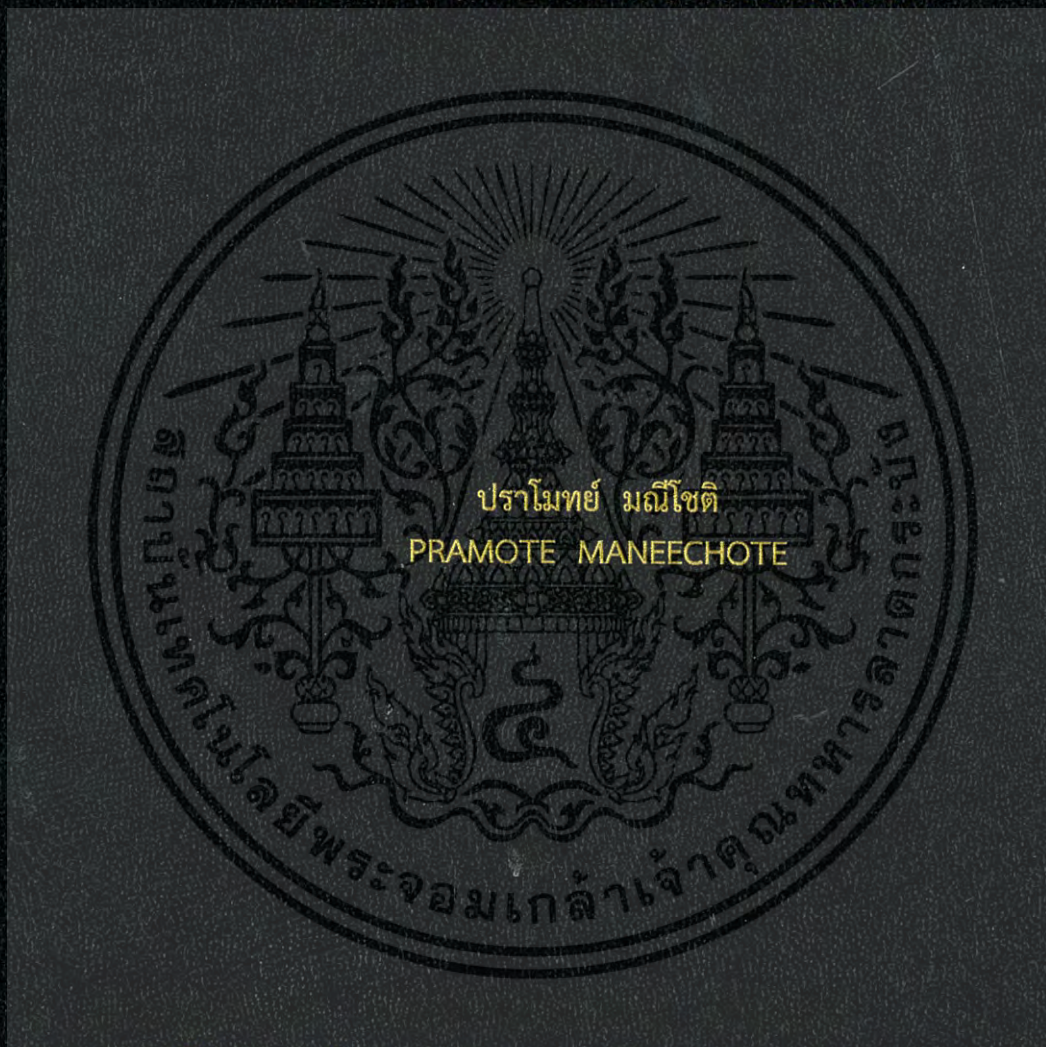


การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวเพื่อกำจัดโซเดียมคลอไรด์
ในน้ำเสียสังเคราะห์

FEASIBILITY STUDY OF USING RICE STRAW TO REMOVE SODIUM
CHLORIDE IN SYNTHETIC WASTEWATER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-100-162

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวเพื่อกำจัดโซเดียมคลอไรด์
ในน้ำเสียน้ำสังเคราะห์

FEASIBILITY STUDY OF USING RICE STRAW TO REMOVE SODIUM
CHLORIDE IN SYNTHETIC WASTEWATER



ปราโมทย์ มณีโชติ
PRAMOTE MANEECHOTE

เลขที่.....
เลขทะเบียน 148677
วันเดือนปี 14 พ.ย. 2560

b. 00266988
l.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-100-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEASIBILITY STUDY OF USING RICE STRAW TO REMOVE SODIUM
CHLORIDE IN SYNTHETIC WASTEWATER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-M-100-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017



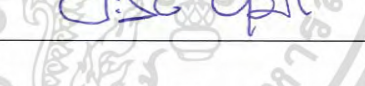
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวเพื่อกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์
Thesis Title Feasibility Study of Using Rice Straw to Remove Sodium Chloride in Synthetic Wastewater
นักศึกษา นายปราโมทย์ มณีโชติ
รหัสประจำตัว 55612306
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-100-162

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.รัตนพล	มงคลรัตนาลิทธิ์	
ดร.รวิภัทร	ลาภเจริญสุข	
ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวนิชย์ จงยิ่งเจริญ	
ผศ.ดร.ธีรพงศ์	ผลโพธิ์	
ผศ.ดร.ประสันท์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM -302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวเพื่อกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ
เสียสังเคราะห์

นักศึกษา

นายปราโมทย์ มณีโชติ

รหัสประจำตัว

55612306

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเกษตร

พ.ศ.

2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลงสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างมาก การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ออกจากสารละลาย และหาค่าศักยภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และหาสัดส่วนปริมาณเข้าโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย 20 และ 35 กรัม/ลิตร ทำการศึกษาอุณหภูมิสารละลายแตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ ที่อุณหภูมิห้อง, ที่อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาณของสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร และที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0 ถึง 150 นาที จากการทดลองพบว่าศักยภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดีกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และที่สภาวะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ที่สภาวะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้องมีประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ต่ำที่สุด การกำจัดโซเดียมคลอไรด์ด้วยอุณหภูมิสารละลายคงที่ 90 องศาเซลเซียส และแบบอุณหภูมิสารละลายลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดโซเดียมคลอไรด์ได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก (0-60 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Feasibility Study of Using Rice Straw to Remove Sodium Chloride in Synthetic Wastewater
Student	Mr.Pramote Maneechote
Student ID.	55612306
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof.Dr. Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

Water contamination from Sodium Chloride (NaCl) to the environment have highly influenced to the living things nearby. This experiment, therefore, focuses on using the rice straw as the bio-absorbent to remove NaCl from the synthetic wastewater solution and finding the potential of NaCl removing as well as finding the ash content from Non-treated and Sodium Hydroxide (NaOH) treated of rice straw at the NaCl solution concentration of 20 and 35 g/litre. The NaCl solution absorption temperature for this experiment was set at 3 stages (ambient temperature stage, constant temperature at 90°C stage and decreasing temperature from 90°C stage). The ratios of bio-absorbent to the NaCl Solution were 0.01, 0.03 and 0.05 g/ml with the absorption time were 0 to 150 minutes. The results showed that the NaOH treated rice straw performed better in term of NaCl removing than Non-treated rice straw. The temperature stage of absorption of constant temperature at 90°C was better than decreasing temperature from 90°C and ambient temperature respectively. On the first period of NaCl absorption (0-60minutes), the condition of decreasing temperature from 90°C performed better than others absorption conditions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความรู้ ความสำเร็จและคำแนะนำทำให้ งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุน สนับสนุนวิจัย ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความ ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัว คณาจารย์ทุกท่านผู้ซึ่งเคยประสิทธิ์ ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐาน ให้กับข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนตลอดจนคอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

ปราโมทย์ มณีโชติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 มลพิษทางน้ำ.....	3
2.1.1. ลักษณะของน้ำเสียโดยทั่วไปมี 3 ลักษณะดังนี้	3
2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย	4
2.1.3. การบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้	5
2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)	6
2.2.1. แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption Force).....	6
2.2.2 พฤติกรรมของการดูดซับของสาร	8
2.2.3 ประเภทของสารดูดซับ.....	9
2.2.4. ขั้นตอนการดูดซับ	9
2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	10
2.2.6 เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl).....	11
2.2.7. การวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ	11
2.3 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ	20
2.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล	20
2.3.2 จลศาสตร์การดูดซับ.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ IV ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 ฟางข้าว	24
2.4.1 การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว	24
2.4.2 เซลลูโลส	26
2.4.3 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ (Treating Peocess)	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล	31
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	31
3.2. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	32
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	35
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ	35
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์จากสารละลาย.....	37
4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับ.....	42
4.4 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าว.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก เครื่องตรวจสอบสอบความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์	58
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล สัดส่วนปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ	60
ภาคผนวก ค ผลการคำนวณหาค่าร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วยฟางข้าวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลร้อยละของโซเดียมคลอไรด์.....	86
ภาคผนวก ง ผลการคำนวณหาปริมาณการดูดซับจำเพาะและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณ การดูดซับจำเพาะ	113
ประวัติผู้เขียน	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์.....	7
2.2 แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานระกว้าง Peak Height และ Chloride	204
2.3 กราฟสำหรับสมการ (2.30) Langmuir	226
2.4 กราฟสำหรับสมการ (2.31) ของ Langmuir	227
2.5 กราฟสำหรับสมการ (2.33) ของ Freundlich	238
2.6 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	249
2.7 แสดงส่วนประกอบของเซลล์โลส	261
2.8 สูตรโครงสร้างเซลล์โลส.....	272
2.9 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM micrographs กำลังขยาย 1,000 เท่า ของแกลบที่ไม่ปรับสภาพ(A) และแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (B) (Sagnik C et,al, 2011)	305
4.1 ภาพถ่ายฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ(A) ฟางข้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (B)ภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ(C) ฟางข้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (D)	36
4.2 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะอุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B).....	37
4.3 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	38
4.4 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะ Cooling ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	39
4.5 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	Error! Bookmark not defined.42
4.6 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B).....	43
4.7 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะ Cooling ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	44
4.8 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองท่าอุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B).....	Error! Bookmark not defined.47
4.9 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35กรัม/ลิตร (B)	49
ก.1 เครื่อง Mettler Toledo Auto-titrator	59



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ	25
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและฟางข้าวบaler, ฟางข้าวอัด, ฟางข้าวสาลี.....	25
4.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลการการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์จากสารละลาย	41
4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลการการศึกษาสัดส่วนปริมาณเถ้า.....	46
4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ	51
ข.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง คงที่ 90 องศาเซลเซียส และ ลดลงจาก 90 องศาเซลเซียสความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร.....	61
ข.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง.....	74
ข.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง.....	75
ข.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส.....	76
ข.5 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส.....	77
ข.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	78
ข.7 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	79
ข.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง.....	80
ข.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง.....	81
ข.10 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียง VIII ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเก่าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส	83
ข.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเก่าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส	84
ข.13 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเก่าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส	85
ค.1 แสดงร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่หลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยละลายละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.01,0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ระยะเวลา 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง 90 องศาเซลเซียส และลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร	87
ค.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง	101
ค.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตรสถานะอุณหภูมิห้อง ..	102
ค.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส	103
ค.5 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตรสถานะ 90 องศาเซลเซียส	104
ค.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	105
ค.7 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง	107
ค.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง.	108
ค.10 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส.....	109
ค.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตรสถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส	110
ค.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	111
ค.13 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตรสถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส.....	112
ง.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง คงที่ 90 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร.....	114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการประกอบกิจการและตั้งโรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก มีทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมและตรวจสอบการระบายของเสียออกนอกโรงงาน เพื่อมิให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและป้องกันมิให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นหลักทำให้มีน้ำทิ้งออกมามีความเข้มข้นของเกลือสูง หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่มี การบำบัดความเข้มข้นของเกลือก่อน จะมีผลกระทบหลายประการเช่น ทำให้เกิดน้ำกร่อยบริเวณใกล้เคียง ทำให้ระบบนิเวศน์เสียและมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ไม่สามารถใช้น้ำเพื่อการเกษตร เป็นต้น ปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ในการกำจัดสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การออกซิไดส์ด้วยโอโซน เทคโนโลยีเมมเบรน การดูดซับด้วยถ่านคาร์บอน/ถ่านกัมมันต์ ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการยุ่งยากและใช้ต้นทุนสูง (จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์และอรุณี ทิพราช, 2549) วิธีการล่าสุดที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แก่ การใช้วิธีทางชีวภาพซึ่งจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อย แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จถึงขั้นนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากต้องใช้กับระบบที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติสูง อีกหนึ่งทางเลือกที่มีกำลังเป็นที่สนใจในการนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียคือการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัสดุดูดซับที่มีพุนต่ำ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารดูดซับที่มีอยู่ในปริมาณมากและราคาถูก (Tarley C. R. T., Arruda M. A. Z., 2004) จึงเหมาะจะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้กับ อุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือในระดับครัวเรือนซึ่งอยู่นอกเหนือจากการควบคุมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม โดยมีการเพาะปลูกข้าวเป็นอันดับ 1 ของประเทศ ส่งผลให้มีฟางข้าวเหลือใช้ประมาณ 25.64 ล้านตันต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2552) ฟางข้าวประกอบไปด้วย เซลลูโลสร้อยละ 37 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 44 ลิกนินร้อยละ 4 silicon ash ร้อยละ 13.1 (D.I. Hills, D.W. Roberts, 1981) อีกทั้งในฟางข้าวมีรูพรุนและเส้นใยเพื่อใช้ในการดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายได้ (นพวรรณ ขจรกิริติกุล และคณะ, 2548) (สุพรรณามีถาวร, 2556) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพในการนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นตัวดูดซับโซเดียมคลอไรด์ออกจากสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์จากฟางข้าว
2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์จากฟางข้าว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ออกจากน้ำเสียด้วยฟางข้าว โดยใช้เทคนิคการศึกษาแบบแบชท์ ซึ่งขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1. ฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับในการทดลองเป็นส่วนของลำต้นข้าว
2. ทำการทดลองโดยใช้กระบวนการทดลองแบบกะ (Batch Adsorption Process)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
2. ลดการปนเปื้อนของโซเดียมคลอไรด์ที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม
3. เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ง่ายและเหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางน้ำ

มลพิษทางน้ำ หรือ น้ำเสีย ถือว่าเป็นมลพิษที่เกิดจากการที่น้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติได้รับการเจือปน จากการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่น คริวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรและกสิกรรม ลักษณะของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ จนทำให้น้ำนั้นๆ ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ต่อไป และสามารถกระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วประเภทหนึ่ง โดยพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ให้คำจำกัดความ ของน้ำเสียไว้ คือ ของเสียที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

2.1.1. ลักษณะของน้ำเสียโดยทั่วไปมี 3 ลักษณะดังนี้

2.1.1.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics of Wastewater)

1) สี โรงงานหลายแห่งมักปล่อยน้ำเสียที่มีสีออกจากกระบวนการผลิต สีเหล่านี้บางชนิดเป็นพิษ จึงเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม

2) ปริมาณของแข็งจะประกอบด้วยของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) และของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Undissolved Solids) ซึ่งของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ จะแบ่งเป็นของแข็งที่แขวนลอย (Suspended Solids) และของแข็งที่จมตัว (Settleable Solids) ซึ่งตะกอนจะเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ตะกอนทำให้แสงส่องลงไปใต้น้ำไม่ได้ และตะกอนยังทับถมที่ก้นน้ำอาจเกิดสันดอน หรือลำน้ำตื้นเขิน

3) ความร้อน น้ำร้อนเมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการแบ่งชั้นน้ำ ปลาหรือสัตว์น้ำต่างๆ ซึ่งมีความไวต่ออุณหภูมิของน้ำจะหนีลงสู่ด้านล่าง ซึ่งพบว่าออกซิเจนละลาย จะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นและการละลายของออกซิเจนจะลดลงเมื่อระดับน้ำลึกมากขึ้น ทำให้ปลาหายใจไม่ออก ปลาจึงมีชีวิตรอดไม่ได้

4) กลิ่น ส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของ จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย เช่นการย่อยสลายโปรตีนจะให้แอมโมเนีย หรือการย่อยสลายที่เป็นแอนเอโรบิกจะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.1.1.2. ลักษณะทางเคมีของน้ำเสีย (Chemical Characteristics of Wastewater)

1) สารอนินทรีย์ อาจอยู่ในรูปของโลหะหรือสารประกอบในน้ำ สารอนินทรีย์บางชนิดอาจเป็นพิษต่อสัตว์และคน และอาจสะสมในสิ่งแวดล้อม สารอนินทรีย์ เช่น

- คลอไรด์ปนเปื้อนจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน การผลิตเกลือ

- โลหะหนัก เช่น พรอท ทองแดง ตะกั่ว เป็นต้น ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม หรือจากกิจกรรมอื่นๆ อาจปนเปื้อนและถูกระบายมากับน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม โลหะหนักเหล่านี้สามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารประกอบที่เป็นพิษ (Toxic compounds) มักพบในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช ยาฆ่าหญ้า สารเหล่านี้ถ้าปนเปื้อนในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบ

2) สารอาหาร (Nutrients) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารทั้งสองถ้ามีมากในแหล่งน้ำทำให้พีชีน้ำเจริญเติบโตเร็ว เรียก ยูโทรฟิเคชัน ไนโตรเจนในรูปของสารประกอบถ้าพบในน้ำดื่มมากกว่า 10 มิลลิกรัม / ลิตร ทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia ในเด็ก

3) สารอินทรีย์เป็นสารประกอบของ CHO หรือ CHON สารเหล่านี้จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเมื่อปนเปื้อนในน้ำมากจะทำให้เกิดน้ำเน่าได้ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายจะมีการใช้ออกซิเจนละลายน้ำและไขมัน เป็นตัวขวางกั้นไม่ให้แสงส่องทะลุลงน้ำรวมถึงออกซิเจนไม่สามารถแทรกละลายลงน้ำ

4) ผงซักฟอก มีสารฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ เมื่อสารเหล่านี้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดปัญหาบ่อเขียว

2.1.1.3. ลักษณะทางชีววิทยาของน้ำเสีย (Biological Characteristics of Wastewater)

1) จุลินทรีย์ น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากบางสถานที่อาจมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนเป็นจำนวนมากเช่น โรงฆ่าสัตว์ โรงพยาบาล นาุ้ง จุลินทรีย์อาจมีทั้งที่ไม่ก่อให้เกิดโรคและที่ก่อให้เกิดโรคปะปน นอกจากนี้อาจพบไวรัสและพาราไซต์ ในน้ำผิวดินสามารถพบ โปรโตซัว สาหร่าย เป็นต้น

2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

2.1.2.1. การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment)

เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวดทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมัน และน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2.1.2.2. การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

2.1.2.3. การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือจุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย โดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลอง วนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น

2.1.3. การบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.1.3.1. การบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary Treatment/Pretreatment)

ส่วนใหญ่จะเป็นการเตรียมน้ำเสียให้เหมาะสมในการบำบัดขั้นต่อไป กระบวนการส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางกายภาพ เช่น การดักของแข็งด้วยตะแกรง การดักตะกอนหนักกรวด ทรายด้วย รางดักกรวดทราย (Grit chamber) การแยกตะกอนโดยการทำให้ลอยโดยใช้อากาศเป็นตัวพา บ่อดักไขมัน ถังปรับให้เท่าการบำบัดขั้นนี้ลดค่าบีโอดีได้เล็กน้อยหรือไม่ลดเลย

2.1.3.2. การบำบัดเบื้องต้น/ขั้นที่หนึ่ง (Primary treatment)

เตรียมน้ำเสียเพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดได้แก่การแยกของแข็งแขวนลอย การปรับคุณภาพน้ำเสีย การเติมสารอาหาร การปรับสภาพกรดด่าง กระบวนการที่ใช้จะเป็นกระบวนการทางกายภาพ หรือกระบวนการทางกายภาพร่วมกับกระบวนการทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

จะเลี้ยงจุลินทรีย์ในสภาพที่ควบคุมให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณมากๆ เพื่อจุลินทรีย์จะได้ใช้ของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำได้เร็ว จุลินทรีย์ก็จะยิ่งเพิ่มมาก ความต้องการออกซิเจนจะมากตามไปด้วย ดังนั้นถ้าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนต้องควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการ(อาจติดเครื่องเติมอากาศ) จากนั้นน้ำที่บำบัดจะไหลสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้จุลินทรีย์จมตัวลงก้นถัง ส่วนบนเป็นน้ำใส แยกออกเพื่อปล่อยระบายสู่แหล่งน้ำ ส่วนจุลินทรีย์ที่แยกออกบางส่วนถูกนำไปยังถังเติมอากาศ ในบางครั้งอาจมีการฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2.1.3.4. การบำบัดขั้นที่สาม/การบำบัดขั้นสูง (Tertiary Treatment /Advanced Treatment)

ในบางครั้งถ้าต้องการให้คุณภาพ น้ำทิ้งดีมากๆ หรือต้องการไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีก อาจใช้การบำบัดในขั้นนี้ก่อนปล่อยระบายทิ้ง วิธีที่นิยมใช้มีการดูดซับสารปนเปื้อนเช่น สี กลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ การแยกสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออก หรือการแยกโดยวิธี electro dialysis การแลกเปลี่ยนประจุ การกรองแบบ Ultrafiltration Reverse osmosis การบำบัดขั้นนี้ส่วนมากใช้วิธีทางฟิสิกส์และเคมีร่วมกัน

2.2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) (อารยา ประดับวงษ์, 2548)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวระหว่างของเหลวและก๊าซ ของแข็งและก๊าซ ของแข็งและของเหลว ของเหลวและของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจง ซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมีอาจเป็นกระบวนการที่ใช้หลักการดูดซับด้วยคาร์บอนเพื่อต้องการแยกสารที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น สารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งชุมชนหลังจากผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองแล้วซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก ตัวดูดซับที่นิยมใช้คือถ่านหรือที่เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งผลิตจากเมล็ดของอัลมอนต์ มะพร้าว ไม้ หรือถ่านต่างๆไปโดยนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้ได้พื้นที่ผิวของถ่านมาก โดยทั่วไปมีพื้นที่ผิว 500-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิด คือ ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon) และชนิดผง (Powdered Activated Carbon)

2.2.1. แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption Force)

ในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ (Physical Force) และแรงทางเคมี (Chemical Force) แรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's Force) เช่น Partitioning รวมทั้งแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) บริเวณผิวรอบนอกของสารประกอบ เช่น Iron exchange ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ในช่วงสั้นๆ รวมถึงการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand Exchange) พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) (Danald L.S.1999)

2.2.1.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's Force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระ หรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (Desorption) จะกระทำได้ง่ายซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับได้ง่าย (นครินทร์ แพรชาย. 2549)

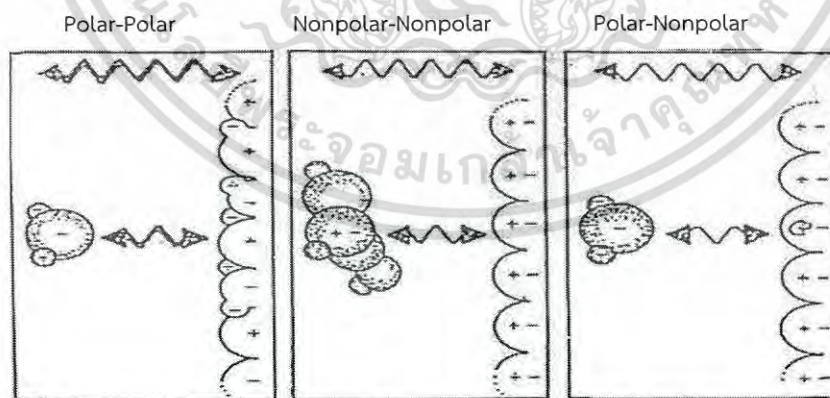
2.2.1.2 แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force)

แรงทางไฟฟ้าสถิต เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเข้าด้วยกัน หรือระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่างๆเกิดจาก 3 กรณีดังนี้

1) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (Orientation Effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

2) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (Dispersion Effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามา ก็จะทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อน เช่นอินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

3) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (Induction Effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ซึ่งทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.1 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Danald L.S., 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 แรงทางเคมี

แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่างๆ เช่น คอลลอยด์ดินเหนียว เนื่องจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชัน ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชัน (functional Group) ที่ผิวของสารดูดซับได้ แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

- 1).เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอน หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางฟิสิกส์
- 2).ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี (นครินทร์ แพรชชา. 2549)

2.2.2 พฤติกรรมการดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption)

2.2.2.1.การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันแบบหลายชั้น (Multilayer)

2.2.2.2. การดูดซับทางเคมี เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

2.2.2.3. การดูดซับแลกเปลี่ยน เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

2.2.2.4. การดูดซับแบบเจาะจง เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันนั้นอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไปพฤติกรรมดูดซับชนิดนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี การดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจง ขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

