.26	65.16
6,000	6.14	75.45	90.74	67.24	76.78
8,000	5.61	93.01	96.77	82.58	79.48
10,000	5.25	97.00	97.76	92.19	91.10

จากข้อมูลในตาราง 4 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณโพลีลูมิเนสเซนซ์คลอไรด์เพิ่มขึ้นค่า pH จะต่ำลง ร้อยละของการกำจัดสีมีค่ามากขึ้น โดยที่ปริมาณโพลีลูมิเนสเซนซ์คลอไรด์ ที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ในช่วง 2,000–4,000 mg/L มีค่า pH หลังการตกตะกอน 6.68–6.43 ร้อยละการกำจัดสี 49.31–59.75 ร้อยละการกำจัดความขุ่น 84.88–87.25 ร้อยละการกำจัด SS 59.16–63.26 และร้อยละการกำจัด COD 58.98–65.16 เมื่อพิจารณาจากภาพ 12 พบว่าแนวโน้มของโพลีลูมิเนสเซนซ์คลอไรด์เพิ่มมากขึ้นค่า pH จะลดลง ในขณะที่ร้อยละการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD จะเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโสภณ (2548) พบว่าปริมาณโพลีลูมิเนสเซนซ์คลอไรด์ ที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ในช่วง 2,000–4,000 mg/L ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 89.63–92.18 ร้อยละการกำจัด SS 92.19–97.02 และร้อยละการกำจัด COD 55.93–64.56



ภาพ 12 แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์ แบบหยาบ

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลของการตกตะกอนด้วยสารส้มแบบหยาบ (ตาราง 2) กับโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์ (ตาราง 4) จะเห็นได้ว่าร้อยละการกำจัดความขุ่นแตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่นของสารส้มมีค่าลดลง (87.12–77.55) เมื่อใช้ปริมาณสารส้มที่เพิ่มมากขึ้น (6,000–8,000 mg/L) ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (2,000 – 4,000 mg/L) ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น (84.88–87.25) ทั้งนี้เป็นการชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการใช้โพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์ ซึ่งพบว่าหากมีการใช้ปริมาณของโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์มากเกินไป การเกิดปัญหาดกค้างของโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์ในรูปของอนุภาคแขวนลอยจะเกิดขึ้นได้ยากกว่าการใช้สารส้ม อีกทั้งโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์มีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี (กาญจนา, 2536) ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในตาราง 4 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณโพลีซัลโฟเนียมคลอไรด์มากขึ้นค่าร้อยละการกำจัดตัวแปรต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตาราง 5 การหาปริมาณสารโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด

ปริมาณสาร ตกตะกอน (mg/L)	ค่าความเป็น กรด – ด่าง หลังการ ตกตะกอน	ร้อยละของ การกำจัดสี	ร้อยละของ การกำจัด ความขุ่น	ร้อยละของ การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย	ร้อยละของ การกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.95	6.64	0.29	26.70	1.14
1,500	6.85	40.22	83.80	52.65	63.37
2,000	6.68	49.31	84.88	60.14	59.16
2,500	6.59	52.23	85.42	60.74	45.35
3,000	6.46	53.66	86.04	63.40	47.15
3,500	6.53	54.88	86.73	65.18	53.15
4,000	6.43	56.75	87.25	65.16	53.15
4,500	5.82	61.24	88.21	74.09	56.76

จากข้อมูลในตาราง 5 จะเห็นว่าปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมแบบละเอียดอยู่ที่ 2,000 mg/L มีค่า pH หลังการตกตะกอน 6.68 ค่าร้อยละการกำจัดสี 49.31 ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 84.88 ค่าร้อยละการกำจัด SS 60.14 และค่าร้อยละการกำจัด COD 59.16

เมื่อพิจารณาภาพ 13 พบว่าแนวโน้มของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นค่า pH จะลดลง ค่าร้อยละในการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษาของโสภณ, 2548 พบว่าปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ที่ 2,000 mg/L ร้อยละการกำจัดความขุ่น 91.39 ร้อยละการกำจัด SS 53.06 และร้อยละการกำจัด COD 26.32

ดังนั้นผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่าปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบหยาบอยู่ในช่วง 2,000-4,000 mg/L และปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตกตะกอนแบบละเอียด (Optimum Dose) 2,000 mg/L



ภาพ 13 แสดงประสิทธิภาพการตกตะกอนของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ แบบละเอียด

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารตกตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dose) ระหว่างสารส้ม (6,500 mg/L) กับโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (2,000 mg/L) พบว่าโพลี-อลูมิเนียมคลอไรด์ใช้ปริมาณที่น้อยกว่า เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้ Al^{3+} เช่นเดียวกับสารส้มที่มีความสามารถให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดการ Hydrolysis ของอะลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_3(OH)_4^{+5}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+6}$ เป็นต้น ซึ่งเป็นสารที่มีอลูมิเนียมหลายอะตอมที่เรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex ซึ่งมีความสามารถในการปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียรแล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอน (มันสิน, 2542) แต่ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์มีอำนาจในการสร้างและรวมตัวของตะกอนได้สูง มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและสามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้มอย่างเห็นได้ชัด (กาญจนา, 2536)

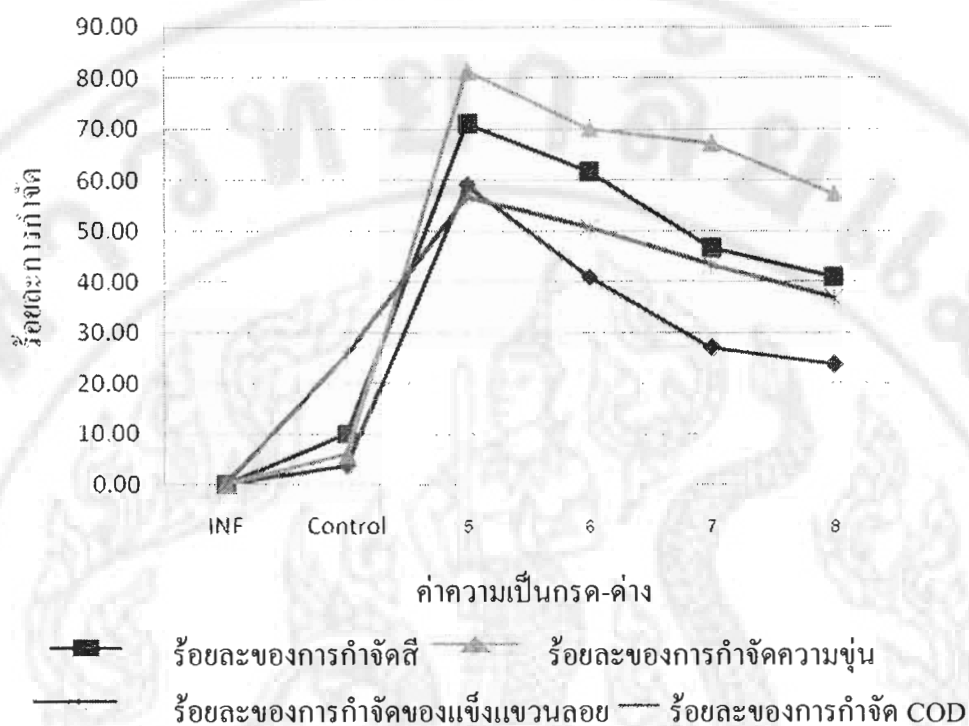
ส่วนที่ 2 ของการทดลองที่ 1 คือ การหาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนของน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ โดยใช้ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dose) จากส่วนที่ 1 ดังนี้ ปริมาณสารส้ม 6,500 mg/L และโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 mg/L โดยมีรายละเอียดผลการทดลอง ดังนี้

การหาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารส้ม โดยใช้ปริมาณสารส้ม 6,500 mg/L

ตาราง 6 การหาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบหยาบในการตกตะกอนของสารส้ม

ค่าความเป็น กรด-ด่าง ก่อนการ ตกตะกอน	ค่าความเป็น กรด - ด่าง หลังการ ตกตะกอน	ร้อยละ ของการ กำจัดสี	ร้อยละของ การกำจัด ความขุ่น	ร้อยละของ การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย	ร้อยละของ การกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.85	3.80	10.03	5.99	25.84
5	5.02	59.29	71.05	81.46	56.80
6	6.07	41.04	61.67	70.19	50.76
7	7.03	27.19	46.75	67.35	43.35
8	8.02	23.86	41.02	57.55	36.91

จากข้อมูลในตาราง 6 จะเห็นว่าค่า pH ที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ในช่วง 5-6 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.02 – 6.07 ร้อยละการกำจัดสี 59.29 – 41.04 ร้อยละการกำจัดความขุ่น 71.05 -61.67 ร้อยละการกำจัด SS 81.46 – 70.19 และร้อยละการกำจัด COD 56.80 -50.76 เมื่อพิจารณาจากภาพ 5 พบว่าแนวโน้มของค่า pH จะเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD จะลดลง

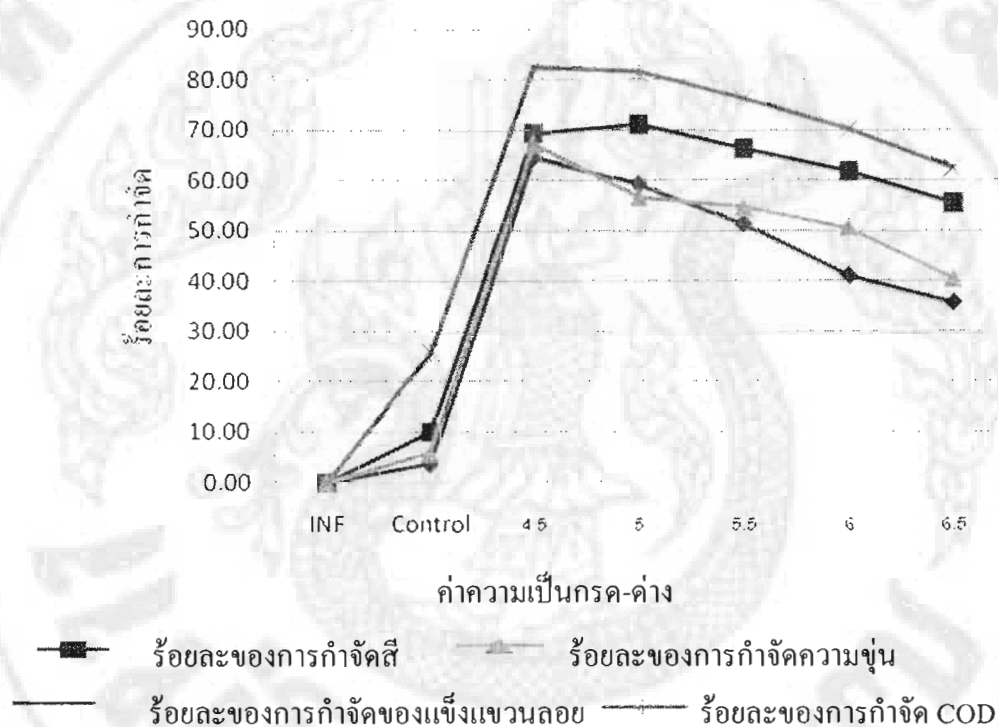


ภาพ 14 แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม แบบหยาบในการตกตะกอนของสารส้ม

ตาราง 7 การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบละเอียดในการตกตะกอนของสารส้ม

ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการตกตะกอน	ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการตกตะกอน	ร้อยละของการกำจัดดี	ร้อยละของการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน	ร้อยละของการกำจัดของแข็งแขวนลอย	ร้อยละของการกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.85	3.80	10.03	5.99	25.84
4.5	4.48	64.48	69.33	67.35	82.33
5	5.02	59.29	71.05	56.80	81.46
5.5	5.54	51.43	66.15	54.83	76.15
6	6.03	41.04	61.67	50.76	70.19
6.5	6.50	35.73	55.31	40.73	62.41

จากข้อมูลในตาราง 7 จะเห็นว่าค่า pH ที่เหมาะสมแบบละเอียดอยู่ที่ 5.5 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.54 ร้อยละการกำจัดสี 51.43 กำจัดความขุ่น 66.15 กำจัด SS 54.83 และ กำจัด COD 76.15



ภาพ 15 แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบละเอียด ในการตกตะกอน ของสารส้ม

เมื่อพิจารณาภาพ 15 พบว่าแนวโน้มของค่า pH ก็เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD จะลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของเพิ่มพงษ์, 2550 ศึกษาการกำจัด สารอินทรีย์คาร์บอนรวมในน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมกับ กระบวนการดูดซับ โดยใช้สารตกตะกอน 3 ชนิดคือ สารส้ม เพอร์ริคคลอไรด์ (FeCl_3) และเพอร์ ริสซัลเฟต (FeSO_4) พบว่าสารส้มสามารถกำจัดทีโอซี (Total Organic Carbon; TOC) ได้ดีที่สุด โดย ใช้ปริมาณสารส้มที่ 200 mg/L ที่ pH 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ร้อยละ 81.1 จะเห็นได้ ว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกระดาษใช้ปริมาณสารตกตะกอนมากกว่าน้ำเสียอุตสาหกรรม ฟอกย้อมเนื่องจากน้ำเสียในกระบวนการฟอกย้อมมีตะกอนของสารอินทรีย์ปะปนอยู่ในปริมาณที่

มากกว่าจึงใช้สารตกตะกอนน้อยกว่า เนื่องจากคลอลอยด์ (สารอินทรีย์) ที่มีประจุลบสามารถเกาะกับสารตกตะกอนที่มีประจุบวกทำให้สามารถตกตะกอนได้มากกว่า

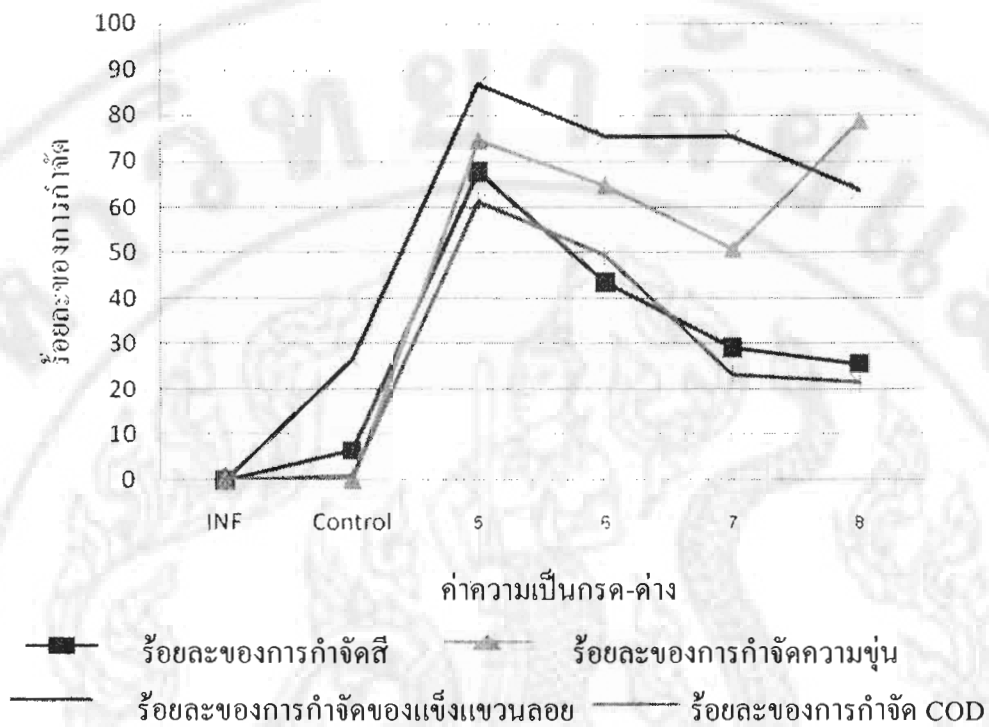
ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่า การใช้สารส้ม (Optimum Dose) 6,500 mg/L ในการตกตะกอนได้ค่า pH ที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ในช่วง 5 – 6 และแบบละเอียด (Optimum pH) ที่ 5.5

การหาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ โดยใช้ปริมาณโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 mg/L

ตาราง 8 การหาปริมาณค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบหยาบในการตกตะกอนของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการตกตะกอน	ค่าความเป็นกรด - ด่างหลังการตกตะกอน	ร้อยละของการกำจัดสี	ร้อยละของการกำจัดความขุ่น	ร้อยละของการกำจัดของแข็งแขวนลอย	ร้อยละของการกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.95	6.64	0.29	26.70	1.14
5	5.04	67.73	74.60	86.69	61.35
6	6.04	43.53	64.79	75.23	49.48
7	7.02	29.17	50.93	75.17	23.45
8	8.10	25.71	78.71	63.73	21.55

จากข้อมูลในตาราง 8 จะเห็นว่าค่า pH ที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ที่ 5 - 6 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.04 – 6.04 ค่าร้อยละการกำจัดสี 67.73 – 43.53 ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 74.60 – 64.79 ค่าร้อยละการกำจัด SS 86.96 – 75.23 และค่าร้อยละการกำจัด COD 61.35 – 49.48 เมื่อพิจารณาภาพ 16 พบว่าแนวโน้มของค่า pH จะเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD จะลดลง กล่าวคือ เมื่อค่า pH มากขึ้นร้อยละการกำจัดสีมีค่าน้อยลง

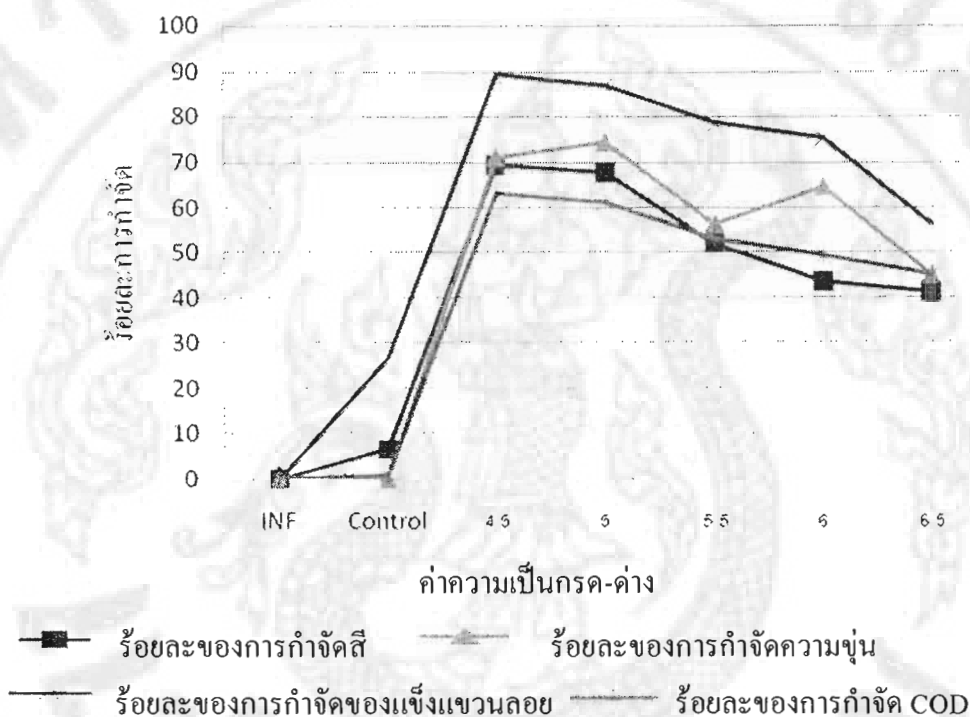


ภาพ 16 แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบหยาบในการตกตะกอนของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

ตาราง 9 การหาปริมาณความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแบบละเอียดในการตกตะกอนของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนการตกตะกอน	ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการตกตะกอน	ร้อยละของการกำจัดดี	ร้อยละของการกำจัดความขุ่น	ร้อยละของการกำจัดของแข็งแขวนลอย	ร้อยละของการกำจัด COD
INF	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Control	6.95	6.64	0.29	26.70	1.14
4.5	4.53	69.46	71.25	89.26	63.21
5	5.04	67.73	74.60	86.69	61.35
5.5	5.56	52.13	56.53	78.54	53.23
6	6.04	43.53	64.79	75.23	49.48
6.5	6.54	41.26	45.23	56.30	45.23

จากข้อมูลในตาราง 9 จะเห็นว่าค่า pH ที่เหมาะสมแบบละเอียดอยู่ที่ 5.5 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.56 ค่าร้อยละการกำจัดสี 52.13 ค่าร้อยละการกำจัดความขุ่น 56.53 ค่าร้อยละการกำจัด SS 78.54 และค่าร้อยละการกำจัด COD 53.23



ภาพ 17 แสดงประสิทธิภาพในการหาความเป็นกรด-ด่างแบบละเอียดที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์

เมื่อพิจารณาภาพ 17 พบว่าแนวโน้มของค่า pH จะเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการกำจัดสี ความขุ่น SS และ COD จะลดลง กล่าวคือ เมื่อค่า pH มากขึ้นร้อยละการกำจัดสีมีค่าน้อยลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่า การใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ (Optimum Dose) 2,000 mg/L ในการตกตะกอนได้ค่า pH ที่เหมาะสมแบบหยาบอยู่ในช่วง 5 – 6 และแบบละเอียด (Optimum pH) ที่ 5.5

ค่า pH มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารส้มกล่าวคือ pH ที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนของสารส้มจะอยู่ที่ 5.5-8.0 (เกรียงศักดิ์, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่ได้ค่า pH ที่เหมาะสมของสารส้มนี้อยู่ที่ 5.5 ในขณะที่ค่า pH ของโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ ที่เหมาะสมสำหรับ

การตกตะกอนจะอยู่ที่ pH 6-9 แต่บางกรณีจะสามารถตกตะกอนในช่วง pH 5-10 (กาญจนา, 2536) และผลการวิจัยนี้พบว่า pH ที่เหมาะสมของโพลีลูมิเนียม-คลอไรด์อยู่ที่ 5.5

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารตะกอนและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าความสกปรกในรูปต่างๆ ดังเช่นการทดลองของ Boon et al. (1999) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำเสียโดยสารตกตะกอน 3 ชนิดคือ แมกนีเซียมคลอไรด์ สารส้มและโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ โดยใช้น้ำเสียจริงจากกระบวนการย้อมซึ่งใช้สีชนิด Reactive Dye ทำการทดลองโดย กระบวนการจาร์เทสต์ ทำการศึกษาถึงผลของ pH ปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้และชนิดของสารตกตะกอนที่ใช้ที่มีต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยทำการกวนและปรับ pH ที่ 80-85 rpm (round per minute) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นกวนช้าที่ 30-35 rpm เป็นเวลา 10 นาที ทำการปรับ pH ในช่วง 4-12 และปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้แตกต่างกัน 2-7 g/L ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่า การตกตะกอนเกิดขึ้นได้ดีที่ pH 10.5-11 และพบว่าเวลาในการสร้างตะกอนของแมกนีเซียมคลอไรด์ใช้เวลาน้อยกว่าโพลีลูมิเนียมคลอไรด์ โดยร้อยละของสารตกตะกอนในการกำจัดพบว่า แมกนีเซียมคลอไรด์ใช้ปริมาณน้อยกว่าโพลี-ลูมิเนียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์สามารถกำจัดสี COD และ SS เท่ากับร้อยละ 97.9 88.4 และ 95.5 ตามลำดับ

ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของศุภวัฒน์ และ อาชว์ (2544) ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษสาแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเกิดจากกระบวนการดัดเปลือกสา โดยใช้กระบวนการสร้างตะกอน ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำเสียขั้นต้น (Pre - Treatment) การทดลองนี้โดยใช้วิธีจาร์เทสต์กำจัดตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความขุ่น SS COD และ TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ประสิทธิภาพสูงสุดต่อปริมาณ FeCl_3 ที่ใช้ต่อหน่วยความเข้มข้นเริ่มต้น ผลการศึกษาพบว่า FeCl_3 ที่ใช้สามารถกำจัดความขุ่นร้อยละ 16-90 กำจัด SS ร้อยละ 87-96 กำจัด COD ร้อยละ 72-88 และกำจัด TKN ร้อยละ 76-87 ตามลำดับและปริมาณการใช้ FeCl_3 ลดลงเมื่อ Dilution Factor ของการเจือจางน้ำเสียเพิ่มขึ้น

การทดลองที่ 2 การศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่

1. ศึกษาการหาค่าเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่าน (Carbonization) ณ สภาวะต่างๆ ด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮโอซัลเฟต

การหาค่าเลขไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที (ดังตาราง 10)

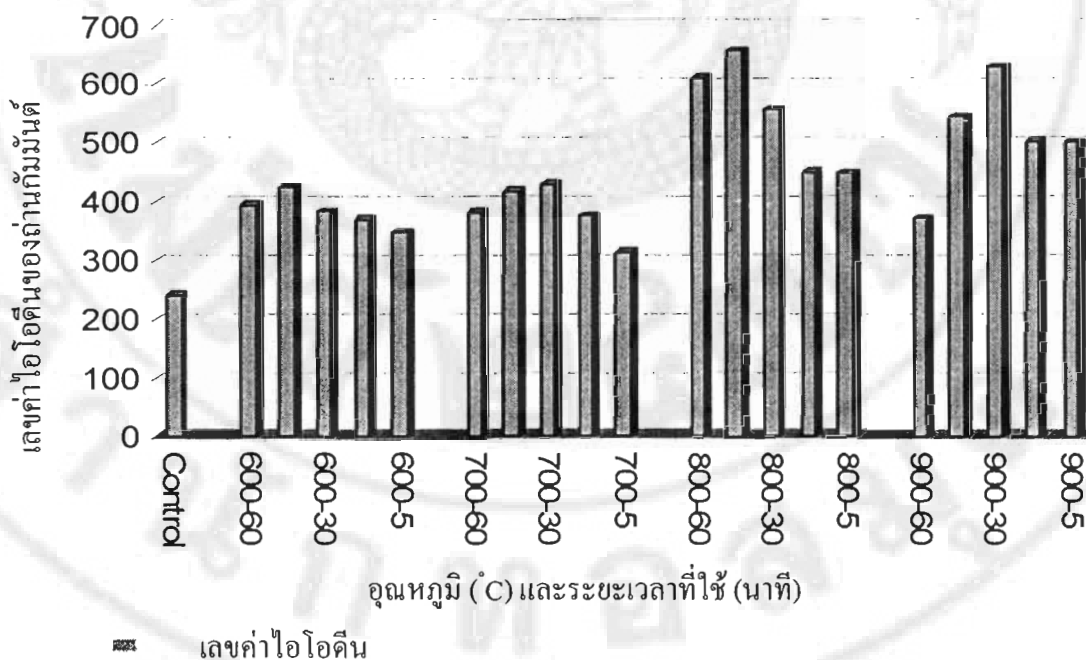
ตาราง 10 ผลการไทรเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ (องศาเซลเซียส-นาที)	เลขค่า ไอโอดีน	ร้อยละของการ กำจัดไอโอดีน
Control	241.02	17.38
600-60	394.82	71.59
600-45	425.08	69.85
600-30	384.13	68.61
600-15	370.09	68.05
600-5	347.74	67.43
700-60	381.60	68.44
700-45	417.92	69.66
700-30	429.85	70.01
700-15	375.23	68.26
700-5	314.52	66.30
800-60	611.29	75.73
800-45	656.46	77.17
800-30	555.91	73.90
800-15	449.68	72.85
800-5	447.17	70.53
900-60	371.96	68.13

ตาราง 10 (ต่อ)

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ (องศาเซลเซียส-นาที)	เลขค่า ไอโอดีน	ร้อยละของการ กำจัดไอโอดีน
900-45	545.67	73.68
900-30	630.00	76.30
900-15	503.17	72.24
900-5	500.52	72.24

หมายเหตุ Control หมายถึง ถ่านที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 10 นาที



ภาพ 18 แสดงผลการไตรเอตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที

จากตาราง 10 พบว่ากระบวนการเผาเป็นถ่านของเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาทีได้ค่าเลขไอโอดีนและร้อยละของการกำจัดไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 656.46 และ 77.17 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกระบวนการเผาเป็นถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นร้อยละ

ละของการกำจัดไโอโอดีจะมีอัตราที่สูงขึ้น (ภาพ 18) เนื่องจากการเผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิสูงจะทำให้พื้นที่ผิวของรูพรุน (pore) ของถ่านเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพ 21) การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวรูพรุนถือเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับไโอโอดีทำให้ร้อยละของการกำจัดไโอโอดีจึงเพิ่มตาม จากนั้นทำการเลือกช่วงของกระบวนการเผาเป็นถ่านที่ 800 °C เวลา 45 นาทีเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นทางเคมี

2. ศึกษาการหาค่าเลขไโอโอดีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) ณ สภาวะต่างๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์

การหาค่าเลขไโอโอดีของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี จากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที (ดังตาราง 11)

ตาราง 11 ผลการไทเตรทสารละลายไโอโอดีที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ (องศาเซลเซียส-นาที)	เลขค่า ไโอโอดี	ร้อยละของการ กำจัดไโอโอดี
Control	656.46	77.17
600-60	662.70	77.26
600-45	664.09	77.30
600-30	668.24	77.43
600-15	664.09	77.30
600-5	651.08	77.81
700-60	649.15	76.83
700-45	623.14	76.01

ตาราง 11 (ต่อ)

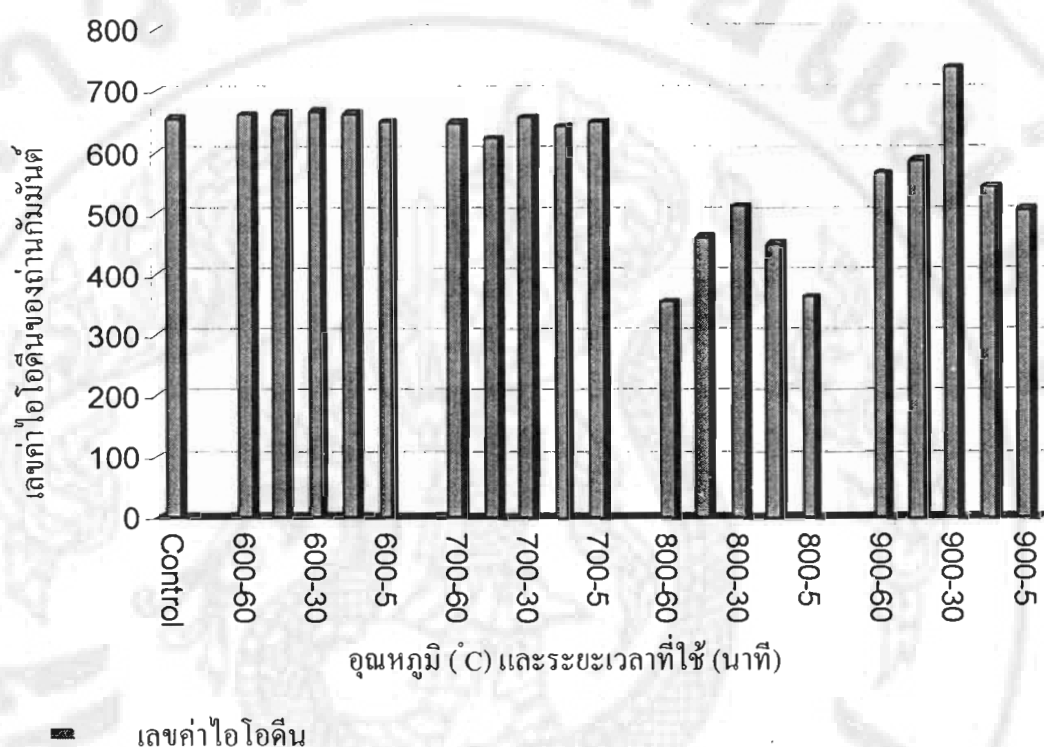
อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ (องศาเซลเซียส-นาที)	เลขค่า ไอโอดีน	ร้อยละของการ กำจัดไอโอดีน
700-30	657.17	77.08
700-15	641.95	76.60
700-5	651.36	76.90
800-60	355.61	67.57
800-45	460.74	70.88
800-30	511.92	72.50
800-15	449.68	70.53
800-5	364.19	67.84
900-60	567.26	74.24
900-45	588.01	74.90
900-30	738.78	79.66
900-15	543.74	73.50
900-5	506.39	72.32