2.2.3 ประเภทของสารดูดซับ

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆมาติดผิวได้มีหลายชนิดโดยอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.2.3.1 ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (Activated silica) เป็นต้น โดยสารดูดซับประเภทนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม มีข้อเสียคือสามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยต์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีข้อจำกัด

2.2.3.2 แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตร/กรัม แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชันและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การทำรีเจนเนอเรชันคาร์บอนต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไป เนื่องจากขณะเผาไหม้ปนกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

2.2.3.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆเป็นประเภทที่เรียกว่า Macroporous Resin หรือ Adsorbent Resin เช่น Styrene Divinylbenzene (SDVB) Resin และ Phenolformaldehyde (PF) Resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งต่ำกว่าของ Activated Carbon แต่มีข้อดีกว่า คือ สามารถฟื้นฟูได้ง่ายและรีเจนเนอเรชันมักเป็นสารราคาถูก เช่น เกลือแกง สำหรับในประเทศไทยความเหมาะสมในการใช้เรซินดูดซับมากกว่า แอ็คติเวตเต็ดคาร์บอนเมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดในการรีเจนเนอเรชัน

2.2.4. ขั้นตอนการดูดซับ

มีขั้นตอนที่สำคัญในการดูดซับ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ ในกรณีของตัวดูดซับแบบผง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจะเกิดเนื่องจากการกวนน้ำจนทำให้มีการปั่นป่วน แต่ในกรณีของตัวดูดซับแบบเกล็ด การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นมีกลไกเช่นเดียวกับในเครื่องกรองน้ำ คือเป็นลักษณะการกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง เป็นการกรองแบบธรรมดา สารกรองที่นิยมใช้กันมากคือทรายหรือถ่าน เนื่องจากสารกรองมักมีขนาดใหญ่ ความขุ่นหรือสีจึงมีโอกาสเข้าไปในชั้นกรองได้ ตัวอย่างเครื่องกรอง เช่น เครื่องกรองทราย (Sand filter) เครื่องกรองถ่าน (Carbon filter) เป็นต้น

2) Film Diffusion เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้ามาถึงตัวดูดซับซึ่งตามปกติมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวตัวดูดซับได้

3) Pore Diffusion เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ที่โพรงหรือช่องว่างภายใน โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจึงแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในจึงมีการดูดซับเกิดขึ้น

4) โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวตัวดูดซับโดยไม่หลุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นกับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ फिल्मน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก เพราะไม่มีการถูกรบกวนและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่า การเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงนี้ Pore Diffusion จะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ดังนั้นอัตราเร็วในการดูดซับของคาร์บอนผงจึงขึ้นอยู่กับ Pore Diffusion เพราะระบบคาร์บอนผงมักมีการปั่นป่วนสูง (มีการกวนน้ำในถังผสม) แต่อัตราเร็วของการดูดซับของคาร์บอนแบบเกล็ดมักขึ้นอยู่กับ Film Diffusion ทั้งนี้เนื่องจากการใช้คาร์บอนแบบเกล็ดมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับการใช้ถังกรองทรายซึ่งความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นภายในถังอยู่ในระดับต่ำ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอน คือ ขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบกล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของคาร์บอนดังนั้นคาร์บอนผงจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกล็ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดของคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอนทั้งแบบผงและแบบเกล็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายถึงการมีขีดความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกันด้วย

3) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับ เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้นโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำแล้วไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออน) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น จึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยมักสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ง่าย แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดซับอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี เหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่มีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างขีดความสามารถในการดูดซับและขีดความสามารถในการละลายน้ำ

4) ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย (ขนาดพอที่จะเข้าไปในโพรงได้) เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจะถูกดูดเข้าไปและเกาะติดบ้าง

5) พีเอช พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ จึงทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนก็สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี

6) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับกล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบ Exothermic

2.2.6 เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

เกลือแกงที่ใช้ปรุงอาหารมีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) มีสูตร NaCl ในเกลือที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 95.5-98.5 และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม(Mg) แคลเซียม(Ca) และ ซัลเฟต(SO₄) เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลาย ทั้งในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร ในอดีตเกลือเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิต มีการใช้เกลือในการรักษาแผลและผสมปรุงยา ปรากฏว่าชาวกรีกชื่อ Plutarch กล่าวถึงความต้องการเกลือของคนในสมัยโรมันเรื่องอานาจาว่ามีมากจนทำให้เกิด ถนนเกลือ (Salt Road) สำหรับการขนส่งและค้าขายเกลือโดยเฉพาะ นอกจากนี้เกลื่อยังมีบทบาทด้านการเมืองด้วย โดยพบว่าหลายประเทศเคยมีการเก็บส่วยเกลือ ในเกลือมีโซเดียมร้อยละ 40 มีคลอไรด์ร้อยละ 60 โซเดียมเป็นอิเล็กโทรไลต์ที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของเหลวภายนอกเซลล์และการกระจายของน้ำในร่างกายให้เกิดความสมดุล และมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ควบคุมการเต้นของหัวใจและชีพจร การส่งสัญญาณของระบบประสาทควบคุมสมดุลของกรดและด่างในเลือด สำหรับคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญของกรดเกลือที่ช่วยย่อยอาหารในกระเพาะอาหารและลำไส้ นอกจากนี้คลอไรด์ไอออนยังช่วยเม็ดเลือดแดงในการขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปสู่อวัยวะโดยเรียกขบวนการนี้ว่า chloride shift การได้รับเกลือหรือบริโภคน้ำเกลือมากเกินไปมีผลทำให้เกิดผลกระทบได้แก่ 1) ไตเสื่อมเนื่องจากการกรองเพิ่มขึ้น 2) เกิดโรคความดันโลหิตสูง 3) การบริโภคน้ำเกลือมากมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคหัวใจ โดยจะเกิดความผิดปกติที่กล้ามเนื้อหัวใจและอัตราการเต้นของหัวใจ 4) ทำให้เกิดการสูญเสียแคลเซียม การบริโภคน้ำเกลือมากและเป็นเวลานานจะทำให้แคลเซียมในกระดูกถูกนำออกมาใช้ ซึ่งจะส่งผลให้กระดูกบางหรือเป็นโรคกระดูกพรุนเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุได้

2.2.7. การวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ

(<http://www2.diw.go.th/Research/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9C%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%88/A12-Chloride.pdf>, วันที่สืบค้น 2 พ.ค. 2560)

2.2.7.1 วิธีวิเคราะห์โดยทั่วไป (Analytical Method)

การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์อาจทำได้หลายวิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการติเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (Standard Silver Nitrate Solution) โดยใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติตะกอนจะเริ่มเป็นสีอิฐ (reddish-brown) ในสารละลายสีเหลือง

2) วิธีเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยติเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (Mercuric Nitrate) โดยใช้ไดฟีนิลคาร์บาโซน (diphynyl carbazone) เป็นอินดิเคเตอร์ ถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า-ม่วง (blue-violet) วิธีนี้ใช้หาคลอไรด์ปริมาณมาก และดูสีที่จุดยุติได้ชัดเจน

3) วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode Method)

3.1) วิธีการติเตรต (Electrode Method with Silver Nitrate Titration)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode) ซึ่งจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบ่งชี้จุดยุติของปฏิกิริยาในการติเตรตคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต โดยที่จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้ามากในขณะที่ใช้ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรตเพียงเล็กน้อย วิธีการวิเคราะห์มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการวิเคราะห์วิธีที่ 1 แตกต่างตรงที่จะใช้คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบอกจุดยุติของปฏิกิริยาแทนการใช้สารเคมีเป็นอินดิเคเตอร์

3.2) วิธีการวัดโดยตรง (Electrode Method with Direct Reading)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งเป็น Ion Selective Electrode เฉพาะสำหรับคลอไรด์เท่านั้น โดยจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ อิเล็กโทรดในการวัด Electrode Potential ของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง Electrode Potential กับ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

3.3) วิธีเฟอร์ริไซยาไนด์ (Automated Ferricyanide Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยให้เมอร์คิวรีไทโอไซยาเนตทำปฏิกิริยากับคลอไรด์โดยมีเฟอร์ริกไนเตรตอยู่ด้วย คลอไรด์จะจับกับเมอร์คิวรี (II) ได้เป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ ส่วนไทโอไซยาเนตจะทำปฏิกิริยากับไอออน (III) ทำให้เกิดสารประกอบสีแดงเข้มของเฟอร์ริกไทโอไซยาเนตซึ่งความเข้มข้นของเฟอร์ริกไทโอไซยาเนตจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณคลอไรด์ที่อยู่ในสารละลาย

วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method) และ วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method) เป็นวิธีที่คล้ายคลึงกันมากในหลายๆส่วน การเลือกว่าจะใช้วิธีไหนส่วนมากจึงขึ้นอยู่กับความพอใจและความสะดวกของแต่ละบุคคล โดยวิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method) จะเหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์คลอไรด์ในสารละลายหรือตัวอย่างน้ำที่ใสไม่ขุ่นมากนักโดยจะต้องมีปริมาณคลอไรด์ในน้ำตัวอย่างที่ติเตรตในช่วง 0.15 - 10 มิลลิกรัมคลอไรด์ ส่วนวิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method) มีลักษณะเหมือนกันกับวิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method) แต่วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method) จะให้จุดยุติที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ง่ายและชัดเจนกว่า วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode Method) ส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่ยากแก่การวิเคราะห์โดยใช้สารเคมีเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งได้แก่ ตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมาก

2.2.7.2 สารแทรกสอด

ในตัวอย่างน้ำที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์อาจจะมีสารรบกวนหรือสารแทรกสอด (Interfering materials) ในการวิเคราะห์ ในกรณีของการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำในแหล่งรองรับน้ำทิ้ง ผู้เก็บตัวอย่างอาจจะเป็นผู้ที่ทราบดีที่สุดว่าในตัวอย่างน้ำอาจจะมีสารหรือสิ่งใดบ้างซึ่งอาจจะปนเปื้อนในน้ำเสีย และจะรบกวนการวิเคราะห์ สารเหล่านี้จะมาจากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาจจะมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพหรือคุณสมบัติขณะถูกบำบัดในระบบบำบัดน้ำทิ้งก็ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้วิเคราะห์ในการใช้เป็นบันทึกฐานในการพิจารณาวิธีวิเคราะห์ที่ใช้และการพิจารณาหาวิธีกำจัดสารแทรกสอดเหล่านี้ได้อย่างถูกต้องและไม่เสียเวลามากนัก

ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในแต่ละวิธีจะมีสารแทรกสอดที่แตกต่างกันออกไปซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1) วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการไตเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (Standard Silver Nitrate Solution) โดยใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ สารแทรกสอดที่อาจจะพบในตัวอย่างน้ำและรบกวนปฏิกิริยา คือ

- บรอมไนด์ (Bromide) ไอโอดไนด์ (Iodide) และไซยาไนด์ (Cyanide) สารเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตได้เช่นกัน

- ถ้าในตัวอย่างน้ำมีออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) อยู่มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดเป็นตะกอนของซิลเวอร์ฟอสเฟต (Silver Phosphate)

- ถ้าในตัวอย่างน้ำมีปริมาณเหล็ก (Iron Content) อยู่มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้การดูสีของตะกอนที่จุดยุติผิดพลาดไปได้

- สารไทโอซัลเฟต (thiosulphate) ซัลไฟด์ (sulfide) และซัลไฟต์ (Sulfite) จะทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตได้ แต่สารพวกนี้สามารถกำจัดได้โดยการออกซิไดส์ตัวอย่างน้ำก่อนทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีนี้ซึ่งการออกซิไดซ์ทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method) จะใช้หาปริมาณคลอไรด์ซึ่งละลายอยู่ในน้ำใสไม่มีสี มีปริมาณน้อยประมาณ 1.5 มิลลิกรัม ถึง 100 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตรได้เป็นอย่างดี

2) วิธีเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยไตเตรตตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี (II) ไนเตรตหรือเมอร์คิวริกไนเตรต (Mercury(II) Nitrate or Mercuric Nitrate; $Hg(NO_3)_2$) โดยใช้ไดเฟนิลคาร์บาโซน (diphenyl carbazone) เป็นอินดิเคเตอร์ สารแทรกสอดที่อาจจะพบในตัวอย่างน้ำและรบกวนปฏิกิริยา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โบรไมด์ไอออน (Bromide) และไอโอดีนไอออน (Iodide) สามารถทำปฏิกิริยากับเมอร์คิวริกไนเตรตได้เช่นกัน

- โครเมตไอออน (Chromate; CrO_4^{2-}) เฟอร์ริกไอออน (Iron (III) ion; Fe^{3+}) และซัลไฟด์ (Sulfide; S^{2-}) จะรบกวนปฏิกิริยาถ้ามีปริมาณมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ถ้ามี Chromium {Cr(VI)} และ Iron {Fe (III)} ในปริมาณความเข้มข้น มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไปรบกวนปฏิกิริยาการวิเคราะห์หาคลอรไรต์ แต่สามารถกำจัดได้โดยการรีดิวซ์(Reduction)ให้เป็น Cr(III) และ Fe (II)

3) วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode Method)

3.1) วิธีการติเตรต (Electrode Method with Silver Nitrate Titration) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรต์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบ่งชี้จุดยุติของปฏิกิริยาในการติเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต สารแทรกสอดที่อาจจะพบในตัวอย่างน้ำและรบกวนการวิเคราะห์ คือ

- พวกโบรไมด์ (Bromide) และไอโอดีน (Iodide) สามารถทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตได้เช่นกัน

- เฟอร์ริไซยาไนด์ (Ferricyanide) ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ก่อนการวิเคราะห์จะต้องกำจัดเฟอร์ริไซยาไนด์ออกก่อน - โครเมตไอออน (Chromate; CrO_4^{2-}) และไดโครเมตไอออน (Dichromate; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) จะรบกวนปฏิกิริยาและควรจะรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียม (III) ก่อนการวิเคราะห์

- เฟอร์ริกไอออน (Iron (III)) จะรบกวนปฏิกิริยาถ้ามีปริมาณมากกว่าคลอไรต์ในตัวอย่างน้ำ - โครมิกไอออน (Chromic ion; Cr^{3+}) เฟอร์รัสไอออน (Ferrous ion; Fe^{2+}) และฟอสเฟต (Phosphate; PO_4^{3-}) จะไม่รบกวนปฏิกิริยา

3.2) วิธีการวัดโดยตรง (Electrode Method with Direct Reading)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรต์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งเป็น Ion Selective Electrode เฉพาะสำหรับคลอไรต์เท่านั้น โดยจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ อิเล็กโทรดในการวัด Electrode Potential สารแทรกสอดที่รบกวนการวิเคราะห์โดยวิธีนี้คือ

- ไอออนที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำกับซิลเวอร์จะทำให้เมมเบรนของ ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดเสียได้

- สารที่เป็นตัวรีดิวซ์อย่างแรง (Strong reducing agents) จะเกิดเป็นชั้นที่ผิวของซิลเวอร์

- ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ทำให้ประสิทธิภาพการวัดลดลง - ปรอท (Mercury) โบรไมด์ (Bromide) ไอโอดีน (Iodide) ไซยาไนด์ (Cyanide) และซัลไฟด์ (Sulfide) จะรบกวนการวัด - ไฮดรอกไซด์ไอออน (สารละลายมีสถานะเป็นเบส) ถ้ามีปริมาณมากจะรบกวนการวิเคราะห์ด้วย

4) วิธีเฟอร์ริไซยาไนด์ (Automated Ferricyanide Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะมีการแทรกสอดในปฏิกิริยาบ้างแต่ไม่มีผลมากนัก ตัวอย่างสารแทรกสอดคือ ไทโอไซยาเนต ไชยาไนต์ รวมทั้งสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับเมอร์คิวรี(II) ได้

2.2.7.3 ทฤษฎีและปฏิกิริยา

ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำอาจทำได้หลายวิธีตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในแต่ละวิธีจะมีปฏิกิริยาที่สำคัญหลายปฏิกิริยาและผู้วิเคราะห์ควรจะต้องทราบเพื่อการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและสามารถใช้ในการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้

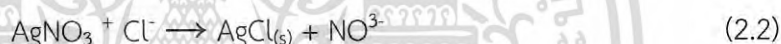
1) วิธีซิลเวอร์ไนเตรต (Argentometric Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการติเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (Standard Silver Nitrate Solution) โดยใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติตะกอนจะเริ่มเป็นสีอิฐ (reddish-brown) ในสารละลายสีเหลือง

ในขั้นตอนแรก คลอไรด์ไอออนในสารละลายหรือในตัวอย่างน้ำจะทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ ไอออนในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น ดังสมการ



หรือ



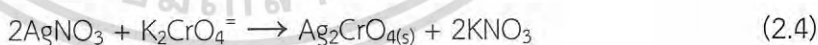
(ตะกอนสีขาว)

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 10^{-1}$$

ในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งเป็นจุดยุติซึ่งมีโครเมตไอออนอยู่ด้วย เมื่อคลอไรด์ไอออนทำปฏิกิริยาจนหมดกับซิลเวอร์ไอออน เมื่อเติมซิลเวอร์ไนเตรตลงไปอีกจนมากเกินไปจะมีซิลเวอร์ไอออนเหลือในสารละลาย ซิลเวอร์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับโครเมตไอออน ให้ตะกอนสีอิฐ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น ดังสมการ (2.3 ถึง 2.4)



หรือในกรณีที่ใช้โพแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์



(ตะกอนสีอิฐ)

กรณีที่มีโบรมाइด์ ไอโอดได์และไชยาไนต์เป็นสารแทรกสอด ทำให้วิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ได้มากกว่าที่เป็นจริงเนื่องจากสารแทรกสอดเหล่านี้สามารถจะทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตได้เหมือนคลอไรด์ ดังสมการ(2.5 ถึง 2.7)



$$(K_{sp} = 10^{-13})$$



$$(K_{sp} = 10^{-17})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ้าในตัวอย่างน้ำมีอโธฟอสเฟต (orthophosphate) อยู่ในสารละลายหรือในตัวอย่างน้ำ ซิลเวอร์จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตทำให้เกิดเป็นตะกอนของซิลเวอร์ฟอสเฟต (Silver Phosphate) ดังสมการ(2.8)



ไทโอซัลเฟต (thiosulfate ion) ซัลไฟด์ (sulfide) และซัลไฟต์ (Sulfite ion) จะทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรตได้ โดยเฉพาะไทโอซัลเฟตไอออน (thiosulphate ion) จะจับกับซิลเวอร์เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนที่เสถียรมากซึ่งจะเห็นได้จากค่า K ที่มีค่าสูงมาก สารละลายไทโอซัลเฟตไอออนจะสามารถละลายเงินเฮไลด์ได้ ดังนั้นจึงใช้เป็นสารตรึงปฏิกิริยาในกระบวนการล้างและอัดรูป ปฏิกิริยาระหว่างไทโอซัลเฟตไอออน (thiosulfate ion) กับซิลเวอร์เกิดขึ้นดังสมการ(12-9)



$$K = 1.6 \times 10^{13}$$

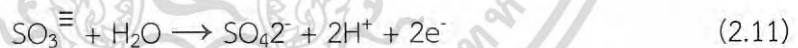
ซัลไฟต์ในตัวอย่างน้ำจะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอนกับซิลเวอร์ เกิดเป็นสารประกอบ Ag_2S ที่มีค่าคงที่การละลายน้อยมาก ($K_{sp} = 10^{-50}$) ดังสมการ (2.10)



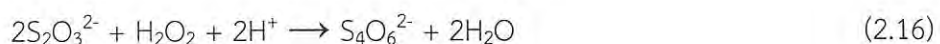
$$K_{sp} = [\text{Ag}^+]^2[\text{S}^{2-}] = 10^{-50}$$

ไทโอซัลเฟต (thiosulfate ion) ซัลไฟด์ (sulfide) และซัลไฟต์ (Sulfite ion) สามารถกำจัดได้โดยการออกซิไดส์ตัวอย่างน้ำก่อนทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีนี้ซึ่งการออกซิไดซ์ทำได้โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) ดังสมการ(2.11ถึง 2.19)

1. Sulfite Ion



2. Thiosulfate Ion



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Sulfide Ion



2) วิธีเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (Mucuric Nitrate Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยติเตรตตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี (II) ไนเตรต (Mercuric Nitrate) โดยใช้ไดเฟนิลคาร์บาโซน (diphynyl carbazone) เป็นอินดิเคเตอร์ ถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า-ม่วง (blue-violet)

ในขั้นตอนแรก คลอไรด์ไอออนในสารละลายหรือในตัวอย่างน้ำจะทำปฏิกิริยากับเมอร์คิวริกไอออนในสารละลายเมอร์คิวรีไนเตรต ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น ดังสมการ (2.20)



หรือ



3) วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode Method)

ก. วิธีการติเตรต (Electrode Method with Silver Nitrate Titration) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบ่งชี้จุดยุติของปฏิกิริยาในการติเตรตตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรตซึ่งเหมือนกับวิธีซิลเวอร์ไนเตรตแต่ใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ อิเล็กโทรดแทนโพแทสเซียมไดโครเมต ลักษณะปฏิกิริยาสำคัญของการติเตรตและของสารแทรกสอดจึงเหมือนกับวิธีซิลเวอร์ไนเตรต ในขณะที่เติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตลงไป ซิลเวอร์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับคลอไรด์เกิดเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ ซึ่งทำให้ปริมาณคลอไรด์ในสารละลายลดลงตามลำดับอันเป็นผลให้ Electrode Potential เปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้าตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของ Electrode Potential (mV) กับปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่เติมลงไป (อัตราส่วน = mV/ml) แล้วสร้างกราฟการติเตรตระหว่างอัตราส่วน mV/ml และ ปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (ml) จะทำให้ทราบจุดยุติของการติเตรตได้โดยเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลง mV/ml มากที่สุด

ข. วิธีการวัดโดยตรง (Electrode Method with Direct Reading) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งเป็น Ion Selective Electrode เฉพาะสำหรับคลอไรด์เท่านั้น โดยจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดในการวัด Electrode Potential ในสารละลาย ซึ่งค่า Electrode Potential นี้จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของคลอไรด์ในสารละลายคลอไรด์อิเล็กโทรดประกอบด้วย Sensing element ซึ่งจะเชื่อมติดกับตัวอิเล็กโทรด(ทำด้วยสารประเภทอิพ็อกซี) เมื่อจุ่มคลอไรด์อิเล็กโทรดในสารละลายที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอไรด์อยู่จะเกิด Electrode Potential ขึ้นที่ Sensing element ซึ่ง Electrode Potential นี้จะขึ้นกับระดับ ปริมาณของคลอไรด์ในสารละลายโดยการวัดเทียบกับ Reference Electrode Potential โดยใช้ pH/mV meter หรือ Ion meter ก็ได้ ค่าของ Electrode Potential จะขึ้นกับปริมาณคลอไรด์ตามสมการของเนอส์ท์ (Nernst Equation) ดังสมการ (2.22)

$$E = E_0 + S \log (A) \quad (2.22)$$

เมื่อ E = Measured Electrode Potential

E_0 = Reference Electrode Potential

A = The level of chloride ion in solution

S = Electrode slope

ระดับปริมาณของคลอไรด์ไอออน (A) คือ Activity หรือ Effective Concentration ของคลอไรด์ไอออน อิสระในสารละลาย ซึ่ง Activity of Free Chloride Ion จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน ดัง สมการ (12-23)

$$A = \gamma C_f \quad (2.23)$$

เมื่อ A = Activity of free chloride ion in solution

γ = Ionic activity coefficient

C_f = Free chloride ion concentration

Ionic activity coefficient เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้และขึ้นอยู่กับ Total Ionic Strength ของสารละลาย ซึ่งค่า Ionic Strength นี้ นิยามตามสมการ (2.24)

$$\text{Ionic Strength} = 1/2 \sum C_i Z_i^2 \quad (2.24)$$

เมื่อ C_i = Concentration of ion i

Z_i = Charge of ion i

ถ้าสารละลายมี Ionic strength สูงและคงที่เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการวัด ทำให้ค่า Activity coefficient มีค่าคงที่ ฉะนั้น Activity จะแปรผันเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น และเพื่อให้ สารละลายมี Ionic strength สูงและคงที่เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการวัดจึงต้องเติมตัวปรับ Ionic strength ซึ่งเรียกว่า Ionic Strength Adjuster (ISA) ซึ่งมีสารละลายหลายชนิดที่ใช้เป็น ISA ได้ เช่น Sodium Nitrate Solution เข้มข้น 5 โมลต่อลิตร เป็นต้น

4) วิธีเฟอร์ริไซยาไนด์ (Ferricyanide Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยให้เมอร์คิวรีไทโอไซยาเนตทำปฏิกิริยากับคลอไรด์โดยมีเฟอร์ริก ไนเตรตอยู่ด้วย คลอไรด์จะจับกับเมอร์คิวรี (II) ได้เป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ ส่วนไทโอไซยาเนตจะทำปฏิกิริยากับไอร์ ออน (III) ทำให้เกิดสารประกอบสีแดงเข้มของสารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์ริกไอออนกับไทโอไซยาเนตไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

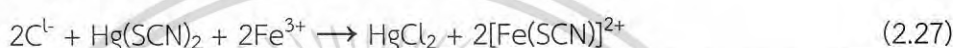
ในขั้นตอนแรก คลอไรด์ไอออนในสารละลายหรือในตัวอย่างน้ำจะทำปฏิกิริยากับเมอร์คิวริกไอออนในสารละลายเมอร์คิวริกไทโอไซยาเนต ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น ดังสมการ (12-25)



ในขั้นตอนต่อมา เพอร์ริกไอออน (Iron (III)) จะทำปฏิกิริยากับไทโอไซยาเนตไอออน (Thiocyanate ion; SCN^-) ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีแดงเข้มของไทโอไซยาโนเพอร์เรท(III) {Thiocyanoferrate(III); $[\text{Fe(SCN)}]^{2+}$ } ในสารละลาย ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ(12-26)



เมื่อรวมสมการเข้าด้วยกันจะได้ดังสมการ(12-27)



ในขั้นต่อไปจะเป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance; A) ของสารละลายไทโอไซยาโนเพอร์เรท(III) ที่ความยาวคลื่น(Wavelength) 480 นาโนเมตร วิธีการวัดที่ใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ

ก. การวัดโดยตรง

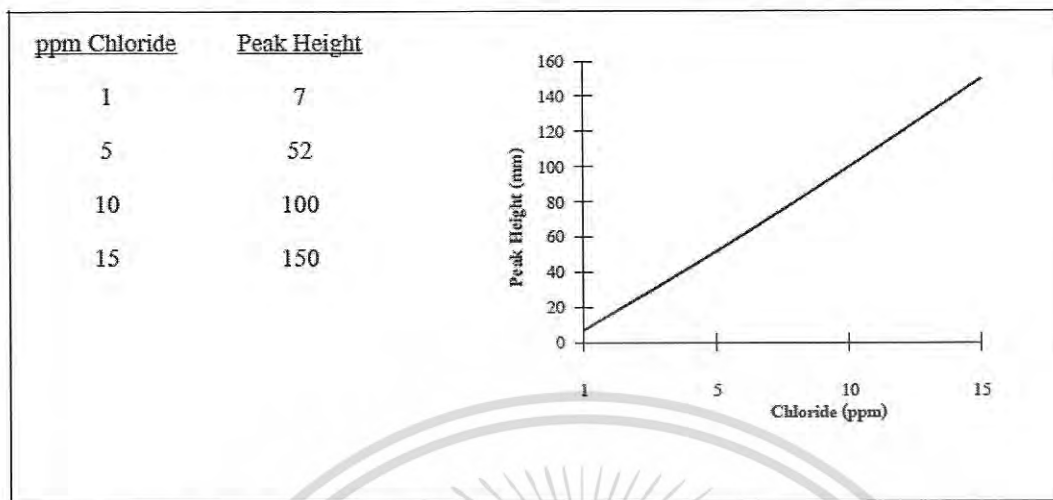
เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโดยตรงแล้วทำการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง(Absorbance; A) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ใช้ แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนของสารละลายตัวอย่างหลังจากทำให้เกิดสีกับสารละลายเมอร์คิวริกไทโอไซยาเนตและเพอร์ริกไทโอไซยาเนตแล้ว และนำมาเปรียบเทียบในกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณคลอไรด์ต่อไป

ข. การวัดแบบอัตโนมัติ

เนื่องจากในระบบวิธีการวิเคราะห์แบบนี้เป็นการออกแบบให้มีการผสมตัวอย่างกับสารที่ทำให้เกิดสี (Color Reagent) ซึ่งประกอบด้วยสารละลายเมอร์คิวริกไทโอไซยาเนตและสารละลายเพอร์ริกไนเตรตจะกระทำในระบบแบบอัตโนมัติ(Automated Sample Uptake) โดยใช้ Proportioning Pumping System หรือแบบการฉีดด้วยมือ (Manual Injection) ก็ได้ โดยที่สารละลายที่ทำให้เกิดสีจะถูกปั๊มเข้าไปในเครื่องมือวิเคราะห์ตลอดเวลา และกำหนดให้เป็นแบลนด์ที่มีค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์ (Background or Zero Absorbance)

วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงนั้นจะวัดโดยใช้เครื่องบันทึก (Recorder) ซึ่งเครื่องบันทึกจะวัดการดูดกลืนแสงตลอดเวลาตามที่ต้องการ เมื่อป้อนตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานคลอไรด์เข้าไปในระบบและทำให้เกิดการผสมและทำปฏิกิริยาจนสมบูรณ์กับสารที่ทำให้เกิดสีในหลอดปฏิกิริยา (Mixing Coil or Reaction Chamber) เมื่อสารละลายที่เกิดเป็นสีแล้วผ่านตัวตรวจวัด (Detector) ซึ่งเป็นการวัดการดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร เครื่องบันทึกจะบันทึกการดูดกลืนแสงและแสดงเป็นพีค (Peak) จากนั้นจะวัดความสูงหรือคำนวณพื้นที่ใต้พีคก็ได้เทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ป้อนเข้าไป สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความสูงหรือพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เพื่อใช้ในการหาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างต่อไป ตัวอย่างกราฟมาตรฐานแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานระหว่าง Peak Height และ Chloride

2.3 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ

2.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัด

ประสิทธิภาพการกำจัดสารเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการกำจัดหรือลดลงของสารออกจากสารละลายมากแค่ไหน ซึ่งทำให้เราทราบว่าวัสดุดูดซับมีการดูดซับสารไปได้มากน้อยแค่ไหน โดย ในการทดลองของ Nandita และ Fakhruddin (2015) ทำการทดลองการดูดซับฟีนอลจากสารละลายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับ โดยพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยความร้อนและขนาด <math><1</math> มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลสูงสุดร้อยละ 84 ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 4 ชม. ยังพบว่าเมื่อปริมาณวัสดุดูดซับ(dose)เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลสูงขึ้นตามด้วย นอกจากนี้ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยความร้อนมีประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลสูงสุด รองลงมาคือ ฟางข้าวที่ปรับสภาพทางกายภาพและฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตามลำดับ

2.3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้า

ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนปริมาณเถ้าเป็นการหาค่าน้ำหนักของเถ้าหลังจากผ่านการเผาวัสดุแห้ง เทียบกับ น้ำหนักแห้งของวัสดุ ซึ่งจะบ่งชี้ว่าวัสดุดูดซับหลังผ่านกระบวนการทดลองแล้วจะมีการดูดซับสารมากเพียงใด ถ้าวัสดุดูดซับมีการดูดซับสารเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้สัดส่วนเถ้ามีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่ง สุพรรณษา มีถาวร (2556) ได้ทำการทดลองการดูดซับสีย้อมระหว่างกระบวนการย้อมผ้า และได้ทำการศึกษาสัดส่วนเถ้าหลังจากผ่านกระบวนการดูดซับพบว่าสัดส่วนปริมาณเถ้าเพิ่มเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น รวมทั้งสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะสูงกว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก และฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตามลำดับ แต่สัดส่วนปริมาณเถ้าจะลดลงเมื่อสัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลายเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 ปริมาณการดูดซับจำเพาะ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะเป็นการหาค่าการดูดซับสารเทียบกับน้ำหนักของวัสดุดูดซับ เปรียบเสมือนเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุดูดซับในการดูดซับสารแต่ละชนิดนั่นเอง ในการทดลองของ Hengpeng Ye และคณะ (2010) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับแคดเมียมโดยใช้แกลบที่ไม่ได้ปรับสภาพและแกลบที่ปรับสภาพด้วยเบส ซึ่งผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับจำเพาะแคดเมียมโดยใช้แกลบที่ไม่ได้ปรับสภาพและแกลบที่ปรับสภาพด้วยเบสมีค่า 73.96 และ 125.94 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และพบว่าแกลบที่ปรับสภาพมีค่าจลศาสตร์การดูดซับและปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สูงกว่าแกลบที่ไม่ปรับสภาพ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างพื้นผิวของฟางข้าว

Hong Guo, (2015) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมโดยใช้ต้นข้าวโพด (maize straw) เป็นวัสดุดูดซับ ซึ่งเปรียบเทียบค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของต้นข้าวโพด 2 ชนิด คือ ต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพและต้นข้าวโพดที่ไม่ปรับสภาพ โดยพบว่าค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ ค่า pH สูงขึ้น ทั้งต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ และพบว่าต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพมีค่าการดูดซับจำเพาะสูงกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ปรับสภาพ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อสัดส่วนวัสดุดูดซับเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะลดลง และปริมาณการดูดซับจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองและเข้าสู่สมดุลหลังจากนั้น และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นสูงขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะสูงขึ้นตามไปด้วย

2.3.2 จลศาสตร์การดูดซับ

ระบบดูดซับได้ถูกวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปสมการอย่างง่าย แล้วนำสมการมาวาดกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการคำนวณออกแบบระบบดูดซับ การวิเคราะห์ระบบดูดซับได้มีผู้วิเคราะห์ไว้สามกลุ่มคือ Langmuir , Brunauer-Emmett-Teller (BET) และ Freundlich

1) สมการของ Langmuir สำหรับระบบการดูดซับโดยสมการนี้มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะคิดเฉพาะผิวชั้นเดียวและไม่เลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิวตามสมการ

$$q = \frac{q_m K_A C}{1 + K_A C} \quad (2.29)$$

เมื่อ q : ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ

q_m : ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล

K_A : ค่าคงที่ของการดูดซับ, ลิตรของตัวดูดซับ/มิลลิกรัมของสารถูกดูดซับ

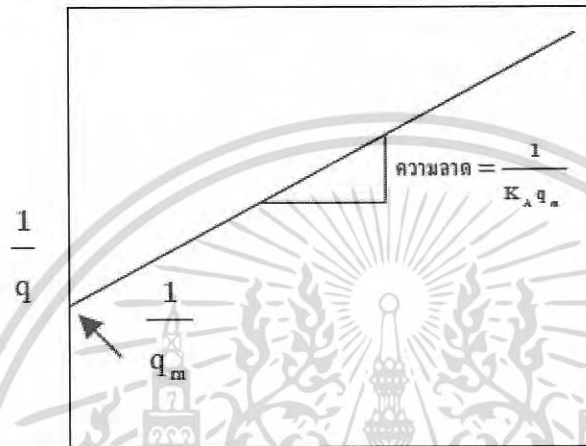
C : ความเข้มข้นของสารละลาย, มิลลิกรัม/ลิตร

เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า q_m และ K_A ได้ด้วยวิธีกราฟจึงจำเป็นต้องจัดรูปแบบสมการให้เป็นดังนี้ q_m

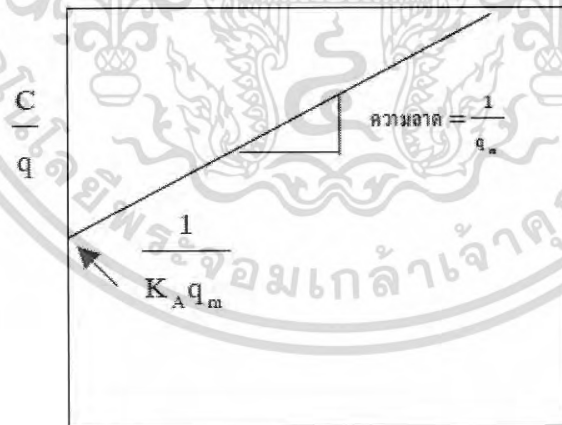
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{K_A q_m} \right) \frac{1}{C} \quad (2.30)$$

$$\frac{C}{q} = \frac{C}{q_m} + \frac{1}{K_A q_m} \quad (2.31)$$

จากสมการ (2.30) และ (2.31) สามารถวาดกราฟได้ดังแสดงในภาพที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 กราฟสำหรับสมการ (2.30) Langmuir



รูปที่ 2.4 กราฟสำหรับสมการ (2.31) ของ Langmuir

2) สมการของ Freundlich เป็นสมการที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อที่จะอธิบายสมดุลของการดูดติดโดยมีรูปแบบที่เป็น Empirical Equation สมการของ Freundlich เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางอันเป็นผลเนื่องมาจากสาเหตุที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของ Freundlich สามารถอธิบายข้อมูลของกระบวนการดูดติดส่วนใหญ่ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยสมการ Freundlich สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$q = K_F C^{\frac{1}{n}} \quad (2.32)$$

เมื่อ K_F : ค่าคงที่

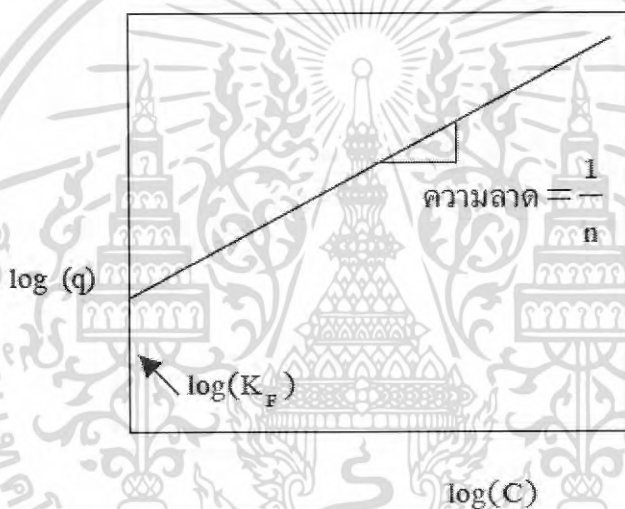
n : ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่า K_F และ n ได้ด้วยวิธีการกราฟจึงจำเป็นต้องใช้

Logarithm มาจัดรูปแบบสมการให้เป็นสมการที่ (2.4)

$$\log(q) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C) \quad (2.33)$$

จากสมการ (2.33) สามารถวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 กราฟสำหรับสมการ (2.33) ของ Freundlich

ค่า K ในสมการของ Freundlich จะแสดงให้เห็นถึงค่าความสามารถเริ่มต้นของการดูดติดของ Adsorbate บนผิวของ Adsorbent ส่วนค่า $1/n$ เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของการดูดติดผิวของ (Strength of adsorption) โดยในกรณีที่ค่า K มีค่าสูงมากๆ จะแสดงถึงค่าความสามารถในการดูดติดผิวของ Adsorbate ที่สูง (q มีค่าที่สูง) ส่วนในกรณีที่กำหนดให้ค่า K และ C_e มีค่าคงที่ เมื่อค่าของ $1/n$ มีค่าที่ต่ำมากๆ จะแสดงให้เห็นว่าสภาพของการดูดติดของ Adsorbate มีแนวโน้มที่จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ C_e ทำให้กราฟของสมการ Isotherm มีความชันที่ต่ำจนเริ่มที่จะขนานกับแนวแกน X ที่สถานะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการดูดติดผิวของ Adsorbate บนผิวของ Adsorbent เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible) ส่วนในกรณีที่ค่า $1/n$ มีค่าสูงมากๆ จะแสดงให้เห็นถึงความไม่แข็งแรงของพันธะในการดูดติด ดังนั้นค่า q จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพิ่มหรือลดลงของค่า C_e

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามสมการของ Freundlich ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับทุกๆ ค่าของ C_e ที่ใช้ในการทดลอง กล่าวคือ เมื่อ C_e มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า q ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน จนกระทั่งปริมาณ Adsorbate ที่ถูกดูดติดบน Adsorbent เริ่มเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว ค่า q ก็จะเริ่มมีค่าที่คงที่ เมื่อค่า C_e มีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดนี้ ค่า q จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ดังนั้นที่สภาวะเช่นนี้ สมการของ Freundlich จะไม่สามารถใช้ทำนายกระบวนการดูดติดผิวที่เกิดขึ้นได้อีกต่อไป ดังนั้นในการทดลองของ Isotherm จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องนี้เป็นสำคัญ

2.4 ฟางข้าว

ประเทศไทยมีฟางข้าวเหลือใช้ประมาณ 25.64 ล้านตันต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2552) ทำให้มีผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวและสีข้าวเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ รำข้าว และปลายข้าว เป็นต้น ซึ่งฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาข้าวบางส่วนจะถูกนำไปใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์ในการเพาะเห็ดฟาง กลุ่มแปลงผักและใช้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่โดยส่วนใหญ่ชาวบ้านจะใช้วิธีการกำจัดโดยการเผา ก่อนจะลงมือทำนาในรอบต่อไปซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะจากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้และส่งผลกระทบททำให้หน้าดินเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการนำฟางข้าวซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าแล้วยังเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้วิธีหนึ่งด้วย

2.4.1 การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JMS-5400 Scanning Electron Microscope, SEM) ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า (Fei Yao, et al., 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวพบว่าฟางข้าวมีองค์ประกอบโดยหลักเป็น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แพนคติน และมีปริมาณ residuals ash สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ดังแสดง ในตารางที่ 2.1 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบของฟางข้าวและฟางจากข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต และข้าวบาเลย์ที่แสดงในตารางที่ 2.2 พบว่าฟางข้าวมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงกว่าฟางข้าวสาลี, ฟางข้าวโอ๊ตและ ฟางข้าวบาเลย์ และฟางข้าวในส่วนของปล้องข้อจะมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกข้าว ฟาง ข้าวและรำข้าวตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ (Fei Yao, et al., 2008)

Constituent (%)	Wood		Others			Rice straw			
	Softwood	Hardwood	Flax	Jute	Sisal	Husk	Whole straw	Leaf	Stem
Cellulose	40-45	45-50	64	64	66	35-45	41-57	37-41	24-46
Hemicellulose	25-30	21-36	17	12	12	19-25	33	22-25	24-28
Lignin	26-34	22-30	2	12	10	20	8-19	7-8	4-6
Residual ash	-	-	7	2	2	14-17	8-38	26-33	8-16

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและฟางข้าวบาเลย์, ฟางข้าวโอ๊ต, ฟางข้าวสาลี (Fei Yao, et al., 2008)

	SiO ₂ (g/kg)	Lignin (g/kg)	NDF ^b (g/kg)	ADF (g/kg)	Dig
Polished rice	0.5	-	-	10	0.89
Rice bran	50	30	250	140	0.70
Rice straw	130	52 ± 16 ^c	820	531	0.45
Rice hulls	230	160	810	720	0.08
Rice joints	350	120	-	-	0
Barley straw	20	110	800	590	0.49
Oat straw	20-50	140	700	470	0.48
Wheat straw	10-50	85-140	828	540	0.44

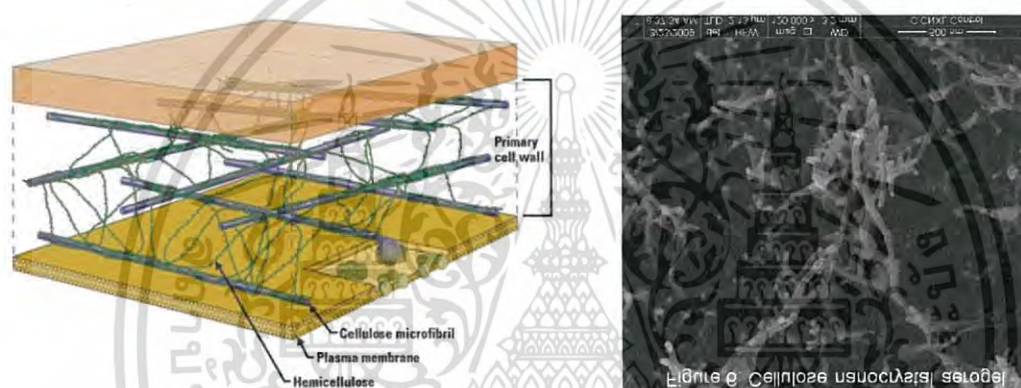
เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวจากภาพถ่าย Microstructure พบว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย crude protein hemicellulose และ cellulose ซึ่งทำให้มีลักษณะเหมาะสมสำหรับยึดจับกับไอออนของโลหะหนัก มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้วัสดุเหลือใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการเกษตรในการกำจัดสีและโลหะหนักในน้ำทิ้ง ฟางข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อกำจัดสีย้อมและโลหะหนักออกจากน้ำย้อมสีผ้าได้

2.4.2 เซลลูโลส

2.4.2.1 แหล่งที่มาของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืชโดยพบรวมกับลิกนิน เพนโตแซนกัน แกมมัทนิน ไชมัน สารทำให้เกิดสีเป็นต้น โดยอยู่บนผนังเซลล์พืชทุกชนิด เช่น ฝ้าย พืชน้ำ เรยอน รวมทั้งพืชชั้นต่ำ เช่น เฟิร์น สาหร่าย และรา ที่ผนังเซลล์ชั้นที่สองมีเซลลูโลส (ดังรูปที่ 2.7) โดยเซลลูโลสมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (Crystalline) ทำให้มีความแข็งแรงสูง

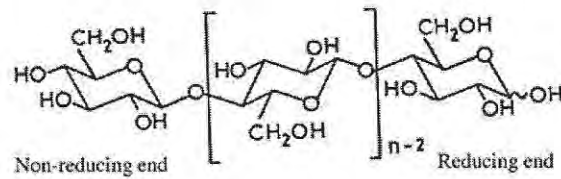


รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของเซลลูโลส

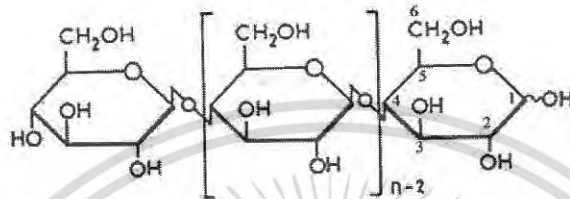
(<http://www.vcharkarn.com/varticle/43896>, วันที่สืบค้น 20 พ.ค. 2560)

2.4.2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ไม่กิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำๆ กันของ β -D-anhydroglucopyranose สูตรอย่างง่ายของเซลลูโลสคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ n เป็นจำนวนหน่วยของกลูโคสโมโนเมอร์ในสายโพลีเมอร์ ซึ่งปกติ n มีค่าตั้งแต่ 30-300 หน่วย กลูโคสทำให้เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุล ตั้งแต่ 50,000-500,000 โดยมีพันธะที่เชื่อมต่อแต่ละหน่วยคือ β -1,4-glycoside linkage ระหว่าง C1 และ C4 ต่อกัน เป็นสายตรงโครงสร้างของโมเลกุลเซลลูโลส



Sometimes shown as



Cellulose

รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างเซลลูโลส

(<http://www.dharmatrading.com/cellulose.html>, วันที่สืบค้น 21 พ.ค.2560)

2.4.2.3 สมบัติทางเคมีของเซลลูโลส

เมื่อเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) ปฏิกิริยาที่ทำให้เซลลูโลสพองตัวและกระจายตัวโดยไม่ทำให้เซลลูโลสยาวขึ้นหรือเปลี่ยนโครงสร้างของเซลลูโลสในเส้นใย
- 2) ปฏิกิริยาที่ทำให้ความยาวของสายโซ่เซลลูโลสเปลี่ยนเพราะเสื่อมสภาพ non-reducing end reducing end sometimes shown as Cellulose
- 3) ปฏิกิริยาที่ทำให้หมู่ไฮดรอกซี (-OH) เปลี่ยนเป็นหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ได้ง่ายทำให้เกิดอนุพันธ์ของเซลลูโลสต่างๆ ปฏิกิริยาทั้งสามชนิดนี้มักจะเกิดร่วมกันเสมอ นอกจากนี้สมบัติทั่วไปของเซลลูโลสคือทนต่อต่างแต่ไม่ทนต่อกรดเข้มข้น เผาไหม้ในอากาศโดยไม่มีกลิ่นเหม็น และเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลสามหมู่ในแต่ละหน่วยย่อย ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกกับไฮโดรเจนไอออนได้ดี

2.4.2.4 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

- 1) การละลาย เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 60-65% โดยน้ำหนัก กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 83 โดยน้ำหนัก โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว ในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เซลลูโลสบวมตัวในสารละลายของโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (alkali hydroxide) บางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความเหนียว ความเหนียวเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความเหนียวก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น การดูดซับความชื้น เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ หรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆในบรรยากาศรอบตัวของมัน จนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้นค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

3) ความหนาแน่น เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอนค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มาหรืออาจเปลี่ยนไปเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

4) จุดหลอมเหลวเท่ากับ 260-270 องศาเซลเซียส (สลายตัว)

2.4.3 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ (Treating Process) (อัญชลี นันตี, 2558)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพเป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีมาช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ หรือการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ ออกไป เพื่อให้วัสดุมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ นอกจากนี้ สุนีรัตน์ เรื่องสมบุญ (2549) ได้อธิบายถึงการปรับปรุงคุณภาพว่าการปรับปรุงคุณภาพวัสดุดูดซับเป็นการกระตุ้นหรือเป็นขั้นตอนที่ทำให้วัสดุมีความพรุน และมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น และประสิทธิภาพของการปรับปรุงคุณภาพก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ รวมทั้งวิธีการอื่นๆ ก่อนทำการปรับปรุงคุณภาพ