หมายเหตุ Control หมายถึง ที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาที

จากตาราง 11 พบว่ากระบวนการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาทีได้ค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 738.78 มีร้อยละของการกำจัดไอโอดีน 79.66 ซึ่งมีแนวโน้มของกระบวนการกระตุ้นทางเคมีของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นร้อยละของการกำจัดไอโอดีนจะมีอัตราที่สูงขึ้น (ภาพ 19)

ผลิตถ่านกัมมันต์ช่วงของกระบวนการเผาเป็นถ่านที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่อยู่ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาที ค่าเลขไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 656.46 และช่วงของ

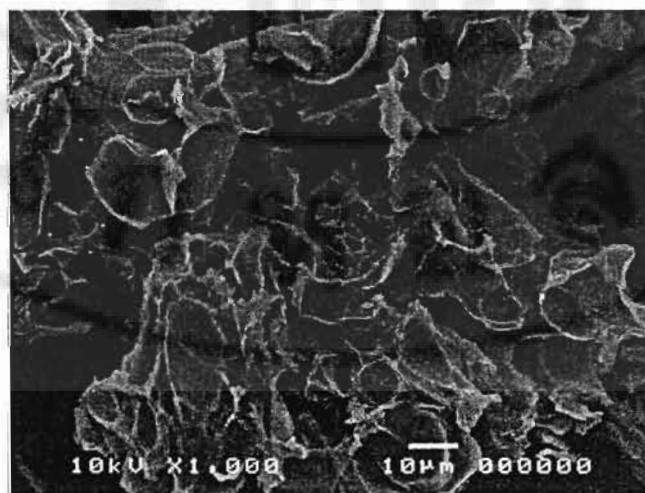
กระบวนการกระตุ้นทางเคมีอยู่ที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาที ได้ค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 738.78 มีร้อยละของการกำจัดไอโอดีน 77.17 และ 79.66 ตามลำดับ



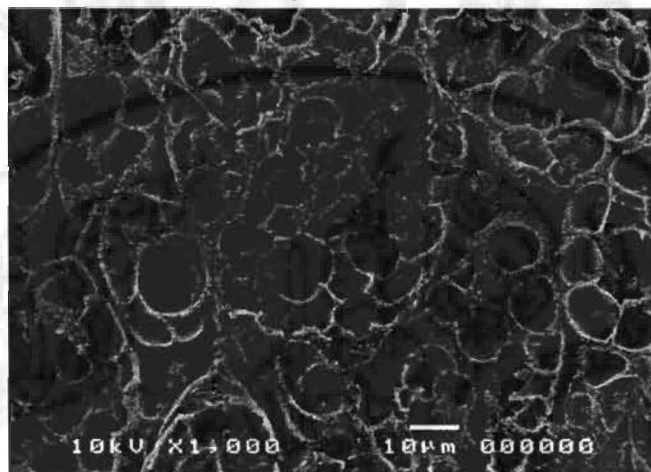
ภาพ 19 แสดงผลการไตรเตรทสารละลายไอโอดีนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีจากเมล็ดลิ้นจี่ ที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900 °C เป็นเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที

จากภาพ 18,19 พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเลขค่าไอโอดีนส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการก่อกัมมันต์ แต่มีบางช่วงเวลาที่ได้ทำการก่อกัมมันต์สูงขึ้นกลับให้เลขค่าไอโอดีนลดลง ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาและอุณหภูมิไม่เป็นผลดีต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาภาพถ่าย (ภาพ 21,22) จะเห็นลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของรูพรุนที่เกิดขึ้นในสถานะแตกต่างกัน นั่นคือภาพ 21 แสดงถึงถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 120 °C เวลา 10 นาที จะเห็นได้ว่าลักษณะของรูพรุนมีน้อยเมื่อเทียบกับถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่เข้าสู่กระบวนการเผาเป็นถ่านที่ 800 °C เวลา 45 นาที (ภาพ 22) และถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาที (ภาคผนวกภาพ 8) ซึ่งมีลักษณะของรูพรุนที่มากกว่า ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเทียบถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ (ภาคผนวกภาพ 8) กับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด (ภาพ 20) พบว่ามีลักษณะของรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากว่า ซึ่ง

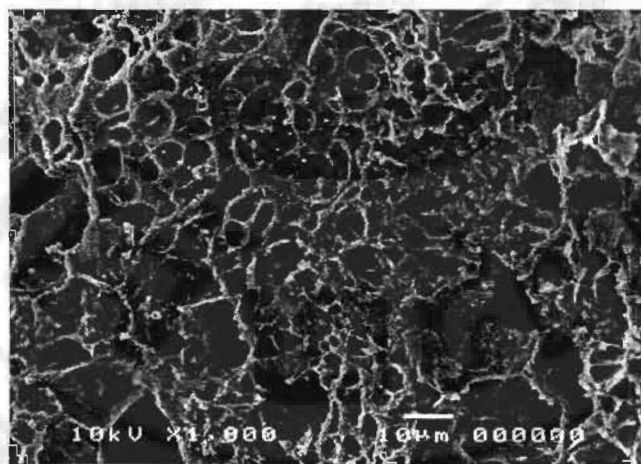
กล่าวได้ว่าเมื่อการเผาและกระตุ้นมีการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการจะทำให้รูพรุนเกิดการยุบตัวและเมื่อนำไปทดสอบการดูดซับโดยสารละลายไอโอดีนจึงได้ค่าความสามารถในการดูดซับลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของสุทธิสงค์และคณะ, 2535 ที่กล่าวว่าสารเคมีซึ่งเป็นสารดูดน้ำนี้ช่วยเสริมกระบวนการเผาสารคาร์บอนโดยไม่ให้น้ำมันทาร์และของเหลวอื่นๆ ช่วยทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม กลไกของการกระตุ้นทางเคมียังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน นอกจากนี้ สารเคมีนั้นช่วยในการย่อยสลายเซลล์ลูโลสและ เมื่อได้รับความร้อนจากการเผาก็เกิดปฏิกิริยาการขจัดน้ำ ก่อให้เกิดรูพรุนขึ้นในถ่าน นอกจากนี้ได้ทดลองทำการปรับสภาพด้วยกรดก่อนการเผาและการกระตุ้น ซึ่งทำให้ได้สภาวะของการปรับสภาพด้วยกรด การเผาและการกระตุ้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงนอกจากนี้พบการใช้ KOH ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับวิธีการกระตุ้นทางเคมีทำให้ได้ถ่านกัมมันต์คุณภาพสูงด้วย (Srikumlaithong *et al.*, 1994) และ มีการผลิตตัวดูดซับจากขังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้การเกษตร โดยวิธีการกระตุ้นร่วมกันระหว่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพ ในงานทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิช่วง 500–800 °C ในการกระตุ้นทางเคมี สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น มี 2 ชนิด คือ KOH และ K_2CO_3 เป็นสารที่มีคุณสมบัติทำให้เกิดมลพิษน้อย และการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ โดยจะเกิดปฏิกิริยาผลของผลิตภัณฑ์สามารถตรวจสอบลักษณะทางกายภาพได้จากการหาพื้นที่ผิว BET ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดและความหนาแน่นที่แท้จริงเพิ่มขึ้น พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้จากขังข้าวโพดสามารถนำมาใช้ในกระบวนการทำความสะอาดได้ ซึ่งยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์และ นำทรัพยากรทางชีวภาพกลับมาใช้ใหม่ (Tsai *et al.*, 2001) ดังนั้นตัวดูดซับที่ได้จากการทดลองนี้มีความเป็นไปได้สำหรับการนำมาควบคุมมลพิษและนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ



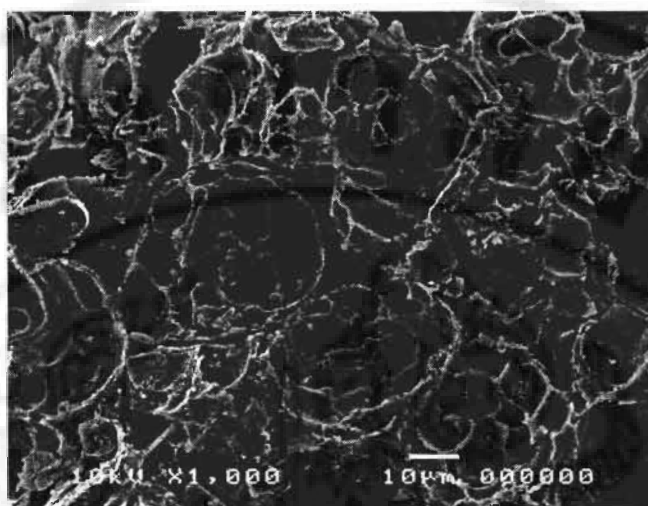
ภาพ 20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการ เผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิ 120 °C เวลา 10 นาที



ภาพ 21 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการ เผาเป็นถ่านที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาที



ภาพ 22 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) การเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาที



ภาพ 23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด

การทดลองที่ 3 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของ

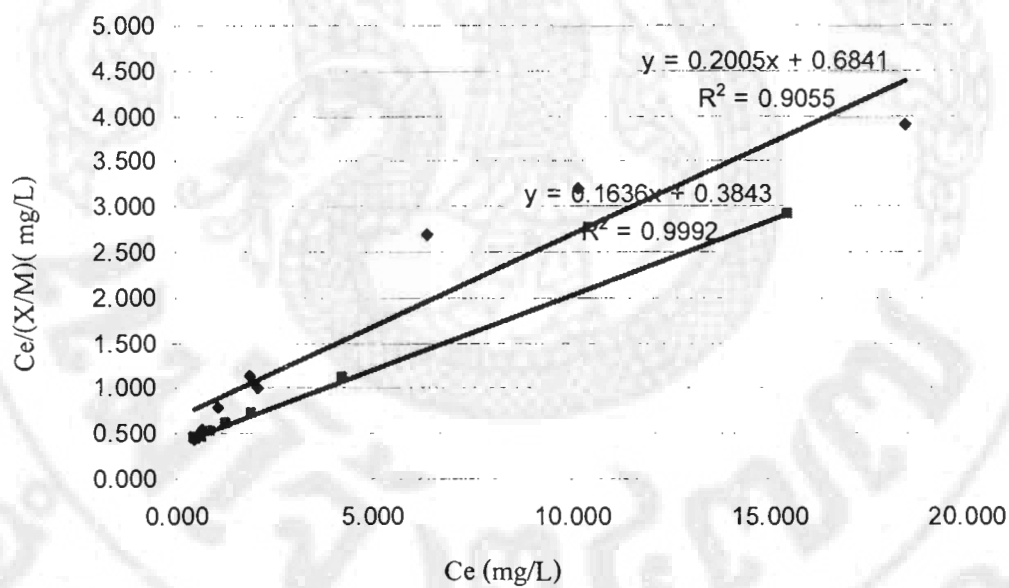
ถ่านกัมมันต์

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ความเข้มข้น COD เริ่มต้น 42.15 mg/L โดยศึกษาทดลองกระบวนการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง โดยมใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 500 1,000 1,500 2,000 2,500 3,000 3,500 และ 4,000 mg ทดสอบที่ pH 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ เขย่าด้วยความเร็ว 210 rpm ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และหำร้อยละของการกำจัด COD ที่เหลืออยู่ ผลการทดลอง มีดังนี้

ตาราง 12 ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 3

M (1*, 2*) (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	Average COD (Ce) (mg/L) 1*	Average COD (Ce) (mg/L) 2*	X (mg) 1*	X (mg) 2*	%X (mg) 1*	%X (mg) 2*	X/M (g/L) 1*	X/M (g/L) 2*
0	100	42.15	42.15	42.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	100	42.15	18.47	15.49	23.68	26.66	56.18	63.25	3.90	2.91
1000	100	42.15	10.23	4.26	31.92	37.89	75.73	89.89	3.20	1.12
1500	100	42.15	6.42	1.92	35.73	40.23	84.77	95.44	2.70	0.71
2000	100	42.15	2.04	1.24	40.11	40.91	95.16	97.06	1.02	0.61
2500	100	42.15	1.84	0.85	40.31	41.30	95.63	97.98	1.14	0.52
3000	100	42.15	1.07	0.65	41.08	41.50	97.46	98.46	0.78	0.47
3500	100	42.15	0.64	0.52	41.51	41.63	98.48	98.77	0.54	0.44
4000	100	42.15	0.46	0.47	41.69	41.68	98.91	98.88	0.44	0.45

หมายเหตุ M หมายถึง มวลของถ่านกัมมันต์ (mg)
 V หมายถึง ปริมาตรของน้ำเสีย (ml)
 Co หมายถึง ค่า COD เริ่มต้น (mg/L)
 Ce หมายถึง ค่า COD ที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล (mg/L)
 เมื่อ $C_e = X/M$ (mg/L)
 X หมายถึง ปริมาณ COD ที่ถูกดูดซับ (mg)
 เมื่อ $X = (C_o - C_e) \cdot V$ (mg)
 1 * = ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่
 2 * = ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด



◆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ ■ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด

หมายเหตุ R^2 หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์

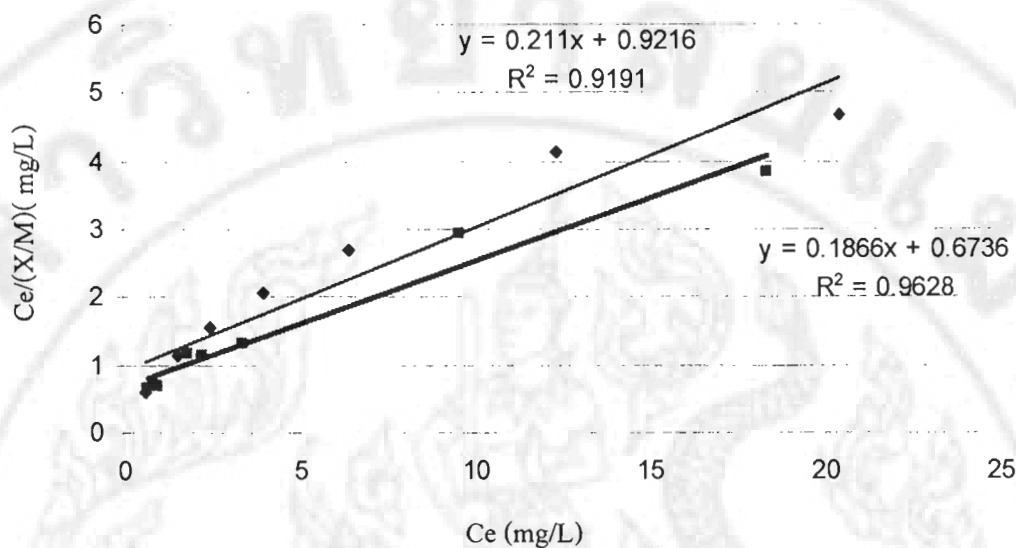
ภาพ 24 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 3