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเพื่อใช้ในการดูดซับนั้น เป็นการทำให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว เกิดความไวขึ้นในการเกิดปฏิกิริยากับสารที่ต้องการดูดซับ คือ เมื่อทำการปรับปรุงด้วยสารเคมี สารเคมีจะไปกำจัดโมเลกุลบางชนิดหรือกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในวัสดุดูดซับให้หลุดออกไป ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ หรืออาจเข้าไปเปลี่ยนโครงสร้างของวัสดุให้มีความไวต่อการดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับนั้นแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว ผักตบชวา ชิงช้าโพท กลบ เปลือกส้ม จะประกอบไปด้วยพอลิแซคคาไรด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างโมเลกุล โดยสามารถนำวัสดุต่างๆ ที่กล่าวมาทำการปรับปรุงคุณภาพ ในช่วงที่ปรับปรุงคุณภาพจะเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีต่างๆขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริเคชัน ปฏิกิริยาออร์โธรีฟิเคชัน และปฏิกิริยาออสลิจ เป็นต้น หลังจากทีวัสดุได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเคมีต่างๆแล้ว จะให้หมู่ฟังก์ชันมีความสามารถในการดูดซับหรือเกิดการแลกเปลี่ยนประจุขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพมี 2 วิธี คือการปรับปรุงด้วยวิธีทางกายภาพ และการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี (สุนีรัตน์ เรื่องสมบุญ, 2549) มีรายละเอียดดังนี้

1) การปรับปรุงด้วยวิธีทางกายภาพ วิธีนี้จะใช้ก๊าซเป็นตัวออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะนำไปทำการออกซิไดส์วัสดุ โดยก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดส์จะทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ในวัสดุดูดซับ จึงทำให้วัสดุมี

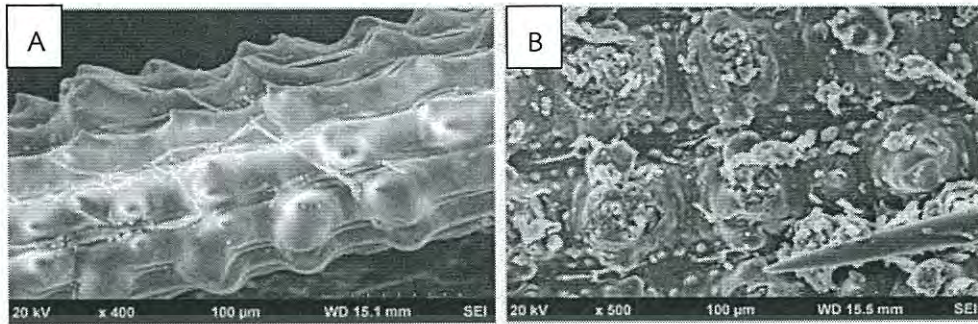
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพรุนเพิ่มขึ้น และมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ข้อดีของการปรับปรุงด้วยวิธีทางกายภาพ คือ หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพวัสดุแล้วสามารถที่จะนำไปใช้ได้ทันที แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าการวิธีการทางเคมี และขนาดของรูพรุนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีนี้ จะมีขนาดเล็กกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี โดยรูพรุนที่ได้เป็นแบบไมโครพอร์ ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปดูดกลืน ไอ หรือก๊าซพิษ

2) การปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมี วิธีนี้จะนำวัสดุที่ต้องการมาผสมกับสารเคมีที่เรียกว่าสารกระตุ้น (Activating Agent) ซึ่งสารกระตุ้นส่วนใหญ่จะเป็นเกลืออนินทรีย์ ยกตัวอย่าง เช่น

กรดบอริก(H_3BO_3)	โซเดียมไฮดรอกไซด์($NaOH$)
กรดไนตริก(HNO_3)	โซเดียมซัลเฟต(Na_2SO_4)
กรดซัลฟิวริก(H_2SO_4)	เฟอร์ริกคลอไรด์($FeCl_3$)
แคลเซียมคลอไรด์($CaCl_2$)	โพแทสเซียมซัลไฟด์(K_2S)
โซเดียมคลอไรด์($NaCl$)	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)
โพแทสเซียมไฮโอไซยาเนต($K_2S_2O_8$)	ซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

การปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมีมีข้อดี คือ ใช้อุณหภูมิต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ สารเคมีบางชนิดมีราคาสูง และจะต้องมีการล้างสารเคมีออกจากวัสดุที่ทำการปรับปรุงคุณภาพไม่ให้เหลือตกค้างเพื่อความปลอดภัยก่อนนำไปใช้งาน จึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และการปรับปรุงคุณภาพวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาปรับสภาพ โดยกระบวนการทางเคมีที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ และสภาวะในการดูดซับ เช่น ชนิดของโลหะ ความเข้มข้นของโลหะ ค่า pH และอุณหภูมิ ในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุทางชีวภาพด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง โดย (Sagnik C et,al, 2011) ได้มีการปรับปรุงคุณภาพแกลบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวเกิดขึ้น โดยจะมีความขรุขระและพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้น



รูปที่ 2.9 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM micrographs กำลังขยาย 1,000 เท่า ของแกลบที่ไม่ปรับสภาพ(A) และแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (B) (Sagnik C et,al, 2011)

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงคุณภาพวัสดุดูดซับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยให้ลิแกนด์ของคาร์บอนซีเลตเพิ่มจำนวนขึ้นทำให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการยึดจับมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย (ประยุกต์ตามวิธีของ สุพรรณษา มีถาวร, 2556)

ในโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยฟางข้าว โดยใช้เทคนิคการดูดซับแบบแบดจ์ โดยดำเนินการทดลองดังนี้

3.1.1. การเตรียมฟางข้าว

เก็บฟางข้าวจากนาแห่งหนึ่งในเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยเลือกเฉพาะส่วนของลำต้น ตัดให้มีขนาด 1-2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH ของน้ำล้างประมาณ 6-7 เพื่อควบคุมไม่ให้ pH มีผลกระทบต่อผลการทดลอง อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อเตรียมนำไปทดลองและศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว

3.1.2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร

นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Analytical Reagent Grade ผลิตโดย Carlo ERBA) ไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 120 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนลงในบีกเกอร์จนให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายให้หมด ถ่ายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร แล้วเขย่าขึ้นลงจนละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมล/ลิตร

3.1.3. การปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำฟางข้าวขนาด 1-2 เซนติเมตร ปริมาณ 100 กรัม ที่เตรียมในหัวข้อ 3.1.1 ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมล/ลิตร ที่เตรียมในหัวข้อ 3.1.2 ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำลงไป แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH ของน้ำล้างมีค่าประมาณ 6-7 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อเตรียมนำไปทดลองและศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว

3.1.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร

นำโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) (Analytical Reagent Grade ผลิตโดย Carlo ERBA) ไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน 150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ คนให้โซเดียมคลอไรด์ละลายให้หมด ถ่ายสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าขึ้นลงจนละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร จากนั้นทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยน ปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 35 กรัม ก็จะได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 35 กรัม/ลิตร

3.2. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์

ในการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สภาวะ อุณหภูมิสารละลาย 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิจาก 90 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบฟางข้าว 2 ชนิด คือฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ กับฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย(Dose) แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/ มิลลิลิตร ทำการทดลองที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที ซึ่งทำการวางแผนการ ทดลองแบบ Factorial Experiment in CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อ ตรวจสอบว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์

3.2.1 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิห้อง

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปวางที่อุณหภูมิห้อง แล้วใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไป ในบีกเกอร์ กรองสารละลายผ่านตะแกรงที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที แล้วเก็บไว้ในขวด เก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการทดลอง เช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.2 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส รอจนสารละลายในบีกเกอร์มี อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นจึงนำบีกเกอร์ออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที กรองสารละลายผ่านตะแกรง แล้วเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองไปอบลดความชื้นที่ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ใน ถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิ ลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 20 กรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส รอจนสารละลายในบีกเกอร์มี อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นจึงนำบีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาวางไว้ในที่อุณหภูมิห้อง กรองสารละลายผ่านตะแกรง ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที แล้วเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการ ทดลองไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น ตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.4 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิห้อง

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 35 กรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปวางที่อุณหภูมิห้อง แล้วใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไป ในบีกเกอร์ กรองสารละลายผ่านตะแกรงที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที แล้วเก็บไว้ใน ขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการ ทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.5 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิ คงที่ 90 องศาเซลเซียส

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 35 กรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส รอจนสารละลายในบีกเกอร์มี อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นจึงนำบีกเกอร์ออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที กรองสารละลายผ่านตะแกรง แล้วเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองไปอบลดความชื้นที่ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ใน ถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2.6 การทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิ ลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 35 กรัม/ลิตรปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส รอจนสารละลายในบีกเกอร์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงใส่ฟางข้าวที่ยังไม่ได้ทำการปรับสภาพปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงไปในปิกเกอร์ จากนั้นจึงนำปิกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง กรองสารละลายผ่านตะแกรงที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 10, 30, 60, 100 และ 150 นาที แล้วเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท จากนั้นทำการทดลองเช่นเดิมแต่เปลี่ยนเป็นฟางข้าวปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

-การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (%) โดยใช้สูตร

$$\text{Salt Remaining (\%)} = \left[\frac{C_t}{C_o} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

C_o = ความเข้มข้นของเริ่มต้นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ก่อนการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ (%w/w)

C_t = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เวลาใดๆ (%w/w)

-คำนวณหาสัดส่วนปริมาณเก่าโดยใช้สูตร

$$\text{สัดส่วนปริมาตรเก่า (กรัมเก่า / กรัมฟางแห้ง)} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \quad (3.2)$$

W_1 คือ น้ำหนักถ้วย (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

W_0 คือ น้ำหนักฟางแห้ง (กรัม)

-การคำนวณปริมาณการดูดซับจำเพาะ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะที่ระยะเวลาใดๆคำนวณจาก

$$\% \text{Amount adsorbed } (q_t) = \frac{(C_o - C_t)V}{w} \quad (3.3)$$

C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ก่อนการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ (%w/w)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เวลาใดๆ (%w/w)

V = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)

w = น้ำหนักของวัสดุดูดซับ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

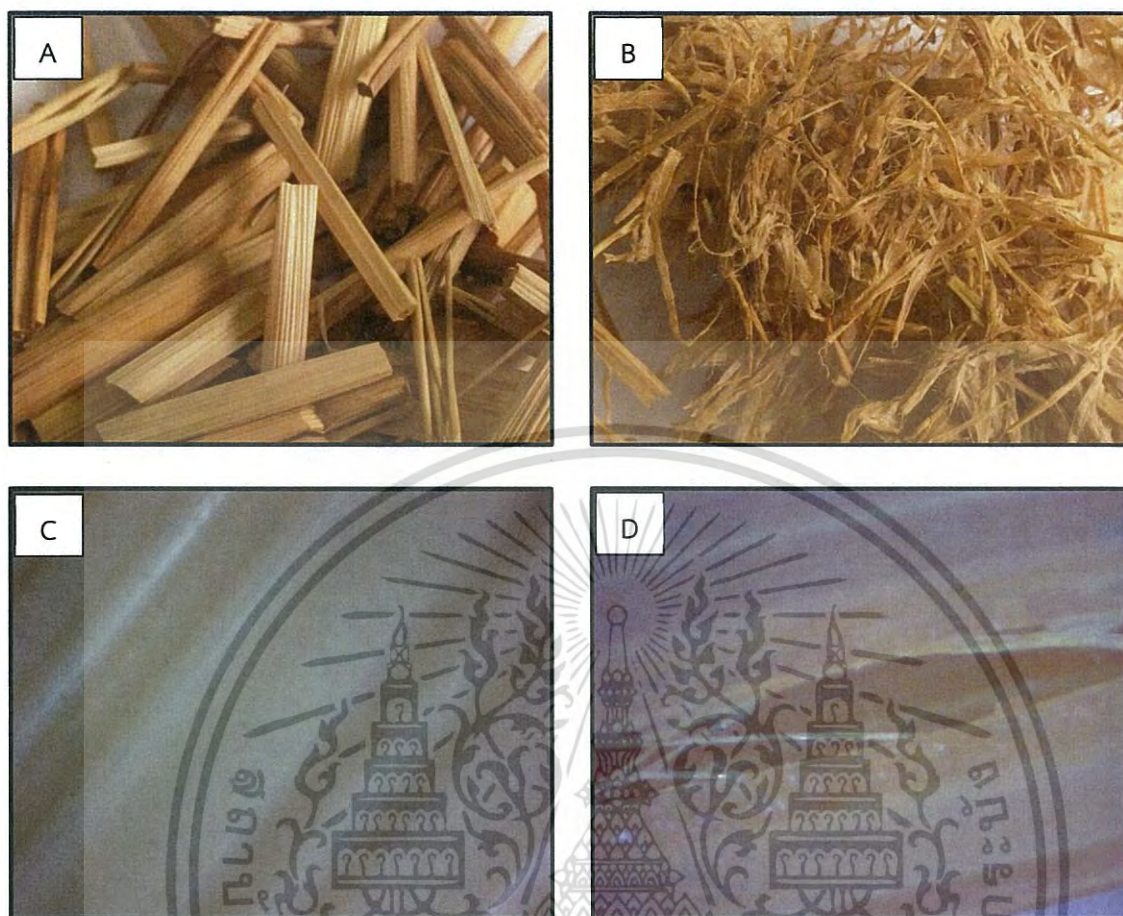
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการทดลองการดูดซับโซเดียมคลอไรด์โดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดโซเดียมคลอไรด์ออกจากสารละลาย โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดฟางข้าวโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยเบส ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ปริมาณฟางข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาในการดูดซับ ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพที่ได้เตรียมขึ้น 2) การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ของวัสดุดูดซับชีวภาพ

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ

การศึกษาลักษณะทางกายภาพจะช่วยอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงในรูปที่ 4.1 พิจารณาจากภาพถ่ายจะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพในรูปที่ 4.1(A,C) กับฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปที่ 4.1(B,D) จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีการเกาะยึดกันระหว่างเส้นใยอย่างเป็นระเบียบมีช่องว่างน้อย แต่ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีลักษณะพื้นผิวหยาบไม่เป็นมันเงาและมีรอยแตกออกจากกันเป็นชิ้นเล็กๆ โดยทั่วทั้งพื้นผิว ลักษณะเช่นนี้เกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กำจัดสารประเภทลิกนินและซิลิกอนซึ่งเป็นสารเคลือบผิวออกจากผิวของฟางข้าวทำให้ผิวของฟางข้าวหยาบขึ้นและขาดความเป็นมันเงา(Sagnik C et,al, 2011) ทำให้เกิดช่องว่างภายในหรือความพรุนเพิ่มขึ้น



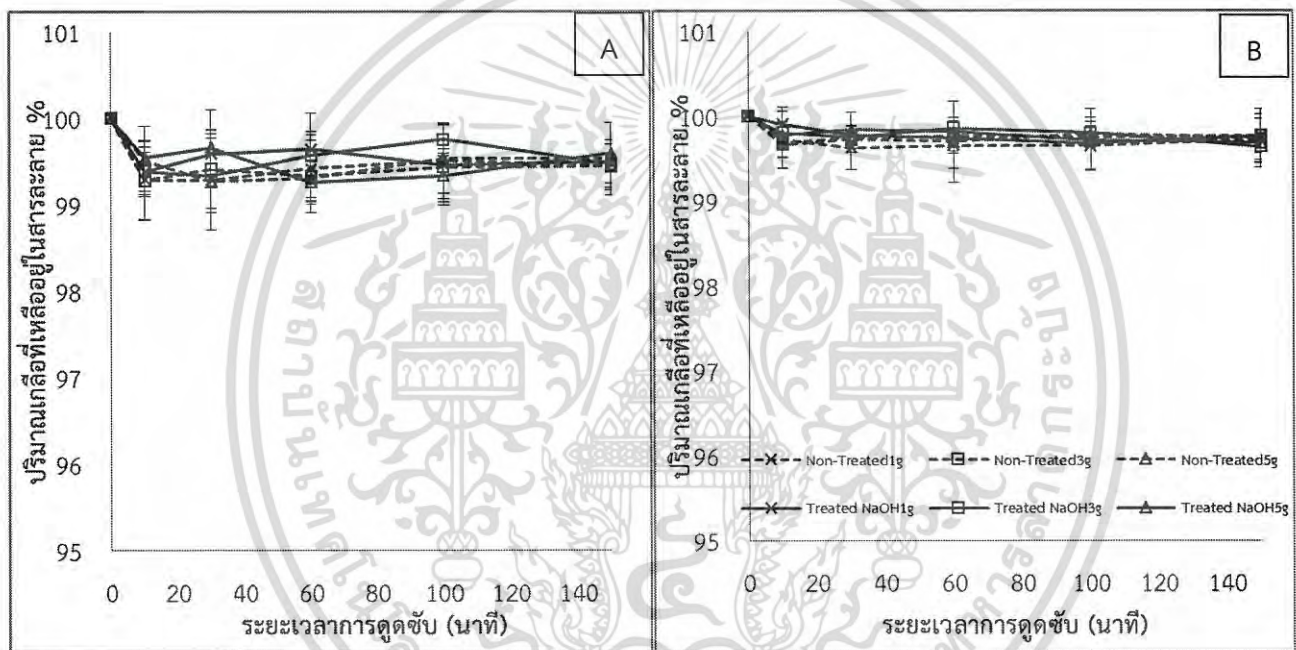
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ(A) ฟางข้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (B) ภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ(C) ฟางข้าวที่ผ่านปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์(D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลาย

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลายที่สถานะอุณหภูมิห้อง

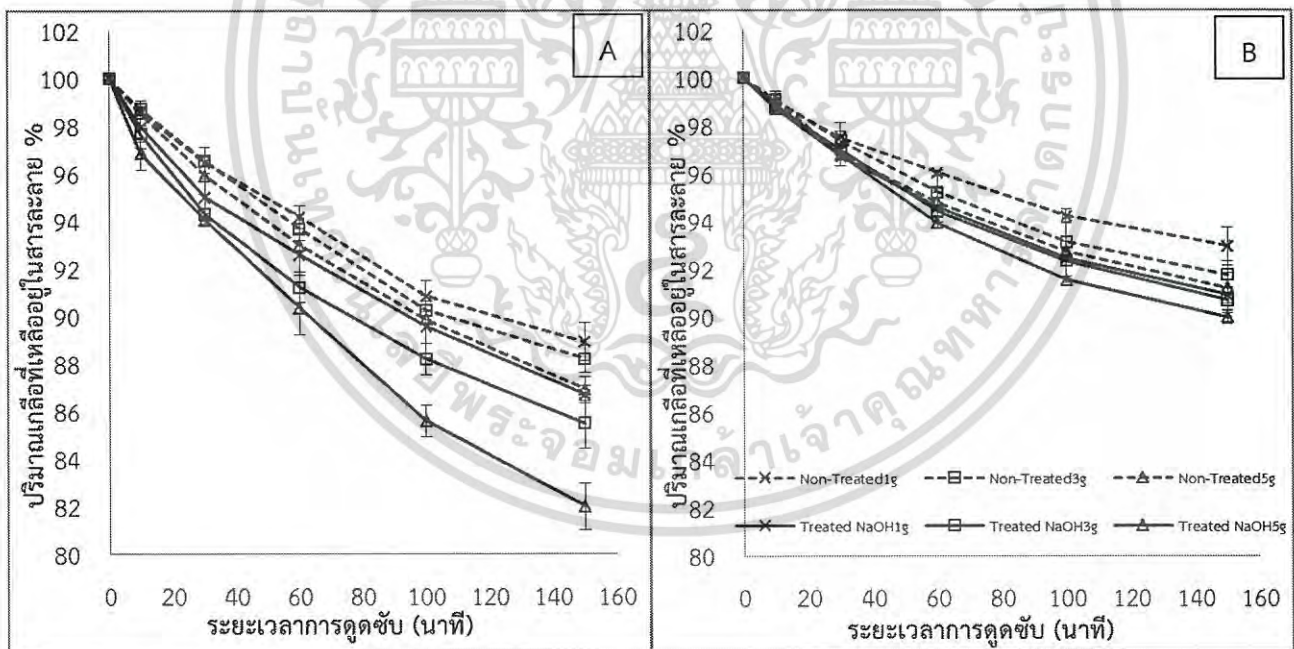
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิห้องพบว่าตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ที่น้อยมากทั้งฟางข้าวที่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ถึงแม้ปริมาณฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.2 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะอุณหภูมิห้องที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร(A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลายที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ของทั้งสองสภาวะสอดคล้องกัน ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราการกำจัดที่สูงตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ปรับสภาพ เนื่องจากการให้ความร้อนจะช่วยกระตุ้นการดูดซับได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ (Ayse Toson, et al., 2012) ที่อธิบายว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นด้วย และประสิทธิภาพการกำจัดจะเริ่มลดลงเมื่อถึงเวลา 100 นาที โดยเมื่อฟางข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นด้วย (N. Nasuha et, al., 2010),(Nader Yousefi et,al., 2011) และพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตลอดทุกช่วงเวลาการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ อัญชลี นันดี (2558) ที่อธิบายไว้ว่าเปลือกส้มและชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงและนิกเกิลสูงกว่าเปลือกส้มและชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ โดยอธิบายว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

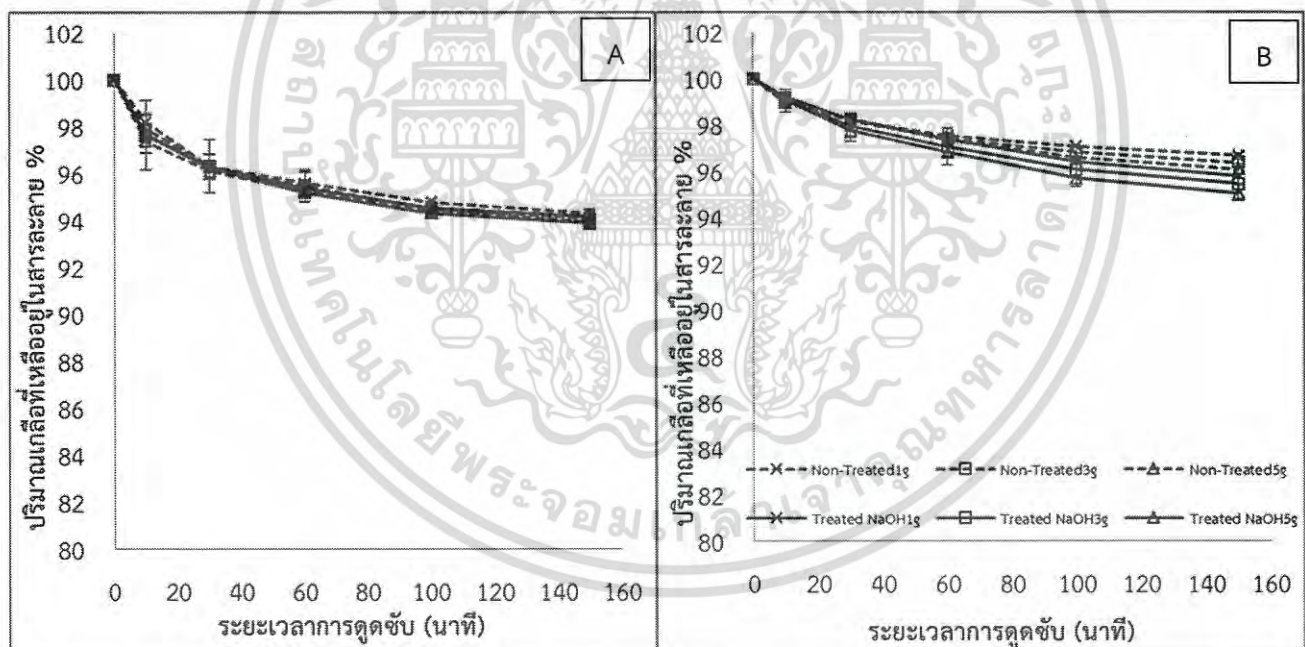


รูปที่ 4.3 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลายที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิแบบอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกมีประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในอัตราที่สูงทั้งฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ปรับสภาพจนถึงเวลา 60 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์จะเริ่มมีอัตราที่ลดลง (Nasehir Khan E M Yahaya, 2011) เนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ในการดูดซับมีมากทำให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่อเวลาผ่านไป โซเดียมคลอไรด์จะเข้าไปเกาะบนพื้นที่ผิวของฟางข้าวทำให้การดูดซับใหม่เป็นไปได้ยากขึ้น (ธิดาพร ฤทธิศร, 2556) และพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟางข้าวเพิ่มขึ้น (Yiping Guo, et al., 2016) เนื่องจากมีพื้นที่ในการสัมผัสเพิ่มขึ้น และฟางข้าวที่ปรับสภาพก็ยังมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าฟางข้าวตลอดทุกช่วงเวลาการทดลอง (Xiao Wang et al., 2001) ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ (Bo Zhu et al., 2008) ที่ระบุว่าประสิทธิภาพการดูดซับของต้นถั่วเหลืองที่ปรับสภาพสูงกว่าต้นถั่วเหลืองที่ไม่ปรับสภาพ



รูปที่ 4.4 ร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติผลการการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลาย

จากการวิเคราะห์ตาราง ANOVA ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จากสารละลายในตารางที่ 4.1 พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อค่าประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และเมื่อทดสอบหาค่าปฏิกริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยพบว่า ปัจจัยความ (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (B)อุณหภูมิสารละลาย มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (D)ปริมาณฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กัน ซึ่งทุกปัจจัยมีปฏิกริยาที่สัมพันธ์กันที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์



ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลการการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์จากสารละลายได้แก่ A:ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ B:อุณหภูมิสารละลาย C: ชนิดฟางข้าว D: ปริมาณฟางข้าว E: ระยะเวลาในการทดลอง

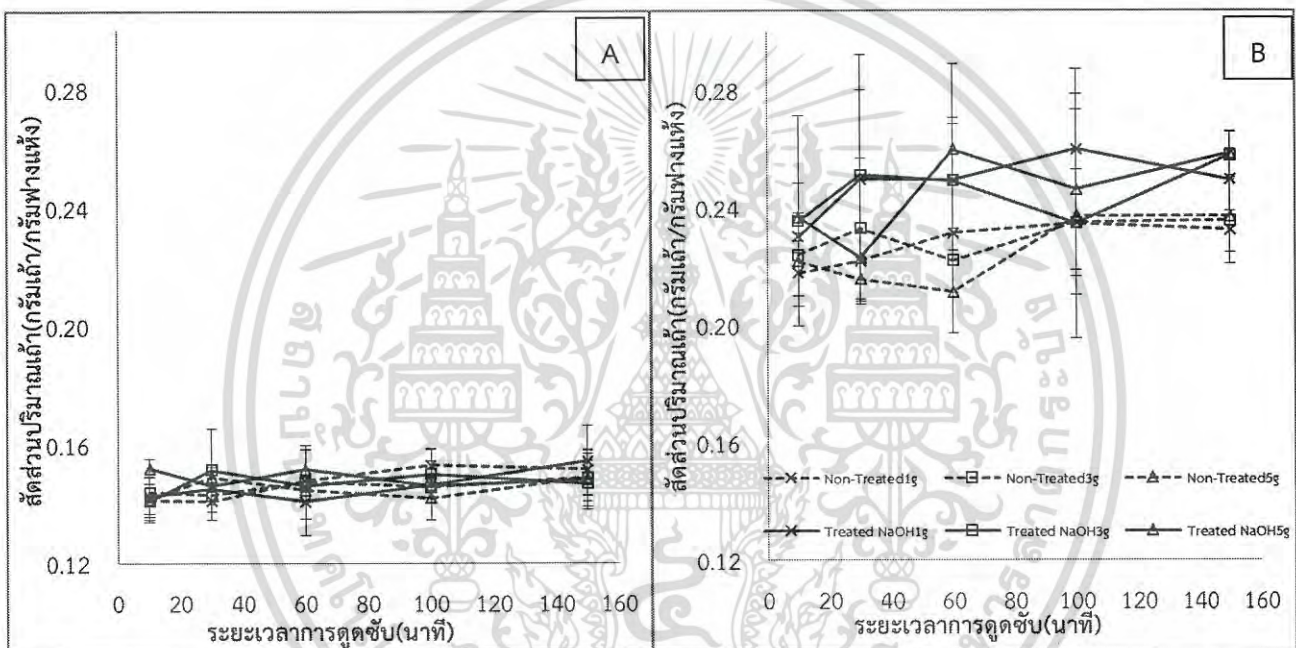
SOV	df	SS	MS	F-Value	
Treatment	179	6,502.95277	36.33	185.31	**
A	1	335.24184	335.24	1,709.98	**
B	2	3.23E+03	1.62E+03	8,238.39	**
C	1	4.49E+01	4.49E+01	229.00	**
D	2	2.40E+01	1.20E+01	61.09	**
E	4	1.32E+03	3.29E+02	1,678.94	**
A-B	2	1.31E+02	6.53E+01	333.11	**
A-C	1	3.13E+00	3.13E+00	15.98	**
A-D	2	1.88E+00	9.41E-01	4.80	**
A-E	4	3.42E+01	8.54E+00	43.56	**
B-C	2	6.53E+01	3.27E+01	166.62	**
B-D	4	2.64E+01	6.61E+00	33.72	**
B-E	8	1.14E+03	1.43E+02	727.48	**
C-D	2	7.85E-01	3.93E-01	2.00	**
C-E	4	9.62E+00	2.41E+00	12.27	**
D-E	8	7.99E+00	9.99E-01	5.09	**
A-B-C	2	2.17E+02	1.09E+02	554.29	**
A-B-D	4	1.66E+02	4.15E+01	211.43	**
A-B-E	8	1.37E+03	1.71E+02	870.78	**
A-C-D	2	7.32E+00	3.66E+00	18.66	**
A-C-E	4	4.71E+01	1.18E+01	60.01	**
A-D-E	8	4.45E+01	1.11E+01	56.80	**
B-C-D	4	9.48E+01	2.37E+01	120.84	**
B-C-E	8	1.22E+03	1.53E+02	779.85	**
C-D-E	8	1.99E+01	2.49E+00	12.70	**
A-B-C-D	4	2.66E+02	6.64E+01	338.80	**
A-B-C-E	8	1.47E+03	1.84E+02	938.70	**
A-C-D-E	8	6.24E+01	7.80E+00	39.81	**
B-C-D-E	16	1.28E+03	7.98E+01	406.97	**
A-B-C-D-E	16	1.55E+03	9.70E+01	494.76	**
Error	360.00	7.06E+01	1.96E-01		
Total	539.00	6,573.53			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับ

4.3.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิห้อง

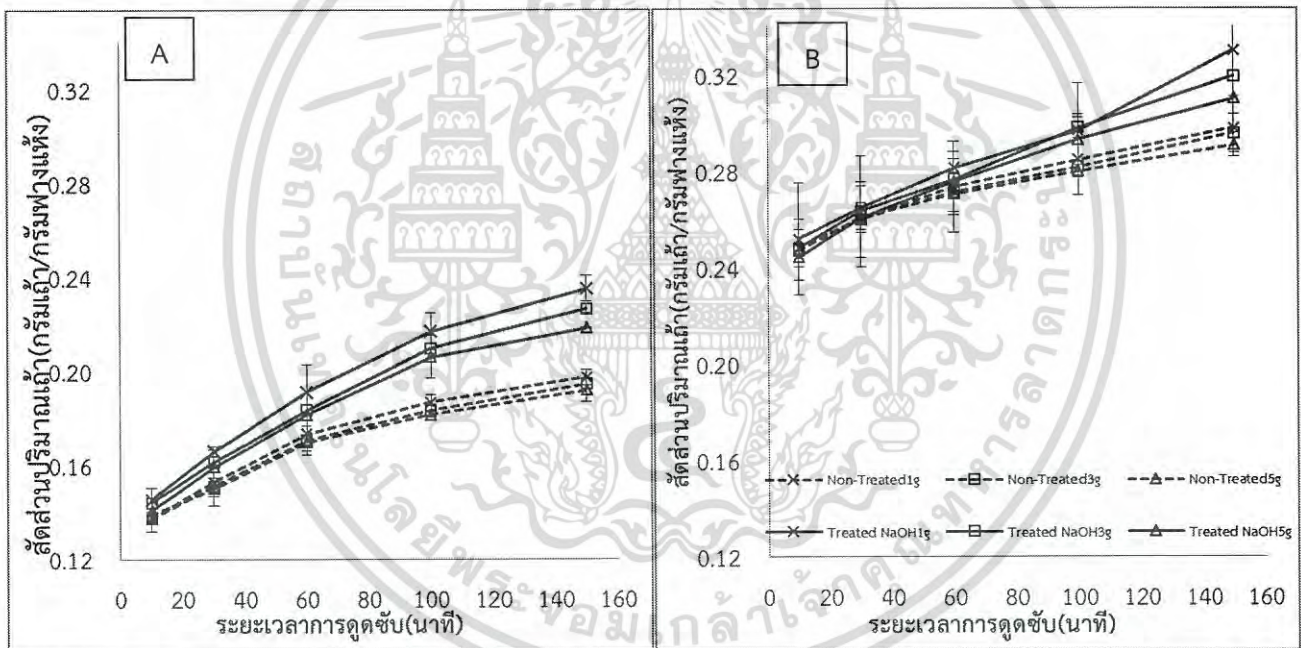
จากกราฟที่แสดงในรูป 4.5 แสดงผลการศึกษาค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าจากการทดลองที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์เริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิห้อง พบว่าตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองมีค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าที่ต่ำและใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการทดลองทั้งฟางข้าวที่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ รวมทั้งปริมาณฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นก็ได้ส่งผลทำให้สัดส่วนปริมาณเถ้าสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.3.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

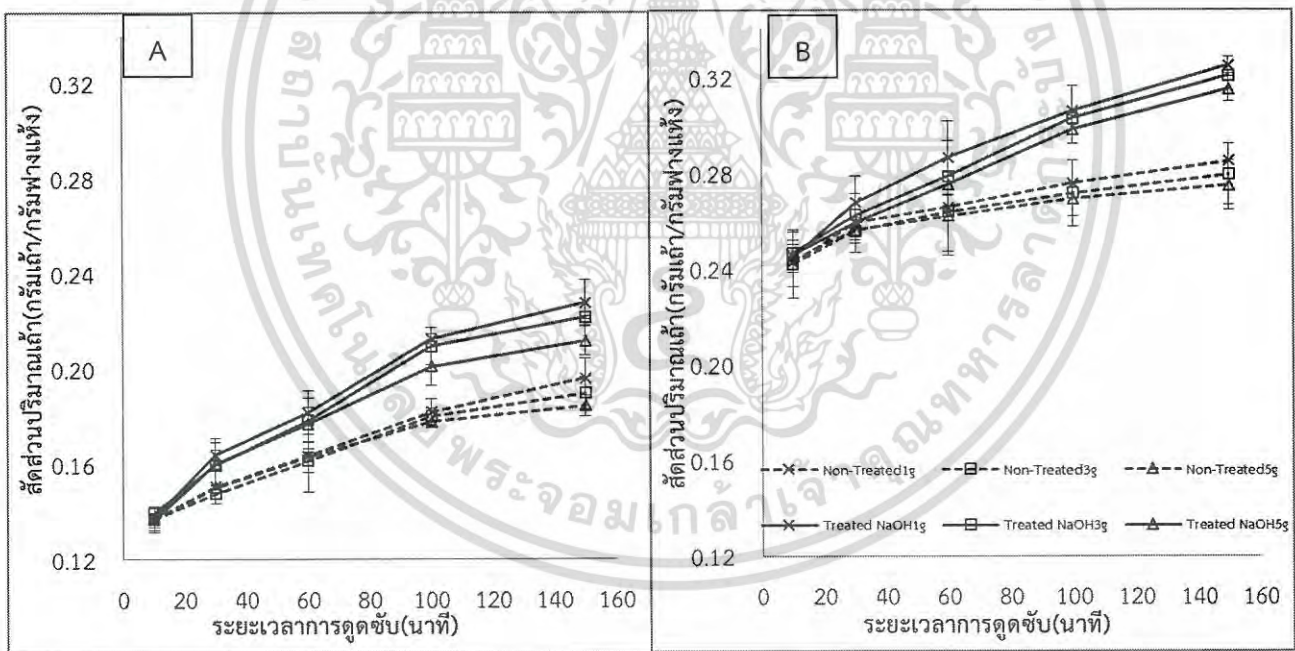
จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาสัดส่วนปริมาณเถ้าจากการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร จากกราฟการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนปริมาณเถ้ามีอัตราที่สูงตลอดระยะเวลาการดูดซับทั้งฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ปรับสภาพ เนื่องจากการให้ความร้อนจะช่วยกระตุ้นการดูดซับให้สูงขึ้น และสัดส่วนปริมาณเถ้าจะเริ่มลดลงเมื่อถึงเวลา 100 นาที พบว่าเมื่อปริมาณฟางข้าวเพิ่มขึ้นจะมีผลให้สัดส่วนปริมาณเถ้าลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณฟางข้าวเพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนระหว่างฟางข้าวต่อสารละลายมีค่าลดลง (Renmin Gong, et al., 2005) โดยเมื่อฟางข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้สัดส่วนปริมาณเถ้าลดลงด้วย และพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพมีสัดส่วนปริมาณเถ้าสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตลอดทุกช่วงเวลาการทดลอง



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.3.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิ ลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

จากกราฟที่แสดงในรูป 4.7 แสดงผลการศึกษาค่าสัดส่วนปริมาณเถ้า จากการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกมีค่าสัดส่วนปริมาณเถ้า เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ปรับสภาพจนถึงเวลา 100 นาที จะเริ่มมีอัตราที่ลดลง เนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ในการดูดซับมีมากทำให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่เมื่อเวลาผ่านไปโซเดียมคลอไรด์ จะเข้าไปเกาะบนพื้นที่ผิวของฟางข้าวทำให้การดูดซับใหม่เป็นไปได้ยากขึ้นและพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณฟางข้าวจะมี ผลให้สัดส่วนเถ้าลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณฟางข้าวเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของสารละลายต่อวัสดุดูดซับมีค่าลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang Ding et al, (2012) ที่พบว่าเมื่อปริมาณสารดูดซับเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้นแต่ค่าการดูดซับต่อหน่วยลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพมีสัดส่วน ปริมาณเถ้าสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตลอดระยะเวลาการดูดซับเนื่องจากฟางข้าวที่ปรับสภาพจะมีพื้นที่หรือ ช่องว่างในการดูดซับสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สุพรรณษา มีถาวร, (2556)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางที่ผ่านการดูดซับที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติผลการศึกษาค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการดูดซับ

จากการวิเคราะห์ตาราง ANOVA ผลการศึกษาค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวในตารางที่ 4.2 พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และเมื่อทดสอบหาค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยพบว่า ปัจจัยความ(A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (B)อุณหภูมิสารละลาย มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (D)ปริมาณฟางข้าว ไม่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (D)ปริมาณฟางข้าว ไม่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (D)ปริมาณฟางข้าว ไม่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (D)ปริมาณฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง ไม่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ซึ่งปัจจัยส่วนใหญ่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กันที่มีผลต่อค่าสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าว ยกเว้นปัจจัย (D)ปริมาณฟางข้าว เมื่อทำการทดสอบหาค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์แล้วไม่มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กับปัจจัยอื่น



ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติผลการการศึกษาสัดส่วนปริมาณไส้ได้แก่ A:ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ B:อุณหภูมิสารละลาย C: ชนิดฟางข้าว D: ปริมาณฟางข้าว E: ระยะเวลาในการทดลอง

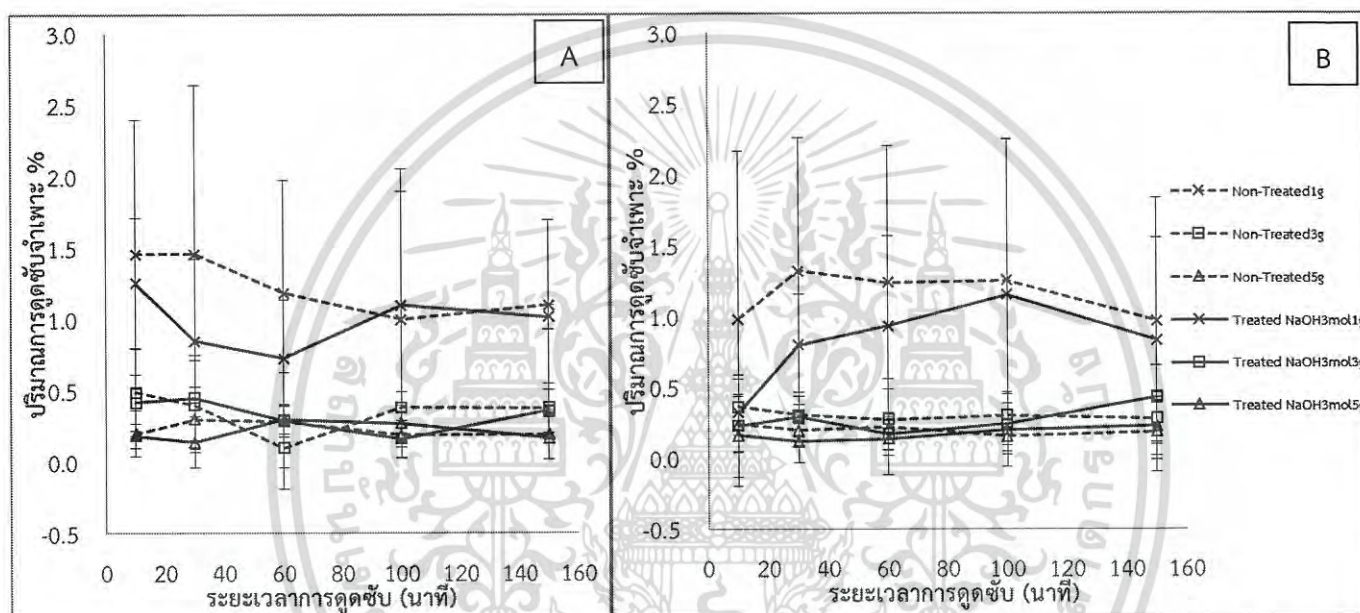
SOV	df	SS	MS	F-Value	
Treatment	179	1.63806	0.01	71.14	**
A	1	1.26056	1.26	9799.30	**
B	2	1.30E-01	6.52E-02	507.13	**
C	1	2.65E-02	2.65E-02	206.24	**
D	2	1.66E-03	8.28E-04	6.44	**
E	4	1.46E-01	3.64E-02	283.00	**
A-B	2	2.84E-03	1.42E-03	11.04	**
A-C	1	4.42E-04	4.42E-04	3.44	**
A-D	2	4.50E-05	2.25E-05	0.17	NS
A-E	4	6.94E-04	1.73E-04	1.35	*
B-C	2	1.56E-03	7.78E-04	6.05	**
B-D	4	4.52E-04	1.13E-04	0.88	NS
B-E	8	4.15E-02	5.19E-03	40.37	**
C-D	2	1.27E-04	6.36E-05	0.49	NS
C-E	4	6.94E-03	1.74E-03	13.49	**
D-E	8	9.17E-04	1.15E-04	0.89	NS
A-B-C	2	8.62E-03	4.31E-03	33.51	**
A-B-D	4	3.44E-03	8.61E-04	6.69	**
A-B-E	8	4.80E-02	6.00E-03	46.66	**
A-C-D	2	6.34E-04	3.17E-04	2.46	**
A-C-E	4	8.50E-03	2.13E-03	16.52	**
A-D-E	8	2.22E-03	5.56E-04	4.32	**
B-C-D	4	2.46E-03	6.16E-04	4.79	**
B-C-E	8	5.44E-02	6.80E-03	52.88	**
C-D-E	8	8.37E-03	1.05E-03	8.13	**
A-B-C-D	4	9.78E-03	2.44E-03	19.01	**
A-B-C-E	8	6.62E-02	8.28E-03	64.33	**
A-C-D-E	8	1.07E-02	1.34E-03	10.43	**
B-C-D-E	16	5.87E-02	3.67E-03	28.54	**
ABCDE	16	7.32E-02	4.58E-03	35.58	**
Error	360.00	4.63E-02	1.29E-04		
Total	539.00	1.68			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าว

4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะอุณหภูมิห้อง

ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิห้องพบว่าตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองมีค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะที่น้อยมากทั้งฟางข้าวที่ปรับสภาพและฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ถึงแม้ปริมาณฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลกระทบทำให้ปริมาณการดูดซับจำเพาะสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.8 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองท่าสถานะอุณหภูมิห้อง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

4.4.2 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวทั้งสองสภาวะมีความสอดคล้องกัน โดยมีค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สูง เนื่องจากการทดลองที่อุณหภูมิสูงจะเพิ่มอัตราการแพร่ของโมเลกุลของสารละลาย ผ่านชั้นขอบภายนอกและรูภายในของวัสดุดูดซับเนื่องจากความหนืดของสารละลายลดลง (Shamik et.al., 2011) ในช่วง 0-100 นาที จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับจำเพาะอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 100 นาที สอดคล้องกับการทดลองของ Hengpeng Ye, (2010) ที่อธิบายไว้ว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรก แล้วจะเริ่มเข้าสู่สมดุล หลังจากนั้น ปริมาณการดูดซับจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนฟางข้าวเพิ่มขึ้น พบว่าที่สัดส่วนฟางข้าว(dose) 0.01 กรัม/มิลลิลิตร มีค่าสูงสุดรองลงมา คือ 0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Padmavathy K. S, (2016) ที่ได้ทำการทดลองการกำจัดโครเมียมพบว่าเมื่อสัดส่วนวัสดุดูดซับ (dose) เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการดูดซับลดลงไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพมีค่าปริมาณดูดซับจำเพาะที่สูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตลอดทุกช่วงเวลา โดย Sagnik C et.al, (2011) อธิบายถึงการปรับปรุงคุณภาพแกลบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้เกิดรอยร้าวของส่วนที่เป็นรูปกรวยและเพิ่มความขรุขระของผิวชั้น

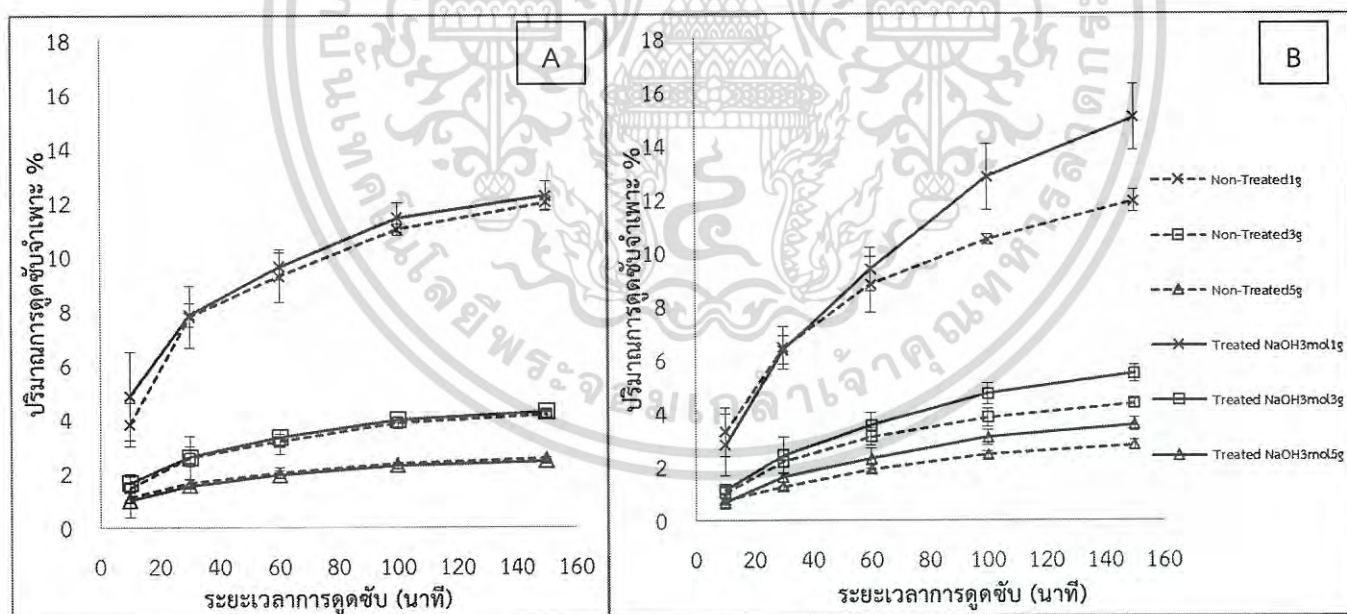


รูปที่ 4.9 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะ 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 35 กรัม/ลิตร ที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวทั้งสองสภาวะมีความสอดคล้องกัน โดยในช่วง 0-60 นาที จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดซับจำเพาะอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 60 นาที ซึ่ง Bo Zhu et.al., (2008) อธิบายไว้ว่าในช่วงแรกภายในวัสดุดูดซับจะมีช่องว่างอยู่มากหลังจากที่เกิดการดูดซับขึ้นและเวลาผ่านไปจะทำให้พื้นที่ในการดูดซับลดลงจึงส่งผลให้มีการดูดซับลดลงตามไปด้วย ปริมาณการดูดซับจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนฟางข้าวเพิ่มขึ้น พบว่าที่สัดส่วนฟางข้าว (dose) 0.01 กรัม/มิลลิลิตร มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ 0.03 และ 0.05 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่ง Clini et.al., (2007) อธิบายไว้ว่าการรวมตัวระหว่างวัสดุดูดซับกับสารดูดซับจะทำให้พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับลดลงและเพิ่มระยะทางในการแพร่มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟางข้าวที่ปรับสภาพมีค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพตลอดทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hengpeng Ye., (2010) ที่อธิบายไว้ว่าแกลป์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีจลนศาสตร์การดูดซับที่สูงกว่าแกลป์ที่ไม่มีการปรับสภาพเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นที่ผิว



รูปที่ 4.10 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ทำการทดลองที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร (A) และที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าว

จากการวิเคราะห์ตาราง ANOVA ผลการศึกษาปริมาณการดูดซับจำเพาะในตารางที่ 4.3 พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และเมื่อทดสอบหาค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยพบว่า ปัจจัยความ(A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (B)อุณหภูมิสารละลาย มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (A)เข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (C)ชนิดฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (B)อุณหภูมิสารละลาย และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (D)ปริมาณฟางข้าว มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (C)ชนิดฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ปัจจัย (D)ปริมาณฟางข้าว และ (E)ระยะเวลาในการทดลอง มีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กัน ซึ่งทุกปัจจัยมีปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กันที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับจำเพาะ



ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ A:ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ B:อุณหภูมิสารละลาย C: ชนิดฟางข้าว D: ปริมาณฟางข้าว E: ระยะเวลาในการทดลอง

SOV	df	SS	MS	F-Value	
Treatment	179	18226.21305	101.82	175.44	**
A	1	18.84632	18.85	32.47	**
B	2	5.47E+03	2.73E+03	4710.45	**
C	1	7.33E+01	7.33E+01	126.34	**
D	2	4.41E+03	2.21E+03	3803.07	**
E	4	2.29E+03	5.73E+02	986.46	**
A-B	2	4.83E+01	2.42E+01	41.64	**
A-C	1	1.27E+00	1.27E+00	2.18	**
A-D	2	8.53E+00	4.26E+00	7.34	**
A-E	4	2.82E+01	7.05E+00	12.14	**
B-C	2	1.00E+02	5.02E+01	86.53	**
B-D	4	2.10E+03	5.26E+02	905.66	**
B-E	8	1.87E+03	2.34E+02	403.25	**
C-D	2	3.02E+01	1.51E+01	26.04	**
C-E	4	2.01E+01	5.02E+00	8.66	**
D-E	8	8.82E+02	1.10E+02	189.86	**
A-B-C	2	1.52E+02	7.60E+01	130.98	**
A-B-D	4	2.19E+03	5.49E+02	945.13	**
A-B-E	8	1.96E+03	2.45E+02	422.21	**
A-C-D	2	4.48E+01	2.24E+01	38.61	**
A-C-E	4	5.54E+01	1.38E+01	23.85	**
A-D-E	8	9.28E+02	2.32E+02	399.64	**
B-C-D	4	2.28E+03	5.71E+02	983.00	**
B-C-E	8	2.01E+03	2.51E+02	431.92	**
C-D-E	8	9.43E+02	1.18E+02	203.04	**
A-B-C-D	4	2.39E+03	5.98E+02	1029.75	**
A-B-C-E	8	2.11E+03	2.63E+02	453.60	**
A-C-D-E	8	1.01E+03	1.26E+02	217.02	**
B-C-D-E	16	5.78E+03	3.61E+02	622.35	**
ABCDE	16	5.96E+03	3.73E+02	642.02	**
Error	360.00	2.09E+02	5.80E-01		
Total	539.00	18435.15			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของของฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ออกจากสารละลาย โดยศึกษาวัสดุดูดซับได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพกับฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร และระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-150 นาที ความเข้มข้นของสารละลาย 20 และ 35 กรัม/ลิตร และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพที่เตรียมขึ้นและศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ออกจากสารละลายผลการทดลองพบว่า

ประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์โดยการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ในสารละลายและสัดส่วนปริมาณเก่าในวัสดุดูดซับพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร และ 35 กรัม/ลิตร รวมทั้งเมื่อสัดส่วนฟางข้าว(dose) เพิ่มขึ้นจาก 0.01-0.05 กรัม/มิลลิลิตร ก็ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้นตามไปด้วย และที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส กับ อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่สถานะอุณหภูมิห้อง เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ของฟางข้าวที่ปรับสภาพมีค่าสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

จากการศึกษาสัดส่วนปริมาณเก่าพบว่าเมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นวัสดุดูดซับจะมีสัดส่วนปริมาณเก่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราการดูดซับมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณวัสดุดูดซับพบว่าเมื่อสัดส่วนวัสดุดูดซับ (dose) เพิ่มขึ้นสัดส่วนปริมาณเก่าในวัสดุดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสัดส่วนของสารละลายต่อวัสดุดูดซับมีค่าลดลง โดยที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส กับอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีค่าสัดส่วนเก่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ยกเว้นที่สถานะอุณหภูมิห้องเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลทำให้ค่าสัดส่วนปริมาณเก่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และจากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนปริมาณเก่าในวัสดุดูดซับฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

นอกจากนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะพบว่าค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น และเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่ระยะเวลา 100 นาที ที่สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส แต่ที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส จะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลา 60 นาที แต่เมื่อพิจารณาปริมาณวัสดุดูดซับพบว่าเมื่อสัดส่วนวัสดุดูดซับ(dose) เพิ่มขึ้นค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะในวัสดุดูดซับมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัดส่วนของสารละลายต่อวัสดุดูดซับมีค่าลดลงสอดคล้องกับผลการศึกษาสัดส่วนปริมาณแล้ว โดยที่สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส กับอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีความปริมาณการดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลายกเว้นที่สถานะอุณหภูมิห้องเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลทำให้ค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้น และจากการเปรียบเทียบค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าสูงกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การทดลองใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก และมีวิธีการใช้ที่ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่สำหรับการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ต้องใช้ต้นทุนสูงและมีความยากลำบากในการดำเนินการติดตั้ง
- 2) ควรมีการศึกษาสภาวะในการทดลองอื่นๆ เช่น ค่า pH ความเร็วในการกวน ขนาดวัสดุดูดซับ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้ดียิ่งขึ้น
- 3) ฟางที่ผ่านการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับควรมีการนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เนื่องจากมีส่วนประกอบของโซเดียมคลอไรด์ หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
- 4) อาจมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ เช่น แกลบ กาบมะพร้าว ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด ผักตบชวา ขี้เลื่อย ฯลฯ ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเช่นเดียวกับฟางข้าวซึ่งอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับได้

บรรณานุกรม

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. การวิเคราะห์หัลโคไรด์ในน้ำ. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.diw.go.th/Research/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9C%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%9E0%B8%A3%E0%B9%88/A12-Chloride.pdf> สืบค้นเมื่อ 2 พ.ค. 2560
- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ปริมาณฟางข้าวเหลือทิ้งปี พ.ศ.2552. [Online] เข้าถึงได้จาก: http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=486 สืบค้นเมื่อ 20 พ.ค. 2560
- จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์ และอรุรา ทิพรา. 2549. “ประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวเผาในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเสื้อกักบ้านแพง จ.มหาสารคาม.” ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม
- ฟางข้าว "ขยะ" ทางการเกษตร. [Online] เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkarn.com/varticle/43896> สืบค้นเมื่อ 20 พ.ค. 2560
- นครินทร์ แพรชาย. 2549. “การกำจัดสีย้อมจากน้ำล้างสีย้อมผ้าโยการใช้แกลบที่ปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมี.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- นพวรรณ ขจรเกียรติกุล, ปาริชาติ บรรลิจิต และวรรณวรงค์ ซูประเสริฐ. 2548. “การดูดซับโลหะตะกั่วโดยใช้ฟางข้าว.” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- สกว พงษ์ขวัญ. 2558. “การวิเคราะห์ปริมาณเกลือของปลาซาร์ดินในน้ำเกลือในอุตสาหกรรมผลิตปลาซาร์ดิน กระป๋องด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ
- สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ. 2549. “การดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียโดยสหร่าย.” รายงานวิจัยภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ
- สุพรรณษา มีถาวร. 2556. “การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของฟางข้าวในระหว่างการย้อมผ้า.” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ
- ธิดาพร ฤทธิศรี, เบญจวรรณ จิตรพวน และแสงสุรีย์ ศรีสะอาด. 2556. “การดูดซับทองแดงโดยใช้ขี้เลื่อยยูคา ลิปัดสปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์.” ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม(ต่อ)

- อัญชลี นันตี. 2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงและนิกเกิลไอออนในน้ำเสีย โดยใช้เปลือกส้มและขาน้ำอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ CaCl₂.” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารพระบั๋ง, กรุงเทพฯ
- อารยา ประดับวงศ์. 2548. “ประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำเสียย้อมผ้าของเปลือกหอยเชอรี่และเปลือกหอยแครง.” ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- Ayse Toson, et al. 2012. “Adsorption of Cadmium from Aqueous Solutions onto Coffee Grounds and Wheat Straw: Equilibrium and Kinetic Study.” Gazi university Journal of science. 25: 783-791
- Bo Zhu., Tongxiang Fan., Di Zhang. 2008. “Adsorption of copper ions from aqueous solution by citric acid modified soybean straw.” Journal of Hazardous Materials. 153: 300-308
- Cellulose. 2017. [Online] Available : <http://www.dharmatrading.com/cellulose.html>
- Danald, L.S. 1999. “Soil Physical Chemistry.” 2nd.ed., CRC Press, USA: 47-87
- D.I. Hills, D.W. Roberts. 1981. “Anaerobic digestion of dairy manure and field crop residues.” Journal of Agricultural Wastes. 3: 179-189
- Fei Yao, Qinglin Wu, Yong Lei and Yanjun Xu. 2008. “Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading.” Industrial crops and products. 2: 63-72
- G. Crini, H.N. Peindy, F. Gimbert, C. Robert. 2007. “Removal of C.I. Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: Kinetic and equilibrium studies.” Separation and Purification Technology. 53: 97-110
- Hengpeng Ye, Qing Zhu and Dongyun Du. 2010. “Adsorptive removal of Cd(II) from aqueous solution using natural and modified rice husk.” Bioresource Technolog. 101: 5175-5179
- Hong Guo, Shufen Zhang, Zinong Kou, Shangru Zhai, Wei Ma, Yi Yang. 2015). “Removal of cadmium(II) from aqueous solutions by chemically modified maize straw.” Carbohydrate Polymers. 115: 177-185
- Nandita Sarker and A. N. M. Fakhruddin. 2015. “Removal of phenol from aqueous solution using rice straw as adsorbent.” Applied Water Science. 7: 1459-1465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม(ต่อ)

- Nader Yousefi, et al. 2011. "Adsorption of Reactive Black 5 Dye onto Modified Wheat Straw : Isotherm and Kinetics Study." *Sacha Journal of Environmental Studies*. 1: 81-91
- N. Nasuha., B.H. Hameed, Azam T., Mohd Din. 2010. "Rejected tea as a potential low-cost adsorbent for the removal of methylene blue." *Journal of Hazardous Materials*. 175: 126–132
- Nasehir Khan E M Yahaya, et al. 2011. "Adsorptive Removal of Cu (II) Using Activated Carbon Prepared From Rice Husk by ZnCl₂ Activation and Subsequent Gasification with CO₂." *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*. 11: 164-168
- Padmavathy K. S, G.Madhu, Haseena. P.V. 2016. "A study on Effects of pH, Adsorbent Dosage, Time, Initial Concentration and Adsorption Isotherm Study for the Removal of Hexavalent Chromium (Cr (VI)) from Wastewater by Magnetite Nanoparticles." *Journal of Procedia Technology*. 24: 585-594
- Renmin Gong., et al. 2005. "Removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on peanut hull." *Journal of Hazardous Materials*. 121: 247–250
- Sagnik C., Shamik C., and Papita D. S. 2011. "Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk." *Journal of Carbohydrate polymer*. 86: 1533-1541
- Shamik Chowdhury, Rahul Mishra, Papita Saha, Praveen Kushwaha. 2011. "Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk." *Journal of Desalination*. 265: 159-167
- Tarley C. R. T., Arruda M. A. Z. 2004. "Biosorption of heavy metals using rice milling by-products Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents." *Journal of Chemosphere*. 54: 987-995
- Xiao Wang., et al. 2001. "Studies on Adsorption of Uranium (VI) from Aqueous Solution by Wheat Straw." *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 31: 566-577
- Yang Ding., et al. 2012. "Biosorption of aquatic cadmium(II) by unmodified rice straw." *Bioresource Technology*. 114: 20–25
- Yiping Guo, Weiyong Zhu, Guoting Li, Xiaomin Wang, and Lingfeng Zhu. 2016. "Effect of Alkali Treatment of Wheat Straw on Adsorption of Cu (II) under Acidic Condition." *Journal of Chemistry*. 2016: 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



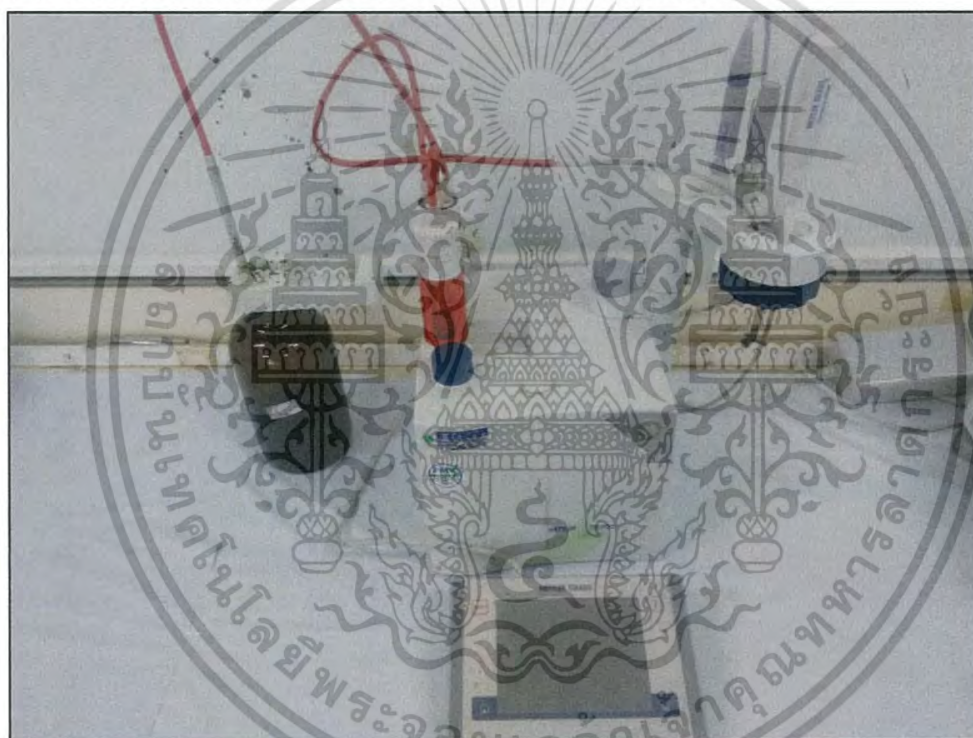
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจสอบความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์

ในการตรวจสอบความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีหลายวิธีที่ใช้ตรวจสอบได้ ซึ่งเครื่อง Auto Titration ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมและมีความแม่นยำสูง ดังนั้นจึงเหมาะกับการนำมาประยุกต์สำหรับการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่หลังจากผ่านการทดลองการดูดซับด้วยฟางข้าว


หลักการทำงาน(ประยุกต์ตามวิธีของ สกาว พงษ์ขวัญ, 2558)

การวัดค่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์โดยเครื่อง Auto-Titrator นั้นจะเริ่มโดยการไตเตรทสารละลายเกลือแกงด้วยซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ Cl^- ตกตะกอนเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) เครื่องจะทำการหยุดสารซิลเวอร์ไนเตรทลงในตัวอย่างโดยอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องทำการหาจุดยุติจากกราฟ (ซิลเวอร์ไอออนทำปฏิกิริยาพอดีกับคลอไรด์ไอออน) และนำปริมาณซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้มาคำนวณหาร้อยละของโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ ก.1 เครื่อง Mettler Toledo Auto-titrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเนื้อหาในวัสดุชุดซ้ำและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ
ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเนื้อหาในวัสดุชุดซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ หลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาณสารละลาย 0.01,0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง คงที่ 90 องศาเซลเซียส และ ลดลงจาก 90 องศาเซลเซียสความเข้มข้นไฮเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
		ฟางข้าวแห้ง			0.12883	0.14366	0.12805	0.13189
					0.12790	0.13173	0.12729	
					0.13609	0.13303	0.13039	
20	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.13499	0.14512	0.14408	0.14140
				30	0.14793	0.13551	0.13986	0.14110
				60	0.15037	0.14690	0.14635	0.14787
				100	0.15881	0.15302	0.14719	0.15301
				150	0.14598	0.15910	0.15015	0.15174
		0.03g/ml	10	0.15075	0.13655	0.14458	0.14396	
			30	0.13922	0.13693	0.15252	0.14289	
			60	0.14977	0.14449	0.14808	0.14745	
			100	0.14952	0.14277	0.14492	0.14574	
			150	0.15498	0.14802	0.14348	0.14883	
0.05g/ml	10	0.13321	0.14845	0.14278	0.14148			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.05g/ml	30	0.14727	0.14993	0.15021	0.14914
				60	0.13240	0.16164	0.13989	0.14465
				100	0.14163	0.14394	0.14080	0.14212
				150	0.14309	0.15803	0.14581	0.14898
		NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.14203	0.15052	0.13498	0.14251
				30	0.14437	0.14195	0.14950	0.14527
				60	0.13499	0.14651	0.14124	0.14091
				100	0.16022	0.13952	0.13999	0.14657
			0.03g/ml	150	0.16777	0.14496	0.15080	0.15451
				10	0.13610	0.14442	0.14250	0.14101
				30	0.14222	0.14485	0.16764	0.15157
				60	0.14490	0.14699	0.14660	0.14617
			0.05g/ml	100	0.15458	0.15039	0.14523	0.15007
				150	0.14062	0.14452	0.15561	0.14692
			0.05g/ml	10	0.15077	0.15581	0.14967	0.15208
				30	0.13896	0.15016	0.14923	0.14612

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา(min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิห้อง	NaOH Treated	0.05g/ml	60	0.15940	0.14686	0.14866	0.15164
				100	0.14869	0.14650	0.14367	0.14629
				150	0.14264	0.14213	0.15963	0.14813
	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.13894	0.13627	0.13689	0.13737
				30	0.15396	0.14624	0.15821	0.15281
				60	0.16486	0.17264	0.18218	0.17323
				100	0.18330	0.18720	0.18954	0.18668
				150	0.19827	0.19343	0.20014	0.19728
				10	0.13691	0.13878	0.13583	0.13717
			0.03g/ml	30	0.15487	0.15048	0.14807	0.15114
				60	0.17026	0.17176	0.17002	0.17068
				100	0.18348	0.18023	0.18580	0.18317
			0.05g/ml	150	0.19666	0.19438	0.19255	0.19453
				10	0.13212	0.13817	0.14681	0.13903
				30	0.15474	0.15311	0.14175	0.14987
			60	0.17213	0.17158	0.16563	0.16978	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	Non-Treted	0.05g/ml	100	0.18001	0.18251	0.18217	0.18156
				150	0.18601	0.19391	0.19542	0.19178
		NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.14692	0.14926	0.13966	0.14528
				30	0.16332	0.16672	0.16741	0.16582
				60	0.18213	0.18714	0.20447	0.19125
				100	0.22573	0.21019	0.21523	0.21705
				150	0.23149	0.23224	0.24142	0.23505
				10	0.14046	0.14060	0.15119	0.14408
				30	0.15865	0.16342	0.16240	0.16149
				60	0.18224	0.18569	0.18260	0.18351
				100	0.20486	0.21597	0.20809	0.20964
				150	0.22810	0.22459	0.22644	0.22637
		0.05g/ml	10	0.14273	0.13436	0.14467	0.14059	
			30	0.16757	0.15442	0.15571	0.15923	
			60	0.18399	0.17623	0.18389	0.18137	
			100	0.20720	0.21423	0.19628	0.20590	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	NaOH Treated	0.05g/ml	150	0.21863	0.21827	0.21802	0.21831
				10	0.13443	0.13428	0.14299	0.13723
	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	30	0.15101	0.15124	0.14958	0.15061
				60	0.17127	0.14588	0.17289	0.16335
				100	0.17544	0.18406	0.18623	0.18191
				150	0.18841	0.20518	0.19412	0.19590
				10	0.13617	0.13860	0.13684	0.13721
				30	0.14316	0.14934	0.15039	0.14763
			0.03g/ml	60	0.15938	0.15772	0.16709	0.16140
				100	0.18347	0.17994	0.17675	0.18005
				150	0.18335	0.18920	0.19678	0.18978
			0.05g/ml	10	0.13726	0.13767	0.13551	0.13681
				30	0.15080	0.14890	0.15060	0.15010
				60	0.16380	0.16507	0.16094	0.16327
				100	0.17773	0.17787	0.17764	0.17775
				150	0.17990	0.18512	0.18863	0.18455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	Cooling	NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.14201	0.13417	0.13682	0.13767
				30	0.16171	0.16336	0.16658	0.16388
				60	0.17516	0.19222	0.17764	0.18167
				100	0.21036	0.21262	0.21453	0.21250
				150	0.22422	0.22045	0.23853	0.22773
			0.03g/ml	10	0.14093	0.13689	0.14095	0.13959
				30	0.15435	0.17061	0.15361	0.15952
				60	0.16805	0.18158	0.18592	0.17851
				100	0.20180	0.21743	0.20900	0.20941
				150	0.22131	0.22240	0.22129	0.22167
			0.05g/ml	10	0.13648	0.13159	0.14236	0.13681
				30	0.17236	0.15646	0.15161	0.16015
				60	0.18505	0.17195	0.17353	0.17684
				100	0.20839	0.20210	0.19263	0.20104
				150	0.21496	0.21556	0.20455	0.21169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.21986	0.21206	0.22182	0.21791
				30	0.23774	0.22336	0.20464	0.22191
				60	0.22639	0.22975	0.23843	0.23152
				100	0.21542	0.24988	0.23916	0.23482
				150	0.25077	0.22842	0.21844	0.23254
			0.03g/ml	10	0.21326	0.21894	0.24025	0.22415
				30	0.21606	0.22250	0.26041	0.23299
				60	0.22599	0.20977	0.23069	0.22215
				100	0.22122	0.22026	0.26353	0.23500
				150	0.23817	0.22006	0.24873	0.23565
			0.05g/ml	10	0.20763	0.21990	0.23786	0.22180
				30	0.21809	0.20744	0.22205	0.21586
				60	0.19511	0.21858	0.22046	0.21138
				100	0.20809	0.21882	0.28487	0.23726
				150	0.24398	0.22296	0.24459	0.23717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.21986	0.21206	0.22182	0.21791
				30	0.23774	0.22336	0.20464	0.22191
				60	0.22639	0.22975	0.23843	0.23152
				100	0.21542	0.24988	0.23916	0.23482
				150	0.25077	0.22842	0.21844	0.23254
			0.03g/ml	10	0.21326	0.21894	0.24025	0.22415
				30	0.21606	0.22250	0.26041	0.23299
				60	0.22599	0.20977	0.23069	0.22215
				100	0.22122	0.22026	0.26353	0.23500
				150	0.23817	0.22006	0.24873	0.23565
			0.05g/ml	10	0.20763	0.21990	0.23786	0.22180
				30	0.21809	0.20744	0.22205	0.21586
				60	0.19511	0.21858	0.22046	0.21138
				100	0.20809	0.21882	0.28487	0.23726
				150	0.24398	0.22296	0.24459	0.23717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.23186	0.22935	0.22958	0.23026
				30	0.21377	0.29670	0.23881	0.24976
				60	0.22766	0.25820	0.26254	0.24947
				100	0.23400	0.28837	0.25782	0.26006
				150	0.25056	0.25985	0.23875	0.24972
			0.03g/ml	10	0.20197	0.27296	0.23193	0.23562
				30	0.21767	0.26731	0.26868	0.25122
				60	0.23085	0.22206	0.29480	0.24924
				100	0.21544	0.25162	0.23764	0.23490
				150	0.26686	0.25309	0.25404	0.25800
			0.05g/ml	10	0.23575	0.22552	0.24909	0.23678
				30	0.22473	0.21318	0.23095	0.22296
				60	0.26364	0.24763	0.26810	0.25979
				100	0.27496	0.22087	0.24289	0.24624
				150	0.26403	0.24996	0.26184	0.25861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.24942	0.24733	0.24889	0.24855
				30	0.26194	0.25911	0.26013	0.26039
				60	0.27597	0.26619	0.27848	0.27355
				100	0.29609	0.27754	0.28083	0.28482
				150	0.29576	0.29654	0.30123	0.29784
			0.03g/ml	10	0.26194	0.24002	0.24064	0.24753
				30	0.27831	0.25194	0.24986	0.26004
				60	0.29059	0.26218	0.26111	0.27129
				100	0.29503	0.27177	0.27870	0.28183
				150	0.29176	0.29074	0.30505	0.29585
			0.05g/ml	10	0.24523	0.24523	0.25102	0.24716
				30	0.26322	0.26243	0.25774	0.26113
				60	0.27150	0.26139	0.27900	0.27063
				100	0.28309	0.27787	0.27909	0.28002
				150	0.29550	0.29179	0.28551	0.29093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	90°C	NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.22539	0.26871	0.26147	0.25186
				30	0.25529	0.27328	0.26574	0.26477
				60	0.27161	0.29305	0.27972	0.28146
				100	0.28029	0.31823	0.29227	0.29693
				150	0.31184	0.34999	0.32842	0.33008
			0.03g/ml	10	0.23954	0.24981	0.25476	0.24804
				30	0.24794	0.25260	0.28997	0.26351
				60	0.27812	0.26769	0.28432	0.27671
				100	0.29935	0.29335	0.30147	0.29805
				150	0.32067	0.31684	0.32108	0.31953
			0.05g/ml	10	0.24250	0.24558	0.24502	0.24437
				30	0.25611	0.26786	0.25847	0.26081
				60	0.26222	0.27782	0.28721	0.27575
				100	0.29211	0.28333	0.30428	0.29324
				150	0.31087	0.31645	0.30355	0.31029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.24573	0.24293	0.23929	0.24265
				30	0.25899	0.26074	0.25825	0.25933
				60	0.26460	0.26688	0.26606	0.26584
				100	0.26922	0.27290	0.28470	0.27561
				150	0.28513	0.28320	0.28652	0.28495
			0.03g/ml	10	0.24823	0.22561	0.25202	0.24195
				30	0.26351	0.24558	0.25862	0.25590
				60	0.25332	0.25537	0.28294	0.26388
				100	0.26356	0.26353	0.28751	0.27153
				150	0.26502	0.28871	0.28464	0.27946
			0.05g/ml	10	0.24434	0.25503	0.23223	0.24387
				30	0.26222	0.25242	0.25389	0.25618
				60	0.26364	0.24504	0.27761	0.26209
				100	0.26450	0.26572	0.27732	0.26918
				150	0.28423	0.26366	0.27655	0.27481

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	เถ้า(g/g)			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.25158	0.24607	0.23822	0.24529
				30	0.25822	0.28003	0.26473	0.26766
				60	0.26940	0.29878	0.29127	0.28648
				100	0.29454	0.31493	0.30852	0.30600
				150	0.32874	0.32215	0.32414	0.32501
			0.03g/ml	10	0.25105	0.24440	0.24444	0.24663
				30	0.26924	0.26587	0.25253	0.26255
				60	0.29074	0.28295	0.26255	0.27875
				100	0.29967	0.30403	0.30471	0.30281
				150	0.31819	0.32224	0.32127	0.32057
			0.05g/ml	10	0.24810	0.24419	0.24524	0.24584
				30	0.25465	0.26774	0.25553	0.25931
				60	0.27862	0.27715	0.26976	0.27518
				100	0.30471	0.29486	0.29457	0.29805
				150	0.31345	0.32073	0.31094	0.31504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0003	0.0101	NS	0.0011	0.0107	NS	0.0077	0.0154	NS
	60	0.0065	0.0101	NS	0.0035	0.0107	NS	0.0032	0.0154	NS
	100	0.0116	0.0101	*	0.0018	0.0107	NS	0.0006	0.0154	NS
	150	0.0103	0.0101	*	0.0049	0.0107	NS	0.0075	0.0154	NS
30	60	0.0068	0.0101	NS	0.0046	0.0107	NS	0.0045	0.0154	NS
	100	0.0119	0.0101	*	0.0028	0.0107	NS	0.0070	0.0154	NS
	150	0.0106	0.0101	*	0.0059	0.0107	NS	0.0002	0.0154	NS
60	100	0.0051	0.0101	NS	0.0017	0.0107	NS	0.0025	0.0154	NS
	150	0.0039	0.0101	NS	0.0014	0.0107	NS	0.0043	0.0154	NS
100	150	0.0013	0.0101	NS	0.0031	0.0107	NS	0.0069	0.0154	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะเวลา การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0028	0.0160	NS	0.0106	0.0140	NS	0.0060	0.0115	NS
	60	0.0016	0.0160	NS	0.0052	0.0140	NS	0.0004	0.0115	NS
	100	0.0041	0.0160	NS	0.0091	0.0140	NS	0.0058	0.0115	NS
	150	0.0120	0.0160	NS	0.0059	0.0140	NS	0.0040	0.0115	NS
30	60	0.0044	0.0160	NS	0.0054	0.0140	NS	0.0055	0.0115	NS
	100	0.0013	0.0160	NS	0.0015	0.0140	NS	0.0002	0.0115	NS
	150	0.0092	0.0160	NS	0.0047	0.0140	NS	0.0020	0.0115	NS
60	100	0.0057	0.0160	NS	0.0039	0.0140	NS	0.0054	0.0115	NS
	150	0.0136	0.0160	NS	0.0008	0.0140	NS	0.0035	0.0115	NS
100	150	0.0079	0.0160	NS	0.0031	0.0140	NS	0.0018	0.0115	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0154	0.0095	*	0.0140	0.0042	*	0.0108	0.0098	*
	60	0.0359	0.0095	*	0.0335	0.0042	*	0.0307	0.0098	*
	100	0.0493	0.0095	*	0.0460	0.0042	*	0.0425	0.0098	*
	150	0.0599	0.0095	*	0.0574	0.0042	*	0.0527	0.0098	*
30	60	0.0204	0.0095	*	0.0195	0.0042	*	0.0199	0.0098	*
	100	0.0339	0.0095	*	0.0320	0.0042	*	0.0317	0.0098	*
	150	0.0445	0.0095	*	0.0434	0.0042	*	0.0419	0.0098	*
60	100	0.0135	0.0095	*	0.0125	0.0042	*	0.0118	0.0098	*
	150	0.0241	0.0095	*	0.0238	0.0042	*	0.0220	0.0098	*
100	150	0.0106	0.0095	*	0.0114	0.0042	*	0.0102	0.0098	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0205	0.0131	*	0.0174	0.0074	*	0.0186	0.0110	*
	60	0.0460	0.0131	*	0.0394	0.0074	*	0.0408	0.0110	*
	100	0.0718	0.0131	*	0.0656	0.0074	*	0.0653	0.0110	*
	150	0.0898	0.0131	*	0.0823	0.0074	*	0.0777	0.0110	*
30	60	0.0254	0.0131	*	0.0220	0.0074	*	0.0221	0.0110	*
	100	0.0512	0.0131	*	0.0481	0.0074	*	0.0467	0.0110	*
	150	0.0692	0.0131	*	0.0649	0.0074	*	0.0591	0.0110	*
60	100	0.0258	0.0131	*	0.0261	0.0074	*	0.0245	0.0110	*
	150	0.0438	0.0131	*	0.0429	0.0074	*	0.0369	0.0110	*
100	150	0.0180	0.0131	*	0.0167	0.0074	*	0.0124	0.0110	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0134	0.0154	NS	0.0104	0.0081	*	0.0133	0.0042	*
	60	0.0261	0.0154	*	0.0242	0.0081	*	0.0265	0.0042	*
	100	0.0447	0.0154	*	0.0428	0.0081	*	0.0409	0.0042	*
	150	0.0587	0.0154	*	0.0526	0.0081	*	0.0477	0.0042	*
30	60	0.0127	0.0154	NS	0.0138	0.0081	*	0.0132	0.0042	*
	100	0.0313	0.0154	*	0.0324	0.0081	*	0.0276	0.0042	*
	150	0.0453	0.0154	*	0.0421	0.0081	*	0.0344	0.0042	*
60	100	0.0186	0.0154	*	0.0187	0.0081	*	0.0145	0.0042	*
	150	0.0326	0.0154	*	0.0284	0.0081	*	0.0213	0.0042	*
100	150	0.0140	0.0154	NS	0.0097	0.0081	*	0.0068	0.0042	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณแก้วของฟางข้าวที่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาในการ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0262	0.0116	*	0.0199	0.0128	*	0.0233	0.0141	*
	60	0.0440	0.0116	*	0.0389	0.0128	*	0.0400	0.0141	*
	100	0.0748	0.0116	*	0.0698	0.0128	*	0.0642	0.0141	*
	150	0.0901	0.0116	*	0.0821	0.0128	*	0.0749	0.0141	*
30	60	0.0178	0.0116	*	0.0190	0.0128	*	0.0167	0.0141	*
	100	0.0486	0.0116	*	0.0499	0.0128	*	0.0409	0.0141	*
	150	0.0639	0.0116	*	0.0621	0.0128	*	0.0515	0.0141	*
60	100	0.0308	0.0116	*	0.0309	0.0128	*	0.0242	0.0141	*
	150	0.0461	0.0116	*	0.0432	0.0128	*	0.0348	0.0141	*
100	150	0.0152	0.0116	*	0.0123	0.0128	NS	0.0106	0.0141	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณแก้วของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาในการดูดซับ (min)	เปรียบเทียบกับที่ระยะเวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
10	30	0.0040	0.0248	NS	0.0088	0.0337	NS	0.0059	0.0396	NS
	60	0.0136	0.0248	NS	0.0020	0.0337	NS	0.0104	0.0396	NS
	100	0.0169	0.0248	NS	0.0109	0.0337	NS	0.0155	0.0396	NS
	150	0.0146	0.0248	NS	0.0115	0.0337	NS	0.0154	0.0396	NS
30	60	0.0096	0.0248	NS	0.0045	0.0337	NS	0.0045	0.0396	NS
	100	0.0129	0.0248	NS	0.0214	0.0337	NS	0.0214	0.0396	NS
	150	0.0106	0.0248	NS	0.0213	0.0337	NS	0.0213	0.0396	NS
60	100	0.0033	0.0248	NS	0.0259	0.0337	NS	0.0259	0.0396	NS
	150	0.0010	0.0248	NS	0.0258	0.0337	NS	0.0258	0.0396	NS
100	150	0.0023	0.0248	NS	0.0001	0.0337	NS	0.0001	0.0396	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาในการ ดูดซับ(min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
		10	30	0.0195	0.0448	NS	0.0156	0.0520	NS	0.0138
60	0.0192	0.0448	NS	0.0136	0.0520	NS	0.0230	0.0274	NS	
100	0.0298	0.0448	NS	0.0007	0.0520	NS	0.0095	0.0274	NS	
150	0.0195	0.0448	NS	0.0224	0.0520	NS	0.0218	0.0274	NS	
30	60	0.0003	0.0448	NS	0.0020	0.0520	NS	0.0368	0.0274	*
100	0.0103	0.0448	NS	0.0163	0.0520	NS	0.0233	0.0274	NS	
150	0.0000	0.0448	NS	0.0068	0.0520	NS	0.0357	0.0274	*	
60	100	0.0106	0.0448	NS	0.0143	0.0520	NS	0.0136	0.0274	NS
150	0.0003	0.0448	NS	0.0088	0.0520	NS	0.0012	0.0274	NS	
100	150	0.0103	0.0448	NS	0.0231	0.0520	NS	0.0124	0.0274	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ที่รีดเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาในการ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
		10	30	0.0118	0.0100	*	0.0125	0.0243	NS	0.0140
60	0.0250	0.0100	*	0.0238	0.0243	NS	0.0235	0.0093	*	
100	0.0363	0.0100	*	0.0343	0.0243	*	0.0329	0.0093	*	
150	0.0493	0.0100	*	0.0483	0.0243	*	0.0438	0.0093	*	
30	60	0.0132	0.0100	*	0.0113	0.0243	NS	0.0095	0.0093	*
100	0.0244	0.0100	*	0.0218	0.0243	NS	0.0189	0.0093	*	
150	0.0375	0.0100	*	0.0358	0.0243	*	0.0298	0.0093	*	
60	100	0.0113	0.0100	*	0.0105	0.0243	NS	0.0094	0.0093	*
150	0.0243	0.0100	*	0.0246	0.0243	*	0.0203	0.0093	*	
100	150	0.0130	0.0100	*	0.0140	0.0243	NS	0.0109	0.0093	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาในการ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0129	0.0313	NS	0.0155	0.0213	NS	0.0164	0.0153	*
	60	0.0296	0.0313	NS	0.0287	0.0213	*	0.0314	0.0153	*
	100	0.0451	0.0313	*	0.0500	0.0213	*	0.0489	0.0153	*
	150	0.0782	0.0313	*	0.0715	0.0213	*	0.0659	0.0153	*
30	60	0.0167	0.0313	NS	0.0132	0.0213	NS	0.0149	0.0153	NS
	100	0.0322	0.0313	*	0.0345	0.0213	*	0.0324	0.0153	*
	150	0.0653	0.0313	*	0.0560	0.0213	*	0.0495	0.0153	*
60	100	0.0155	0.0313	NS	0.0213	0.0213	*	0.0175	0.0153	*
	150	0.0486	0.0313	*	0.0428	0.0213	*	0.0345	0.0153	*
100	150	0.0332	0.0313	*	0.0215	0.0213	*	0.0171	0.0153	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส


ระยะเวลาในการดูดซับ (min)	เปรียบเทียบที่ระยะเวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
10	30	0.0167	0.0073	*	0.0140	0.0246	NS	0.0123	0.0196	NS
	60	0.0232	0.0073	*	0.0219	0.0246	NS	0.0182	0.0196	NS
	100	0.0330	0.0073	*	0.0296	0.0246	*	0.0253	0.0196	*
	150	0.0423	0.0073	*	0.0375	0.0246	*	0.0309	0.0196	*
30	60	0.0065	0.0073	NS	0.0080	0.0246	NS	0.0059	0.0196	NS
	100	0.0163	0.0073	*	0.0156	0.0246	NS	0.0130	0.0196	NS
	150	0.0256	0.0073	*	0.0236	0.0246	NS	0.0186	0.0196	NS
60	100	0.0098	0.0073	*	0.0077	0.0246	NS	0.0071	0.0196	NS
	150	0.0191	0.0073	*	0.0156	0.0246	NS	0.0127	0.0196	NS
100	150	0.0093	0.0073	*	0.0079	0.0246	NS	0.0056	0.0196	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทริตเมนต์ ข้อมูลสัดส่วนปริมาณเก่าของฟางข้าวที่ปรับสภาพ
ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาในการ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่า ความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0224	0.0186	*	0.0159	0.0145	*	0.0135	0.0096	*
	60	0.0412	0.0186	*	0.0321	0.0145	*	0.0293	0.0096	*
	100	0.0607	0.0186	*	0.0562	0.0145	*	0.0522	0.0096	*
	150	0.0797	0.0186	*	0.0739	0.0145	*	0.0692	0.0096	*
30	60	0.0188	0.0186	*	0.0162	0.0145	*	0.0159	0.0096	*
	100	0.0383	0.0186	*	0.0403	0.0145	*	0.0387	0.0096	*
	150	0.0574	0.0186	*	0.0580	0.0145	*	0.0557	0.0096	*
60	100	0.0195	0.0186	*	0.0241	0.0145	*	0.0229	0.0096	*
	150	0.0385	0.0186	*	0.0418	0.0145	*	0.0399	0.0096	*
100	150	0.0190	0.0186	*	0.0178	0.0145	*	0.0170	0.0096	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of the National Library of Thailand is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The umbrella is flanked by two smaller, three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text around the border reads "กรมหอสมุดแห่งชาติ" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณหาค่าร้อยละของโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับ
ด้วยฟางข้าวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลร้อยละของโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ ค.1 แสดงร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่หลังจากผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ระยะเวลา 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง 90 องศาเซลเซียส และลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว (g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.283	98.833	99.752	99.2892
				30	98.665	99.404	99.801	99.2901
				60	99.852	99.106	99.304	99.4207
				100	99.011	99.777	99.752	99.5131
				150	99.135	99.578	99.677	99.4632
		Non-Treated	0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.803	99.061	98.980	99.2817
				30	99.533	98.913	99.801	99.4157
				60	98.894	99.728	99.378	99.3334
				100	99.558	99.259	99.503	99.4397
				150	99.263	99.728	99.353	99.4481
		Non-Treated	0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.115	99.901	99.528	99.5146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining					
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average		
20	อุณหภูมิห้อง	NaOH Treated	0.05g/ml	30	98.697	99.802	99.304	99.2677		
				60	99.017	99.405	99.503	99.3082		
				100	99.263	99.355	100.000	99.5392		
				150	99.115	99.950	99.528	99.5311		
			0	100.000	100.000	100.000				
			10	99.157	99.404	99.604	99.3883			
			30	99.901	99.355	99.505	99.5868			
			60	99.430	99.677	99.827	99.6445			
			100	99.554	99.876	98.960	99.4631			
			150	99.529	99.454	99.529	99.5041			
			0	100.000	100.000	100.000				
			10	99.107	99.677	99.381	99.3882			
		30	98.859	99.702	99.455	99.3386				
		60	99.901	99.801	99.009	99.5705				
		100	99.926	99.801	99.554	99.7604				
		150	99.504	99.429	99.480	99.4708				
		0.01g/ml	0.03g/ml			30	98.859	99.702	99.455	99.3386
						60	99.901	99.801	99.009	99.5705
						100	99.926	99.801	99.554	99.7604
						150	99.504	99.429	99.480	99.4708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิห้อง	NaOH Treated	0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.309	99.679	99.654	99.5471
				30	99.161	99.901	99.926	99.6625
				60	99.161	99.555	99.086	99.2670
				100	99.556	98.986	99.481	99.3409
				150	99.210	99.901	99.679	99.5966
	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.831	98.373	98.523	98.5758
				30	97.029	95.736	96.579	96.4478
				60	94.666	93.690	94.142	94.1662
		0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
			10	98.581	98.426	99.117	98.7081	
			30	96.551	96.312	96.688	96.5169	
			60	93.713	93.484	93.842	93.6798	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	Non-Treated	0.03g/ml	100	90.631	89.870	90.260	90.2536
				150	88.845	87.952	87.807	88.2013
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.650	98.548	98.403	98.5338
				30	95.189	95.817	96.733	95.9130
				60	92.808	93.209	92.975	92.9971
		100		89.764	90.059	89.806	89.8765	
		150		86.892	86.442	87.448	86.9274	
		NaOH Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.280	96.962	98.618	97.9532
				30	96.118	94.168	94.694	94.9933
				60	93.415	91.742	92.572	92.5763
				100	91.081	88.851	88.796	89.5758
				150	86.437	87.111	86.550	86.6994
		0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
			10	98.005	97.718	97.293	97.6719	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	NaOH Treated	0.03g/ml	30	94.287	94.331	94.216	94.2782
				60	91.455	90.503	91.706	91.2213
				100	87.515	88.294	88.801	88.2037
				150	85.890	86.331	84.273	85.4981
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	97.042	97.396	96.091	96.8432
				30	94.183	94.056	93.858	94.0322
				60	91.598	89.437	90.022	90.3525
				100	85.831	84.844	86.137	85.6043
	150	82.650	82.486	80.869	82.0016			
	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.066	97.910	98.627	98.2011
				30	96.905	96.181	95.858	96.3148
				60	95.890	95.076	95.834	95.5999
				100	94.657	94.835	94.871	94.7878
				150	94.367	94.403	94.173	94.3142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/L)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	Cooling	Non-Treated	0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.599	97.665	97.504	97.9225
				30	97.560	96.052	95.371	96.3277
				60	96.280	95.161	95.032	95.4910
				100	94.420	94.872	94.232	94.5081
				150	94.106	94.247	93.892	94.0817
		0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
			10	97.779	97.585	96.812	97.3919	
			30	96.499	96.039	95.822	96.1201	
			60	94.761	95.266	95.677	95.2347	
			100	94.399	94.493	94.422	94.4377	
			150	93.916	93.913	94.059	93.9628	
		NaOH Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.279	97.985	96.802	97.6888
				30	96.025	96.310	96.439	96.2580
				60	95.492	95.120	95.591	95.4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	Cooling	NaOH Treated	0.01g/ml	100	94.765	94.246	94.622	94.5444
				150	94.450	93.931	94.113	94.1646
			0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	97.957	97.122	97.820	97.6332
				30	95.671	96.711	96.440	96.2740
				60	95.112	95.405	95.132	95.2163
				100	94.463	94.196	94.309	94.3223
				150	93.969	93.881	93.848	93.8996
				0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000
			10		99.246	96.349	97.306	97.6336
			30		96.886	95.841	96.238	96.3219
			60		95.743	95.068	95.316	95.3755
			100		94.284	94.729	94.684	94.5658
			150		93.846	94.512	94.175	94.1774

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.872	99.346	99.957	99.7250
				30	99.373	99.616	99.900	99.6299
				60	99.388	99.645	99.929	99.6537
				100	99.416	99.957	99.573	99.6488
				150	99.502	99.701	99.986	99.7296
			0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.630	99.573	99.886	99.6965
				30	99.587	99.815	99.830	99.7440
				60	99.915	99.573	99.830	99.7724
				100	99.674	99.815	99.759	99.7493
				150	99.403	99.957	99.943	99.7677
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.346	99.843	99.815	99.6683
				30	99.645	99.630	99.901	99.7250
				60	99.147	99.957	99.986	99.6967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.05g/ml	100	99.758	99.886	99.716	99.7867
				150	99.758	100.014	99.460	99.7442
		0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
			10	99.872	99.943	99.915	99.9098	
			30	99.686	99.886	99.758	99.7770	
			60	99.572	99.715	99.929	99.7389	
			100	99.957	99.730	99.346	99.6777	
			150	99.729	99.986	99.588	99.7676	
			NaOH Treated	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.459	99.986	99.986	99.8103
				30	99.730	99.744	99.801	99.7582
				60	99.900	99.716	99.957	99.8578
		0.03g/ml	100	99.815	99.616	99.972	99.8010	
			150	99.616	99.659	99.644	99.6397	
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
			10	99.701	99.957	99.673	99.7770	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	NaOH Treated	0.05g/ml	30	99.601	99.929	99.986	99.8386
				60	99.772	99.943	99.730	99.8150
				100	99.872	99.303	99.986	99.7201
				150	99.886	99.815	99.360	99.6869
	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.419	98.715	98.796	98.9767
				30	98.144	97.443	96.927	97.5048
				60	96.146	95.889	96.035	96.0235
				100	93.964	94.138	94.534	94.2120
			150	92.519	92.471	93.869	92.9528	
			0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.305	98.900	99.010	99.0716
				30	97.800	96.995	97.300	97.3651
				60	95.927	94.597	95.094	95.2062
100	93.955	92.298		93.129	93.1272			
150	92.295	91.169	91.786	91.7499				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining				
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average	
35	90°C	Non-Treated	0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
				10	98.721	99.180	99.377	99.0924	
				30	97.076	96.733	96.613	96.8075	
				60	94.195	94.895	95.295	94.7949	
				100	92.283	92.816	93.071	92.7231	
				150	90.512	91.303	91.781	91.1985	
		NaOH Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000		
				10	98.839	98.910	98.394	98.7142	
				30	97.168	96.460	96.478	96.7020	
				60	95.200	94.562	93.984	94.5823	
				100	92.850	93.033	91.476	92.4532	
				150	91.434	91.093	90.209	90.9120	
				0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
					10	98.795	98.857	98.589	98.7469
		30	96.937		97.053	97.064	97.0181		
		60	94.682		94.357	94.185	94.4082		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/L)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	90°C	NaOH Treated	0.03g/ml	100	92.626	92.242	92.152	92.3400
				150	91.293	90.295	90.473	90.6870
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.741	98.753	99.149	98.8811
				30	96.647	96.769	96.909	96.7752
				60	93.677	94.204	93.903	93.9281
				100	91.710	91.498	91.422	91.5434
	150	89.645	90.180	90.075	89.9667			
	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.222	99.237	98.798	99.0858
				30	98.330	98.347	97.950	98.2092
				60	97.722	97.712	97.215	97.5495
				100	97.142	97.048	97.069	97.0863
				150	96.689	96.568	96.791	96.6824
0.03g/ml			0	100.000	100.000	100.000		
10	99.081	99.377	98.999	99.1523				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	Non-Treated	0.03g/ml	30	98.120	98.570	97.885	98.1915
				60	97.512	97.593	97.109	97.4047
				100	97.031	96.914	96.503	96.8158
			150	96.352	96.503	96.249	96.3682	
			0	100.000	100.000	100.000		
			10	98.644	98.857	99.375	98.9587	
			30	98.206	98.123	98.452	98.2605	
			60	97.174	97.460	97.444	97.3596	
			100	96.581	96.444	96.805	96.6102	
		150	95.973	95.950	96.365	96.0963		
		NaOH Treated	0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.921	99.560	99.179	99.2203
				30	98.162	98.397	98.132	98.2305
			60	97.243	97.645	97.275	97.3877	
			100	96.141	96.794	96.349	96.4280	
			150	95.448	96.113	95.868	95.8097	
			0.01g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.921	99.560	99.179	99.2203
30	98.162			98.397	98.132	98.2305		
60	97.243	97.645		97.275	97.3877			
100	96.141	96.794		96.349	96.4280			
150	95.448	96.113		95.868	95.8097			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	ปริมาณฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	% Salt Remaining			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	NaOH Treated	0.03g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	98.930	99.011	99.236	99.0588
				30	97.352	98.205	98.374	97.9769
				60	96.606	97.216	97.313	97.0447
				100	95.732	96.085	96.380	96.0656
				150	95.239	95.350	95.743	95.4441
			0.05g/ml	0	100.000	100.000	100.000	
				10	99.418	98.703	99.121	99.0808
				30	97.928	97.236	98.087	97.7505
				60	96.736	96.320	97.364	96.8068
				100	95.885	95.262	95.947	95.6981
				150	95.204	94.656	95.267	95.0422

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.1306	0.7992	NS	0.0822	0.6684	NS	0.0405	0.7555	NS
	60	0.2230	0.7992	NS	0.0240	0.6684	NS	0.2715	0.7555	NS
	100	0.1731	0.7992	NS	0.0324	0.6684	NS	0.2634	0.7555	NS
	150	99.2901	0.7992	*	99.4157	0.6684	*	99.2677	0.7555	*
30	60	0.0924	0.7992	NS	0.1062	0.6684	NS	0.2310	0.7555	NS
	100	0.0425	0.7992	NS	0.1146	0.6684	NS	0.2229	0.7555	NS
	150	99.4207	0.7992	*	99.3334	0.6684	*	99.3082	0.7555	*
60	100	0.0499	0.7992	NS	0.0084	0.6684	NS	0.0081	0.7555	NS
	150	99.5131	0.7992	*	99.4397	0.6684	*	99.5392	0.7555	*
100	150	99.4632	0.7992	*	99.4481	0.6684	*	99.5311	0.7555	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0578	0.5066	NS	0.2319	0.6007	NS	0.3955	0.5842	NS
	60	0.1237	0.5066	NS	0.4218	0.6007	NS	0.3216	0.5842	NS
	100	0.0827	0.5066	NS	0.1322	0.6007	NS	0.0659	0.5842	NS
	150	99.5868	0.5066	*	99.3386	0.6007	*	99.6625	0.5842	*
30	60	0.1814	0.5066	NS	0.1899	0.6007	NS	0.0739	0.5842	NS
	100	0.1404	0.5066	NS	0.0997	0.6007	NS	0.3296	0.5842	NS
	150	99.6445	0.5066	*	99.5705	0.6007	*	99.2670	0.5842	*
60	100	0.0410	0.5066	NS	0.2896	0.6007	NS	0.2557	0.5842	NS
	150	99.4631	0.5066	*	99.7604	0.6007	*	99.3409	0.5842	*
100	150	99.5041	0.5066	*	99.4708	0.6007	*	99.5966	0.5842	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการดูดซับ (min)	เปรียบเทียบกับที่ระยะเวลาเวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
10	30	2.2816	1.0893	*	2.8370	0.6618	*	2.9158	0.7879	*
	60	5.6020	1.0893	*	6.2632	0.6618	*	6.0365	0.7879	*
	100	7.5259	1.0893	*	8.3156	0.6618	*	8.9856	0.7879	*
	150	96.4478	1.0893	*	96.5169	0.6618	*	95.9130	0.7879	*
30	60	3.3204	1.0893	*	3.4262	0.6618	*	3.1207	0.7879	*
	100	5.2443	1.0893	*	5.4785	0.6618	*	6.0697	0.7879	*
	150	94.1662	1.0893	*	93.6798	0.6618	*	92.9971	0.7879	*
60	100	1.9240	1.0893	*	2.0523	0.6618	*	2.9490	0.7879	*
	150	90.8458	1.0893	*	90.2536	0.6618	*	89.8765	0.7879	*
100	150	88.9218	1.0893	*	88.2013	0.6618	*	86.9274	0.7879	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	2.4170	1.6897	*	3.0568	1.1870	*	3.6797	1.4455	*
	60	5.4175	1.6897	*	6.0744	1.1870	*	8.4279	1.4455	*
	100	8.2939	1.6897	*	8.7801	1.1870	*	12.0306	1.4455	*
	150	94.9933	1.6897	*	94.2782	1.1870	*	94.0322	1.4455	*
30	60	3.0005	1.6897	*	3.0176	1.1870	*	4.7482	1.4455	*
	100	5.8769	1.6897	*	5.7233	1.1870	*	8.3510	1.4455	*
	150	92.5763	1.6897	*	91.2213	1.1870	*	90.3525	1.4455	*
60	100	2.8764	1.6897	*	2.7057	1.1870	*	3.6027	1.4455	*
	150	89.5758	1.6897	*	88.2037	1.1870	*	85.6043	1.4455	*
100	150	86.6994	1.6897	*	85.4981	1.1870	*	82.0016	1.4455	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่พรีติเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการดูดซับ (min)	เปรียบเทียบที่ระยะเวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
10	30	0.7148	0.6635	*	0.8367	1.2113	NS	0.8854	0.6307	*
	60	1.5270	0.6635	*	1.8196	1.2113	*	1.6823	0.6307	*
	100	2.0006	0.6635	*	2.2460	1.2113	*	2.1573	0.6307	*
	150	96.3148	0.6635	*	96.3277	1.2113	*	96.1201	0.6307	*
30	60	0.8121	0.6635	*	0.9829	1.2113	NS	0.7969	0.6307	*
	100	1.2858	0.6635	*	1.4093	1.2113	*	1.2719	0.6307	*
	150	95.5999	0.6635	*	95.4910	1.2113	*	95.2347	0.6307	*
60	100	0.4736	0.6635	NS	0.4264	1.2113	NS	0.4749	0.6307	NS
	150	94.7878	0.6635	*	94.5081	1.2113	*	94.4377	0.6307	*
100	150	94.3142	0.6635	*	94.0817	1.2113	*	93.9628	0.6307	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.8569	0.7539	*	1.0577	0.5979	*	0.9464	1.3478	NS
	60	1.7136	0.7539	*	1.9517	0.5979	*	1.7561	1.3478	*
	100	2.0934	0.7539	*	2.3744	0.5979	*	2.1445	1.3478	*
	150	96.2580	0.7539	*	96.2740	0.5979	*	96.3219	1.3478	*
30	60	0.8567	0.7539	*	0.8940	0.5979	*	0.8097	1.3478	NS
	100	1.2365	0.7539	*	1.3167	0.5979	*	1.1981	1.3478	NS
	150	95.4011	0.7539	*	95.2163	0.5979	*	95.3755	1.3478	*
60	100	0.3798	0.7539	NS	0.4227	0.5979	NS	0.3884	1.3478	NS
	150	94.5444	0.7539	*	94.3223	0.5979	*	94.5658	1.3478	*
100	150	94.1646	0.7539	*	93.8996	0.5979	*	94.1774	1.3478	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0237	0.5075	NS	0.0284	0.3480	NS	0.0283	0.5227	NS
	60	0.0188	0.5075	NS	0.0053	0.3480	NS	0.0617	0.5227	NS
	100	0.0996	0.5075	NS	0.0237	0.3480	NS	0.0191	0.5227	NS
	150	99.6299	0.5075	*	99.7440	0.3480	*	99.7250	0.5227	*
30	60	0.0049	0.5075	NS	0.0900	0.3480	NS	0.0900	0.5227	NS
	100	0.0759	0.5075	NS	0.0475	0.3480	NS	0.0475	0.5227	NS
	150	99.6537	0.5075	*	99.6967	0.3480	*	99.6967	0.5227	*
60	100	0.0808	0.5075	NS	0.0426	0.3480	NS	0.0426	0.5227	NS
	150	99.6488	0.5075	*	99.7867	0.3480	*	99.7867	0.5227	*
100	150	99.7296	0.5075	*	99.7442	0.3480	*	99.7442	0.5227	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิห้อง

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.0381	0.3450	NS	0.0996	0.3065	NS	0.0237	0.4425	NS
	60	0.0993	0.3450	NS	0.0427	0.3065	NS	0.1185	0.4425	NS
	100	0.0094	0.3450	NS	0.1185	0.3065	NS	0.1517	0.4425	NS
	150	99.7770	0.3450	*	99.7582	0.3065	*	99.8386	0.4425	*
30	60	0.0612	0.3450	NS	0.0569	0.3065	NS	0.0949	0.4425	NS
	100	0.0287	0.3450	NS	0.2181	0.3065	NS	0.1280	0.4425	NS
	150	99.7389	0.3450	*	99.8578	0.3065	*	99.8150	0.4425	*
60	100	0.0899	0.3450	NS	0.1612	0.3065	NS	0.0332	0.4425	NS
	150	99.6777	0.3450	*	99.8010	0.3065	*	99.7201	0.4425	*
100	150	99.7676	0.3450	*	99.6397	0.3065	*	99.6869	0.4425	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่พรีติเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลา ใน การ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	1.4812	0.9107	*	2.1589	1.0497	*	2.0127	0.8353	*
	60	3.2928	0.9107	*	4.2379	1.0497	*	4.0845	0.8353	*
	100	4.5520	0.9107	*	5.6152	1.0497	*	5.6091	0.8353	*
	150	97.5048	0.9107	*	97.3651	1.0497	*	96.8075	0.8353	*
30	60	1.8115	0.9107	*	2.0790	1.0497	*	2.0718	0.8353	*
	100	3.0707	0.9107	*	3.4563	1.0497	*	3.5964	0.8353	*
	150	96.0235	0.9107	*	95.2062	1.0497	*	94.7949	0.8353	*
60	100	1.2592	0.9107	*	1.3773	1.0497	*	1.5246	0.8353	*
	150	94.2120	0.9107	*	93.1272	1.0497	*	92.7231	0.8353	*
100	150	92.9528	0.9107	*	91.7499	1.0497	*	91.1985	0.8353	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	2.1197	1.0718	*	2.6099	0.5369	*	2.8471	0.4018	*
	60	4.2488	1.0718	*	4.6781	0.5369	*	5.2318	0.4018	*
	100	5.7901	1.0718	*	6.3312	0.5369	*	6.8085	0.4018	*
	150	96.7020	1.0718	*	97.0181	0.5369	*	96.7752	0.4018	*
30	60	2.1291	1.0718	*	2.0682	0.5369	*	2.3847	0.4018	*
	100	3.6704	1.0718	*	3.7213	0.5369	*	3.9614	0.4018	*
	150	94.5823	1.0718	*	94.4082	0.5369	*	93.9281	0.4018	*
60	100	1.5413	1.0718	*	1.6531	0.5369	*	1.5767	0.4018	*
	150	92.4532	1.0718	*	92.3400	0.5369	*	91.5434	0.4018	*
100	150	90.9120	1.0718	*	90.6870	0.5369	*	89.9667	0.4018	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ไม่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลาใน การดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.6597	0.3741	*	0.7868	0.4614	*	0.9009	0.4338	*
	60	1.1230	0.3741	*	1.3757	0.4614	*	1.6503	0.4338	*
	100	1.5268	0.3741	*	1.8233	0.4614	*	2.1641	0.4338	*
	150	98.2092	0.3741	*	98.1915	0.4614	*	98.2605	0.4338	*
30	60	0.4632	0.3741	*	0.5889	0.4614	*	0.7494	0.4338	*
	100	0.8671	0.3741	*	1.0365	0.4614	*	1.2633	0.4338	*
	150	97.5495	0.3741	*	97.4047	0.4614	*	97.3596	0.4338	*
60	100	0.4039	0.3741	*	0.4477	0.4614	NS	0.5138	0.4338	*
	150	97.0863	0.3741	*	96.8158	0.4614	*	96.6102	0.4338	*
100	150	96.6824	0.3741	*	96.3682	0.4614	*	96.0963	0.4338	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ของข้อมูลร้อยละโซเดียมคลอไรด์ที่เหลืออยู่ในสารละลายหลังผ่านการดูดซับด้วยฟางข้าวที่ปรับสภาพ ทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 35 กรัม/ลิตร สถานะอุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส

ระยะ เวลา ใน การ ดูดซับ (min)	เปรียบ เทียบ กับ ที่ ระยะ เวลา (min)	สัดส่วนฟางข้าวต่อสารละลาย								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
10	30	0.8427	0.5136	*	0.9322	0.6545	*	0.9437	0.7574	*
	60	1.8025	0.5136	*	1.9113	0.6545	*	2.0524	0.7574	*
	100	2.4207	0.5136	*	2.5328	0.6545	*	2.7083	0.7574	*
	150	98.2305	0.5136	*	97.9769	0.6545	*	97.7505	0.7574	*
30	60	0.9597	0.5136	*	0.9791	0.6545	*	1.1087	0.7574	*
	100	1.5780	0.5136	*	1.6006	0.6545	*	1.7645	0.7574	*
	150	97.3877	0.5136	*	97.0447	0.6545	*	96.8068	0.7574	*
60	100	0.6182	0.5136	*	0.6214	0.6545	NS	0.6559	0.7574	NS
	150	96.4280	0.5136	*	96.0656	0.6545	*	95.6981	0.7574	*
100	150	95.8097	0.5136	*	95.4441	0.6545	*	95.0422	0.7574	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ผลการคำนวณหาปริมาณการดูดซับจำเพาะและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล
ปริมาณการดูดซับจำเพาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับจำเพาะของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-150 นาที ที่สถานะอุณหภูมิห้อง คงที่ 90 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลดลงจาก 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 35 กรัม/ลิตร

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา(min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	10	1.4723	2.3862	0.5077	1.4554
				30	2.7416	1.2185	0.4062	1.4554
				60	0.3046	1.8277	1.4216	1.1846
				100	2.0308	0.4569	0.5077	0.9985
				150	1.7769	0.8631	0.6600	1.1000
			0.03g/ml	10	0.1354	0.6431	0.6939	0.4908
				30	0.3215	0.7446	0.1354	0.4005
				60	0.7615	0.1862	0.4231	0.4569
				100	0.3046	0.5077	0.3385	0.3836
			0.05g/l	10	0.5077	0.1862	0.4400	0.3780
				10	0.3655	0.0406	0.1929	0.1997
				30	0.5382	0.0812	0.2843	0.3012
				60	0.4062	0.2437	0.2031	0.2843
			100	0.3046	0.2640	0.0000	0.1895	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิตั้ง	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	อุณหภูมิตั้ง	Non-Treated	0.05g/ml	150	0.3655	0.0203	0.1929	0.1929
20	อุณหภูมิตั้ง	Non-Treated	0.01g/ml	10	1.7262	1.2185	0.8123	1.2523
				30	0.2031	1.3200	1.0154	0.8462
				60	1.1677	0.6600	0.3554	0.7277
				100	0.9139	0.2538	2.1323	1.1000
				150	0.9646	1.1169	0.9646	1.0154
		NaOH Treated	0.03g/ml	10	0.6092	0.2200	0.4231	0.4174
				30	0.7785	0.2031	0.3723	0.4513
				60	0.0677	0.1354	0.6769	0.2933
				100	0.0508	0.1354	0.3046	0.1636
				150	0.3385	0.3892	0.3554	0.3610
		0.05g/l	10	0.2843	0.1320	0.1422	0.1862	
			30	0.3452	0.0406	0.0305	0.1388	
			60	0.3452	0.1828	0.3757	0.3012	
			100	0.1828	0.4163	0.2132	0.2708	
			150	0.3249	0.0406	0.1320	0.1658	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	10	2.4369	3.3508	3.0462	2.9446
				30	6.1939	8.7832	7.0570	7.3447
				60	11.1186	12.9971	12.0832	12.0663
				100	18.0740	18.2771	20.4602	18.9371
				150	21.2725	24.1664	23.3033	22.9141
			0.03g/ml	10	0.9815	1.0831	0.6092	0.8913
				30	2.3862	2.5385	2.2846	2.4031
				60	4.3493	4.4847	4.2477	4.3606
				100	6.4816	6.9724	6.7185	6.7242
				150	7.7170	8.2924	8.4109	8.1401
			0.05g/l	10	0.5585	0.5991	0.6600	0.6059
				30	1.9902	1.7262	1.3505	1.6889
				60	2.9751	2.8025	2.9040	2.8939
				100	4.2342	4.1022	4.2139	4.1834
				150	5.4222	5.5948	5.1887	5.4019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้น เกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟาง ข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	90°C	NaOH Treated	0.01g/ml	10	3.5539	6.2954	2.8431	4.2308
				30	8.0216	12.0832	10.9155	10.3401
				60	13.6063	17.1094	15.2817	15.3325
				100	18.4294	23.1002	23.0495	21.5264
				150	28.0249	26.7049	27.6695	27.4664
			0.03g/ml	10	1.3708	1.5739	1.8616	1.6021
				30	3.9262	3.9093	3.9770	3.9375
				60	5.8724	6.5493	5.7031	6.0416
				100	8.5801	8.0724	7.7001	8.1175
				150	9.6970	9.4262	10.8140	9.9791
			0.05g/l	10	1.2083	1.0763	1.6348	1.3065
				30	2.3760	2.4573	2.5689	2.4674
				60	3.4320	4.3662	4.1733	3.9905
				100	5.7878	6.2650	5.7979	5.9502
				150	7.0875	7.2398	8.0013	7.4428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	10	4.0616	4.4170	2.8939	3.7908
				30	6.4985	8.0724	8.7324	7.7678
				60	8.6309	10.4078	8.7832	9.2739
				100	11.2201	10.9155	10.8140	10.9832
				150	11.8294	11.8294	12.2863	11.9817
			0.03g/ml	10	0.9815	1.6416	1.7431	1.4554
				30	1.7092	2.7754	3.2323	2.5723
				60	2.6062	3.4016	3.4693	3.1590
				100	3.9093	3.6047	4.0277	3.8472
				150	4.1293	4.0447	4.2647	4.1462
			0.05g/l	10	0.9342	1.0154	1.3403	1.0966
				30	1.4723	1.6652	1.7566	1.6314
				60	2.2034	1.9902	1.8176	2.0037
				100	2.3557	2.3151	2.3456	2.3388
				150	2.5588	2.5588	2.4979	2.5385

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
20	Cooling	NaOH Treated	0.01g/ml	10	3.6047	4.2139	6.7016	4.8400
				30	8.3262	7.7170	7.4632	7.8355
				60	9.4432	10.2047	9.2401	9.6293
				100	10.9663	12.0324	11.2709	11.4232
				150	11.6263	12.6924	12.3370	12.2186
			0.03g/ml	10	1.4216	2.0139	1.5231	1.6528
				30	3.0123	2.3016	2.4877	2.6005
				60	3.4016	3.2154	3.4016	3.3395
				100	3.8534	4.0616	3.9770	3.9640
				150	4.1970	4.2816	4.2985	4.2590
			0.05g/l	10	0.3148	1.5332	1.1271	0.9917
				30	1.2997	1.7465	1.5739	1.5400
				60	1.7769	2.0714	1.9597	1.9360
				100	2.3862	2.2136	2.2237	2.2745
				150	2.5689	2.3049	2.4369	2.4369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิห้อง	Non-Treated	0.01g/ml	10	0.4569	2.3354	0.1523	0.9815
				30	2.2339	1.3708	0.3554	1.3200
				60	2.1831	1.2692	0.2538	1.2354
				100	2.0816	0.1523	1.5231	1.2523
				150	1.7769	1.0662	0.0508	0.9646
			0.03g/ml	10	0.4400	0.5077	0.1354	0.3610
				30	0.4908	0.2200	0.2031	0.3046
				60	0.1015	0.5077	0.2031	0.2708
				100	0.3875	0.2200	0.2877	0.2984
				150	0.7108	0.0508	0.0677	0.2764
			0.05g/l	10	0.4671	0.1117	0.1320	0.2369
				30	0.2538	0.2640	0.0711	0.1963
				60	0.6092	0.0305	0.0102	0.2166
				100	0.1726	0.0812	0.2031	0.1523
				150	0.1726	-0.0102	0.3859	0.1828

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิตั้ง	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	อุณหภูมิตั้ง	NaOH Treated	0.01g/ml	10	0.4569	0.2031	0.3046	0.3215
				30	1.1169	0.4062	0.8631	0.7954
				60	1.5231	1.0154	0.2538	0.9308
				100	0.1523	0.9646	2.3354	1.1508
				150	0.9646	0.0508	1.4723	0.8292
			0.03g/ml	10	0.6431	0.0169	0.0169	0.2256
				30	0.3215	0.3046	0.2369	0.2877
				60	0.1185	0.3385	0.0508	0.1692
				100	0.2200	0.4569	0.0338	0.2369
				150	0.4569	0.4062	0.4231	0.4287
			0.05g/l	10	0.2132	0.0305	0.2335	0.1591
				30	0.2843	0.0508	0.0102	0.1151
				60	0.1625	0.0406	0.1929	0.1320
				100	0.0914	0.4975	0.0102	0.1997
				150	0.0812	0.1320	0.4569	0.2234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	90°C	Non-Treated	0.01g/ml	10	2.0816	4.6200	4.3154	3.6723
				30	6.6508	9.1893	11.0170	8.9524
				60	13.8094	14.7740	14.2155	14.2663
				100	21.6279	21.0694	19.5971	20.7648
				150	26.8064	27.0603	21.9833	25.2833
			0.03g/ml	10	0.8292	1.3200	1.1846	1.1113
				30	2.6231	3.6047	3.2323	3.1534
				60	4.8570	6.4816	5.8724	5.7370
				100	7.2093	9.2401	8.2247	8.2247
				150	9.1893	10.5940	9.8324	9.8719
			0.05g/l	10	0.9240	0.5889	0.4468	0.6532
				30	2.1120	2.3456	2.4268	2.2948
				60	4.1936	3.6656	3.3711	3.7434
				100	5.5745	5.1582	4.9653	5.2327
				150	6.8539	6.2447	5.8893	6.3293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	90°C	NaOH Treated	0.01g/ml	10	4.1631	3.9093	5.7878	4.6200
				30	10.1539	12.6924	12.6924	11.8463
				60	17.2109	19.4956	21.6787	19.4617
				100	25.6387	24.9787	30.7157	27.1110
				150	30.7157	31.9342	35.2850	32.6449
			0.03g/ml	10	1.4385	1.3708	1.6923	1.5005
				30	3.6554	3.5353	3.5200	3.5702
				60	6.3462	6.7693	6.9724	6.6960
				100	8.8001	9.3078	9.4093	9.1724
				150	10.3909	11.6432	11.4232	11.1524
			0.05g/l	10	0.9037	0.8935	0.6092	0.8022
				30	2.4065	2.3151	2.2136	2.3117
				60	4.5388	4.1530	4.3662	4.3527
				100	5.9502	6.0924	6.1431	6.0619
				150	7.4327	7.0367	7.1078	7.1924

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	Non-Treated	0.01g/ml	10	2.7923	2.7416	4.3154	3.2831
				30	5.9908	5.9401	7.3616	6.4308
				60	8.1739	8.2247	10.0016	8.8001
				100	10.2555	10.6109	10.5246	10.4636
				150	11.8801	12.3370	11.5247	11.9140
			0.03g/ml	10	1.1000	0.7446	1.2016	1.0154
				30	2.2508	1.7092	2.5385	2.1662
				60	2.9785	2.8770	3.4693	3.1082
				100	3.5539	3.6893	4.1970	3.8134
				150	4.3662	4.1800	4.5016	4.3493
			0.05g/ml	10	0.9748	0.8225	0.4468	0.7480
				30	1.2896	1.3505	1.1068	1.2489
				60	2.0308	1.8277	1.8277	1.8954
				100	2.4573	2.5588	2.2846	2.4336
				150	2.8939	2.9142	2.5994	2.8025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ความเข้มข้นเกลือ (g/l)	อุณหภูมิ	ชนิดฟางข้าว	สัดส่วนฟางข้าว(g/ml)	เวลา (min)	%Amount adsorbed			
					ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	Average
35	Cooling	NaOH Treated	0.01g/ml	10	3.8737	1.5739	2.9446	2.7974
				30	6.6001	5.7370	6.7016	6.3462
				60	9.9001	8.4278	9.7783	9.3687
				100	13.8601	11.4740	13.0986	12.8109
				150	16.3479	13.9109	14.8248	15.0278
			0.03g/ml	10	1.2862	1.1846	0.9139	1.1282
				30	3.1816	2.1493	1.9462	2.4257
				60	4.0785	3.3339	3.2154	3.5426
				100	5.1277	4.6877	4.3324	4.7159
				150	5.7201	5.5677	5.0939	5.4606
			0.05g/ml	10	0.4163	0.9342	0.6295	0.6600
				30	1.4825	1.9902	1.3708	1.6145
				60	2.3354	2.6502	1.8886	2.2914
				100	2.9446	3.4117	2.9040	3.0868
				150	3.4320	3.8483	3.3914	3.5573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายปราโมทย์ มณีโชติ

วัน เดือน ปีเกิด 20 กรกฎาคม 2532 ที่สงขลา

ที่อยู่ 16 ถ.ปทุมกันต์ หมู่ที่ 6 ต.ทุ่งใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

ประวัติการศึกษา 2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร (เกียรตินิยมอันดับ2)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2556-2559 ตำแหน่งวิศวกรประจำหน่วยงานถ่ายเทความร้อน บริษัท มิตรชุบิชิ เฮฟวี อินดัสตรีส์-มหาจักร
แอร์ คอนดิชันเนอร์ส จำกัด

พ.ศ.260-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรบริการ ประจำสาขาภาคตะวันออก บริษัท แคนเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้