จากตาราง 12 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพร้อยละในการกำจัด COD ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 3 นั้นพบว่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน (%X) โดยที่ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เล็กน้อย อีกทั้งจะเห็นได้ว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และที่มีขายตามท้องตลาด 1,000 mg/L จะให้ร้อยละการดูดซับค่า COD ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือร้อยละ 75.7 และ 89.9 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับร้อยละการดูดซับที่ปริมาณถ่านกัมมันต์ 500 mg/L คือร้อยละ 56.2 และ 63.2 ตามลำดับ แต่หากเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มากกว่า 1,000 mg/L ร้อยละการดูดซับค่า COD จะมีค่าไม่เพิ่มขึ้นมากนักคืออยู่ระหว่างร้อยละ 80-98 ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิด

ภาพ 24 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (X/M) กับความเข้มข้นของ COD ที่เหลืออยู่ (C_e) เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง ดังจะเห็นได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าใกล้เคียง 1 นั้นหมายความว่าข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีการเกาะกลุ่มของข้อมูลและเป็นการแสดงให้เห็นว่าข้อมูลนี้สามารถพิจารณาด้วยการใช้ Langmuir Equation ในการพิจารณา Adsorption Isotherm ความสามารถของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดในการดูดซับ COD มีค่าใกล้เคียงกัน นั้นแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยกระบวนการผลิตจากการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเทียบใกล้กับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่สภาวะ pH 3

ตาราง 13 ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่านการดูดซับด้วย
ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่และถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 5

M (1*, 2*) (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	Average COD (Ce) (mg/L) 1*	Average COD (Ce) (mg/L) 2*	X (mg) 1*	X (mg) 2*	%X (mg) 1*	%X (mg) 2*	X/M (g/L) 1*	X/M (g/L) 2*
0	100	42.15	42.15	42.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	100	42.15	20.36	18.32	2.18	2.38	51.7	56.5	4.67	3.84
1000	100	42.15	12.35	9.54	2.98	3.26	70.7	77.4	4.14	2.93
1500	100	42.15	6.42	3.39	3.57	3.88	84.8	92.0	2.70	1.31
2000	100	42.15	3.96	2.27	3.82	3.99	90.6	94.6	2.07	1.14
2500	100	42.15	2.50	1.86	3.97	4.03	94.1	95.6	1.57	1.16
3000	100	42.15	1.56	0.96	4.06	4.12	96.3	97.7	1.15	0.70
3500	100	42.15	0.86	0.86	4.13	4.13	98.0	98.0	0.73	0.73
4000	100	42.15	0.62	0.67	4.15	4.15	98.5	98.4	0.60	0.65



◆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ ■ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด
หมายเหตุ R^2 หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์

ภาพ 25 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 5

จากตาราง 13 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพร้อยละในการกำจัด COD ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 5 ผลของประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและร้อยละการดูดซับค่า COD ต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับอัตราส่วนเดียวกับการทดลองที่ pH 3 (ตาราง 12) และหากเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มากกว่า 3,500 mg/L ร้อยละการดูดซับค่า COD ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีค่าเกือบเท่ากัน คือ ประสิทธิภาพเกินกว่าร้อยละ 80-98

ภาพ 25 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (X/M) กับความเข้มข้นของ COD ที่เหลืออยู่ (Ce) เช่นเดียวกับการทดลองที่ pH 3 (ภาพ 24) พบว่าความสามารถของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดในการดูดซับ COD มีค่าใกล้เคียงกัน นั่นแสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ด้วยกระบวนการผลิตจากการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพในการดูดซับ

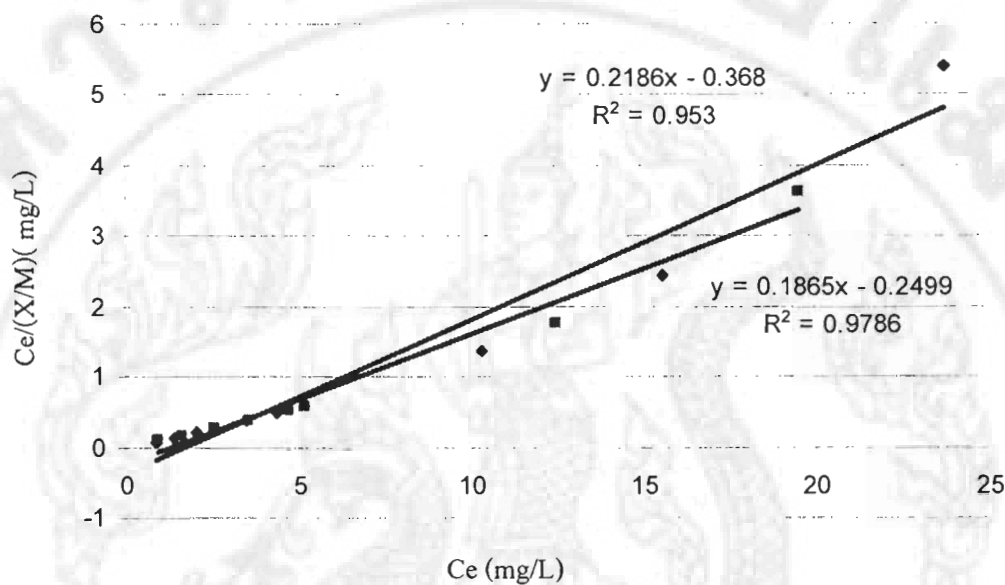
เทียบใกล้กับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่สภาวะ pH 5 และหากพิจารณาถึงอัตราส่วนการดูดซับ พบว่าที่ pH 5 มีอัตราส่วนการดูดซับมากกว่า pH 3 เล็กน้อย

ตาราง 14 ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่านการดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ และถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 7

M (1*, 2*) (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	Average COD (Ce) (mg/L) 1*	Average COD (Ce) (mg/L) 2*	X (mg) 1*	X (mg) 2*	%X (mg) 1*	%X (mg) 2*	X/M (g/L) 1*	X/M (g/L) 2*
0	100	42.15	42.15	61.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	100	42.15	23.66	55.27	1.85	2.27	43.9	53.7	5.40	3.62
1000	100	42.15	15.54	52.56	2.66	2.97	63.1	70.5	2.44	1.76
1500	100	42.15	10.27	50.81	3.19	3.70	75.6	87.8	1.36	0.59
2000	100	42.15	4.34	48.83	3.78	3.74	89.7	88.8	0.48	0.52
2500	100	42.15	3.52	48.56	3.86	3.86	91.7	91.6	0.39	0.39
3000	100	42.15	2.01	48.05	4.01	3.96	95.2	93.9	0.21	0.27
3500	100	42.15	1.37	47.84	4.08	4.05	96.8	96.1	0.14	0.17
4000	100	42.15	0.85	47.67	4.13	4.12	98.0	97.8	0.08	0.09

จากตาราง 14 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพร้อยละในการกำจัด COD ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 7 ผลของประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับร้อยละการดูดซับค่า COD ต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับอัตราส่วนเดียวกับการทดลองที่ pH 3 และ pH 5 (ตาราง 12,13) การเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มากกว่า 1,000 mg/L ร้อยละการดูดซับค่า COD ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีค่าเกือบเท่ากัน คือ ประสิทธิภาพเกินกว่าร้อยละ 80-98 แต่ค่าร้อยละการดูดซับของปริมาณถ่านกัมมันต์เดียวกันที่ pH 7 มีค่าน้อยกว่าที่ pH 3 และ 5 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าความเป็นกรดของตัวอย่างน้ำมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่า pH มี

ผลการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ในน้ำ (มันลิน, 2538) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำกว่า 7



◆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ ■ ถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด
หมายเหตุ R^2 หมายถึง ค่าสหสัมพันธ์

ภาพ 26 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 7

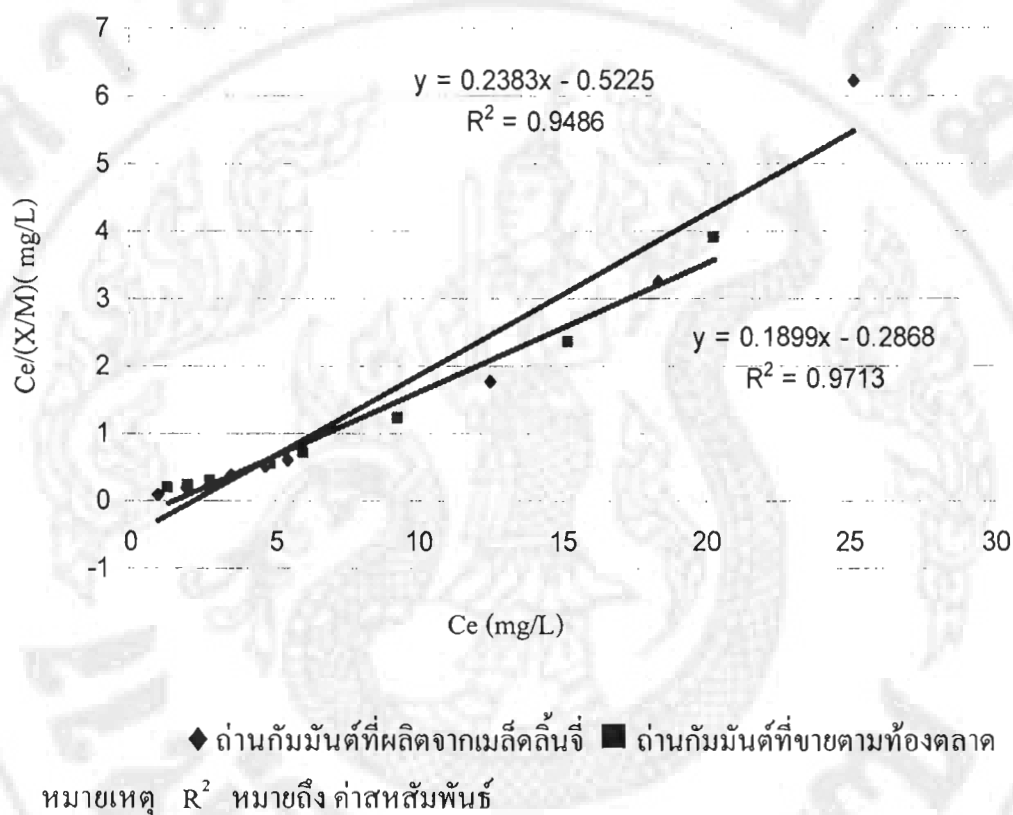
จากภาพ 26 พบว่าแนวโน้มของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (X/M) กับความเข้มข้นของ COD ที่เหลืออยู่ (C_e) ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีความสามารถในการดูดซับเริ่มต้นเทียบเท่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีอัตราการดูดซับที่ดีกว่า และมีความสามารถในการดูดซับระยะยาวที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด อาจกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีความสามารถในการดูดซับค่า COD ที่ pH 7 ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด ดังจะเห็นได้จากร้อยละในตาราง 14 และแนวโน้มของกราฟ ภาพ 26

ตาราง 15 ผลการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนและผ่านการดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ และถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดทดสอบที่ pH 9

M (1*, 2*) (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	Average COD (Ce) (mg/L) 1*	Average COD (Ce) (mg/L) 2*	X (mg) 1*	X (mg) 2*	%X (mg) 1*	%X (mg) 2*	X/M (g/L) 1*	X/M (g/L) 2*
0	100	42.15	42.15	42.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	100	42.15	25.14	20.29	1.70	2.19	40.3	51.9	6.24	3.90
1000	100	42.15	18.33	15.22	2.38	2.69	56.5	63.9	3.25	2.35
1500	100	42.15	12.48	9.29	2.97	3.29	70.4	78.0	1.78	1.21
2000	100	42.15	5.44	6.01	3.67	3.61	87.1	85.8	0.62	0.72
2500	100	42.15	4.65	4.91	3.75	3.72	89.0	88.4	0.52	0.56
3000	100	42.15	3.51	2.78	3.86	3.94	91.7	93.4	0.38	0.28
3500	100	42.15	1.95	2.06	4.02	4.01	95.4	95.1	0.20	0.23
4000	100	42.15	0.97	1.35	4.12	4.08	97.7	96.8	0.10	0.21

จากตาราง 15 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพร้อยละในการกำจัด COD ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 9 ผลของประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับร้อยละการดูดซับค่า COD ต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับอัตราส่วนเกี่ยวกับการทดลองที่ pH 3.5 และ 7 (ตาราง 12, 13 และ 14) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าความเป็นกรดของตัวอย่างน้ำมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากค่า pH มีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายของสารต่าง ๆ ในน้ำ (มันสิน, 2538) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับได้ดีที่ pH ต่ำกว่า 7 และ 9 แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเทียบร้อยละการดูดซับระหว่างถ่านกัมมันต์สองชนิด พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีร้อยละการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้อง ตลาดที่ แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อใช้ในสภาวะที่

เป็นกรด ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อใช้ในสภาวะที่เป็นกลางและด่าง ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่



ภาพ 27 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด COD น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการตกตะกอน ด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่ pH 9

จากภาพ 27 พบว่าแนวโน้มของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (X/M) กับความเข้มข้นของ COD ที่เหลืออยู่ (Ce) ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีความสามารถในการดูดซับเริ่มต้นเทียบเท่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่มีอัตราการดูดซับที่ดีกว่า และมีความสามารถในการดูดซับระยะยาวที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดที่สภาวะเป็นด่าง (pH 9)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองที่ 1 2 และ 3 นำมาคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ มีรายละเอียด ดังนี้
การทดลองที่ 1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี โดยใช้โพธิ์อะลูมิเนียมคลอไรด์
2 g/L โดยพิจารณาราคาโพธิ์อะลูมิเนียมคลอไรด์(Commercial)เท่ากับ 20 บาท/kg

เพราะฉะนั้นราคาในการกำจัดสี จากกระบวนการตกตะกอนโพธิ์อะลูมิเนียม
คลอไรด์ $0.002 \times 20 = 0.04$ บาท/ kg / L

ส่วนค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี โดยใช้สารส้ม (Commercial) 6.5 g/L โดยพิจารณา
ราคาสารส้ม เท่ากับ 13 บาท/kg

เพราะฉะนั้นราคาในการกำจัดสี จากกระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารส้ม
 $0.0065 \times 13 = 0.08$ บาท/ kg / L

เมื่อพิจารณาด้านทุนการบำบัดด้วยสารตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดพบว่า ด้านทุนในการ
บำบัดโดยใช้สารส้ม 6,500 mg/L คิดเป็น 97.50 บาท/ cm^3 และด้านทุนในการบำบัดโดยใช้โพธิ์-
อะลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 mg/L คิดเป็น 30 บาท/ cm^3 (ภาคผนวก ง.) จะเห็นได้ว่าด้านทุนการบำบัด
โดยใช้โพธิ์อะลูมิเนียมคลอไรด์มีด้านทุนการบำบัดต่ำกว่าสารส้ม 67.50 บาท/ cm^3

ผลการทดลองที่ 2 เมื่อพิจารณาด้านทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมสึดลินจี พบว่า
ด้านทุนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตนั้นไม่มีค่าใช้จ่ายเนื่องจากเมสึดลินจีเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาค
การเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ในการพิจารณาด้านทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเผา
เป็นถ่านและกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยมีอัตราค่าใช้ไฟฟ้า 5.17572 บาท/ชั่วโมง และสารเคมี
12.5 บาท/kg (ภาคผนวก ง.) ส่วนการพิจารณาด้านทุนในกระบวนการเผาถ่านในตู้เผาค่าไฟฟ้าที่ใช้
5.18 บาท / kg ระยะเวลาการเผา 60 นาที (ภาคผนวก ง.) ดังนั้นการผลิตถ่านกัมมันต์มีด้านทุนการ
ผลิตทั้งหมด 17.68 บาท/kg

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาตำบลนเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ 1) เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสม ในการกำจัดสีจากน้ำเสีย โดยศึกษาสารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม และพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ 2) ศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่และ 3) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการกำจัด COD ของถ่านกัมมันต์ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ และ ถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ผลการวิจัยพบว่า ในการศึกษาชนิดและปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดสีเบื้องต้นจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสา คือ สารส้มและพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum Dose) 6,500 mg/L และค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum pH) 5.5 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.54 ค่าร้อยละการกำจัดสี 51.43 ร้อยละการกำจัดความขุ่น 66.15 ร้อยละการกำจัด SS 54.83 และร้อยละการกำจัด COD 76.15 ปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum Dose) 2,000 mg/L ที่เหมาะสมในการตกตะกอน (Optimum pH) 5.5 ซึ่งมีค่า pH หลังการตกตะกอน 5.56 ร้อยละการกำจัดสี 52.13 ร้อยละในการกำจัดความขุ่น 56.53 ร้อยละในการกำจัด SS 78.54 และร้อยละการกำจัด COD 53.23

จากการศึกษาขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ พบว่าการเผาเป็นถ่านของเมล็ดลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 800 °C เวลา 45 นาทีได้ค่าเลขไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 656.46 จากนั้นผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี พบว่าที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 30 นาทีได้ค่าไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 738.78 มีร้อยละของการกำจัดไอโอดีน 79.66

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD ผ่านกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาดพบว่าที่ pH 3 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแสดงความสามารถการดูดซับค่า COD ของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดซึ่งมีร้อยละของการดูดซับเกือบ 100 หากเทียบปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมคือ 1,000 mg/L และหากสภาวะของน้ำเสียตัวอย่างมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นความสามารถใน

การดูดซับค่า COD ของถ่านทั้งสองมีค่าลดลง เนื่องจากสถานะที่เป็นกรดสารละลายในน้ำโดยส่วนใหญ่สามารถแตกตัวละลายในน้ำได้สูงกว่า (มันสิน, 2538) ในสถานะที่กลางหรือด่าง

เมื่อพิจารณาต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย พบว่าต้นทุนในการบำบัดโดยใช้สารส้ม 6,500 mg/L อยู่ที่ 97.50 บาท/ม³ และพบว่าต้นทุนในการบำบัดโดยใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์ 1,200 mg/L อยู่ที่ 30 บาท/ม³ จะเห็นได้ว่าต้นทุนการบำบัดโดยใช้โพลีลูมิเนียมคลอไรด์มีต้นทุนการบำบัดต่ำกว่าสารส้ม 67.50 บาท / ม³ สำหรับต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลิ้นจี่ คัดจากค่าไฟฟ้าและค่าสารเคมีในการเตรียมและผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งหมด 17.68 บาท/kg ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ประมาณการต้นทุนเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษสา ตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยเลือกใช้สาร โพลีลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารตกตะกอน 1,200 mg/L และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ทั้งหมดเป็นเงิน 47.68 บาท/ม³

การนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการดูค่าความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานกระดาษสา พบว่า จากการทดลองที่ 1 ปริมาณโพลีลูมิเนียมที่เหมาะสมในการตกตะกอนคือ 2,000 mg/L ที่สภาวะค่า pH ที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนคือ 5.5 และค่า pH ภายหลังผ่านการตกตะกอนคือ 5.54 และจากการทดลองที่ 2 เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ในการทดลองนี้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่สภาวะ pH 5 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปเป็นกระบวนการบำบัดด้วยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการปรับค่า pH ที่ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 เพียงเล็กน้อย ประกอบกับค่า pH ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ระบุไว้ว่า pH ที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้อยู่ในช่วง 5-9 ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

1. การเก็บตัวอย่างน้ำควรจะมีการเก็บในทุกฤดูกาลเพื่อใช้เป็นข้อมูลตกตะกอนด้วยสารเคมี
2. ควรจะมีการศึกษาขนาดของถ่านกัมมันต์มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 60 เมช เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่าน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรจะศึกษาถึงประสิทธิภาพของสาร โคแอกกูแลนต์อื่นๆ ให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น
2. ควรจะหาวัสดุอื่นมาผลิตถ่านกัมมันต์ หรือการหาตัวกลางอื่น เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้สนใจ
3. ควรมีการศึกษาแบบต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบต่อไป

บรรณานุกรม

- กาญจนา กรองธรรมชาติ. 2536. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพลิออลูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 199 น.
- กุลภัทร์ พิสิษฐ์กุล และ จักรกฤษ เรืองการ. 2543. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการทางเคมี (Municipal Wastewater Treatment by Chemical Perception). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 59 น.
- เกียรติศักดิ์ ปิงกุล และ คณิต นิพันธ์ไพศาล. 2542. การบำบัดขั้นต้นน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (The Pretreatment of Saa-paper industry wastes by coagulation process). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 37 น.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์. 442 น.
- จิตรลดา โกสินทรานนท์ และ วรวรรณ ขาวสบาย. 2538. การศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียจากการต้มเปลือกปอสาในบ่อสาหร่าย การศึกษา (Saa-Paper Industry Wastewater Treatment by Coagulation Process). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 55 น.
- จันทน์ อุทัยบุตร, จินดา ศรีศรีวิชัย, คำรัส ทรัพย์เย็น, กอบเกียรติ แสงนิล, วิลาวัลย์ คำปวน และ กานดา ดันติวงศ์. 2542. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องการพัฒนาของแอนโทไซยานิน กลไกการควบคุมและเทคนิคในการปรับปรุงในสวนลิ้นจี่. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 57 น.
- บุญชัย ตระกูลมหาชัย, มนัส อาฒยะพันธ์, น้อมจิตต์ เกิดผล, ผาสุก คงชาติ และ เกศรา นุตาลัย. 2534. การผลิตถ่านกัมมันต์จากฟืนโดยการเผาและกระตุ้นด้วยไอน้ำในเตาฟลูอิดไธซ์เบด.อ.-ด. 34-01/รายงานฉบับที่ 2. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ถาวร นิวัฒนากุล. 2523. การเตรียมการศึกษาด้านที่มีปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 88 น.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 352 น.

- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **วิศวกรรมประปา**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 176 น.
- ศุภวัฒน์ แสงคุณะคุปต์ และ อาชว์ วานิชย์บัญชา. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษสา ด้วยกระบวนการรวมตะกอน(**Saa-Paper Industry Wastewater Treatment by Coagulation Process**). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 47 น.
- อังคนาง อาจรักษา และ อัญญา ยอดเรืองวงศ์. 2542. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 57 น.
- Boon Hai Tan, Tjoon Tow Teng and A. K. Mohd Omar. 1999. Removal of dyes and industrial dye waste by magnesium chloride. **Water Research** [Online] 34, 2 (February): 597-601. Available <http://www.sciencedirect.com/science> (12 July 2007)
- D. Kavitha and C. Namasivayam. Capacity of activated carbon in the removal of acid brilliant blue: Determination of equilibrium and kinetic model parameters. **Chemical Engineering Journal** [Online] 139, 3(15 June): 453-461 Available <http://www.sciencedirect.com/science> (12 July 2007)
- Fornwalt, H.J. and R.A. Hutchins, 1996. Purifying liquids with Activated Carbon. **Chemical Engineering**. 11: 179-184.
- Hassler, J.W. 1974. **Purification with Activated Carbon**. 3rd ed. New York: Chemical Publishing Company Inc. 90 p.
- Kirubankaran, C.J. 1991. Experimental study of production of activated carbon from coconut shells in a fluidized bed reactor. **Ind. Eng. Chem. Res.** 30: 2411-2416.
- Lowell, S. 1979. **Introduction to Powder Surface Area**. New York: John Wiley and Sons, Inc. 199 p.
- Srikumlaithong, S., Fangtawanit, W. and Noda, Y. 1994. Study on high quality activated carbon from lignite. **Grant (E) Res. Proj.** No. 37-01/Rep. No. 2, TISTR.
- Sthapitanonda, K., Kongchatree, P., Noda Y., Ishibashi, K. and Yamada, K. 1994. Preparation of powder activated carbon from lignite by steam activation. **Grant (E) Res.Proj.No.** 34-01/Rep.No1, TISTR.
- Suttisonk, B., Wangdheethum, R., Noda, Y., Yamada, K. and Ishibashi, K. 1993. Preparation of granular activated carbon from peat and lignite by steam activation. **Grant (E) Res.Proj.No.34-01/Rep.No.6**, TISTR.

- Tsai, W.T. et. al. 2001. Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corn cob. **Adsorption** [Online] 32:433 Available.<http://www.sciencedirect.com> (21 June 2005)
- T. Otowa, Y. Nojima and T. Miyazaki. 1997. Development of KOH activated high surface area carbon and its application to drinking water purification. **Carbon** [Online] 35,9: 1315-1319 Available <http://www.sciencedirect.com> (21 June 2005)
- Vera Golob, Aleksandra Vinder and Marjana Simonic. 2005. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. **Dyes and Pigments** [Online] 67,2(November) 93-97 Available <http://www.sciencedirect.com> (21 June 2005)
- W. Chu. Dye Removal from Textile Dye wastewater Using Recycled Alum Sludge. **Water Research** [Online] 35,13 (September) 3:147-315 Available <http://www.sciencedirect.com> (21 June 2005)



ภาคผนวก



ภาควิชา :
การวิเคราะห์ตัวแปร

การวิเคราะห์ค่าตัวแปร

1. สี (Color)

หลักการ

ทำการวัดสีของตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่อง HACH ทำการวัดค่า OD (Optical Density) หาความขาวคลิ่น

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง HACH

วิธีวิเคราะห์

ทำการวัดสีของตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่อง HACH ทำการวัดค่า OD หาความขาวคลิ่น

2. ความขุ่น (Turbidity)

หลักการ

การวัดความขุ่นโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างกับของสารมาตรฐานภายใต้สภาวะเดียวกัน ความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายากก็จะมีค่าความขุ่นมาก สารละลายความขุ่นมาตรฐานที่ใช้คือ ฟอ์มาซีนโพลิเมอร์ (Formazin Polymer) ประกอบด้วยสารละลาย 2 อย่างคือ สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต (Hydrazine Sulfate) กับสารละลายเฮกซะเมธิลีนเตตระมีน (Hexamethylene Tetramine)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟฟีโลมิเตอร์

เครื่องวัดต้องสามารถวัดค่าความขุ่นได้ 0.02 NTU หรือน้อยกว่าในกรณีที่ความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 1 NTU ตัวอย่างของเครื่องวัดประกอบได้แก่ เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH

2. หลอดวัดตัวอย่างน้ำ (Sample Tubes)

หลอดวัดตัวอย่างน้ำต้องเป็นแก้วใสไม่มีสีต้องดูแลให้สะอาดอยู่เสมอทั้งด้านนอกและด้านในอย่าให้มีรอยขีดข่วน

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ใสไม่มีความขุ่น

นำน้ำกลั่นกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ใช้น้ำนี้เตรียม

สารละลายความขุ่นมาตรฐานและเจือจางตัวอย่าง

2. สารละลายสต็อกความขุ่นมาตรฐาน 4,000 NTU

2.1 ละลาย Hydrazine Sulfate ($\text{N}_2\text{H}_4\text{H}_2\text{SO}_4$) 2.500g ในน้ำกลั่น 200 ml

2.1 ละลาย Hexamethylenetetramine 25.00 g ในน้ำกลั่น 100 ml

2.3 นำสารละลายข้อ 2.1 และ 2.2 มาผสมกันและเติมน้ำกลั่นจนได้ 500 ml นำเข้าสู่ควมคุมอุณหภูมิที่ 20 -22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง

2.4 สามารถเตรียมสารละลายมาตรฐานความขุ่นต่างๆ ได้โดยสารละลายสต็อกความขุ่น 4,000 NTU มาเจือจาง

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดความขุ่นและเตรียมเครื่องตามคู่มือการใช้และวัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างตามวิธีของเครื่องนั้นๆ
2. น้ำตัวอย่างต้องเขย่าให้เข้ากันดีก่อนเทใส่หลอดวัดตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความขุ่น
3. เครื่องวัดความขุ่นบางรุ่นจะมีสารละลายมาตรฐานความขุ่นมาให้แล้ว ต้องมีการตรวจเช็คว่าคุณภาพหรือไทป์โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานความขุ่นที่เตรียมขึ้น
4. ถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นเกินที่เครื่องจะวัดได้ให้เจือจางตัวอย่างน้ำลงก่อน

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

หลักการ

การวัด pH คือ การวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (Potential) ระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic Potential) ให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มรความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัด pH (Potentionmeter)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัด pH (pH Meter)

เครื่องวัด pH เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัด pH ของสารละลายโดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง

1.1 อิเล็กโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นอิเล็กโทรดรวม (Combination pH Electrode) ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมอิเล็กโทรดอ้างอิงและอิเล็กโทรดตรวจวัดมาอยู่ด้วยกัน อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วพิเศษที่ยอมให้ไฮโดรเจนไอออนผ่าน ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะ ภายในบรรจุฟเฟอไรต์ อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้

ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเกิดครบวงจร โดย KCL ชนิดอิมมัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น Salt bridge เชื่อมกับอิเล็กโทรดตรวจวัด

1.2 ตัวเครื่อง (Potentionmeter) ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- ปรับความต่างศักย์ให้กับอิเล็กโทรดอ้างอิงให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่
- แปลสัญญาณจากความต่างศักย์ของออิออน ของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่
- ขยายสัญญาณจากความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอให้เข็มหรือตัวเลขแสดงออกทางมิเตอร์
- บีกเกอร์ ขนาด 100 ml
- Magnetic stirrer

วิธีวัด pH

1. หลังจากเปิดเครื่องวัด pH ควรปล่อยให้เครื่องร้อนอย่างน้อย 15 นาที ก่อนใช้งาน

2. ปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องให้พร้อมก่อนที่จะวัด pH ตัวอย่าง โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่า pH แน่แน่นอน วิธีปรับเทียบโดยทั่วไป มี 2 วิธี คือ

2.1 การเทียบมาตรฐาน pH แบบจุดเดียว (Single Point Standardization) คือการใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานตัวเดียวกันเป็นตัวเทียบ โดยการจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน ดูค่า pH ที่ได้ ถ้าค่า pH ที่ได้ไม่เท่ากับค่า pH จริงของสารละลายบัฟเฟอร์ ให้ใช้ปุ่ม Calibrate ปรับค่าให้ได้

2.2 การเทียบมาตรฐาน pH แบบ 2 จุด (Two Point Standardization) คือการใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 2 ตัว เป็นตัวเทียบมาตรฐาน โดยการจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานตัวแรก (มี pH 4 หรือ 10) ถ้าอ่านค่าได้ไม่ตรงให้ใช้ Slope Control ปรับให้ตรงสำหรับเครื่องวัด pH รุ่นใหม่ที่ควบคุมด้วย Microprocessor ก็มีหลักการเช่นเดียวกันนี้ แต่สะดวกสบายกว่า ให้ทำตามคู่มือการใช้จากบริษัทผลิต วิธีเทียบมาตรฐานวิธีนี้จะวัดค่า pH ได้ถูกต้องกว่าวิธีแรก โดยเฉพาะเมื่อวัด pH ของตัวอย่างน้ำที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2 จุด ที่ Standardize ไว้ ควร Calibrate อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

3. ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัด pH ต้องปล่อยให้มียุณหภูมิคงที่เสียก่อน เช่นในกรณีตัวอย่างน้ำแช่เย็นไว้ ต้องนำออกจากตู้เย็น ตั้งทิ้งไว้จนหายเย็น จึงจะนำไปวัด pH เพราะ pH จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

4. ก่อนวัดเข้ตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์ วางบีกเกอร์บน Stirrer ให้หมุนเบาๆ (ถ้าไม่มีเครื่อง Stirrer ให้ขยับอิเล็กโทรดเบาๆ จนตัวเลขแสดงค่า pH หยุดนิ่ง อ่านค่า pH ของตัวอย่างน้ำ

5. เมื่อจะวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษหรือผ้านุ่มๆ แล้วจึงวัดตัวอย่างถัดไป แต่ถ้าจะเลิกวัดหลังจากที่ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดและซับให้แห้งแช่อิเล็กโทรดไว้ในสารละลายที่มีไอออนมากพอควร และมีฤทธิ์เป็นกรดเช่น สารละลายบัฟเฟอร์ 4 หรือที่ดีที่สุดคือน้ำยาสำหรับเก็บรักษายอิเล็กโทรด

2. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS)

หลักการ

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระดาษกรอง GF/C ในถ้วยระเหยทราบน้ำหนัก จะถูกนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนักที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด หรืออาจหาได้จากน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมาหักออกจากค่าของแข็งทั้งหมด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษ GF/C (Glass Fiber Filter) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 cm
2. ชุดกรอง อย่างใดอย่างหนึ่งตามความเหมาะสม
 - 2.1 ขวดกรอง (Membrane Filter Funnel)
 - 2.2 ถ้วยกรองกูช (Gooch Crucible) หรือกรวยบุคเนอร์ความจุ 100 ml
3. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศขนาด 500-1,000 ml

วิธีวิเคราะห์

1. การกรองตัวอย่าง ต่อสายยางระหว่างปลายท่อดูดของเครื่องดูดและของขวดกรอง วางกระดาษกรอง GF/C บนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 20 ml และปล่อยให้คือน้ำออกจากกระดาษกรองจนหมด ทิ้งน้ำล้างไป นำตัวอย่างน้ำมาเข้ให้เข้ากันอย่างดีมากรองผ่านกระดาษ GF/C ที่เตรียมไว้ ให้กรองมากกว่าปริมาตรที่เลือกใช้ที่จะนำไประเหยนํ้าไปอบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

2. นำเข้าค้อน ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมติมีน้ำหนัก B g

การคำนวณของแข็งแขวนลอย (mg/L) = ((B-A)/C) x 10⁶

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียวน, g

$$B = \text{น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง, g}$$

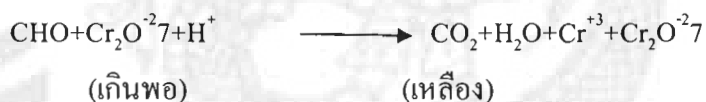
C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (ml)

ชีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

หลักการ

ภายใต้สภาวะรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโพตัสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์ วัดปริมาณโพตัสเซียมไดโครเมตที่เหลือ โดยนำไปไตเตรทกับเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต(Ferrous Ammonium Sulfate, FAS) และใช้เฟอร์โรอิน(Retoin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโพตัสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1. เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$



2. หาปริมาณ Cr^{+7} ที่เหลือโดยการไตเตรตด้วย FAS มีเฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์



$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} (FAS) ได้โครมิก (Cr^{3+}) จนหมด แล้ว Fe^{2+}

จึงทำปฏิกิริยากับเฟอโรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดงซึ่งแสดงจุดดัดของการไทร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ซึ่งใช้
 เลี้ยงเชื้อขนาด 16 x 100 หรือ 20 x 150 หรือ 25 x 150 mm มีฝาพลาสติกซึ่งทำด้วย TEE

2. บล็อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน ทำด้วยอลูมิเนียม ความลึกของช่องใส่หลอดประมาณ 45-50 mm การให้ความร้อนเพื่อต้มย่อยสลายกระทำโดยวางบล็อกบนเตาแผ่น

3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2 องศาเซลเซียส

4. บิวเรต

5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 ml

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 4.916 g ในน้ำกลั่น 500 ml เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 ml และปรอทซัลเฟต 33.3 g คนให้ละลาย ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml

2. กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

ซิงค์ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 g ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1L ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

3. สารละลายมาตรฐานเฟรตแฮม โมเนียม ซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟรตแฮม โมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 19.6 g ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml แล้วเจือจางเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 1.485 g และเฟรัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 695 mg ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 ml

วิธีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย FAS

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล 5.0 ml ใส่ขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 50 ml แล้วจึงค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 ml ทิ้งให้เย็น เติมเฟอโรอิน 2-3 หยด ไตรเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้สีน้ำตาลเป็นจุดยุติ

ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล (N) = $(5.0 \times 0.1) / \text{ml FAS ที่ใช้}$

5. กรดซัลฟามิก (Sulfamic Acid)

ใช้สำหรับป้องกันการรบกวนของไนไตรต์ (NO_2^-) ปริมาณที่ใช้คือ 10 ml ต่อทุกๆ 1 ml ของไนไตรต์

6. สารละลายมาตรฐาน โปตัสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate หรือ KHP)

บด KHP เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนแห้ง และมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลาย KHP ที่บดและอบแห้งแล้ว 425 ml ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1,000 ml สารละลายนี้มี COD เท่ากับ 500 mg/L สามารถเก็บรักษาในตู้เย็นได้นานไม่เกิน 3 เดือน

7. สารละลายกลูโคส

ละลายกลูโคส 486.6 mg ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1,000 ml สารละลายนี้จะมี COD เท่ากับ 500 mg/L สารละลายกลูโคสจะไม่ค่อยคงตัวเพราะสารย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว

วิธีวิเคราะห์

ต้องล้างหลอดแก้วและปิดฝาด้วยสารละลายกรดกำมะถัน 20 % เสมอทุกครั้งก่อนใช้งาน

1. เลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับคัม COD ให้เหมาะสม

ถ้าตัวอย่างน้ำมี COD ต่ำให้เลือกหลอดแก้วขนาด 25x150 mm และถ้า COD สามารถใช้ค่อนข้างสูงให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20x150 mm และถ้า COD สูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16x100 mm ในที่นี้ขอแนะนำว่าไม่จำเป็นต้องใช้หลอดหลายขนาดใช้เพียง 2 ขนาด คือ 25x150 mm สำหรับหา COD ที่มีค่าต่ำและขนาด 20x150 mm สำหรับ COD ที่มีค่าสูง ถ้าตัวอย่างมีค่าสูงมากก็ให้เจือจางตัวอย่างน้ำก่อน

2. การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ

ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่า COD ต่ำๆ ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 ml โดยใช้หลอดแก้วขนาด 20x150 mm แต่ถ้ามีค่า COD สูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 25x150 mm โดยเลือกตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 ml หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 ml และน้ำตัวอย่างมีค่า COD มากต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมาใช้ ควรประมาณค่า COD ของตัวอย่างน้ำอย่างคร่าวๆ ก่อนที่จะได้เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม การประมาณค่า COD สามารถพิจารณาจากลักษณะตัวอย่างน้ำ แหล่งที่มาของน้ำและจากน้ำ Rapid COD การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะได้วิเคราะห์ให้เหมาะสมควรเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำให้ผลต่างของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์ และตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 1-5 ml

3. ใส่ตัวอย่างลงในหลอดทดลองแก้วขนาดเหมาะสม

เติมน้ำย่อยสลายหรือโปตัสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ปริมาณ 1 ml ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนกันทุกตัวอย่าง

4. วางหลอดในบัสล็อก แล้วใส่ตุ้บ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วหมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมฟอสโฟรีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้งไตรเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ

เปลี่ยนจากเหลือง → เขียวอมเหลือง → ฟ้ำ → น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณ FAS ที่ใช้ไตรเตรต

การคำนวณ

$COD, mg/L = ((A-B) \times N \times 8,000) / ml$ ของน้ำตัวอย่าง

เมื่อ A = ml ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบบล้งค์

B = ml ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล



ภาคผนวก ข :

การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

1. การเตรียมสารเคมีสำหรับการตกตะกอน

1.1 สารส้มสารละลายของสารส้มที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นสารส้มที่มีคุณภาพในชั้น Laboratory Grade โดยเตรียมจากการละลายสารส้มที่อยู่ในรูป $Al_2(OH)_3$ ซึ่งเป็นของแข็ง 50,000 g/L นำมาละลายกับน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 L คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลาย (w/v)

1.2 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ($Al_2(SO_4)_3$) สารละลายโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ได้เตรียมที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลาย (w/v) โดยทำการชั่งโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ในรูปของแข็ง 50,000 g/L นำมาละลายกับน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 L

2. การเตรียมสารเคมีสำหรับการหาเลขไอโอดีนนมเบอร์

2.1. การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1000N

ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 24.8200 g ลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 50-100 มิลลิตรแล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000-0.1100 g ทำให้ปริมาตรให้ครบ 1,000 ml ในขวด ปริมาตร แล้วจึงนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายต่อไป โดยทำมาตรฐานกับ สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดด

2.2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน โปแตสเซียมไอโอเดดเข้มข้น 0.1000 N

ละลายโปแตสเซียมไอโอเดด 3.5667 g/L ในน้ำกลั่น 100 ml ก่อน แล้วทำการปรับ ปริมาตรเป็น 1000 ml ในขวดปริมาตร

2.3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีนเข้มข้น 0.1000 N

ชั่งเกล็ดไอโอดีน 12.7000 g และ โปแตสเซียมไอโอเดด 19.1000 g ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นพร้อมทั้งคนให้เข้ากัน จนได้สารละลายที่มีปริมาตร 50-60 ml ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้ผลึกไอโอดีนละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำสารละลายในบีกเกอร์มาทำให้เจือจาง โดยเติมน้ำกลั่นจนถึงปริมาตรเป็น 1,000 ml ในขวดปริมาตรที่มีฝาปิด

2.4. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยนำหนัก ละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 70 ml ลงในน้ำกลั่น 500 ml แล้วเขย่าให้ผสมกัน

2.5. การเตรียมสารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้ง 0.1-0.15 g เติมน้ำกลั่นประมาณ 25-30 ml พร้อมทั้งคนให้เข้ากัน เท

สารละลายน้ำแป้งลงในน้ำกลั่นที่กำลังเดือดปริมาตร 100 ml ค้มให้เดือดต่ออีก 4-5 นาทีในการ
ทดลองควรเตรียมสารละลายน้ำแป้งใหม่ทุกครั้ง

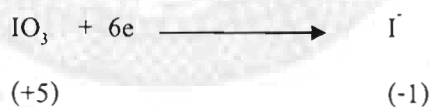
2.6. การทำมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ด้วย สารละลายโปแตสเซียม
ไอโอเดต

ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดตที่เตรียมไว้มา 25.00 ml เติมกรดซัลฟิวริก 1
โมลาร์ จำนวน 3 ml ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต จนได้สารละลายสีเหลืองใส
จากนั้นเติมน้ำแป้ง 2 ml ไทเทรตต่อ จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี แล้ว
ทำซ้ำ 2 ครั้ง บันทึกปริมาตรเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



จากปฏิกิริยา IO_3^- เปลี่ยนเป็น I^- รับ 6 อิเล็กตรอน และมีการเปลี่ยนแปลงเลข
ออกซิเดชันของ I ดังนี้



เพราะฉะนั้น 1 mol ของ KIO_3 จะมี 6 eq

1 mol ของ KIO_3 จะมี 6×10^3 meq

ในการทำมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ครั้งที่ 1 ชั่งโปแตสเซียมไอโอ
เดต 0.3560 g และปรับปริมาตรเป็น 100 ml จากนั้นปิเปตมา 25.00 ml เพื่อไทเทรตกับสารละลาย
โซเดียมไฮโอซัลเฟต

สารละลาย KIO_3 100 ml มี $\text{KIO}_3 = 0.3560 \text{ g}$

สารละลาย KIO_3 25ml มี $\text{KIO}_3 = (0.3560 \times 25)/100 = 0.0890 \text{ g}$

$= (0.0890 \times 6 \times 10^3)/214.00$

$= 2.4953 \text{ meq}$

(น้ำหนักโมเลกุลของ $\text{KIO}_3 = 214.00$)

ใช้สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 24.17 ml

สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 24.17 ml ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KIO_3 2.4953 meq

ดังนั้น สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 24.17 ml ทำปฏิกิริยาพอดีกับ KIO_3 $(2.4953 \times 1.00)/24.17 \text{ meq} = 0.1032 \text{ meq}$

สำหรับการทำมาตรฐานสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3
คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตด้วยวิธีการเช่นเดียวกัน

2.7. การทำมาตรฐานสารละลายไอโอดีน ด้วย สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

เปิดสารละลายไอโอดีนที่เตรียมไว้ 25.00 มิลลิลิตร แล้วทำการไทเทรตกับ
สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์
ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



1 eq ของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 eq ของ
สารละลายไอโอดีนในการทำมาตรฐานสารละลายไอโอดีน ครั้งที่ 1 ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียม
ไธโอซัลเฟต 0.1032 N ปริมาตร 24.20 ml และ ใช้สารละลายไอโอดีน 25.00 ml

สารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1.00 ml มี $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1032 meq

สารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 24.20 ml มี $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = (0.1032 \times 24.20)/1.00 \text{ meq}$
 $= 2.4974 \text{ meq}$

ดังนั้น สารละลายไอโอดีน มี 2.4974 meq

สารละลายไอโอดีน 25.00 มิลลิลิตร มี $\text{I}_2 = 2.4974 \text{ meq}$

สารละลายไอโอดีน 1.00 มิลลิลิตรมี $\text{I}_2 = (2.4974 \times 1.00)/25.00 \text{ meq}$
 $= 0.0999 \text{ meq}$
 $= 0.0999 \text{ N}$

สำหรับการทำมาตรฐานสารละลายไอโอดีนครั้งอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีการ
เดียวกัน



ภาคผนวก ค :

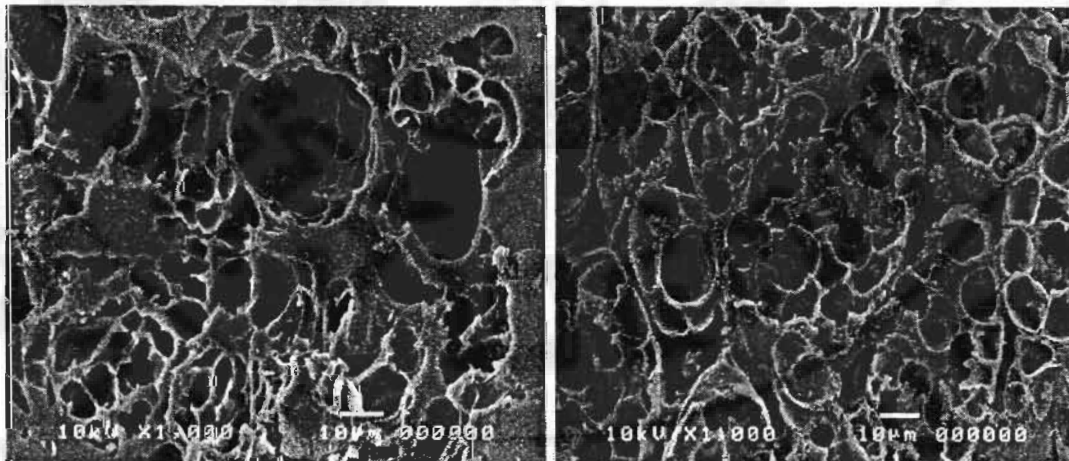
ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ประเภทกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนพื้นผิว ปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนทางจอแสดงภาพ และสามารถบันทึกภาพที่ปรากฏลงบนแผ่นฟิล์มได้

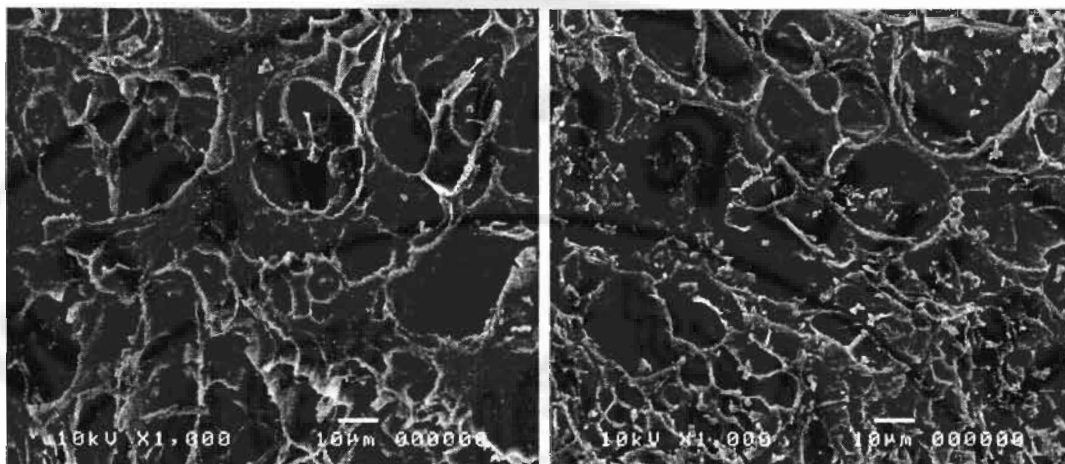
ระบบการทำงานจะเกี่ยวข้องกับระบบสุญญากาศ เพื่อสร้างลำอิเล็กตรอนและระบบเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีบทบาทในการรวมและกระจายลำอิเล็กตรอนบนตัวอย่างที่ต้องการศึกษา หรือตรวจสอบ ระบบการเกิดภาพเป็นการอาศัยหลักการทางอ้อม ซึ่งเป็นการรวบรวมสัญญาณที่หลังจากกระทบกับตัวอย่าง แล้วเปลี่ยนเป็นภาพให้ปรากฏที่จอภาพ ภาพที่ได้เป็นภาพที่มีความลึกหรือเป็นภาพสามมิติทำให้สามารถศึกษาและตรวจสอบลักษณะทางกายภาพได้อย่างชัดเจน เป็นภาพที่ขยายและมีรายละเอียดสูงในระดับที่กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาไม่สามารถแยกรายละเอียดได้ คือ สามารถแยกตัวอย่างที่อยู่ห่างกัน 5-6 นาโนเมตรได้ชัดเจน

ภาพเผาให้เป็นถ่าน (Carbonization) ถ่ายผ่านกล้อง SEM



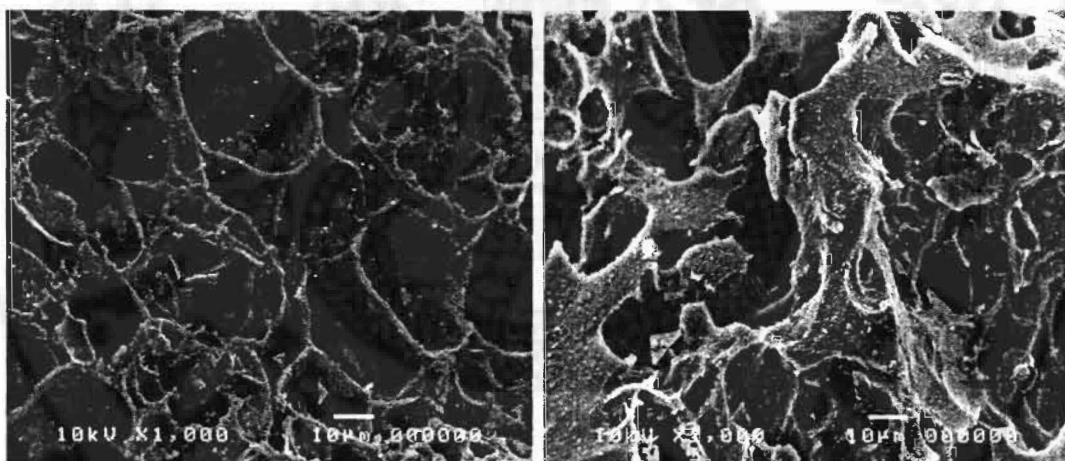
ภาพ 1 เผาที่ 800°C เวลา 60 นาที

ภาพ 2 เผาที่ 800°C เวลา 45 นาที



ภาพ 3 เผาที่ 900°C เวลา 30 นาที

ภาพ 4 เผาที่ 800°C เวลา 30 นาที



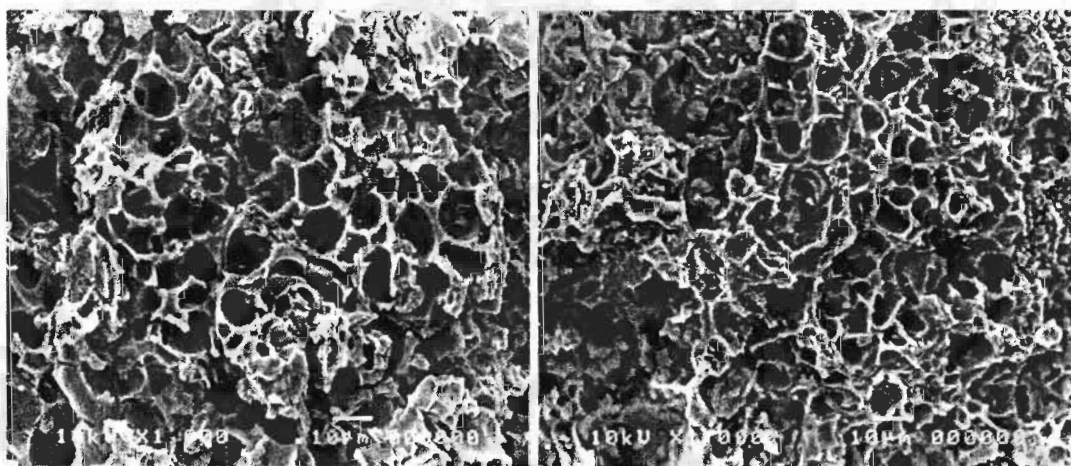
ภาพ 5 เผาที่ 800°C เวลา 15 นาที

ภาพ 6 เผาที่ 500°C เวลา 15 นาที



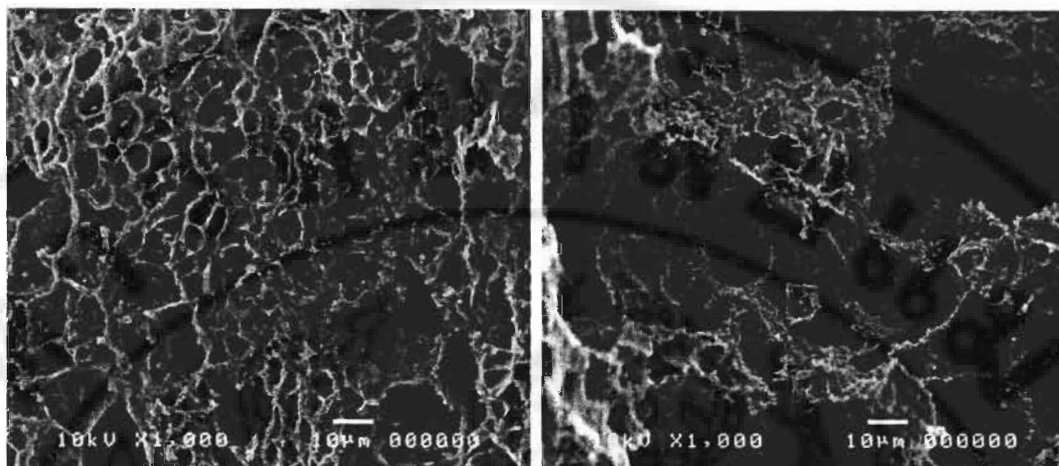
ภาพ 7 เเผาที่ 900°C เวลา 5 นาที

กระบวนการการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) ถ่ายผ่านกล้อง SEM



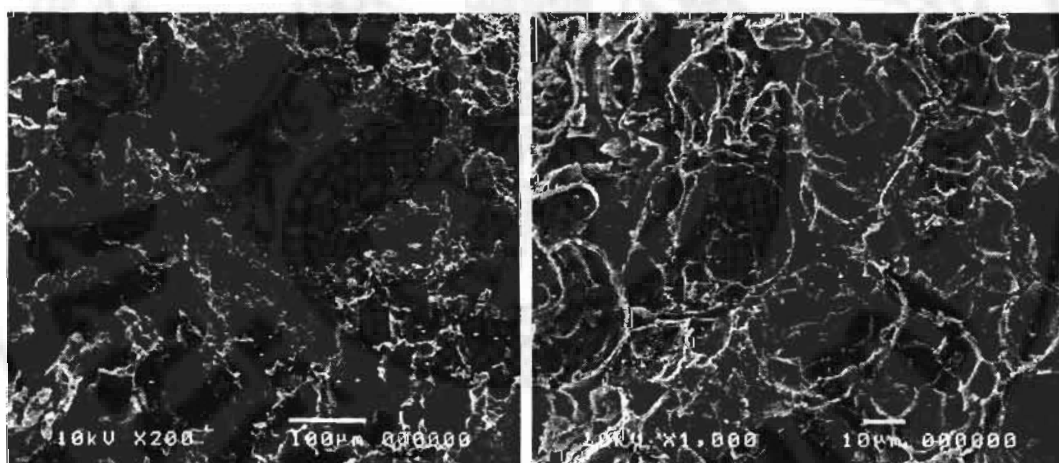
ภาพ 8 เเผาที่ 900°C เวลา 30 นาที

ภาพ 9 เเผาที่ 600°C เวลา 55 นาที



ภาพ 10 เเผที่ 600°C เวลา 30 นาที

ภาพ 11 เเผที่ 600°C เวลา 45 นาที



ภาพ 12 เเผที่ 600°C เวลา 15 นาที

ภาพ 13 ถ่านกัมมันต์ที่มีขาตามท้องตลาด



ภาคผนวก ง :

ตัวอย่างการคำนวณและข้อมูลการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณและข้อมูลการทดลอง

1 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการตกตะกอน โดยใช้ PAC เป็นสารตกตะกอน ในการทดลอง Jar Test

1.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี โดยใช้สารตกตะกอนชนิด PAC 2,000 mg/L โดยพิจารณาค่า PAC เท่ากับ 20 บาท/kg

ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 3.76 mg/L

ความเข้มข้นหลังจากการกำจัดเท่ากับ 1.82 mg/L

กำจัดได้เท่ากับ $3.76 - 1.82 = 1.94$ mg/L หรือ 49.70%

ค่าสารตกตะกอนชนิด PAC

ในการกำจัดสี เท่ากับ 1.94 mg/L ต้องใช้ PAC เท่ากับ 2,000 mg/L

ดังนั้น PAC เท่ากับ $2,000 / 1,000 = 2$ kg/cm³

คิดเป็นเงินเท่ากับ $2 \times 15 = 30$ บาท/ cm³

1.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการกำจัดสี โดยใช้สารตกตะกอนชนิด Alum 6,500 mg/L โดยพิจารณาค่า Alum เท่ากับ 15 บาท/kg

ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 3.76 mg/L

ความเข้มข้นหลังจากการกำจัดเท่ากับ 1.82 mg/L

กำจัดได้เท่ากับ $3.76 - 1.82 = 1.94$ mg/L หรือ 49.70%

ค่าสารตกตะกอนชนิด Alum

ในการกำจัดสี เท่ากับ 1.94 mg/L ต้องใช้ Alum เท่ากับ 6,500 mg/L

ดังนั้น Alum เท่ากับ $6,500 / 1,000 = 6.5$ kg/cm³

คิดเป็นเงินเท่ากับ $6.5 \times 15 = 97.50$ บาท/ cm³

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัด

เครื่อง Jar Test ใช้ไฟฟ้า 1A. 220 โวลต์

ในการทดลองกวนเร็วเป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 5 นาที รวมเป็น 6 นาที หรือ 0.1 ชั่วโมง

ชั่วโมง

จาก $P = IV = 1 \times 220 = 220$ W หรือ 0.22 KW

$W = PT = 0.22 \times 0.1 = 0.022$ KW-hr

การคิดอัตราค่าไฟฟ้า (¢) = 0.7842 บาทต่อหน่วย

ฉะนั้นค่าไฟฟ้า = $0.022 \times 0.7842 = 0.02$ บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดคือ $30 + 0.02 = 30.02$ บาท/ cm^3

2 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการเผาถ่านในตู้เผา

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกำจัด

เครื่องเผาใช้ไฟฟ้า

ในการทดลอง 1 ชั่วโมง

จาก $P = IV = 30 \times 220 = 6600\text{W}$ หรือ 6.6 KW

$W = PT = 6.6 \times 1 = 6.6\text{KW-hr}$

การคิดอัตราค่าไฟฟ้า (f) = 0.7842 บาทต่อหน่วย

ฉะนั้นค่าไฟฟ้า = $6.6 \times 0.7842 = 5.17572$ บาท

3 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการกระตุ้นทางเคมี

KOH (Commercial grade) ราคา kg ละ 25 บาท/ kg

ใช้สัดส่วนของKOH:ต่อตัวอย่าง(เมล็ดลิ้นจี่)ในสัดส่วน $0.5:1$ (w/w) ในการเตรียม

ถ่านกัมมันต์ 1 kg ใช้สารเคมี 0.5 kg

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในกระบวนการกระตุ้นทางเคมี 12.5 บาท / kg

4 เปรียบเทียบราคาของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่กับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด

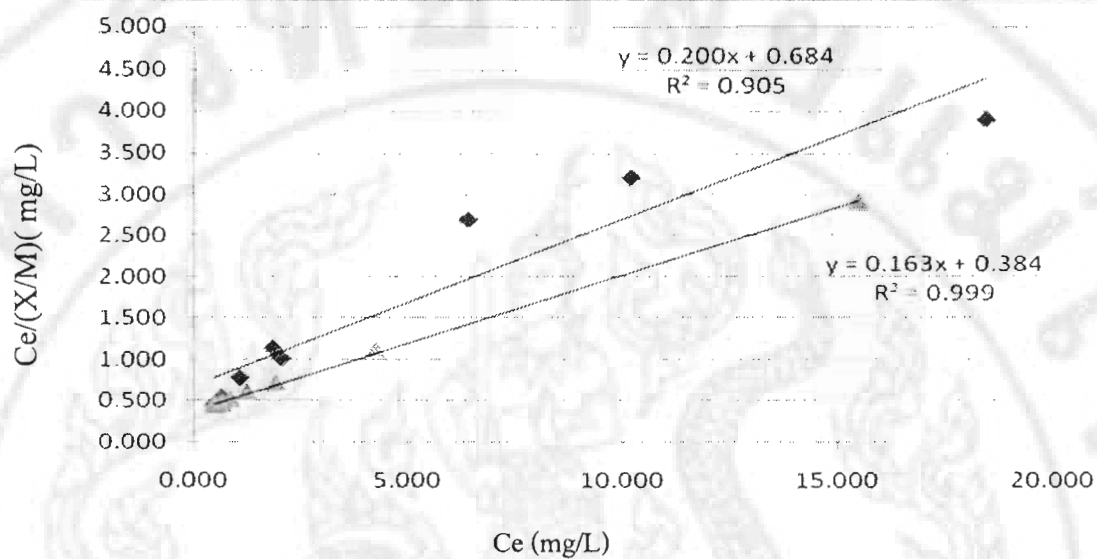
ราคาถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด ราคา 120 บาท/ kg

ราคาของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ ราคา 17.68 บาท/ kg

ดังนั้นราคาถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด มีราคาต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด

102.32 บาท/ kg

5 การนำข้อมูลในตารางมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการของ Langmuir ได้ดังนี้
ที่ pH 3



ภาพ 14 การหาปริมาณสารตกตะกอนของ PAC และ Alum แบบหยาบ
จากสมการของ Langmuir คือ

$$\frac{Ce}{X/M} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} Ce \quad \text{แทนค่าจะได้}$$

$$X/M = 2.91 \text{ (g/l)}$$

ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์สารละลายไฮโดรเจนที่ผ่านกระบวนการเผาเป็นไอของเมทิลีนคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆ

ปริมาณ ถ่าน	ไฮดรอกไซด์ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วย KOH	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$	I_2 free(meq/ml)	TOTAL I_2 FREE	I_2 ในถ่าน	x	I_2 NUMBER	% remove
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วย KOH	22.43							
	I_2 ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	24.47	2	3					
1.0053	A	41.40	0.11	4.54	9.08	2.08	263.39	262.00	18.84
1.0060	B	40.37	0.11	4.43	8.85	2.30	292.14	290.39	21.09
1.0039	C	40.77	0.11	4.47	8.94	2.21	281.01	279.91	20.29
1.0036	D	40.07	0.11	4.39	8.78	2.37	300.49	299.41	21.69
1.0040	E	42.00	0.11	4.60	9.21	1.94	246.69	245.70	17.64
1.0057	F	40.73	0.11	4.47	8.93	2.22	281.94	280.34	20.17
1.0058	G	41.30	0.11	4.53	9.05	2.10	266.17	264.63	19.04
1.0067	H	41.60	0.11	4.56	9.12	2.03	257.82	256.12	18.44
1.0040	I	41.67	0.11	4.57	9.14	2.02	255.97	254.94	18.31
1.0053	J	41.17	0.11	4.51	9.03	2.13	269.88	268.46	19.30
1.0073	K	38.35	0.11	4.20	8.41	2.74	348.25	345.73	24.91
1.0039	L	38.60	0.11	4.23	8.46	2.69	341.29	339.97	24.41

ตาราง 1 (ต่อ)

ปริมาณ ถ่าน	ไตรเอท	Na ₂ S ₂ O ₃	[Na ₂ S ₂ O ₃]	I ₂ free(meq/ml)	TOTAL I2 FREE	I ₂ ในถ่าน	x	I ₂ NUMBER	% remove
1.0069	M	40.47	0.11	4.44	8.87	2.28	289.36	287.38	20.70
1.0068	N	43.30	0.11	4.75	9.49	1.66	210.52	209.10	15.06
1.0059	O	43.53	0.11	4.77	9.54	1.61	204.03	202.83	14.59
1.0079	P	33.93	0.11	3.72	7.44	3.71	471.14	467.44	33.70
1.0052	Q	35.85	0.11	3.93	7.86	3.29	417.81	415.65	29.88
1.0039	R	40.90	0.11	4.48	8.97	2.19	277.30	276.21	19.83
1.0036	S	41.27	0.11	4.52	9.05	2.10	267.10	266.14	19.10
1.0056	T	42.90	0.11	4.70	9.41	1.75	221.65	220.43	15.85
1.0038	U	27.40	0.11	3.00	6.01	5.14	652.92	650.44	46.70
1.0012	V	33.45	0.11	3.67	7.33	3.82	484.58	484.02	34.66
1.0081	W	35.87	0.11	3.93	7.86	3.29	417.34	414.00	29.85
1.0055	X	38.87	0.11	4.26	8.52	2.63	333.87	332.05	23.88
1.0046	Y	38.83	0.11	4.26	8.51	2.64	334.80	333.28	23.95
1.0055	Z	25.10	0.11	2.75	5.50	5.65	716.91	713.02	51.28

ตาราง I (ต่อ)

ปริมาณ ถ่าน	ไฮดรอกซ Na ₂ S ₂ O ₃	[Na ₂ S ₂ O ₃]	I ₂ free(meq/ml)	TOTAL I ₂ FREE	I ₂ ในถ่าน	x	I ₂ NUMBER	% remove
1.0053	Z2	30.50	0.11	3.34	6.69	4.47	566.66	40.53
1.0050	Z3	34.23	0.11	3.75	7.51	3.65	462.79	33.10
1.0040	Z4	34.87	0.11	3.82	7.64	3.51	443.39	31.84

ตาราง 2 ผลการไทเทรตหาสารละลายไฮโอไดน์ที่ผ่านกระบวนการActivated ด้วยสารเคมี ของอ่างจากเมล็ดอินจินิตสภาวะ

ปริมาตร ถ่าน	ไตรตรท	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]$	I_2 free(meq/ml)	TOTAL I_2 FREE	I_2 ใน ถ่าน	x	I_2 NUMBER	% remove
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วย KIO_3	22.43							
	I_2 ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	24.47	2.00	3.00					
1.0053	A	26.00	0.11	2.85	5.70	5.32	674.72	671.17	25.87
1.0060	B	27.98	0.11	3.12	6.24	4.68	594.16	590.60	28.57
1.0039	C	27.82	0.11	3.10	6.20	4.72	598.69	596.34	28.41
1.0036	D	27.71	0.11	3.09	6.18	4.74	601.80	599.64	28.30
1.0040	E	27.50	0.11	3.07	6.13	4.89	620.15	617.66	27.82
1.0057	F	26.48	0.11	2.95	5.90	5.11	649.01	645.33	26.79
1.0058	G	25.45	0.11	2.84	5.67	5.34	678.14	674.21	25.75
1.0067	H	25.43	0.11	2.83	5.67	5.35	678.71	674.22	25.73
1.0040	I	27.42	0.11	3.06	6.11	4.90	622.41	619.91	27.74
1.0053	J	26.62	0.11	2.92	5.84	5.18	657.47	654.01	26.49
1.0073	K	27.46	0.11	3.06	6.12	4.90	621.28	616.78	27.78
1.0039	L	27.30	0.11	3.04	6.09	4.93	625.81	623.38	27.62

ตาราง 2 (ต่อ)

ปริมาตร ถ้ำ	ไตรเอท	Na ₂ S ₂ O ₃	[Na ₂ S ₂ O ₃]	I ₂ free(meq/ml)	TOTAL I ₂ FREE	I ₂ ใน ถ้ำ	x	I ₂ NUMBER	% remove
1.0069	M	27.60	0.11	3.04	6.08	5.68	720.82	715.91	27.58
1.0068	N	27.48	0.11	3.01	6.02	4.99	633.55	629.27	27.34
1.0059	O	27.45	0.11	3.01	6.02	5.00	634.38	630.66	27.31
1.0079	P	27.98	0.11	3.08	6.16	5.60	710.20	704.64	27.96
1.0052	Q	29.00	0.11	3.19	6.39	5.37	681.70	678.17	28.98
1.0039	R	28.45	0.11	3.12	6.24	4.78	606.56	604.18	28.31
1.0036	S	28.35	0.11	3.12	6.24	5.51	699.86	697.35	28.33
1.0056	T	26.89	0.11	2.95	5.90	5.12	649.96	646.36	26.76
1.0038	U	27.40	0.11	3.05	6.11	4.91	622.98	620.62	27.72
1.0012	V	35.57	0.11	3.92	7.83	3.93	498.18	497.60	35.55
1.0081	W	39.87	0.10	4.11	8.21	2.70	343.10	340.35	37.27
1.0055	X	33.45	0.11	3.73	7.46	3.56	451.82	449.35	33.84
1.0046	Y	38.83	0.10	4.00	8.00	2.92	370.11	368.43	36.30
1.0055	Z	25.10	0.11	2.80	5.60	5.42	688.05	684.32	25.39

ตาราง 2 (ต่อ)

1.0060	Z1	30.50	0.11	3.40	6.80	4.22	535.28	532.07	30.86
1.0053	Z2	28.77	0.11	3.17	6.33	5.42	688.22	684.62	28.75
1.0050	Z3	34.23	0.10	3.53	7.05	3.86	490.34	487.90	32.00
1.0040	Z4	34.87	0.11	3.84	7.68	4.08	517.75	515.68	34.85
1.0081	Z5	42.13	0.11	4.70	9.39	1.53	193.76	192.20	42.63

ตาราง 3 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 3

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	18.46	18.45	18.50	18.47
1000	100	42.15	10.23	10.20	10.26	10.23
1500	100	42.15	6.52	6.50	6.24	6.42
2000	100	42.15	2.03	2.06	2.04	2.04
2500	100	42.15	1.86	1.84	1.83	1.84
3000	100	42.15	1.06	1.08	1.07	1.07
3500	100	42.15	0.64	0.62	0.67	0.64
4000	100	42.15	0.45	0.48	0.46	0.46

ตาราง 4 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 3

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	15.46	15.60	15.42	15.49
1000	100	42.15	4.23	4.26	4.28	4.26
1500	100	42.15	1.95	1.94	1.86	1.92
2000	100	42.15	1.23	1.25	1.24	1.24
2500	100	42.15	0.82	0.84	0.90	0.85
3000	100	42.15	0.63	0.65	0.67	0.65
3500	100	42.15	0.50	0.53	0.54	0.52
4000	100	42.15	0.45	0.49	0.48	0.47

ตาราง 5 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 5

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	20.36	20.35	20.38	20.36
1000	100	42.15	12.38	12.26	12.41	12.35
1500	100	42.15	6.52	6.50	6.24	6.42
2000	100	42.15	3.98	3.94	3.95	3.96
2500	100	42.15	2.56	2.45	2.48	2.50
3000	100	42.15	1.56	1.54	1.57	1.56
3500	100	42.15	0.84	0.86	0.87	0.86
4000	100	42.15	0.62	0.60	0.64	0.62

ตาราง 6 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 5

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	18.23	18.26	18.46	18.32
1000	100	42.15	9.56	9.45	9.62	9.54
1500	100	42.15	3.15	3.45	3.56	3.39
2000	100	42.15	2.12	2.36	2.34	2.27
2500	100	42.15	1.89	1.84	1.86	1.86
3000	100	42.15	0.98	0.95	0.94	0.96
3500	100	42.15	0.86	0.89	0.84	0.86
4000	100	42.15	0.65	0.68	0.69	0.67

ตาราง 7 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 7

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	23.67	23.64	23.68	23.66
1000	100	42.15	15.46	15.75	15.41	15.54
1500	100	42.15	10.25	10.26	10.30	10.27
2000	100	42.15	4.57	4.12	4.34	4.34
2500	100	42.15	3.55	3.44	3.56	3.52
3000	100	42.15	2.02	2.01	2.00	2.01
3500	100	42.15	1.35	1.38	1.37	1.37
4000	100	42.15	0.87	0.85	0.83	0.85

ตาราง 8 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 7

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	19.54	19.50	19.46	19.50
1000	100	42.15	12.56	12.30	12.42	12.43
1500	100	42.15	5.14	5.16	5.17	5.16
2000	100	42.15	4.89	4.62	4.63	4.71
2500	100	42.15	3.56	3.54	3.58	3.56
3000	100	42.15	2.45	2.65	2.58	2.56
3500	100	42.15	1.64	1.69	1.62	1.65
4000	100	42.15	0.98	0.92	0.90	0.93

ตาราง 9 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลิ้นจี่ที่ pH 9

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	25.12	25.15	25.16	25.14
1000	100	42.15	18.32	18.3	18.38	18.33
1500	100	42.15	12.45	12.48	12.5	12.48
2000	100	42.15	5.48	5.42	5.43	5.44
2500	100	42.15	4.78	4.55	4.62	4.65
3000	100	42.15	3.56	3.5	3.48	3.51
3500	100	42.15	1.98	1.94	1.93	1.95
4000	100	42.15	0.98	0.95	0.97	0.97

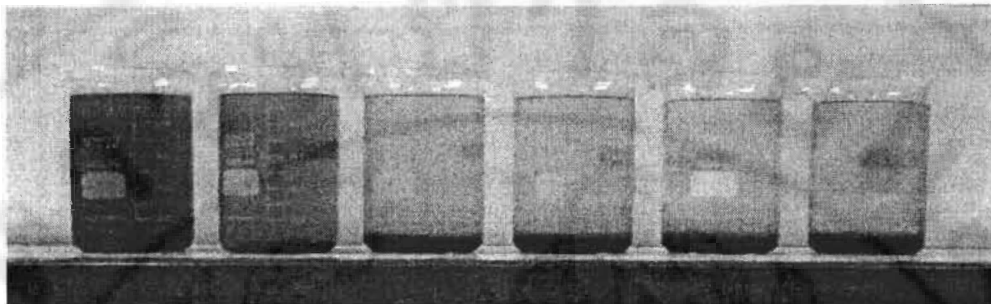
ตาราง 10 ผลของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดที่ pH 9

M (mg)	V (ml)	COD (Co) (mg/L)	COD Ce Rep1 (mg/L)	COD Ce Rep2 (mg/L)	COD Ce Rep3 (mg/L)	Average COD Ce (mg/L)
0	100	42.15	42.15	42.15	42.15	42.15
500	100	42.15	20.415	20.2125	20.24	20.29
1000	100	42.15	15.314	15.3247	15.025	15.22
1500	100	42.15	9.26	9.16	9.45	9.29
2000	100	42.15	5.65	6.215	6.15	6.01
2500	100	42.15	4.59	5.15	4.98	4.91
3000	100	42.15	2.87	2.89	2.58	2.78
3500	100	42.15	2.02	2	2.15	2.06
4000	100	42.15	1.02	1	2.02	1.35

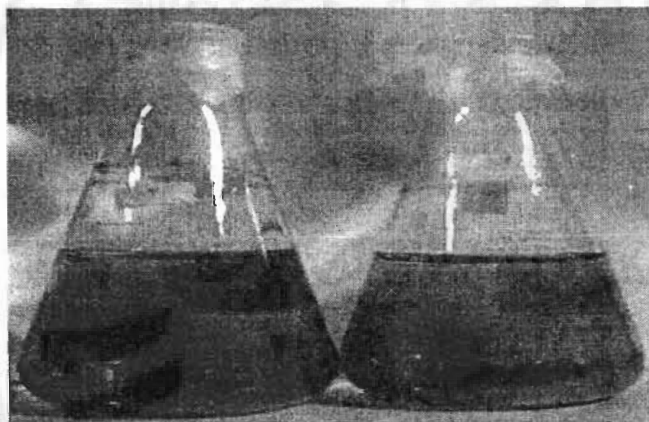


ภาคผนวก จ :
ภาพผลการทดลอง

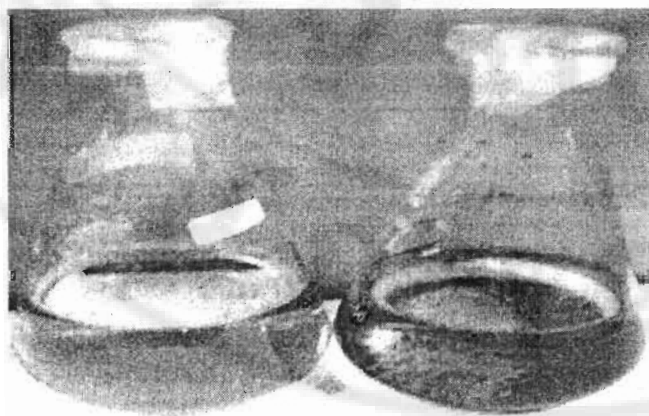
ภาพผลการทดลอง



ภาพ 15 น้ำที่ผ่านกระบวนการJar test



ภาพ 16 การทดสอบประสิทธิภาพ Control เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาด



ภาพ 17 การทดสอบประสิทธิภาพ Control เทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิต