

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้ชาน
อ้อยที่ปรับสภาพ

COMPARISON OF METHYLENE BLUE ADSORPTION
EFFICIENCY BY TREATED BAGASSES



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF METHYLENE BLUE ADSORPTION
EFFICIENCY BY TREATED BAGASSES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงของเอกสารฉบับนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2018

หัวข้อโครงการพิเศษ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้ชานอ้อยที่ปรับสภาพ

Comparison of Methylene Blue Adsorption Efficiency By Treated Bagasse

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัลปิงหา จันทร์แจ่ม รหัสนักศึกษา 58050586
นายณัฐภาพงศ์ เบื้องสุวรรณ รหัสนักศึกษา 58050637
นางสาวพิมพ์พิศา ภูษิต รหัสนักศึกษา 58050663


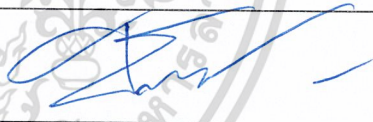

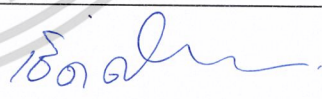
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณีย์ จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ดร.ชาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ.ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้ขานอ้อยที่ปรับสภาพ	
	Comparison of Methylene Blue Adsorption Efficiency By Treated Bagasse	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัลปิงหา จันท์แจ่ม	รหัสนักศึกษา 58050586
	นายณัฐธางค์ เบื้องสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 58050637
	นางสาวพิมพ์พิศา ภูษิต	รหัสนักศึกษา 58050663
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อุสารัตน์	ถาวรชัยสิทธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เชตศักดิ์	มณีนันรุ่งโรจน์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเรื่องนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำกากขานอ้อยเหลือใช้มาเปลี่ยนเป็นวัสดุดูดซับแม่เหล็ก โดยขานอ้อยจะถูกนำมาปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase เพื่อแยกเอาน้ำตาลรีดิวซ์อันมีประโยชน์ออกมาใช้งานก่อน ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์คือ 0.05, 0.31, 0.03 และ 0.19 กรัมต่อกรัมขานอ้อย ตามลำดับ จากนั้นจะเปลี่ยนชีวมวลที่เหลือให้เป็นวัสดุดูดซับแม่เหล็ก วัสดุแม่เหล็กที่ได้จะถูกนำมาทดสอบสภาวะในการดูดซับเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้ขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase พบว่า pH ที่ดีที่สุดในการดูดซับ คือ 5-7, 5-7, 4-7 และ 1, 6 ตามลำดับ โดยมีค่าร้อยละเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด คือ 52.23-60.56, 41.97-51.62, 14.97-30.1 และ 55, 39.46 ตามลำดับ ระยะเวลาที่เหมาะสมของขานอ้อยทั้ง 4 ชนิด คือ 24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 11.27, 66.64, 41.31 และ 46.12 ตามลำดับ ไอโซเทอมการดูดซับของวัสดุแม่เหล็ก พบว่าสอดคล้องกับสมการการดูดซับแบบ Freundlich การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการปรับสภาพทางเคมีสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมในน้ำทิ้งได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การดูดซับ, เมทิลีนบลู, ขานอ้อย, วัสดุดูดซับแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Comparison of Methylene Blue Adsorption Efficiency By Treated Bagasses		
Students	Kanlapangha	Chanchaem	Student ID 58050586
	Natthaphong	Buangsuwan	Student ID 58050637
	Pimpisa	Phusit	Student ID 58050663
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department of	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic year	2561		
Advisors	Assoc. Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit		
	Asst. Prof. Dr. Cherdsak Maneeruttanarungroj		

Abstracts

The aim of this special project is to investigate the adsorption capacity of methylene blue in synthesis wastewater using magnetic sugarcane bagasse. Sugarcane bagasse was pretreated by deionized water, HCl, NaOH, and cellulase. The results showed that the highest quantity of reducing sugar were 0.05 g/g bagasse, 0.31 g/g bagasse, 0.03 g/g bagasse and 0.19 g/g bagasse, respectively. Sugarcane bagasse was successfully converted to form novel magnetic carbon composite materials. The 20 mg/L of methylene blue wastewater was used in all absorption experiments. The results indicated that the suitable pH for methylene blue adsorption of treated bagasse by deionized water, HCl, NaOH and cellulase were 6, 6, 7 and 1, respectively. The methylene blue adsorption efficiencies were 60.56%, 51.62%, 30.10%, and 55%, respectively. The suitable contact time for methylene blue adsorption of treated bagasse by deionized water, HCl, NaOH, and cellulase were 24 hours. The methylene blue adsorption efficiencies were 11.27%, 66.64%, 41.21% and, 46.42%, respectively. Freundlich adsorption equation was fitted to explain the adsorption isotherm of all modified magnetic sugarcane bagasse materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Keywords: Adsorption, Methylene blue, Sugarcane bagasse, Magnetic carbon composites
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ผศ.ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตนรุ่งโรจน์ ที่ได้ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี ติดตามตรวจสอบ ดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ จนผลงานสำเร็จลุล่วงได้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน อีกทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี รวมถึงนักศึกษาสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของทุกๆท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

กัลปิงหา

จันทร์แจ่ม

นัสธาพงศ์

เป็๋องสุวรรณ

พิมพ์ิตา

ภูษิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ.....	2
1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างทางกายภาพของชานอ้อย.....	3
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย.....	3
2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose).....	4
2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose).....	5
2.2.3 ลิกนิน (Lignin).....	5
2.2.4 เพคติน (Pectin).....	7
2.3 การแบ่งชนิดของอ้อย.....	7
2.4 ลักษณะทั่วไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย.....	8
2.4.1 ราก (root).....	8
2.4.2 ลำต้น (stalk).....	8
2.4.3 รูปร่างของปล้อง (internode patterns).....	9
2.4.4 สีของลำต้น (stalk color).....	9
2.4.5 ส่วนประกอบของข้อและปล้อง.....	9
2.4.6 ใบ (leaf).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 ดอก.....	12
2.4.8 เมล็ด.....	12
2.5 แร่แม่เหล็ก.....	12
2.5.1 คุณสมบัติทางเคมี.....	12
2.5.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์.....	12
2.5.3 การกำเนิด.....	13
2.5.4 แหล่งกำเนิด.....	13
2.5.5 ประโยชน์.....	13
2.6 เมทิลีนบลู (Methylene blue).....	14
2.6.1 สมบัติของเมทิลีนบลู.....	14
2.6.2 การนำเมทิลีนบลูมาใช้ประโยชน์.....	14
2.6.3 ความเป็นพิษของเมทิลีนบลู.....	15
2.7 การดูดซับ.....	15
2.7.1 สมบัติของเมทิลีนบลู.....	16
2.7.2 สมบัติของเมทิลีนบลู.....	16
2.7.3 ตัวดูดซับ (Absorbent).....	17
2.7.4 คุณสมบัติของตัวดูดซับ.....	17
2.7.5 ประเภทของตัวดูดซับ.....	17
2.7.6 ตัวถูกดูดซับ (Absorbate).....	18
2.7.7 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ.....	18
2.7.8 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	18
2.7.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear isotherm).....	19
2.7.10 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich isotherm).....	19
2.7.11 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm).....	20
2.7.12 การคายซับ (Desorption).....	21
2.8 UV-Visible spectrophotometer.....	21
2.8.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer.....	21
2.8.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท.....	22
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 สารเคมี.....	26
3.2 อุปกรณ์.....	26

3.3	วิธีการทดลอง	27
3.3.1	การเตรียมวัสดุดูดซับ	27
3.3.2	การปรับสภาพวัสดุขานอ้อยก่อนสร้างเป็นสารแม่เหล็ก	27
3.3.3	การเตรียมวัสดุแม่เหล็ก	27
3.3.4	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลู	28
3.3.5	การหาปริมาณกลูโคสในสารละลายตัวอย่าง	29
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	31
4.1	การบำบัดขานอ้อยขานอ้อยด้วย น้ำกลั่น HCl NaOH และเอนไซม์เซลลูเลส	31
4.1.1	วัสดุแม่เหล็กที่ได้ก่อนการปรับสภาพ	31
4.1.2	วัสดุแม่เหล็กที่ได้หลังการปรับสภาพ	35
4.1.3	ผลการศึกษาน้ำหนักขานอ้อยหลังการปรับสภาพและปริมาณน้ำตาล รีดิวซ์	38
4.2	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู	44
4.3	การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีเมทิลีนบลู	46
4.4	การศึกษาประสิทธิภาพการนำขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการคายขับน้ำกลับมาใช้ใหม่	47
4.5	การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของวัสดุดูดซับ	48
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1	สรุปผลการทดลอง	54
5.2	ข้อเสนอแนะ	55
	เอกสารอ้างอิง	56
	ภาคผนวก	58
	ภาคผนวก ก	59
	ภาคผนวก ข	63
	ภาคผนวก ค	68
	ภาคผนวก ง	73
	ภาคผนวก จ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างทางกายภาพของชานอ้อย	3
2.2 สมบัติต่างๆของเมทิลีนบลู	14
3.1 แสดงการหาปริมาณกลูโคสในสารละลายตัวอย่าง	29
4.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water	48
4.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl.....	49
4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH.....	50
4.4 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Cellulase	51
ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ	61
ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ	62
ข-1 การศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสม	64
ข-2 การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม	66
ค-1 การทำไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อย แม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water	69
ค-2 การทำไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อย แม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl.....	70
ค-3 การทำไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อย แม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย NaOH.....	71
ค-4 การทำไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อย แม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย	3
2.2 โครงสร้างเซลลูโลส	4
2.3 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส	5
2.4 โครงสร้างลิกนิน.....	6
2.5 โครงสร้างเพคติน	7
2.6 ลักษณะของแม่เหล็ก	13
2.7 สูตรโครงสร้างของเมทิลีนบลู	14
2.8 กระบวนการดูดซับ	16
2.9 UV-VIS spectrum.....	21
2.10 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer.....	22
4.1 กากชานอ้อยที่ทิ้งแล้วจากกระบวนการคั้นน้ำอ้อย	31
4.2 เครื่องบด สำหรับบดชานอ้อยให้เป็นผง	32
4.3 ชานอ้อยที่ผ่านการอบแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง	32
4.4 ชุดรีฟลักซ์สำหรับการปรับสภาพผงชานอ้อย.....	33
4.5 ชุดกรองเพื่อทำการล้างชานอ้อย มีค่า pH 7	33
4.6 ชุด Teflon lined autoclave สำหรับปรับสภาพวัสดุ	33
4.7 ชานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบ ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส.....	34
4.8 กรองลดความดัน	34
4.9 นำชานอ้อยแม่เหล็กมาเผาเพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นแม่เหล็ก.....	34
4.10 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water จากกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	35
4.11 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	36
4.12 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	36
4.13 ลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	37
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักชานอ้อยหลังการบำบัดอ้อยเริ่มต้น(g/g) และ ปริมาณ น้ำตาลรีดิวซ์ต่อชานอ้อยเริ่มต้น(g/g) กับชานอ้อยที่ถูกปรับสภาพทางเคมี	38
4.15 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส.....	38

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างIntensity (AU) กับ Retention Time (min) ของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย Deionized Water..... 39

4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างIntensity (AU) กับ Retention Time (min) ของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย HCl..... 40

4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างIntensity (AU) กับ Retention Time (min) ของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย NaOH..... 40

4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างIntensity (AU) กับ Retention Time (min) ของน้ำตาลรีดิวิซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย Cellulase 41

4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับ กับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water..... 41

4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl..... 43

4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับ ค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย NaOH..... 43

4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase..... 44

4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพ 44

4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับชนิดของสารที่ใช้ในการปรับสภาพชานอ้อยแม่เหล็ก 46

4.26 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water โดยใช้ Langmuir Isotherm 47

4.27 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water โดยใช้ Freundlich Isotherm 48

4.28 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl โดยใช้ Langmuir Isotherm..... 49

4.29 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl โดยใช้ Freundlich Isotherm..... 49

4.30 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH โดยใช้ Langmuir Isotherm..... 50

4.31 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH โดยใช้ Freundlich Isotherm 50

4.32 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Cellulase โดยใช้ Langmuir Isotherm	51
4.33 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Cellulase โดยใช้ Freundlich Isotherm.....	51
4.34 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Cellulase โดยใช้ Freundlich Isotherm.....	52
ก-1 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู	61
ก- กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส.....	62
ง-1 ปากชานอ้อยที่ทิ้งแล้วจากกระบวนการคั้นน้ำอ้อย	74
ง-2 เครื่องบด สำหรับบดชานอ้อยให้เป็นผง	74
ง-3 ชานอ้อยที่ผ่านการอบแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง.....	74
ง-4 ชุดรีฟลักซ์สำหรับการปรับสภาพชานอ้อย.....	75
ง-5 ชุดกรองเพื่อทำการล้างชานอ้อย มีค่า pH 7.0	75
ง-6 ชุด Teflon lined autoclave สำหรับปรับสภาพวัสดุ.....	76
ง-7 ชานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบ ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส.....	76
ง-8 กรองลดความดัน	77
ง-9 นำชานอ้อยแม่เหล็กมาเผาเพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นแม่เหล็ก.....	77
จ-1 ตู้อบ (oven) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert.....	79
จ-2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance).....	79
จ-3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Balance).....	79
จ-4 เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp.....	80
จ-5 เครื่องกรองสุญญากาศ (Suction pump) รุ่น Aspirator A-3s ยี่ห้อ Eylala.....	80
จ-6 เครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway.....	80
จ-7 เครื่องบด ยี่ห้อ Bosco	81
จ-8 เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Thermolyne	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
Mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
M	โมลาร์
N	นอร์มัล
ppm	Part Per Million
mol	โมล
min	นาที
pH	ค่าที่แสดงความเป็นกรดและด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมอาหาร ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ รถยนต์ สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม อย่างไรก็ตามแม้ว่า อุตสาหกรรมในประเทศไทยจะขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น แต่สิ่งแวดล้อมกลับแย่ลงทุกวัน เนื่องจากปัญหาของโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น โรงงานฟอกย้อมปล่อยน้ำเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่ น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสีและการตกแต่งสำเร็จ จึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของสีย้อมในน้ำเสีย ถึงแม้สีบางชนิดจะไม่ใช่พิษ แต่ส่งผลต่อแหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสีย โดยทำให้แหล่งน้ำเกิดสภาพไม่นาดู และกั้นขวางแสง ทำให้ปริมาณแสงส่องผ่านสู่แหล่งน้ำลดลง ซึ่งวิธีการบำบัดสีย้อมมีวิธีที่หลากหลาย เช่น การใช้จุลินทรีย์ที่เหมาะสมย่อยสลายโมเลกุลสี การใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (ultrasonic) สลายโมเลกุล หรือแม้กระทั่งการดูดซับ ก็เป็นอีกวิธีที่ได้รับความนิยมในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสีย (รวินิภา, 2559) ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการเลือกใช้ ให้เหมาะสมสำหรับน้ำเสียของแต่ละอุตสาหกรรม

ในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้วิธีการดูดซับนั้น มักจะใช้ตัววัสดุดูดซับที่มีรูพรุนหรือช่องว่าง เพื่อให้ตัวถูกดูดซับแทรกเข้าไปให้ถึงรูพรุน จึงจะเกิดการดูดซับขึ้นได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัสดุเหลือทิ้งที่เป็นส่วนประกอบของพืช เช่น ใบบวบ ทุเรียน และชานอ้อย ซึ่งมีโครงสร้างของเซลล์พืชที่มีลักษณะเป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงต่างๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับดียิ่งขึ้น (อรทัย และคณะ, 2554)

วัสดุดูดซับบางประเภท เช่น ถ่านกัมมันต์ หรือ Activated Carbon นิยมนำมาใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการคัดแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียทำได้ยาก และใช้เวลานาน หรืออาจมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้วัสดุแม่เหล็กในการดูดซับ จะทำให้ลดระยะเวลาในการคัดแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสีย และลดค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี โดยใช้เพียงแม่เหล็กมาประกบเข้ากับตัววัสดุดูดซับที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นแม่เหล็ก ก็จะสามารถคัดแยกเอาวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียได้โดยง่าย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้ชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพทางเคมี โดยหวังว่าจะเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุดังกล่าว และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจากการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเพื่อที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีย้อมด้วยวิธีการอื่นๆ ที่อาจมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อผลิตวัสดุดูดซับแม่เหล็กจากขานอ้อย
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุแม่เหล็กแบบต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ปรับสภาพของขานอ้อยโดยใช้ ไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ เอนไซม์เซลลูเลส
2. ผลิตวัสดุดูดซับแม่เหล็กโดยใช้ เฟอร์รัสซัลเฟต(FeSO_4) และ เฟอริกคลอไรด์(FeCl_3)
3. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากวัสดุขานอ้อยแม่เหล็กแบบต่างๆ โดยศึกษาอิทธิพลต่างๆ ดังนี้
 - 3.1 ผลของ pH ในช่วง 1-7 ต่อการดูดซับ
 - 3.2 ผลของเวลาในการดูดซับ
4. ศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำ Adsorption – Desorption จนกว่าวัสดุจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับ

1.4 แผนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารอ้างอิงและรวบรวมข้อมูล
2. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดขอบเขตและลักษณะโครงการที่จะพัฒนา
3. เตรียมวัสดุดูดซับ
4. วิเคราะห์และแปรผลการทดลอง
5. ตรวจสอบติดตามและปรับปรุงแก้ไข
6. สรุปผลการวิเคราะห์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมมาทดแทนถ่านกัมมันต์
2. ลดต้นทุนการบำบัดสีในน้ำเสียของโรงงาน
3. สามารถนำมาพัฒนาวิธีการดูดซับสีในน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

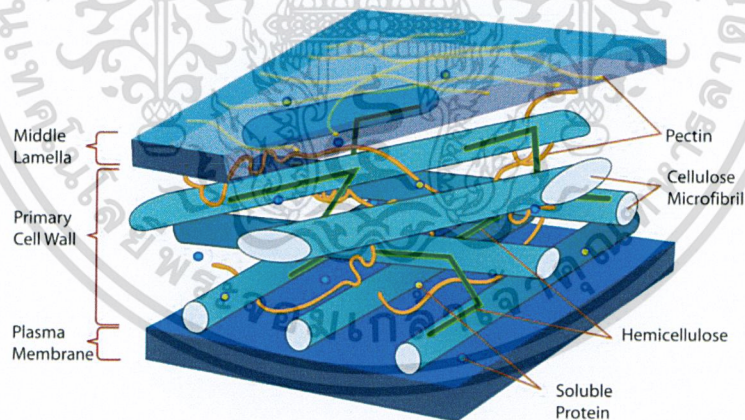
2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างทางกายภาพของชานอ้อย

ชานอ้อยในส่วนของเส้นใยของลำต้นอ้อยหลังผ่านการบีบคั้นสกัดเอาน้ำตาลออกแล้ว จะประกอบด้วยเส้นใยและของแข็งที่ละลายได้จำนวนเล็กน้อย ความเป็นเส้นใยของชานอ้อยมีสูง และละเอียด มีความแข็งแรงและอ่อนตัวได้ง่าย (Flexible) และมีไส้กลาง (Pith) หรือ Parenchy ปะปนอยู่ด้วยในปริมาณ 30 %

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างทางกายภาพของชานอ้อย

ชนิดของเนื้อเยื่อ	% น้ำหนัก	% การกระจายของเซลล์
เนื้อเยื่อไฟเบอร์ (True fiber)	55	35
ท่อเวสเซล (Vessel)	20	17
พืท (Pith)	20	35
ส่วนที่ไม่ใช่ไฟเบอร์	5	13

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย (ที่มา :<https://www.thoughtco.com>)

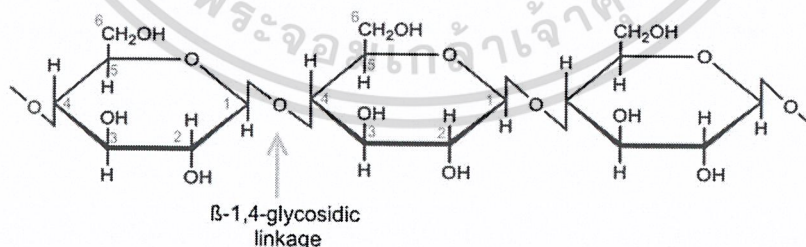
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโมเลกุลที่ต่อกันเป็นโซ่ยาวของกลูโคส พบมากในพืช เพื่อทำหน้าที่เสริมโครงสร้างของลำต้น และกึ่งก้านของพืช ผัก และผลไม้ให้แข็งแรงเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช และพบว่าสาร Organic carbon เป็นเซลลูโลสที่ประกอบด้วย D-glucose molecules ที่จัดจัดเป็นเส้นยาวตรงเชื่อมต่อกันด้วย β -1,4-glycosidic bond ร่างกายของคนไม่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ แต่จะมีการขับถ่ายออกมาในลักษณะของกาก เรียกว่า เส้นใยอาหาร ช่วยกระตุ้นให้ลำไส้ใหญ่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เซลลูโลสเมื่อย่อยจะแตกตัวออกให้น้ำตาล เซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำเพราะมีโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,250-12,500 โมเลกุล พบมากที่สุดในพืชเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ในพืชผักผลไม้เป็นโครงสร้างที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออกให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีรสหวาน มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีสูตร $(C_6H_{10}O_5)_n$ ประกอบด้วย โมเลกุลของโมโนแซ็กคาไรด์จำนวนมากหลายพันโมเลกุล

ชนิดของเซลลูโลส แบ่งตามความสามารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็น 3 ชนิด

1. แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose) คือเซลลูโลสที่ไม่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 %
2. เบต้า-เซลลูโลส (β -cellulose) คือเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายในสารละลายที่มีสภาพที่เป็นกรด
3. แกมมา-เซลลูโลส (γ -cellulose) คือเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนได้โดยใช้แอลกอฮอล์



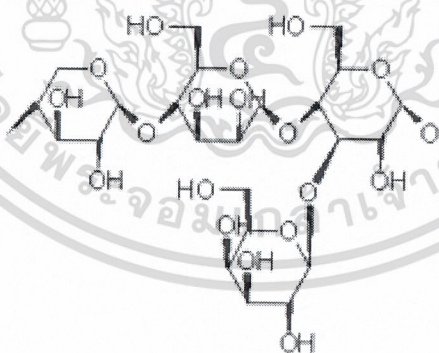
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเซลลูโลส (ที่มา : <https://www.researchgate.net>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ประมาณ 20 % โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสหลายชนิด โดยมีไซโลสมากที่สุดถึง 85-90 % และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 กรดแมนนูโรนิก (Mannuronic acid) และกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เป็นองค์ประกอบ เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจาง หรือเอนไซม์เพราะเฮมิเซลลูโลสไม่มีรูปร่างนอนไม่เป็นเส้นตรง และมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่ม จึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้ง่าย

โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสของพืชประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้ง โดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และลิกนิน ทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์ที่แข็งแรง เฮมิเซลลูโลสมีทั้งโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรง และโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ได้แก่ ไซโลสมีทั้งอะราบิโนส และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลคโตส องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเฮมิเซลลูโลสเป็นไซโลสที่เชื่อมต่อกับพันธะเบต้า ทั้งนี้ไม่ค่อยพบเฮมิเซลลูโลสที่มีไซโลสเพียงชนิดเดียวในธรรมชาติ จึงมักพบอยู่รวมตัวกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ และมีส่วนของลิกนินจับตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสจะมีความเป็นกรด เนื่องจากมีหมู่ 4-methyl- α -D-glucose จับอยู่กับออกซิเจนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งการมีหมู่แทนที่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ส่งผลให้สามารถสกัดเฮมิเซลลูโลสออกด้วยสารละลายเบส แต่ขั้นตอนของการสกัดเฮมิเซลลูโลสออกนั้นอาจต้องมีการกำจัดลิกนิน (Delignification) ร่วมด้วย



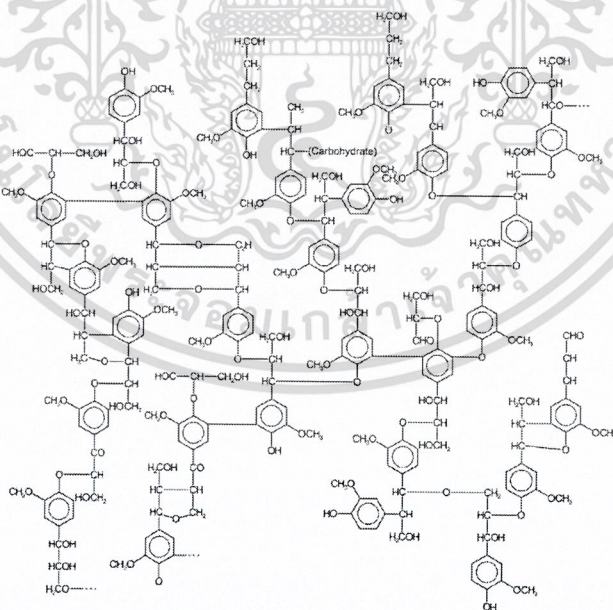
รูปที่ 2.3 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส (ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose>)

2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบสุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติ โดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเทอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุลทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมี และเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้อง

อาศัยสารเคมีในการแยกกลินินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้างของกลินินมีโครงสร้างที่เกิดจากหน่วยที่เหมือนกันซ้ำๆ ประกอบเป็นโมเลกุลใหญ่ที่มีการเชื่อมต่อของหน่วยย่อย คือ ฟีนิลโพรพานอยด์ (Phenyl propanoid) ที่มีหมู่เมธิลอยู่บนโมเลกุลกลินินจากไม้เนื้ออ่อน หญ้า และไม้เนื้อแข็งมีองค์ประกอบของหมู่แทนที่พวกเมธอกซี (Methoxy) และการเกิดพันธะระหว่างหมู่ฟีนิลที่แตกต่างกัน

สมบัติของกลินิน กลินินมีสมบัติที่สำคัญ คือ การละลายในตัวทำละลาย โดยปกติกลินินจะไม่ละลายน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูงขณะที่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์กลินิน (Alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (Dioxane) ไพริดีน (Pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้เมื่อมีการเติมหมู่เมธิล (Methyl) และหมู่อะซีทิล (Acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆ บนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของกลินินทำให้กลินินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ที่มีความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้การเติมไฮดรอกซีโตโรไซด์เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซีลให้แก่โครงสร้างของกลินิน ทำให้กลินินสามารถดูดกลืนแสงได้ด้วยการที่กลินินอยู่รวมตัวกับเซลลูโลสในเนื้อไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งยังทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ไม่สามารถทำลายโครงสร้างพืชได้ง่าย โดยโครงสร้างที่กลินินอยู่รวมตัวกับเซลลูโลสจะมีพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างกลินิน และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากวัสดุกลุ่มกลินินเซลลูโลสมีมากขึ้น จึงต้องใช้ในการปรับสภาพวัสดุเหล่านี้ก่อน และป้องกันผลเสียที่เกิดจากกลินิน รวมทั้งให้เซลลูโลส และเฮมิ-เซลลูโลสอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ 2.4 โครงสร้างกลินิน (ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Lignin>)

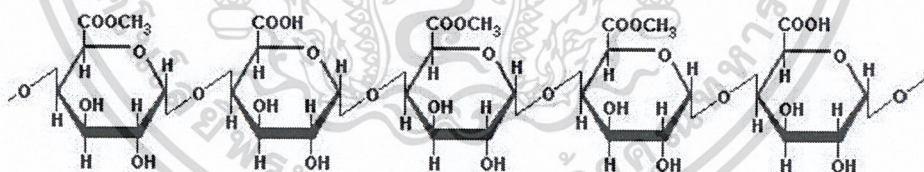
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เพคติน (Pectin)

เพคติน (Pectin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภท Heteropolysaccharide มีหน่วยย่อยคือกรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) ประมาณ 65 % โดยน้ำหนัก และเมทิลไกลกาแล็กทูโรเนต และน้ำตาลหลายชนิด เช่น Rhamnose , Galactose และ Arabinose พบตามธรรมชาติในผนังเซลล์ของพืชและรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส (Cellulose) ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกันคล้ายเป็นซีเมนต์เพคตินที่พบในพืช ประกอบด้วยสาร 4 ชนิด คือ โปรโตเพคติน (Protopectin) กรดเพคติก (Pectinic acid) เพคติน (Pectin) และกรดเพคติก (Pectic acid)

โครงสร้างโมเลกุลของเพคตินเป็น Polysaccharide ประเภท Heteropolysaccharide โมเลกุลของเพคตินเป็นโพลิเมอร์ของ α -D-galacturonic acid ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ชนิดแอลฟา 1-4 ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (COOH) และหมู่คาร์บอกซิลที่รวมอยู่กับเมทิล (COOCH₃) ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)

คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน สารกลุ่มเพคตินเป็นโพลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนในพืช พบในพืชชั้นสูงโดยปรากฏในชั้นระหว่างเซลล์หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างผนังเซลล์ ทำให้เกิดช่องสำหรับอาหารและน้ำผ่านในผนังเซลล์ สารกลุ่มเพคตินเป็นสารเคลือบเส้นใยเซลลูโลสที่สำคัญ และอาจเชื่อมต่อกับพันธะโควาเลนต์กับพอลิเมอร์อื่นๆ สารกลุ่ม- เพคตินจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ โปรโตเพคติน กรดเพคติก และกรดเพคติก เพคตินมีอิทธิพลต่อพัฒนาการการเจริญเติบโตไปถึงการแก่ชรา และมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชและผลไม้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเพคติน (ที่มา : <http://std.com.pk/fulltext/?doi=std.2015.9.15>)

2.3 การแบ่งชนิดของอ้อย (Sugarcane - *Saccharum officinarum* L.)

การแบ่งชนิด (species) ของพืชในสกุลนี้ ได้กระทำโดยนักพฤกษศาสตร์หลายท่านในวาระต่างๆ กัน แต่ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปก็คือ การแบ่งของกราสซิล (Grassl, 1968) ซึ่งได้แบ่งพืชในสกุลนี้ ออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.3.1 อ้อยปลูกดั้งเดิม (*S. officinarum* L.)

2.3.2 อ้อยป่าแถบร้อน (*S. spontaneum* L.)

2.3.3 อ้อยอินเดีย (*S. barberi* Jesw.)

2.3.4 อ้อยป่านิวกินี (*S. robustum* Brand. et Jesw. ex Grassl.)

2.4 ลักษณะทั่วไปและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย

ส่วนใหญ่เป็นลักษณะของอ้อยปลูกดั้งเดิม ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบหมู่เกาะนิวินี และอ้อยลูกผสม (hybrid cane) ที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยชนิดต่างๆ โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้

2.4.1 ราก (root)

อ้อยมีระบบรากฝอย (fibrous root system) แผ่กระจายออกโดยรอบลำต้นในรัศมีประมาณ 50-100 เซนติเมตร ลึก 100-150 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม อ้อยไม่มีรากแก้วนอกจากเมื่อปลูกด้วยเมล็ด ซึ่งตุ่มล้ามีรากแก้วเรียกว่า ไพรมารีรูต (primary root) หรือเซมินัลรูต (seminal root) ปกติอ้อยขยายพันธุ์โดยใช้ลำต้นตัดเป็นท่อนๆ ละ 2-3 ตา แต่ละท่อนเรียกว่า ท่อนพันธุ์ (sett หรือ cutting หรือ seed piece หรือ seed cane) เมื่อเอาท่อนพันธุ์ดังกล่าวปลูกจะปรากฏราก 2 ชุด คือ

2.4.1.1 รากของท่อนพันธุ์ (sett root หรือ cutting root) อาจเรียกว่า รากชั่วคราว เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากในบริเวณเกิดราก ของท่อนพันธุ์ รากพวกนี้มีลักษณะผอมแตกแขนงมาก ขณะที่ตาของท่อนพันธุ์กำลังเจริญเป็นหน่อ (shoot) นั้น ได้นำและธาตุอาหารจากดินทางรากเหล่านี้ รากของท่อนพันธุ์ จะทำหน้าที่ต่อไป จนกระทั่งหน่อมีรากของตนเอง ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารแทน หลังจากนั้นรากของท่อนพันธุ์ รวมทั้งตัวท่อนพันธุ์เดิมก็จะหมดสภาพไป

2.4.2.1 รากของหน่อ (shoot root) อาจเรียกว่า รากถาวร เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากของหน่อที่เกิดจากท่อนพันธุ์นั้น รากนี้มีขนาดใหญ่กว่ารากชนิดแรก เมื่อเกิดใหม่ๆ มีลักษณะอวบไม่มีแขนง สีขาว และสีจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเข้มเมื่ออายุมากขึ้น แม้ว่า ปุ่มรากที่ปรากฏในบริเวณเกิดรากของแต่ละข้อจะมีจำนวนจำกัด แต่เนื่องจากส่วนโคนของลำต้นที่อยู่ใต้ดินมีปล้องถี่มาก ทำให้มีรากมาก รากจะเจริญออกมาจากปุ่มรากเท่านั้น การเจริญของรากจะเกิดทยอยกันโดยต่อเนื่อง ในขณะที่รากเก่ากำลังเสื่อมสภาพลงนั้น รากใหม่ก็จะเกิดมาทำหน้าที่แทน และแม้ว่ารากที่เกิดในแต่ละข้อจะมีจำนวนจำกัด แต่การแตกสาขาไม่มีขอบเขตจำกัด โดยเฉพาะในดินที่เหมาะสม รากเหล่านี้สามารถหยั่งในแนวตั้ง และแนวนอนได้มากกว่า 100 เซนติเมตร นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากที่เกิดจากข้อเหนือพื้นดิน ทั้งข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน และสูงขึ้นไป อ้อยบางพันธุ์อาจมีรากยาวที่ข้อซึ่งอยู่ห่างจากพื้นดินมาก

2.4.2 ลำต้น (stalk)

อ้อยได้ชื่อว่า "หญ้ายักษ์" (giant grass) ทั้งนี้เพราะมีลำต้นสูงใหญ่ อ้อยที่เก็บเกี่ยว เมื่ออายุ 12 เดือน อาจมีลำต้นสูงประมาณ 2-3 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-5.0 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการปฏิบัติรักษาของชาวไร่ ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้องจำนวนมาก ทั้งข้อและปล้องรวมเรียกว่า จอยต์ (joint) ซึ่งอาจเรียกง่ายๆ ว่า "ปล้อง" อ้อยที่ตัดเมื่ออายุ 12 เดือน จะมีปล้อง 20-30 ปล้อง ในระยะห่างปล้องอ้อยจะมีปล้องเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณเดือนละ 3 ปล้อง แต่ละปล้อง เมื่อโตเต็มที่ประมาณ 10-15 เซนติเมตร ความยาวของปล้องขึ้นอยู่กับพันธุ์ และไม่เท่ากันโดยทั่วไป ลักษณะลำต้นมีหลอดกลวงอยู่ตรงกลางของลำต้นทุกข้อซึ่งมีเยื่อหุ้มที่เรียกว่าเยื่อใย (sheath) ห่อหุ้มอยู่รอบๆ ลำต้นที่โตเต็มที่หลอดกลวงจะแห้งและแตกเป็นสะเก็ดหลุดไป เหลือแต่เยื่อใยที่ห่อหุ้มลำต้นไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงข้อมูลหาประโยชน์ของผู้อื่นโดยมิชอบเอกสารทุกฉบับที่จัดทำขึ้นใช้
สภาพแวดล้อม โดยเฉพาะน้ำ ปล้องที่เกิดในช่วงที่มีน้ำพอเหมาะ จะยาวกว่าปล้องที่เกิดในช่วงที่มีน้ำ

มากหรือน้อยเกินไป อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะได้รับน้ำอย่างเหมาะสม ความยาวของปล้องก็จะแตกต่างกัน คือ ปล้องที่อยู่ตอนโคนต้นจะสั้นมาก และค่อยๆ ยาวขึ้น แล้วก็จะสั้นลงอีกเมื่อใกล้ยอด ลักษณะดังกล่าวปรากฏในอ้อยที่ไม่มีดอก ส่วนอ้อยที่มีดอกปล้องที่รองรับช่อดอก จะมีความยาวที่สุด แล้วลดลงตามลำดับ จนกระทั่งถึงส่วนที่ปล้องมีความยาวไล่เลี่ยกัน

2.4.3 รูปร่างของปล้อง (internode patterns)

ปล้องมีรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดและพันธุ์ เป็นรูปทรงกระบอก (cylindrical) มัดข้าวต้ม (tumescent) กลางคอด (bobbin-shaped) โคนใหญ่ (conoidal) โคนเล็ก (obconoidal) หรือโค้ง (curved) การจัดเรียงของปล้องอาจเป็นแนวเส้นตรงหรือซิกแซกก็ได้

2.4.4 สีของลำต้น (stalk color)

สีของลำต้นแตกต่างกันตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีเขียวอ่อนจนถึงสีม่วงแก่เกือบดำ สีต่างๆ เหล่านี้เกิดจากรงควัตถุ (pigments) ที่เป็นพื้นฐาน 2 ชนิด คือ

2.4.4.1 สีเขียวเกิดจากคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งอยู่ในเนื้อเยื่อของลำต้น ในส่วนที่เรียกว่า เอพิเดอร์มิส (epidermis) และส่วนที่อยู่ถัดเข้าไป และ

2.4.4.2 สีแดงเกิดจากแอนโทไซยานิน ปริมาณของรงควัตถุทั้ง 2 ชนิดนี้มีมากน้อยแตกต่างกันไป พวกที่มีแอนโทไซยานินอยู่มาก ลำต้นก็จะออกสีแดง ในทำนองเดียวกันที่มีคลอโรฟิลล์อยู่มากก็จะเป็นสีออกเขียว นอกจากนี้ก็อาจมีรงควัตถุอื่นๆ ปนอยู่อีก เช่น รงควัตถุสีแดงปนเหลืองหรือส้ม ได้แก่ คาโรทีนอยด์ (carotenoid) และรงควัตถุสีเหลือง ได้แก่ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นต้น

2.4.5 ส่วนประกอบของข้อและปล้อง ข้อและปล้องประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.4.5.1 ตา (bud หรือ eye) เกิดที่ข้อในบริเวณเกิดราก (root band) ปกติแต่ละข้อมีหนึ่งตาเกิดสลับกันคนละข้างของลำต้น ในบางกรณีบางข้ออาจไม่มีตา หรือมีมากกว่าหนึ่งตาก็ได้ ขนาดรูปร่าง และลักษณะของตาขึ้นอยู่กับพันธุ์

2.4.5.2 บริเวณเกิดราก (root band หรือ rooting หรือ root zone) คือ อาณาเขตที่อยู่ระหว่างรอยกาบ และวงเจริญ เป็นที่เกิดของปมราก ความกว้างของบริเวณนี้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ ด้านที่มีต้ามักจะกว้างกว่าด้านที่อยู่ตรงข้าม สี ความกว้าง และปริมาณไข (wax) ที่เกาะตลอดจนระดับของบริเวณนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของปล้องแตกต่างกันตามพันธุ์

2.4.5.3 ปมราก (root primordia หรือ root initials) เป็นจุดเล็กๆ ในบริเวณเกิดราก รากจะเจริญออกมาจากปมเหล่านี้ ปมรากที่อยู่ตอนบนมีขนาดเล็กกว่าตอนล่าง สี ขนาด จำนวนแถว และการจัดเรียงของปมรากเป็นลักษณะประจำพันธุ์

2.4.5.4 วงเจริญหรือวงแหวน (growth ring) คือ ส่วนที่มีลักษณะคล้ายวงแหวนเรียบ ที่อยู่เหนือบริเวณเกิดราก เป็นส่วนที่มีไขเกาะน้อยมาก มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ การที่เรียกวงเจริญก็เพราะ ส่วนนี้จะเจริญเติบโตอย่างเห็นได้ชัดในอ้อยที่ล้ม ส่วนของวงเจริญด้านล่างจะยึดตัวมากกว่า ทำให้ลำต้นตั้งขึ้น วงเจริญอยู่ตรงกับตาอาจโค้งขึ้นเหนือตา หรือผ่านไปทางด้านหลังตาก็ได้ ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นกัน

2.4.5.5 รอยกาบ (leaf scar หรือ sheath scar) คือ รอยที่เกิดขึ้นหลังจากกาบใบหลุดแล้ว การหลุดยากหรือง่ายของกาบใบเป็นลักษณะประจำพันธุ์ นอกจากนี้ลักษณะบางอย่าง เช่น ความลาดเท และความยื่นตรงได้ตาก็เป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกัน

2.4.5.6 วงไข (wax ring) คือ ส่วนของปล้องที่มีไขเกาะมากกว่าส่วนอื่นๆ มีลักษณะเป็นวงแหวน อยู่ใต้รอยกาบ ส่วนนี้อาจจะคอดหรือเสมอกับลำต้น ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์

2.4.5.7 รอยแตกตื้นหรือรอยแตกลายงา (corky cracks) คือ รอยแตกเล็กๆ ที่ผิวหรือเปลือกของลำต้นตามความยาวของปล้อง ลักษณะและปริมาณของรอยแตกขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม

2.4.5.8 รอยแตกลึก (growth crack หรือ rind crack) เป็นรอยแตกขนาดใหญ่ เกิดตามความยาวของลำต้นลึกเข้าไปในเนื้ออ้อย รอยแตกส่วนมากมักจะยาวตลอดปล้อง ปล้องละรอย และรอยดังกล่าวมักเกิดขึ้นในบางปล้องเท่านั้น การเกิดรอยแตกลึกขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม

2.4.5.9 รอยตกระเก็ด (corky patch) เป็นรอยแตกตื้นๆ ที่ผิวคล้ายตกระเก็ด จำนวน และลักษณะที่เกิด ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกัน

2.4.5.10 ร่องตา (bud furrow หรือ bud groove) เป็นร่องที่เกิดขึ้นที่ปล้องซึ่งอยู่ตรงและเหนือตาขึ้นไป บางพันธุ์อาจไม่มี สำหรับพันธุ์ที่มีร่องนี้อาจยาว สั้น ตื้น หรือลึก ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์

เมื่อตัดลำต้นออกตามขวางจะปรากฏส่วนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด 3 ส่วน คือ ส่วนนอกสุดซึ่งมีความแข็งมาก เรียกว่า เปลือก (hard rind) ถัดเข้าไปซึ่งนิ่มกว่า เรียกว่า เนื้ออ้อย (flesh) ประกอบด้วยเซลล์ ที่ทำหน้าที่เก็บน้ำตาล (parenchyma หรือ storage cells) และไฟเบอร์ (fiber) ซึ่งส่วนหลังนี้จะเห็นได้ชัดเมื่อฝนรอยตัด จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ ปรากฏว่า ส่วนที่เป็นเปลือกประกอบด้วยเซลล์ผิวหนา ซึ่งมีลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เปลือกทำหน้าที่ให้ลำต้นแข็งแรง และป้องกันส่วนที่อยู่ภายในลำต้น ส่วนที่เป็นไฟเบอร์นั้นความจริงก็คือ ท่อน้ำ ท่ออาหารนั่นเอง ในลำต้นหนึ่งๆ มีท่อดังกล่าวอยู่ประมาณ 1,200 ท่อ ความหนาแน่นของไฟเบอร์มีมากที่บริเวณใกล้เปลือก และมีน้อยลง เมื่อใกล้จุดกึ่งกลาง ของลำต้น ที่จุดกึ่งกลางอาจจะตัน หรือมีรูเล็กๆ นอกจากนี้บริเวณใกล้จุดกึ่งกลางมักจะมีไส้ (pith) รวมเป็นกลุ่ม หรืออาจกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ในส่วนที่เป็นปล้อง ท่อน้ำ ท่ออาหารจะขนานกันไป แต่ที่ข้อจะแยกตัวออกบางส่วนไปสู่ปล้องที่อยู่ถัดขึ้นไป บางส่วนแยกสู่กาบใบ ปุ่มราก หรือตา เป็นต้น ส่วนที่นิ่มซึ่งอยู่รอบๆ ไฟเบอร์ คือ เซลล์ ซึ่งทำหน้าที่เก็บน้ำตาล เมื่ออ้อยถูกบีบด้วยลูกหีบ เซลล์เหล่านี้จะแตก ปล่อยน้ำตาลที่อยู่ภายในออกมา ความแข็ง หรือความนิ่มของเนื้ออ้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณ และคุณภาพของไฟเบอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ และสภาพแวดล้อม พวกอ้อยเคียวลำใหญ่ นุ่ม เช่น อ้อยสิงคโปร์ และมอริเชียส มีไฟเบอร์น้อยกว่าร้อยละ 10 ส่วนพวกลำเล็กและแข็ง เช่น พันธุ์ซีโอ 281 (Co 281) อาจถึงร้อยละ 17 เป็นต้น พื้นที่หน้าตัดลำต้นของแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไปตั้งแต่รูปค่อนข้างกลม จนถึงรูป

เอกส... ไม่ใช่ หรือ... ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 ดอก

ดอกอ้อยมีขนาดเล็กมาก เกิดเป็นคู่ๆ ในแต่ละคู่นี้ดอกหนึ่งจะมีก้าน (pedicelled หรือ stalked-spikelet) ส่วนอีกดอกหนึ่งไม่มีก้าน (sessil-spikelet) ที่รอบฐานของแต่ละดอก มีขนยาว สีขาวคล้ายไหมจำนวนมากเรียกว่า บริสเทิล หรือคัลลัสแฮร์ (bristle หรือ callus hair) ก่อนดอกบาน ขนเหล่านี้จะแนบอยู่กับตัวดอก เมื่อดอกบาน ก็จะกางออกโดยรอบเป็นรัศมี ทำให้ดูคล้ายทำด้วยไหม ทั้งซ่อแต่ละดอกมีกลีบดอก 3 กลีบ เรียงจากข้างนอกเข้าไปเรียกว่า กาบนอก (outer glume) กาบใน (inner glume) และสเตอร์ราลล์เลมมา (sterile lemma) หรือกาบที่สาม (third glume) ตามลำดับ

ดอกอ้อยเป็นดอกที่สมบูรณ์ คือ มีทั้งส่วน ที่เป็นเพศผู้และเพศเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ส่วนของ เพศผู้ประกอบด้วยอัปเกสร (anther) ซึ่งมีลักษณะยาวรี 3 อับ แต่ละอับมีก้านอัปเกสร (filament) เวลาดอกบานก้านนี้จะยึดตัวส่งอัปเกสรออกมาภายนอก และอัปเกสรก็จะแตกออกปล่อยละอองเกสร (pollen grain) ออกมาผสมตัวเองหรือลอยไปตามลม ส่วนของเพศเมียประกอบด้วยรังไข่ (ovary) 1 รัง และสติกมา (stigma) ซึ่งปลายแยกออกเป็น 2 แฉก ลักษณะคล้ายขนนกเรียกว่า ฟิเทอริ สติกมา (feathery stigmas) หลังจากได้รับการผสมรังไข่ก็จะเจริญเป็นเมล็ดต่อไป

ดอกอ้อยจะเริ่มบานตอนเช้าตั้งแต่เวลา 06.00 -10.00 น. โดยจะเริ่มจากปลายซ่อดอกและปลาย ของก้านแขนงรอง หรือก้านแขนงย่อย ลงสู่โคน ซ่อดอกทั้งซ่อจะบานหมดในเวลาประมาณ 7-10 วัน

2.4.8 เมล็ด

เมล็ดอ้อยเป็นผล (fruit) ชนิดคาริออพซิส (caryopsis) คล้ายเมล็ดข้าว แต่มีขนาดเล็กกว่ามาก ตามปกติเมล็ดอ้อยมักจะติดแน่นอยู่กับ ส่วนของดอก จึงมีชื่อเรียกโดยเฉพาะว่า ฟัชซ์ หรือ ฟลัฟฟ์ (fuzz หรือ fluff) เมล็ดเหล่านี้ถ้าเพาะในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะงอกเป็นอ้อยต้นใหม่ได้

2.5 แร่แม่เหล็ก

2.5.1 คุณสมบัติทางเคมี

สูตรเคมีคือ Fe_3O_4 ซึ่งความจริงเป็น FeO และ Fe_2O_3 มี Fe 72.4 %, O 27.6 % อาจมีแมกเนเซียม และแมงกานีสปนเล็กน้อย

2.5.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

รูปผลึกระบบไอโซเมทริกแบบออกตะฮีดรอนเหมือนสปิเนล ปกติเป็นเม็ดเกาะแน่นเนื้อละเอียดหรือหยาบ สีดำแบบเหล็ก สีผงละเอียดสีดำ วาวแบบโลหะ เนื้อเปราะร่วน รอยแตกไม่เรียบ

แข็ง 6 ค่าความถ่วงจำเพาะ 5.18 แม่เหล็กดูดติดดีมาก และตัวแร่เป็นแม่เหล็กด้วย เช่น ดูดเข็มหมุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปเซบระยะชันด้านการค้า ตัด เรียก Lodestone

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การกำเนิด

เป็นแร่เกิดอุณหภูมิสูงแทรกอยู่ทั่วไปในหินอัคนี ในหินอ่อน โดยเฉพาะตรงแหล่งแปรสัณฐานในส่วนที่มีการแทนที่และในสายแร่พวกซิลไฟต์ ตามชายฝั่งทะเลที่มีทรายสีดำมักมีแมกนีไทต์ปนอยู่ด้วยเสมอ ได้พบบ่อยๆ เหมือนกับที่เกิดร่วมกับพลอยคอร์ันดัมในลักษณะที่รู้จักกันในชื่อ emery

2.5.4 แหล่งกำเนิด

ในประเทศไทย พบอยู่ในแหล่งแร่เหล็กที่ จ.ลพบุรี นครสวรรค์ เลย ชลบุรี ระยอง กระบี่ และ นครศรีธรรมราช ส่วนในต่างประเทศ แหล่งที่ใหญ่ที่สุด คือ ที่ Kiluna และ Gellivare ในประเทศสวีเดนตอนเหนือ นอกจากนี้ก็มีที่นอร์เวย์ โรมาเนีย สวีเดน แอฟริกาใต้ สหพันธรัฐรัสเซีย อิตาลี แหล่งที่มีกำลังแม่เหล็กธรรมชาติสูงที่สุดพบที่ไซบีเรียที่ภูเขาแฮร์ซบนเกาะเอลบา

2.5.5 ประโยชน์

1. เป็นแหล่งสินแร่ที่สำคัญ
2. ใช้หาทิศ เนื่องจากแม่เหล็กจะหันขั้วเหนือไปทางทิศเหนือ และจะหันขั้วใต้ไปทางทิศใต้เสมอ ดังนั้นเราจึงใช้แม่เหล็กทำเข็มทิศ
3. ใช้คัดแยกวัตถุที่เป็นสารแม่เหล็กออกจากวัตถุอื่นๆ



รูปที่ 2.6 ลักษณะของแร่แม่เหล็ก (ที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetite>)

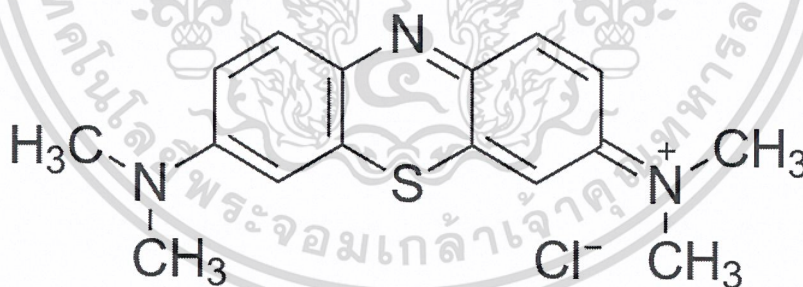
2.6 เมทิลีนบลู (Methylene blue)

2.6.1 สมบัติของเมทิลีนบลู

การประกอบเมทิลีนบลู เป็นสารอินทรีย์กลุ่มสารประกอบพวก เฮเทอโรไซคลิก อะโรมาติก (Heterocyclic aromatic) ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $C_{16}H_{18}ClN_3S$ โดยเป็นสารประกอบเคมีที่เป็นของแข็งเมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้อง ไม่มีกลิ่น มีสีเขียวเข้ม เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีฟ้า โดยสมบัติต่างๆของเมทิลีนบลู แสดงดังตาราง

ตารางที่ 2.2 สมบัติต่างๆของเมทิลีนบลู

สมบัติทั่วไป	
มวลโมเลกุล	319.85
สมบัติทางกายภาพและเคมี	
ลักษณะ	ของแข็ง
จุดหลอมเหลว (K)	463.15
ความสามารถในการละลายน้ำ ($g/100\text{ cm}^3$)	4
ความสามารถในการละลายแอลกอฮอล์ ($g/100\text{ cm}^3$)	1.54



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเมทิลีนบลู (ที่มา : <https://www.researchgate.net>)

2.6.2 การนำเมทิลีนบลูมาใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันเมทิลีนบลูถูกใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมสีต่างๆ เนื่องจากสีย้อมโดยทั่วไปจะเป็นเกลือ ซึ่งจะประกอบไปด้วยไอออนที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ ไอออนตัวใดตัวหนึ่งจะเป็นตัวให้สี ซึ่งไอออนตัวนี้จะต้องมีประจุตรงข้ามกับประจุในส่วนที่เราจะย้อมให้ติดสี ดังนั้นสีย้อมจึงแบ่งออกได้เป็น 2 พวกคือ สีย้อมที่เป็นด่าง(basic dye)เป็นตัวให้สี และ สีย้อมที่เป็นกรด(acid dye) เป็นตัวให้สี Methylene blue เป็นสีย้อมที่เป็นด่าง (Basic dye) ซึ่งมีไอออนบวกเป็นตัวให้สี เมื่อนำไปย้อมรวม

กับส่วนประกอบของเซลล์ที่อยู่บนผิว หรือภายในเซลล์ อีออนบวกของสีจะจับกับอีออนลบของกรดนิวคลีอิก โดยจับกันด้วยพันธะหลายชนิด เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาล และยังเป็นอินดิเคเตอร์ในการทดสอบความเป็นกรด-ด่างของสารละลายได้อีกด้วย

นอกจากนี้ เมทิลีนบลู ยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านชีววิทยา ภาควิชาเคมี และใช้เป็นเภสัชภัณฑ์ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนำมาเป็นยาต่อต้านเชื้อมาลาเรียเมื่อปี ค.ศ. 1891 (พ.ศ. 2434) ปัจจุบันมีการพัฒนาใช้เมทิลีน บลู มาเป็นสารประกอบของยาต้านอาการปวดเกร็ง/ปวดบีบขณะขับถ่ายปัสสาวะ หรือใช้เป็นสีย้อมในการทำหัตถการทางการแพทย์ที่เรียกว่า Endoscopy polypectomy อีกทั้งใช้เป็นยาต้านพิษ (Antidote) ของสารโพแทสเซียม ไซยาไนด์ (Potassium cyanide) ประเด็นสำคัญคือ ใช้บำบัดอาการผิดปกติของเม็ดเลือดที่เรียกว่า Methemoglobinemia (ความผิดปกติของเม็ดเลือดแดงที่มีสาร Methemoglobin สารที่ไม่สามารถนำส่งออกซิเจนให้กับเซลล์ได้ ที่มากเกินไป)

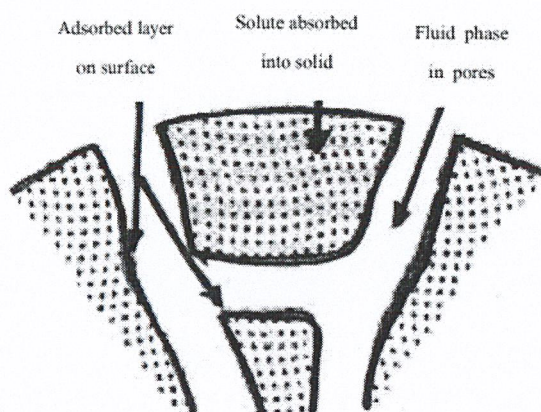
2.6.3 ความเป็นพิษของเมทิลีนบลู

ถ้ามนุษย์ได้รับเมทิลีนบลูเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป อาจเกิดอาการปวดศีรษะ อาเจียน สับสน หายใจถี่ และความดันโลหิตสูง ผลข้างเคียงอื่น ๆ ได้แก่ กลุ่มอาการ serotonin , การสลายเซลล์เม็ดเลือดแดงและเกิดอาการแพ้ มักให้ปัสสาวะ เท่งื่อ และอุจจาระเป็นสีเขียว ในขณะที่ใช้ระหว่างตั้งครรภ์อาจเป็นอันตรายต่อทารก Methylene สีฟ้าเป็นสีย้อม thiazine มันทำงานโดยการแปลง Fe^{3+} ในเฮโมโกลบินไป Fe^{2+}

2.7 การดูดซับ

การดูดซับหมายถึงกระบวนการแยกสารที่จะเรียกสารที่ถูกแยกว่า “ตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับ” ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการสะสมสารประกอบชนิดหนึ่งหรือสารประกอบหลายชนิดไว้บนผิวของแข็ง โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างของแข็งนั้น ระบบของแข็งที่เก็บสะสมสารประกอบอื่น ๆ จะมีโมเลกุลหรืออนุภาคในของไหลที่เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่กับพื้นของแข็งด้วยแรงดึงดูดชนิดเดียวกัน สารที่มีพื้นผิวเกาะจับโมเลกุลหรือแขวนลอยจะเรียกว่า “ตัวดูดซับ”(adsorbent) สารที่เกาะเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ”(adsorbate) ไว้บนผิว โดยกระบวนการดูดซับจะเกิดจากการแยกสาร(ตัวถูกดูดซับ) ซึ่งอนุภาคของตัวถูกดูดซับจะละลายอยู่ในของไหล(ของเหลวหรือแก๊ส)และจะไหลเข้ามาสัมผัสกับของแข็ง(ตัวดูดซับ) โดยอนุภาคของตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้าไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับผ่านรอยต่อระหว่างของแข็งกับของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 กระบวนการดูดซับ

(ที่มา : <http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/magnetite.php>)

2.7.1 จากภาพที่ 2.8 สามารถอธิบายกระบวนการดูดซับได้ดังนี้

2.7.1.1 เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการกวนจนทำให้เกิดการปั่นป่วนหรือการเคลื่อนที่ผ่านของของไหลที่มีตัวถูกดูดซับอยู่ หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน

2.7.1.2 Film diffusion เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวถูกดูดซับจะมีฟิล์มของของไหลล้อมรอบตัวดูดซับอยู่โดยล้อมรอบคล้ายเยื่อบางๆซึ่งตัวถูกดูดซับจะต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มเข้ามาให้ได้จึงจะเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวของตัวดูดซับได้

2.7.1.3 Pore diffusion เนื่องจากตัวดูดซับมีรูพรุนหรือช่องว่างอย่างมากมาย ตัวถูกดูดซับจะต้องแทรกเข้าไปให้ถึงรูพรุนให้ได้ จึงจะเกิดการดูดซับขึ้น

2.7.1.4 ตัวถูกดูดซับจะเกาะติดภายในตัวดูดซับได้โดยไม่หลุด

2.7.2 ลักษณะการดูดซับ

ลักษณะการดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 ประเภทคือ

2.7.2.1 การดูดซับแบบกายภาพ (Physical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับดูดซับบนผิวของตัวดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนๆและไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวลเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน เป็นต้น ไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่าย และรูปแบบการดูดซับอาจเกิดได้หลายชั้น (Multilayer)

2.7.2.2 การดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักเป็นพันธะระหว่างอะตอมมักเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย ความร้อนของการดูดซับมีค่ามาก การกำจัดตัวถูกดูดซับทำได้ยากและรูปแบบการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว(Monolayer)

2.7.2.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน(Exchange adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดที่ผิวหน้าระหว่างประจุหรือไอออนของตัวดูดซับกับประจุตรงข้ามของตัวถูกดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ผิวหน้าของตัวถูกดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

2.7.2.4 การดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้โครงสร้างของตัวดูดซับเปลี่ยนไป

2.7.3 ตัวดูดซับ (Absorbent)

ตัวดูดซับ หมายถึง สารที่มีอะตอมหรือโมเลกุลหรือไอออนของสารที่ถูกดูดซับเข้ามายึดเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวอนุภาคด้วยแรงทางเคมีหรือฟิสิกส์

2.7.4 คุณสมบัติของตัวดูดซับ

2.7.4.1 ตัวดูดซับต้องมีพื้นที่ผิวมากหรือปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) ที่มาก

2.7.4.2 ตัวดูดซับจะต้องมีความสัมพันธ์เชื่อมกันระหว่างรูพรุนเป็นโครงร่างตาข่าย เพื่อที่จะให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ภายในได้ แบ่งขนาดตาม IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ดังนี้ รูพรุนขนาดเล็ก(Micropore) คือรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร

รูพรุนขนาดกลาง(Mesopore) คือรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

รูพรุนขนาดใหญ่(Macropore) คือรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร

2.7.5 ประเภทของตัวดูดซับ

2.7.5.1 สารอินทรีย์ เช่นดินเหนียวต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอลลอยด์ลิกไนต์ เป็นต้น ตัวดูดซับประเภทนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200ตารางเมตร/กรัม สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

2.7.5.2 ถ่านกำมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอื่นๆ พื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม เมื่อนำมาใช้แล้วสามารถคืนสภาพ(Regenerate)และนำกลับมาใช้ใหม่แต่ต้องทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายและยังมีบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการนี้

2.7.5.3 สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนผิว สามารถดูดจับสารอื่นๆที่มีประจุตรงข้ามได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆเรียกว่า Macroporous Resin มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตร/กรัม เมื่อนำมาใช้แล้วสามารถคืนสภาพ(Regenerate)ได้ง่าย และสารรีเจนเนอเรนต์ (Regenerate)มักเป็นสารราคาถูกเช่นไม่ว่าครือใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 ตัวถูกดูดซับ (Absorbate)

ตัวดูดซับ หมายถึง อะตอม โมเลกุล หรือไอออนของสารที่ถูกดูดซับไว้ด้วยตัวดูดซับอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการหรือเป็นสารที่ต้องการกำจัด เช่น โลหะหนักในน้ำเสีย

2.7.7 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับ

2.7.7.1 ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film diffusion หรือขึ้นอยู่กับ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ

2.7.7.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

2.7.7.3 ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับภายในเฟสของของไหล

2.7.7.4 ขนาดของตัวดูดซับ

2.7.7.5 pH เนื่องจากมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายในน้ำของสารต่างๆ

2.7.7.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ

2.7.8 ไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในของเหลว สามารถอธิบายกระบวนการดูดซับในรูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับได้ 5 รูปแบบ คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับ แบบที่ I เป็นการดูดซับที่มีโมเลกุลเพียงชั้นเดียวบนสารดูดซับ ซึ่งเป็นสารดูดซับที่เกิดจากการดูดซับทางเคมี ไอโซเทอมแบบที่ II เป็นการดูดซับที่มีโมเลกุลหลายชั้นบนพื้นผิวของการดูดซับ ไอโซเทอมแบบที่ III เป็นไอโซเทอมที่มีโมเลกุลการดูดซับหลายชั้นบนพื้นผิวของการดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่ไม่ค่อยดี ไอโซเทอมแบบที่ IV และ V เป็นการวิเคราะห์ระบบการดูดซับโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ให้อยู่ในรูปอย่างง่าย ส่วนใหญ่พฤติกรรมของการดูดซับในของเหลวจะมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich) และแลงเมียร์ (Langmuir) เช่นการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในน้ำ และ น้ำเสีย เป็นต้น ปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมดุลมวลสาร โดยจะถือว่าความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่หายไปจากสารละลาย จะถูกดูดซับอยู่บนตัวดูดซับเท่านั้น ซึ่งปริมาณการดูดซับหาได้ตามสมการที่ 2.1 และสำหรับประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะหนักสามารถคำนวณได้จากสมการเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียม ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.2

$$q_e = \frac{v(C_0 - C_e)}{m} \quad (2.1)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณไอออนโลหะหนักในวัสดุดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)

m คือ น้ำหนักของวัสดุดูดซับ (g)

V คือ ปริมาตรของน้ำ (L)

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมในน้ำ (mg/L)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของแคดเมียมในน้ำ

$$\% \text{Removal} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2.2)$$

รายละเอียดของไอโซเทอมการดูดซับมีดังนี้

2.7.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่มีปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่สภาวะสมดุล โดยทั่วไปแล้วจะเรียกว่ากฎของเฮนรี (Henry's Law) มีรูปแบบสมการเป็นดังนี้ สมการที่ 2.3

$$q_e = K_d C_e \quad (2.3)$$

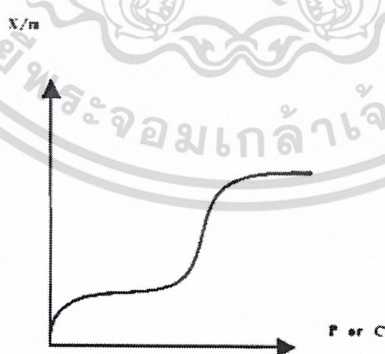
โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

K_d คือ สัมประสิทธิ์การแจกแจงหรือ ค่าคงที่ Henry's Law (L/g)

2.7.10 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.4 ซึ่งจะอธิบายถึงการจับตัวกันเป็นชั้นๆ ของตัวถูกดูดซับ (Multilayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันสูง



$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.4)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

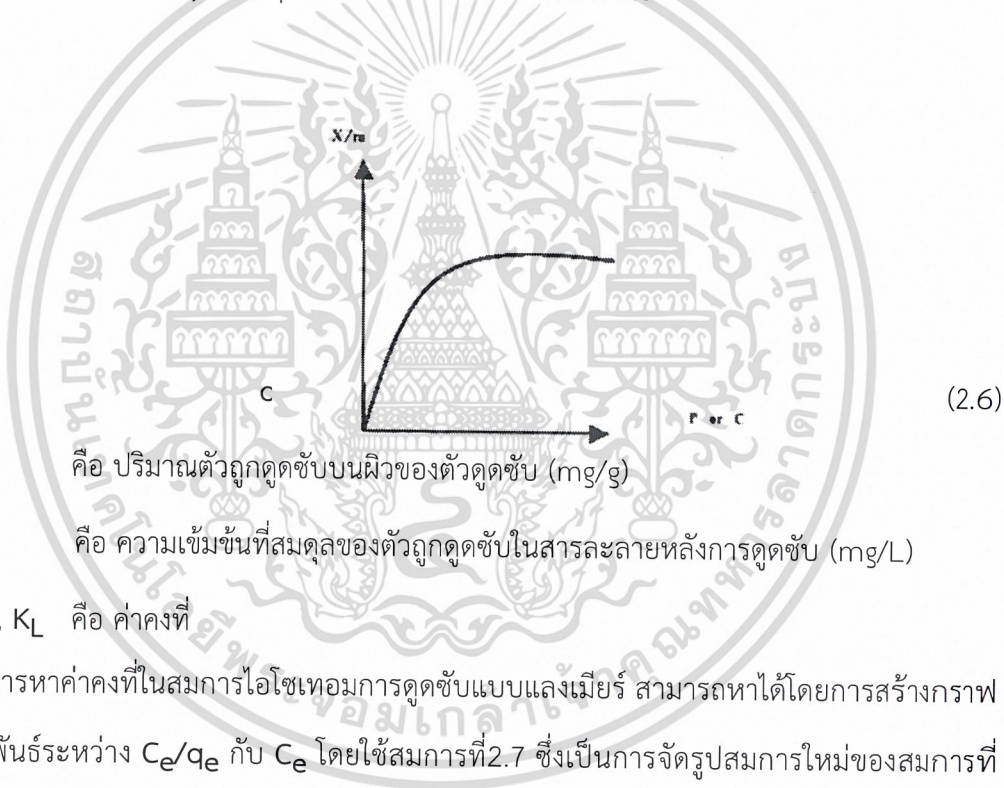
ค่าคงที่ในสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช สามารถหาได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln q_e$ กับ $\ln C_e$ โดยใช้สมการที่ 2.5 ซึ่งเป็นการจัดรูปสมการใหม่ของสมการที่ 2.4

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.5)$$

โดยค่าคงที่ n หาได้จากค่าเศษหนึ่งส่วนความชัน ($\frac{1}{\text{slope}}$) และค่าคงที่ K_f หาได้จากค่าเอกซีโพเนนเชียลของจุดตัดแกน y ในสมการที่ 2.5

2.7.11 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ มีสมมุติฐานว่าตัวถูกดูดซับจะปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer sorption) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.6



โดยที่ q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกดูดซับในสารละลายหลังการดูดซับ (mg/L)

a_L, K_L คือ ค่าคงที่

การหาค่าคงที่ในสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ สามารถหาได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e โดยใช้สมการที่ 2.7 ซึ่งเป็นการจัดรูปสมการใหม่ของสมการที่ 2.6

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{a_L}{K_L} (C_e) \quad (2.7)$$

เมื่อหาค่าเศษหนึ่งส่วนความชัน ($\frac{1}{\text{slope}}$) หรือหาค่า $\frac{a_L}{K_L}$ ในสมการที่ 2.7 จะได้ปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับสูงสุด และ แทนด้วยสัญลักษณ์ q_m

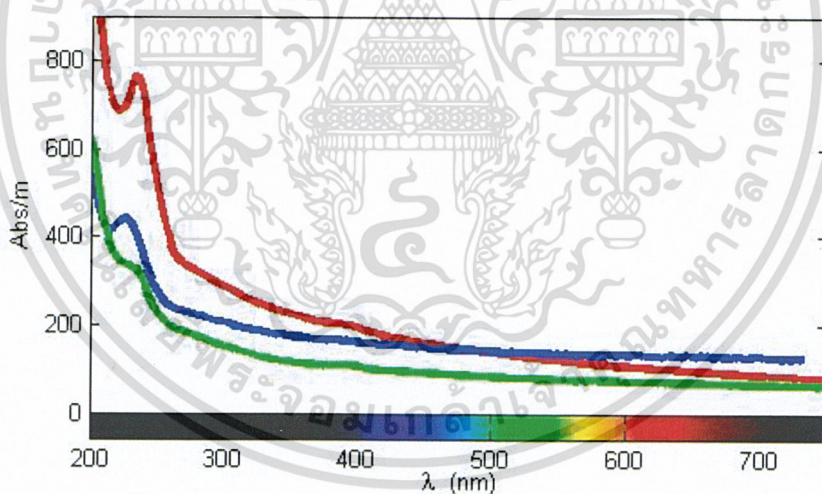
2.7.12 การคายซับ (Desorption)

การคายซับ คือ การคืนสภาพของอนุภาคของแข็งหรือพื้นผิวดูดซับ เป็นกระบวนการย้อนกลับของกระบวนการดูดซับที่เรียกว่า การคายซับ (Desorption) คือการทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลสาร

ของ adsorbate ออกจากพื้นผิวของอนุภาคของแข็งโดยใช้วิธีทางกายภาพหรือทางเคมีในการคายซับของตัวดูดซับ โดยเป็นการฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับ (Regenerate) ที่เริ่มหมดสภาพให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แทนที่จะนำสารดูดซับไปทิ้งโดยไม่ใช้ประโยชน์ ซึ่งวิธีการฟื้นฟูสภาพอาจใช้วิธีทางเคมี วิธีความร้อน หรือวิธีเผา

2.8 UV-Visible spectrophotometer

UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงUltra violet (UV) และVisible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 UV-VIS spectrum (ที่มา : <https://stic.mfu.ac.th>)

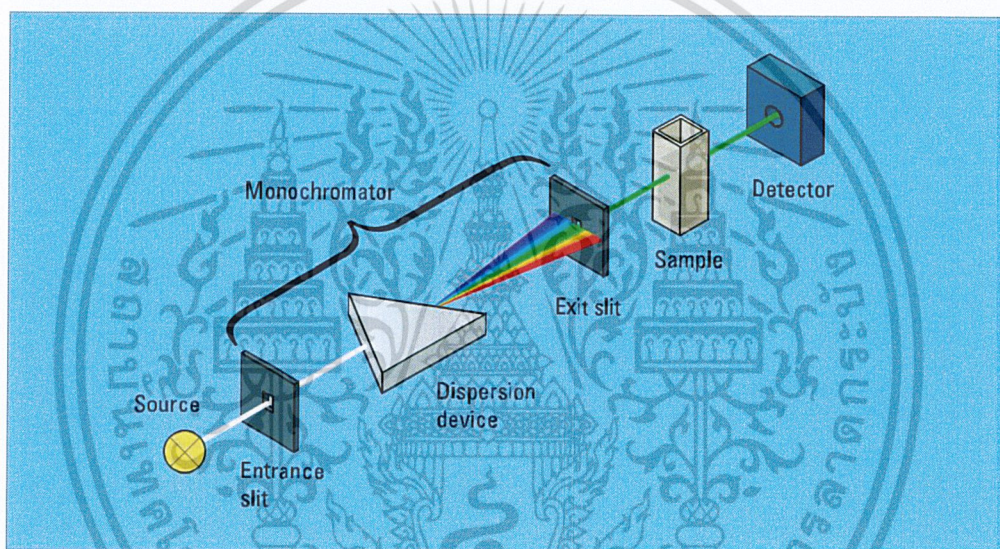
2.8.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ประกอบไปด้วย

2.8.1.1 Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ ออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2.8.1.2 Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือ เกรตติง

2.8.1.3 Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

2.8.1.4 Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และ เครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (ที่มา : <https://stic.mfu.ac.th>)

2.8.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.8.2.1 Single-Beam spectrophotometer (รูปที่ 2) เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสี จะผ่านเลนส์ โมนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับ สัญญาณเนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมนโครเมเตอร์ไปสู่ สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะไปสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2.8.2.2 Double-Beam Spectrophotometer ลำรังสีจะผ่านโมนโครเมเตอร์ 2 ครั้ง ด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสาร

ตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดี่ยวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kanchi *et al.* (2017)

หลังจากหมักไฮโดรเจนชีวภาพในส่วนของวัสดุที่เป็นของแข็ง นั่นคือ ของเสียจากกระบวนการหมักไฮโดรเจน (Bio-hydrogen fermented waste - BHFV) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ ผ่านคาร์บอนชั้นตอนเดียวโดยใช้สารเคมี H_3PO_4 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ BHFV 90 กรัม นำมาบดและแช่ในสารละลาย 70% H_3PO_4 จำนวน 120 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นให้ผสมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและทิ้งไว้ค้างคืนที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำให้เกิดการอิมตัวของสารตั้งต้น มวลที่อิมตัวถูกทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส °C จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำอุ่น (70 องศาเซลเซียส) จนกระทั่ง pH ของสารละลายกลายเป็นกลางและสุดท้ายทำ BHFV-AC ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากของเสียจากกระบวนการหมักไฮโดรเจน (Bio-hydrogen fermented waste – Activated carbon (BHFV-AC) มาศึกษาการดูดซับ Direct Navy Blue-106 (DNB -106) การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของ BHFV ที่อุณหภูมิต่ำ (100 องศาเซลเซียส) โดยใช้การบ่มคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย H_3PO_4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พารามิเตอร์ได้แก่ pH, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้นและเวลาสัมผัสได้รับการปรับปรุงโดยการทดลองแบบแบทช์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของ BHFV-AC ผลที่ได้คือ ความสามารถในการดูดซับที่สูงขึ้นเกิดตาม pH ที่สูงขึ้น ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสีย้อมตั้งแต่ 250-550 มิลลิกรัมต่อลิตร¹ สามารถย้อมสีได้สูงสุดจากสารละลายภายใน 10 ชั่วโมง การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากของเสียจากกระบวนการหมักไฮโดรเจน เป็นตัวดูดซับเฉพาะสำหรับการกำจัด DNB-106 จากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นหลากหลาย พื้นที่ผิวของ BHFV-AC มีรูพรุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า DNB-106 พบว่าการดูดซับบนพื้นที่ผิวของ BHFV-AC ในบรรดาโมเดลไอโซเทอมการดูดซับทั้งหมดข้อมูลความสมดุลถูกอธิบายได้ดีที่สุดโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบเทอร์มินัม Langmuir ที่มีพื้นที่ผิวดูดซับสูงสุดที่ 1242 mg g⁻¹ ที่ 313 K

Rattanapan *et al.* (2017)

เตรียมถ่านกัมมันต์ จากกากกาแฟโดยถูกกระตุ้นด้วย HNO_3 และ 500 °C ของกระบวนการแยกสลายความร้อนแบบเดิม กากกาแฟที่ใช้เป็นคาร์บอน (CGAC) มีลักษณะเป็นคุณสมบัติของ SEM, ค่า FT-IR และ pH_{zpc} มาศึกษาการดูดซับเมธิลส้อม (MO) การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโมเลกุลโดยใช้

UV-Vis spectroscopy ผลที่ได้คือ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่สมดุลของ MO คือ 658 mg / g เมื่อ pH ความเข้มข้นเริ่มต้นเวลาสัมผัสและอุณหภูมิของสารละลาย MO อยู่ที่ 3, 300 มก. / ล., 90 นาที และ 30 °C ตามลำดับ และปริมาณของ CGAC คือ 0.05 กรัม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลความถูกต้องของ Langmuir, Freundlich และ Dubinin-Radushkevich ในการวิเคราะห์ข้อมูลความสมดุลในการทดลอง จากข้อมูลการทดลองที่ดีที่สุด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ Freundlich isotherm มี R^2 ค่าของ 0.9536

จักรกฤษณ์ อัมพุช และ บุญส่ง จุฑารัตน์ (2559)

จากการศึกษาการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 บนถ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ พบว่าปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสัมผัส ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (<5%) เมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเพิ่มขึ้น แสดงว่าสีย้อมถูกยึดเหนี่ยวบนถ่านกัมมันต์ด้วยแรงยึดเหนี่ยวชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) เป็นแรงยึดเหนี่ยวหลัก ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และมีปริมาณการดูดซับแบบชั้นเดียวสูงสุดบนตัวดูดซับ เท่ากับ 69.44 mg/g จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อยเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 จากน้ำสีสังเคราะห์

Israa Abdulwahab Al-Baldawi et al. (2018)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ (Azolla pinna) ในการดูดซับน้ำเสียจากสีย้อมเมทิลีนบลู โดยมีความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่แตกต่างกัน 3 ค่าคือ 5, 15 และ 25 mg/L ตามลำดับ โดยใช้พืชน้ำ (Azolla pinna) ใส่ความเข้มข้นละ 3 g การวิเคราะห์การดูดซับความเข้มข้นของสีย้อมตรวจวัดด้วยวิธี UV-Vis Spectrophotometer โดยผลการทดลองแสดงถึงการค่าลดลงของสารละลายเมทิลีนบลูจาก 0.09, 0.81, และ 1.9 ในวันที่ 0 มีการลดลงเหลือ 0.06, 0.03 และ 0.05 ในวันที่ 5 ของความเข้มข้น 5, 15, 25 mg/L ตามลำดับ และได้มีการสังเกตประสิทธิภาพความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 25 mg/L อีก 24 ชั่วโมง วิเคราะห์การดูดซับความเข้มข้นของสีย้อมตรวจวัดด้วยวิธี gas chromatography โดยผลการทดลองมีค่าประสิทธิภาพดูดซับสูงสุด 85% แสดงให้เห็นถึงการประสบความสำเร็จของการใช้พืชน้ำ (Azolla pinna) ในการดูดซับน้ำเสียจากสีย้อมเมทิลีนบลู

เพชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ์ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย

ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ในสารละลายโดยใช้เปลือก หน่อไม้ที่อบแห้งเป็นวัสดุดูดซับ โดยทำการศึกษาในสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย (pH 3- 9) เวลาในการดูดซับ (5-90 นาที) อัตราเร็วของการเขย่า (100-300 รอบต่อ

นาที่) ปริมาณตัวดูดซับ (0.10-0.30 กรัม) และความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (5-300 มิลลิกรัมต่อลิตร) แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย เมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิชิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี จากผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการดูดซับสี ย้อมชนิดนี้ด้วยเปลือกหน่อไม้แห้งมีค่า 29.24 มิลลิกรัมต่อกรัมที่พีเอช 7 เมื่อใช้ตัวดูดซับ 0.15 กรัม การดูดซับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 60 นาที เมื่อเขย่าสารผสมด้วยอัตราเร็ว 250 รอบต่อนาที นอกจากนี้พบว่าไอโซเทอมของการ ดูดซับสีย้อมนี้สอดคล้องกับแบบฟรุนดลิช ($R^2 = 0.988$) แสดงว่าเปลือกหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งนี้สามารถประยุกต์ใช้ เป็นตัวดูดซับสีย้อมในน้ำทิ้งได้อย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 ไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.025 M
- 3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.025 M
- 3.1.3 เซลลูเลส (Cellulase)
- 3.1.4 Acetate Buffer 50mM pH 4.8
- 3.1.5 เฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- 3.1.6 เฟอริกคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- 3.1.7 น้ำกลั่น (Deionized Water)
- 3.1.8 ชานอ้อย
- 3.1.9 ผงเมทิลีนบลู (Methylene blue)

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway
- 3.2.2 เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp
- 3.2.3 เครื่องกรองสุญญากาศ (Suction pump) รุ่น Aspirator A-3s ยี่ห้อ Eyela
- 3.2.4 เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) รุ่น C860 ยี่ห้อ Consort
- 3.2.5 ตู้อบ (Oven) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert
- 3.2.6 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S ยี่ห้อ Sartorius
- 3.2.7 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41
- 3.2.8 กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- 3.2.9 ขวดน้ำกลั่น (Distilled water bottle)
- 3.2.10 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 3.2.11 ชุด Teflon lined autoclave

หมายเหตุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผ่านการแช่ HNO_3 เป็นเวลา 1 วัน ล้างด้วยน้ำกลั่นแล้ว
เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิท

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัสดุชุดขับ

1. นำขานอ้อย 2 กิโลกรัม มาชั่งน้ำหนักก่อนอบ
2. นำขานอ้อยที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ
3. นำขานอ้อยที่ผ่านการอบแล้วไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ต่ออีก 10 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ

4. นำขานอ้อยที่ได้ไปบดให้ละเอียด

5. นำขานอ้อยที่บดละเอียดแล้วใส่ถุงซิปล จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์

3.3.2 การปรับสภาพวัสดุขานอ้อยก่อนสร้างเป็นสารแม่เหล็ก

1. ชั่งผงขานอ้อย 4 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม 12 ใบ
2. เติม 0.025 mol HCl ลงขวดที่1-3 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร เติม 0.025 mol NaOH ลงในขวดที่4-6 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ในขวดที่7-9 และ เติม ผงเซลลูโลส 0.833g พร้อมเติม 50 mM อะซิเตตบัฟเฟอร์ pH 4.8 อีก 150 มิลลิลิตร ลงในขวดที่10-12
3. ขวด 1-9 นำไปรีฟลักซ์ เป็นเวลา 90 นาที ส่วนขวดที่10-12 นำไปบ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที
4. กรองแยกชั้นน้ำใส และ กากขานอ้อย (เก็บน้ำกรองไว้วิเคราะห์ปริมาณรีดิวซ์ต่อไป) ล้างกากขานอ้อยจนน้ำล้างมี pH เป็น 7.0

5. อบแห้ง และ ชั่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกผล

3.3.3 การเตรียมวัสดุแม่เหล็ก

1. ผสมกากขานอ้อยที่ปรับสภาพแล้วด้วย Fe^{3+} และ Fe^{2+} ในอัตราส่วน ขานอ้อย : Fe_3O_4 = 10 : 1โดยมวล

2. เติมน้ำกลั่นในอัตราส่วน อ้อย 1 กรัม : น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็ว 200 r/m เป็นเวลา2 ชั่วโมง จากนั้นเติม NaOH ที่มีความเข้มข้น 2M ลงไป 18 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าต่อเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ความเร็ว 200 r/m

3. ของผสมที่ได้นำไปใส่ใน ชุด Teflon lined autoclave จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงพร้อมถ้วยชุด Teflon lined autoclave และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. นำมากรองลดความดัน และล้างขานอ้อยจนน้ำล้างใสไม่มีสี จากนั้นนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

5. เปรี้ยวชุดที่ได้ต่อที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลู

3.3.4.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลู

1. ชั่งชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น 0.02 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำสีย้อมสังเคราะห์เมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้ปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH เท่ากับ 1-7 ลงไป ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. แล้วนำแม่เหล็กมาดูดซับออก จากนั้นนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer
5. ทำชุดควบคุม (control) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ไม่ใส่วัสดุดูดซับ
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนจากชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น เป็นชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl, NaOH และ Cellulase

3.3.4.2 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลู

1. ชั่งชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase อย่างละ 0.02 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำสีย้อมสังเคราะห์เมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้ปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม ลงไปปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงส่วนใสในช่วงเวลาต่างๆ
4. ทำชุดควบคุม (control) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ไม่ใส่วัสดุดูดซับ

3.3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการนำชานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการคายซับน้ำกลับมาใช้ใหม่

1. นำชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase ที่ผ่านการคายซับแล้ว ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำสีย้อมสังเคราะห์เมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้ปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม ลงไปปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงส่วนใสในช่วงเวลาต่างๆ
4. ทำชุดควบคุม (control) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ไม่ใส่วัสดุดูดซับ

3.3.4.4 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

1. ชั่งชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase อย่างละ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำสีย้อมสังเคราะห์เมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งได้ปรับค่า pH ให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม ลงไปปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงส่วนใสในช่วงเวลาต่างๆ

4. ทำชุดควบคุม (control) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่ไม่ใส่วัสดุดูดซับ

5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำหนักผงขานอ้อยแม่เหล็กจาก 0.05 กรัม เป็น 0.1 และ 0.15 กรัม ตามลำดับ

6. นำค่าที่ได้มาคำนวณไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช

3.3.5 การหาปริมาณกลูโคสในสารละลายตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 แสดงการหาปริมาณกลูโคสในสารละลายตัวอย่าง

หลอดที่	ตัวอย่าง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	blank	0.2 mg/L	0.4 mg/L	0.6 mg/L	0.8 mg/L	เจือจาง10เท่า		เจือจาง20เท่า	
สารละลายมาตรฐานกลูโคส (mL)	-	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-
น้ำกรองจากการrefluxด้วยกรดไฮโดรคลอริก (mL)	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-
น้ำกรองจากการrefluxด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mL)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
น้ำกรองจากการrefluxด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (mL)	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-
น้ำกรองจากการrefluxด้วยน้ำกลั่น (mL)	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-
น้ำกลั่น (mL)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
DNS reagent (mL)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตวงสารละลายต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้
2. เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที
3. รอให้หลอดยื่นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 4.00 mL
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร
5. บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (หลอด1-5) และสารละลายตัวอย่าง (หลอด6-9) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และสร้างกราฟมาตรฐานกลูโคส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษเรื่องนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำกากชานอ้อยเหลือใช้มาเปลี่ยนเป็นวัสดุดูดซับแม่เหล็ก โดยชานอ้อยจะถูกนำมาปรับสภาพด้วย HCl, NaOH และ Cellulase โดยมีน้ำเป็นชุดควบคุม เพื่อแยกเอาน้ำตาลรีดิวซ์อันมีประโยชน์ออกมาใช้งานก่อน จากนั้นจะเปลี่ยนชีวมวลที่เหลือให้เป็นวัสดุดูดซับแม่เหล็ก วัสดุแม่เหล็กที่ได้จะถูกนำมาทดสอบสภาวะในการดูดซับเมทิลีนบลู โดยมีปัจจัยดังนี้ คือ pH ระยะเวลาในการสัมผัส และการนำมาใช้ซ้ำ โดยจะศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ และทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของชานอ้อยทั้งก่อน และหลังการปรับสภาพทางเคมีโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM) จากนั้นทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในชานอ้อยหลังจากการปรับสภาพวัสดุชานอ้อยก่อนเป็นแม่เหล็ก โดยใช้เครื่องมือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) การศึกษาน้ำหนักชานหลังการปรับสภาพทางเคมีและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ในหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

4.1 การปรับสภาพชานอ้อยด้วย น้ำกลั่น HCl NaOH และเอนไซม์เซลลูเลส

4.1.1 การเตรียมวัสดุแม่เหล็ก



รูปที่ 4.1 กากชานอ้อยที่ทิ้งแล้วจากกระบวนการคั้นน้ำอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



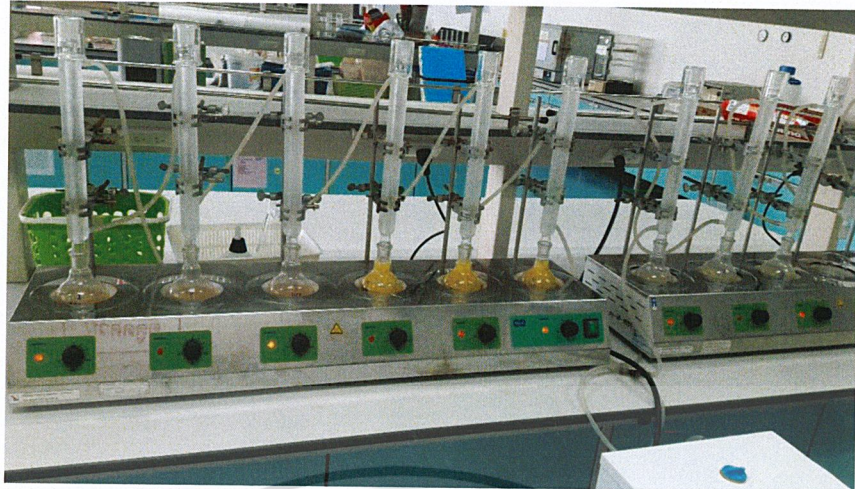
รูปที่ 4.2 เครื่องบด สำหรับบดขานอ้อยให้เป็นผง



รูปที่ 4.3 ขานอ้อยที่ผ่านการอบแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลง

นำขานอ้อยจากรูปที่ 4.1 มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็น 24 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำไปเข้าเครื่องบด (รูปที่ 4.2) ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสให้มากขึ้น จากนั้นนำไปซังเพื่อวัดน้ำหนักก่อนทำการปรับสภาพในซูตริฟลักซ์ (รูปที่ 4.3 และ 4.4) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



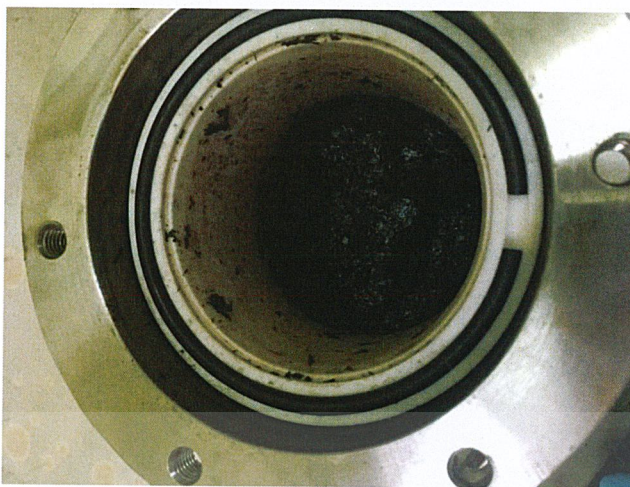
รูปที่ 4.4 ชุดรีฟลักซ์สำหรับการปรับสภาพผงขานอ้อย



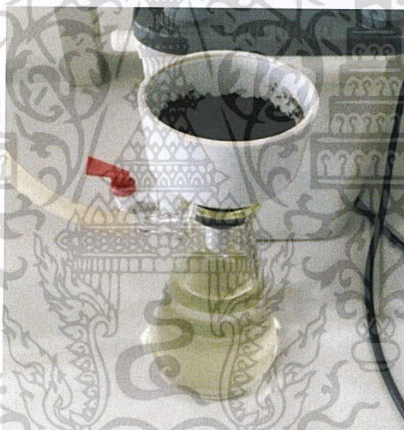
รูปที่ 4.5 ชุดกรองเพื่อทำการล้างขานอ้อยจนน้ำล้าง มีค่า pH เป็น 7.0



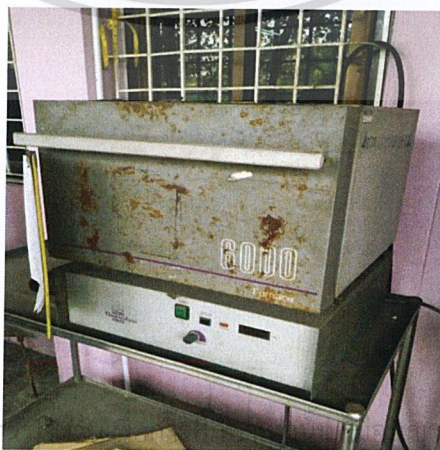
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.6 ชุด Teflon lined autoclave สำหรับปรับสภาพวัสดุให้มีอำนาจแม่เหล็ก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ซานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบ ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส
ซานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
จะมีลักษณะเหลว มีสีดำ



รูปที่ 4.8 กรองลดความดัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 นำซานอ้อยแม่เหล็กมาเผาเพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นแม่เหล็ก

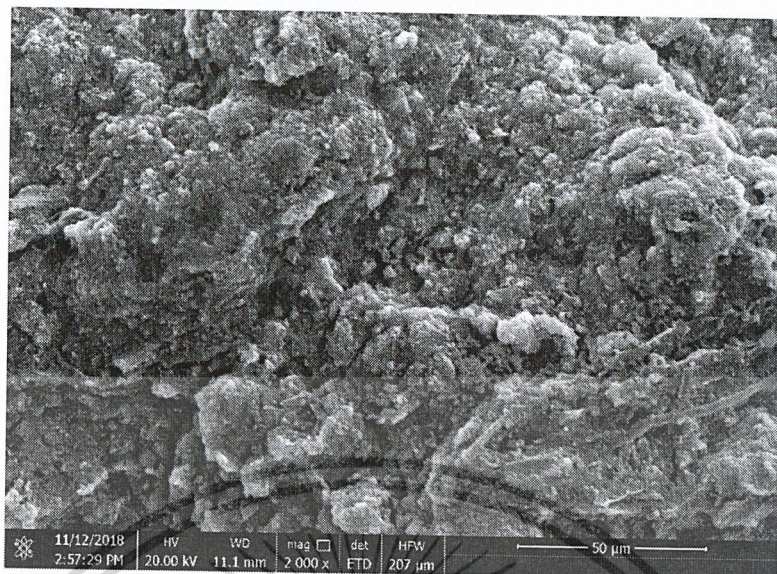
นำขานอ้อยที่ผ่านการล้างและอบแห้งเรียบร้อยแล้ว ปริมาณ 4 กรัม มาผสม FeCl_3 และ FeSO_4 อย่างละ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขานอ้อย คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติม NaOH 20 มิลลิลิตร นำมาใส่ในชุด Teflon lined autoclave (รูปที่ 4.6) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการกรองลดความดัน แล้วนำไปอบแห้งต่อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่ออบแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้วนำขานอ้อยแม่เหล็กไปเผาต่อ ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นแม่เหล็ก เนื่องจากความร้อนทำให้อิเล็กตรอนจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ จึงทำให้วัสดุมีอำนาจแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

4.1.2 วัสดุแม่เหล็กที่ได้หลังการปรับสภาพ

การปรับสภาพทางเคมีมีผลต่อลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของขานอ้อยดังแสดงในรูปที่ 4.10.- 4.14



รูปที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

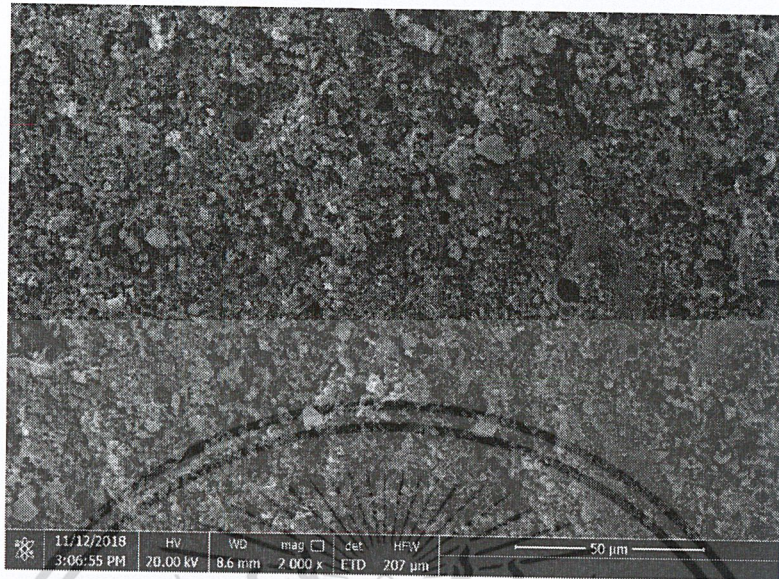


รูปที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า



รูปที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

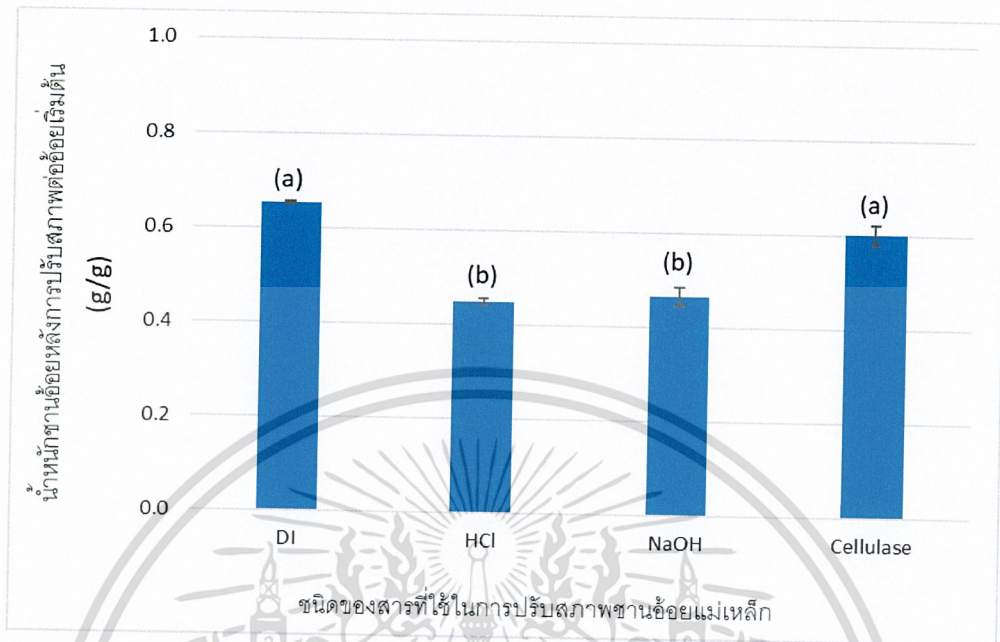
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



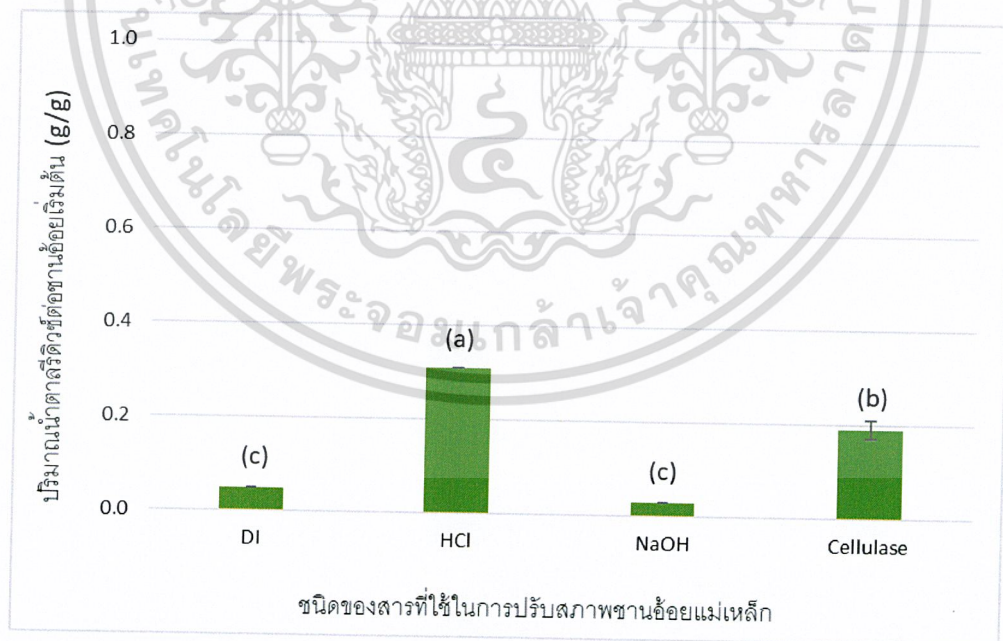
รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

ลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยหลังการปรับสภาพทางเคมี โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.14 ตามลำดับ พบว่าขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่นหรือชุดควบคุม มีลักษณะพื้นผิวขรุขระปานกลาง (รูปที่ 4.10) เมื่อพิจารณาขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl และ NaOH ที่ความเข้มข้นเท่ากัน (รูปที่ 4.12 และ 4.13) พบว่าพื้นผิวของขานอ้อยมีลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเมื่อใช้ HCl เป็นสารปรับสภาพ จะทำให้พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นเมื่อเทียบกับขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่ามีความแตกต่างกันโดยพื้นผิวจะมีความขรุขระน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่า HCl มีความสามารถในการช่วยเพิ่มรูพรุนของพื้นผิวของขานอ้อยได้มากกว่า NaOH ส่วนการปรับสภาพด้วย Cellulase (รูปที่ 4.14) ให้ผลที่คล้ายคลึงกันกับการปรับสภาพด้วย HCl กล่าวคือ พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น คาดว่าผิวที่ขรุขระมากขึ้นนี้ เกิดมาจากการทำลายโครงสร้างของ Cellulose และ Lignocellulose ดังนั้นผู้วิจัยคาดหวังว่าน้ำที่ได้จากการรีฟลักซ์ ควรจะมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวบางชนิดที่มีคุณค่า เช่น น้ำตาลกลูโคส ที่เกิดจากการย่อยสลาย Cellulose หรือจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น ไซโลส แมนโนส กาแลคโตส แรมโนส และอาราบินอส ที่เกิดจากการย่อย hemicellulose จึงได้ทำการทดสอบต่อไปในการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากส่วนน้ำที่ได้จากการรีฟลักซ์

4.1.3 ผลการศึกษาน้ำหนักขานอ้อยหลังการปรับสภาพและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขานอ้อยหลังการบำบัดอ้อยเริ่มต้น(g/g)



รูปที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่อขานอ้อยเริ่มต้น(g/g) กับขานอ้อยที่ถูกปรับสภาพทางเคมี

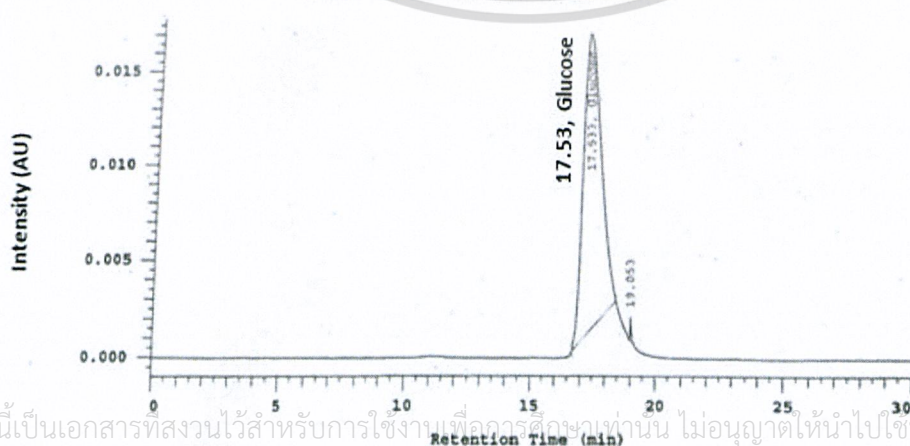
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงถึงชานอ้อยที่เหลือหลังจากการรีฟลักซ์ ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อยที่เหลือน้อยที่สุดคือ การปรับสภาพ(รีฟลักซ์)ด้วยHCl รองลงมาคือ NaOH จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ การปรับสภาพ(รีฟลักซ์)ด้วยHCl และNaOH มีอิทธิพลต่อการสูญเสียของน้ำหนักชานอ้อยเริ่มต้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% และแสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มากที่สุดคือ การปรับสภาพ(รีฟลักซ์)ด้วยHCl เพราะชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยHCl พบว่ามีพื้นที่ผิวขรุขระมากขึ้นและมวลของชานอ้อยที่เหลือหลังการปรับสภาพลดลง

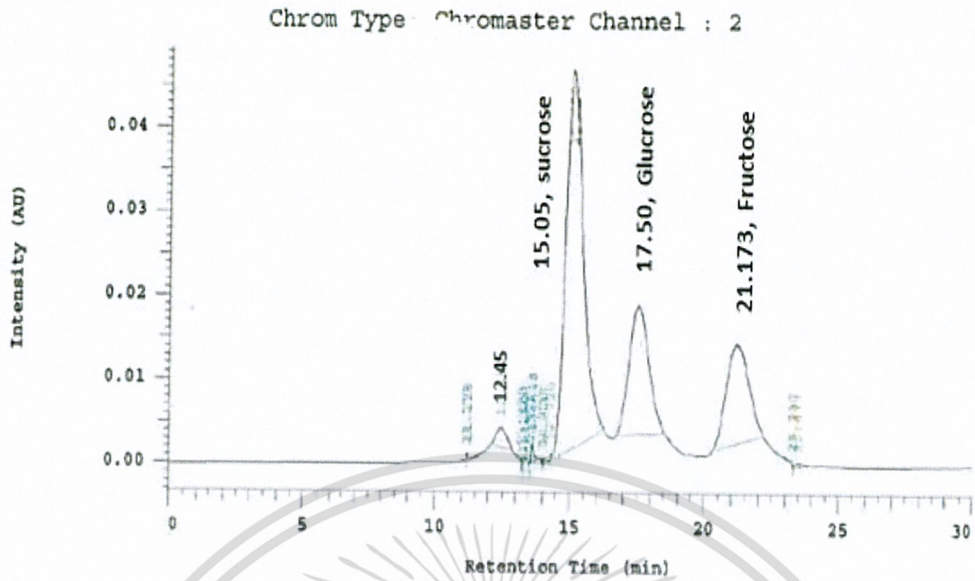
จากรูปที่ 4.16 แสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้หลังการปรับสภาพ เมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวที่มีความขรุขระมากขึ้นจะแสดงถึงมวลของชานอ้อยที่หายไปมาก ส่งผลให้หลังการปรับสภาพชานอ้อยมีมวลลดลง จึงทำให้ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด รองลงมาคือ ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยCellulase, น้ำกลั่น และ NaOH ตามลำดับ ซึ่งชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Cellulase และน้ำกลั่นพื้นที่ผิวมีความขรุขระปานกลาง และมวลของชานอ้อยที่เหลือหลังการปรับสภาพนั้นมีค่ามาก จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เล็กน้อย ส่วนชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH พื้นที่ผิวมีความขรุขระเล็กน้อย แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้กลับน้อยเช่นกัน ซึ่งขัดแย้งกับมวลของชานอ้อยที่เหลือหลังการปรับสภาพที่มีค่าน้อยลง

ผลการทดลองขัดแย้งกับของ เชนนิจจารีย์ และ อุไรลักษณ์ (2017) พบว่า การปรับสภาพด้วยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุดเท่ากับ 2.14-3.32 กรัมต่อลิตร การปรับสภาพด้วยการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 14.66-17.44 กรัมต่อลิตร ส่วนการปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 15 FPU/กรัมสารตั้งต้น ที่ความเป็นกรดต่าง 5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า การปรับสภาพด้วยกรดและด่างประมาณ 1.7-9 เท่า ที่ 24 ชั่วโมง

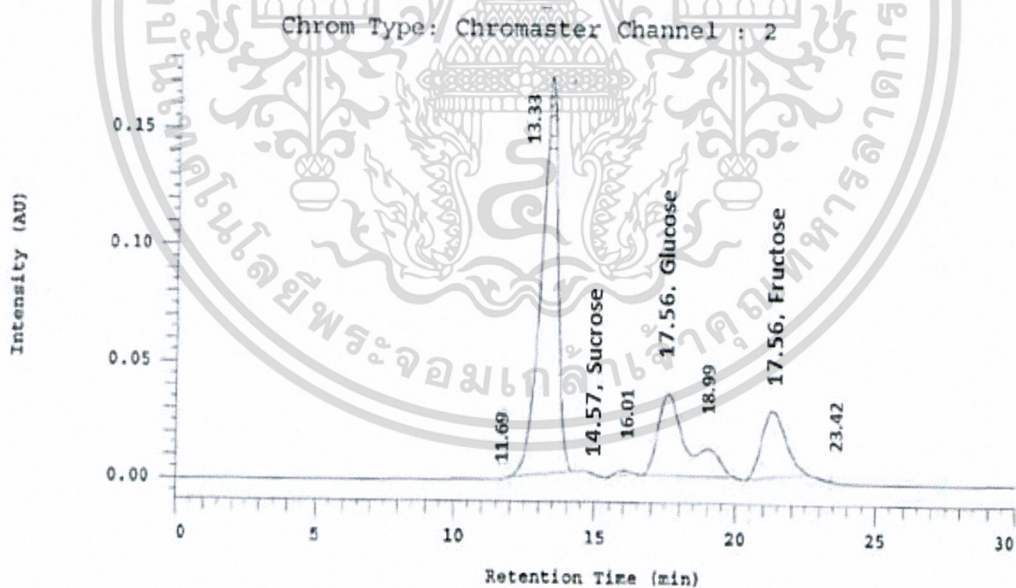
Chrom Type: Chromaster Channel : 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.16 กราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส

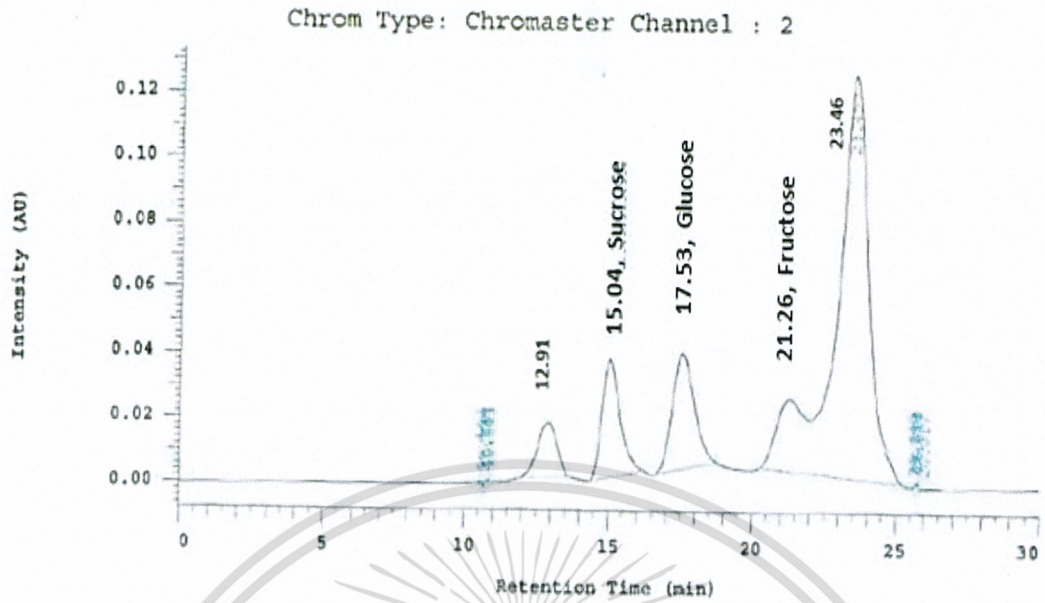


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity (AU) กับ Retention Time (min) ของ น้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย Deionized Water

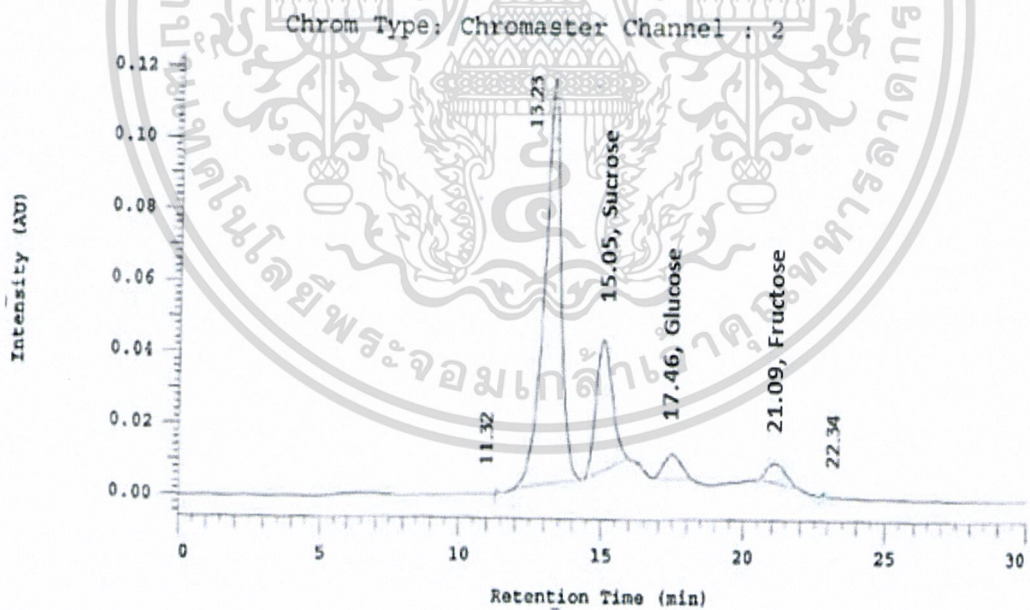


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity (AU) กับ Retention Time (min) ของ น้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย HCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity (AU) กับ Retention Time (min) ของ น้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย NaOH



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity (AU) กับ Retention Time (min) ของ น้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย Cellulase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

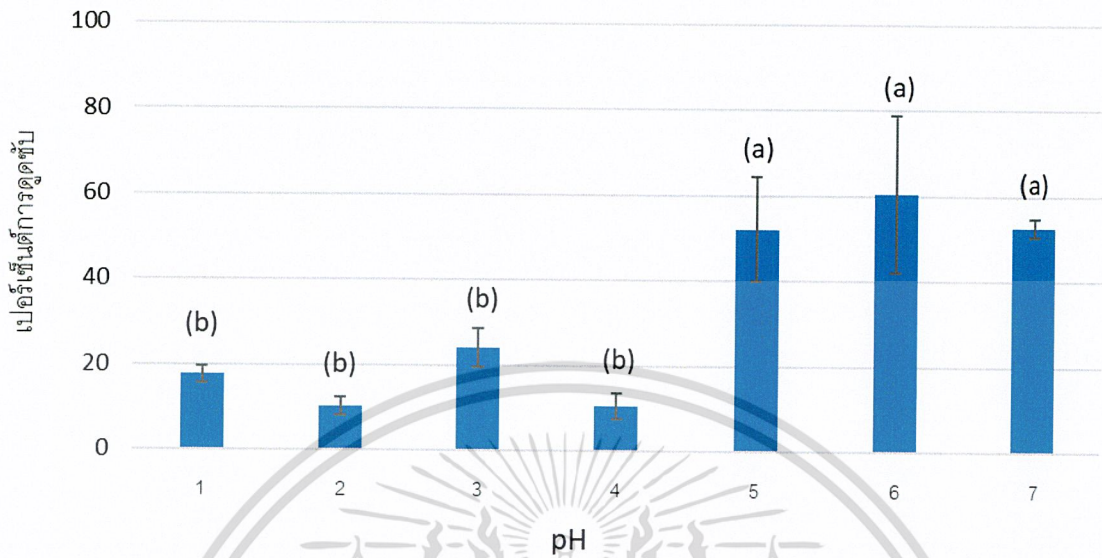
จากรูปที่ 4.18-4.21 แสดงถึงภาพรวมของระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่ในคอลัมน์ของ กลูโคส เท่ากับ 17.50 และมีน้ำตาลอื่นๆ อย่างเช่น ซูโครส เท่ากับ 15.50 และฟรุกโตส เท่ากับ 21.17 เป็นต้น ยกเว้นน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วยHCl จะไม่แสดงพีคของซูโครส

จึงสรุปได้ว่ารูปที่ 4.18-4.21 ที่ปรับสภาพด้วยDeionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase ตามลำดับ มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับ โครงสร้างของขานอ้อยทำให้เกิดการแตกสลายของพันธะ1-4 ไกลโคซิดิก ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อโมเลกุลของกลูโคส ให้เรียงตัวเป็นโซ่ยาวประมาณ 3000 หน่วย และการแตกสลายของพันธะ1-2 ไกลโคซิดิกในน้ำตาลซูโครส ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส จึงทำให้เกิดน้ำตาลกลูโคสที่ต้องการศึกษาหาปริมาณ และน้ำตาลชนิดอื่นๆออกมาด้วย โดยเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วยHCl สามารถทำลายพันธะ1-2 ไกลโคซิดิก ได้อย่างสมบูรณ์ จึงไม่แสดงพีคของน้ำตาลซูโครสให้เห็น

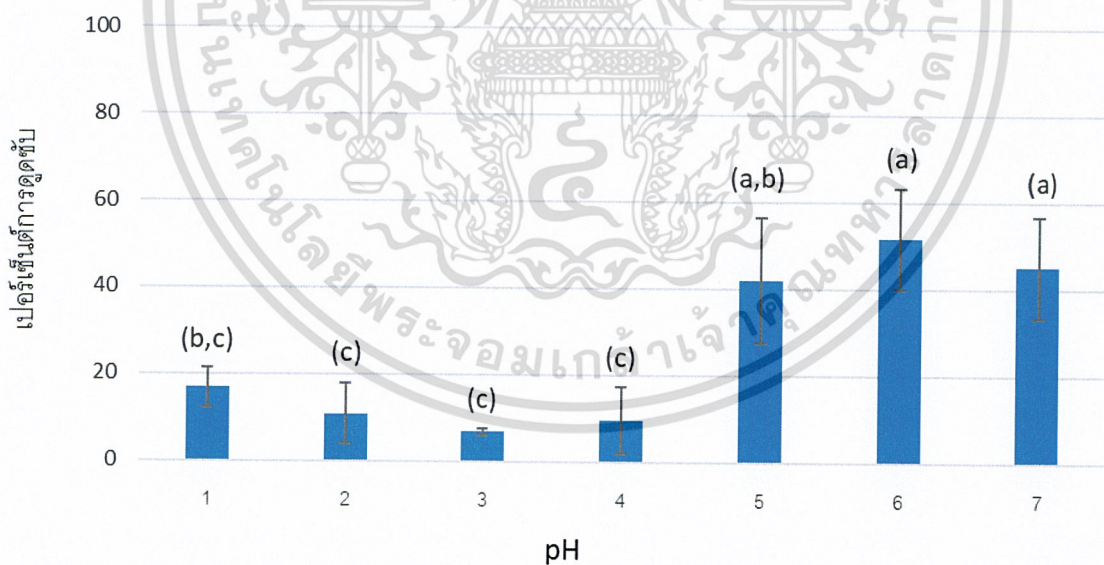


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็ก

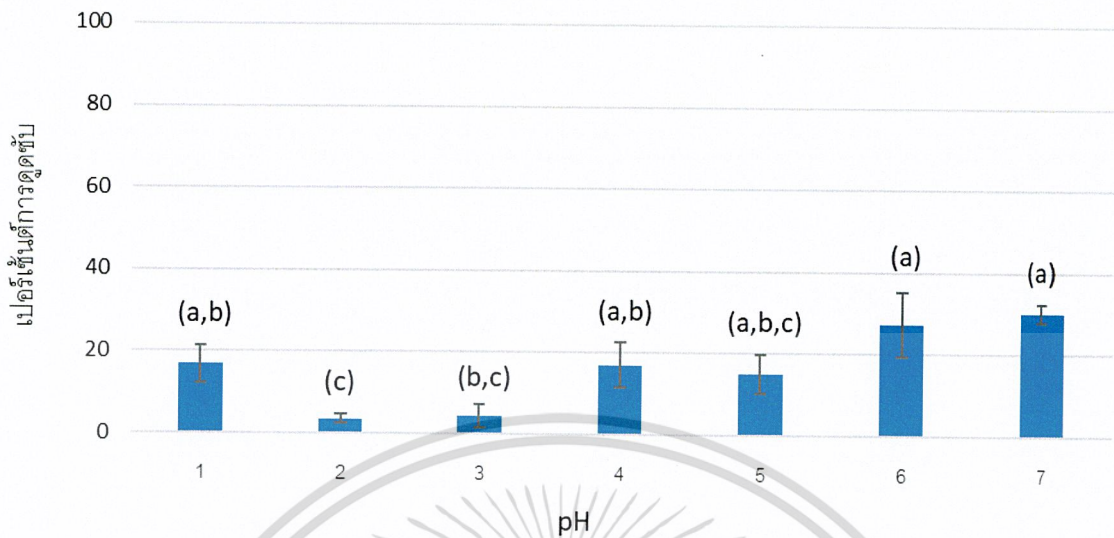


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับ กับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water

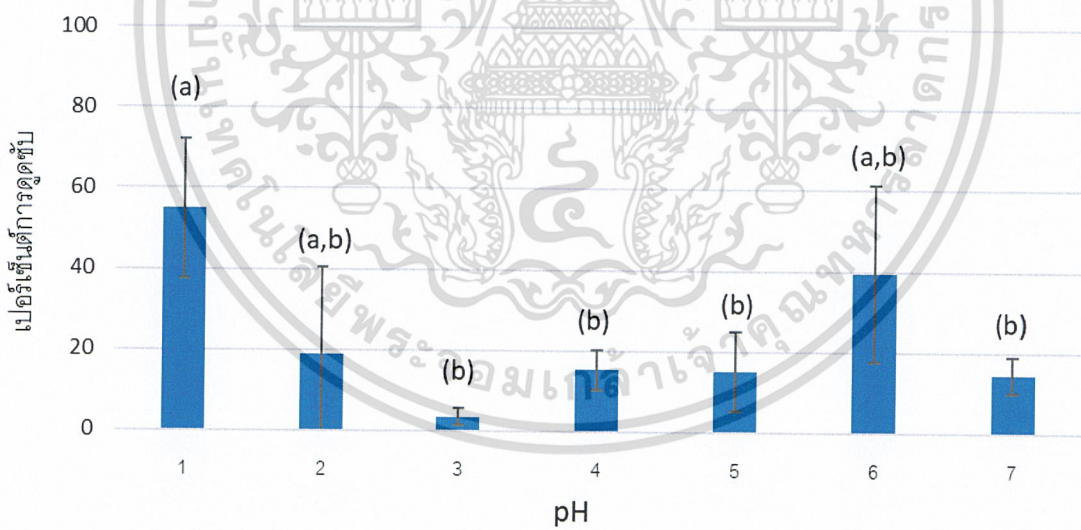


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับ ค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย NaOH



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่า pH ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

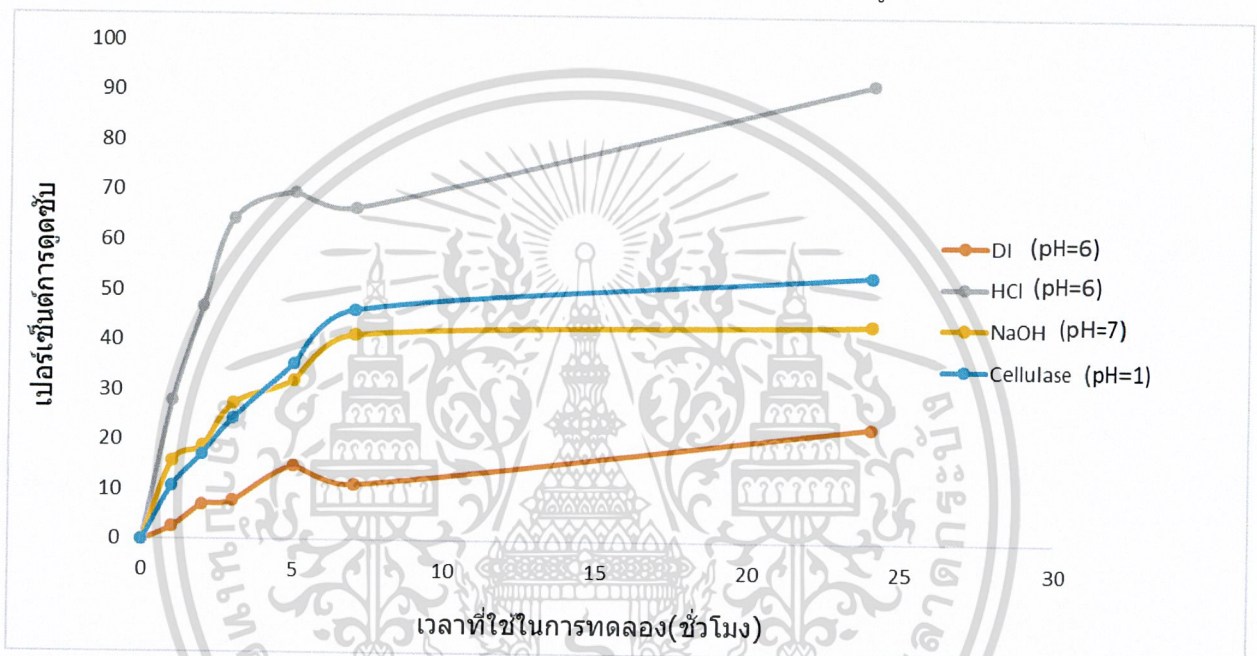
จากการทดลองเพื่อหาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับทำโดยใช้น้ำสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ต่อชานอ้อยที่ปรับสภาพคุณภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ เอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 0.02 กรัม ตามลำดับ ปรับค่า pH ด้วย HCl และ NaOH ให้ได้ค่า pH เป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับของแต่ละชานอ้อยที่ปรับสภาพ จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเขย่าเสร็จนำมาแม่เหล็กมาดูดซับชานออก จากนั้นนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับค่าที่ pH ดังรูปที่ 4.22-4.25

รูปที่ 4.22-4.25 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อ pH เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น ชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water (รูปที่ 4.22) จะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงสุดที่ pH 5-7 โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับคือ 52.23-60.56 ชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl และ NaOH (รูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24) แสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู จะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงสุดที่ pH เท่ากับ 5-7 และ 4-7 ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 41.97-51.62 และ 14.97-30.1 ตามลำดับ เนื่องจากในสภาวะกรดน้ำสีย้อมเมทิลีนบลูมีโปรตอน(H^+) อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้โปรตอน(H^+) ล้อมรอบชานอ้อยแม่เหล็กเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำสีย้อมเมทิลีนบลูมีค่าลดลง เมื่อ pH เพิ่มขึ้น จึงทำให้โปรตอน(H^+) ล้อมรอบชานอ้อยแม่เหล็กมีค่าลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น ยกเว้นชานอ้อยแม่เหล็กปรับสภาพด้วย Cellulase ไม่เป็นไปตามแนวโน้ม (รูปที่ 4.24)

เมื่อพิจารณาชานอ้อยแม่เหล็กปรับสภาพด้วย Cellulase กล่าวคือ พันธะ β -1,4-glycosidic ถูกทำลายจนเกือบสมบูรณ์ จึงทำให้มีหมู่ไฮดรอกซิล(-OH)ของเซลลูโลส บางส่วนที่หลงเหลืออยู่ ดังนั้นเมื่อโปรตอน(H^+) เพิ่มขึ้นจึงไม่สามารถล้อมรอบชานอ้อยแม่เหล็กปรับสภาพด้วย Cellulase ทำให้ตัวดูดซับยังคงความเป็นประจุลบ(δ^-) แสดงให้เห็นว่าค่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มสูงสุดที่ pH เท่ากับ 1 และ 6 มีค่า 55 และ 39.46 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Natthanan Rattanachueskul *et al.* (2016) ที่ได้ทำการศึกษาผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพทางเคมี ทำให้มีผลต่อโครงสร้างของชานอ้อย ทำให้มีความเป็นระเบียบและเหมาะสมกับการดูดซับมากยิ่งขึ้น

4.3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีเมทิลีนบลู

จากการศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับทำได้โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนสีเมทิลีนบลู ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิกรัมต่อชานอ้อย 0.02 กรัมปรับค่า pH ที่ได้จากข้อ 4.1.1 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 5, 7 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้น นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับระยะเวลาในการสัมผัสได้ ดังรูปที่ 4.26



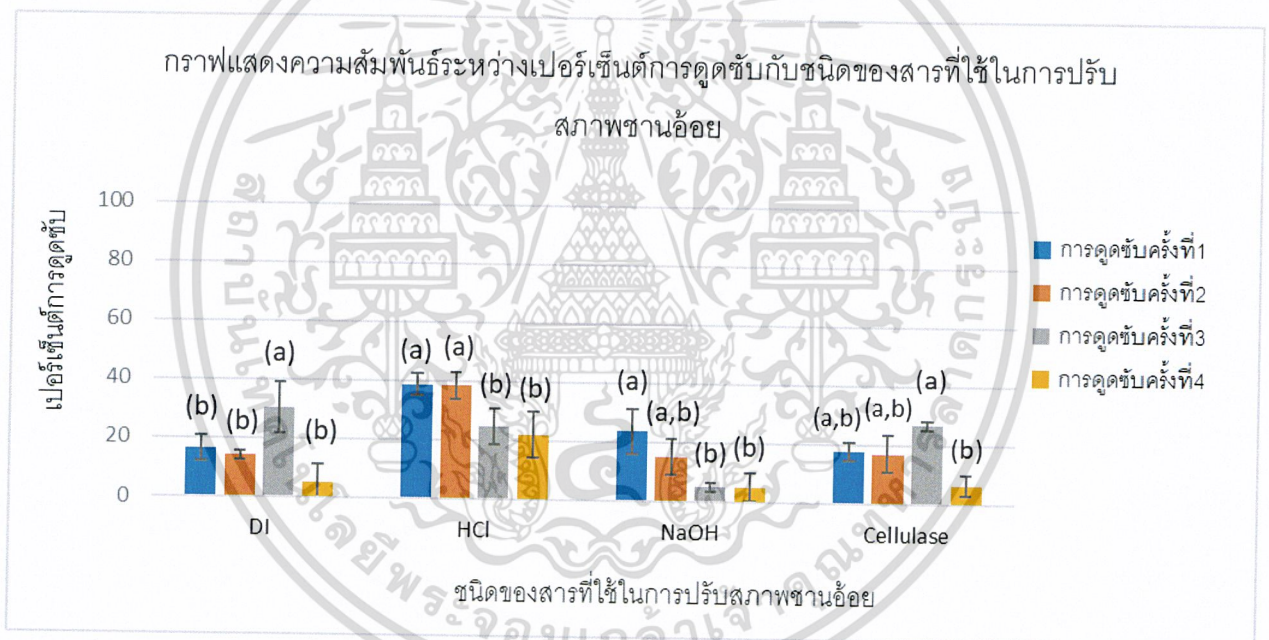
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 0-5 ชั่วโมง อัตราการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วง 5 ชั่วโมงแรก และจะคงที่เมื่อเข้าสู่เวลาที่ 7 ถึง 24 ชั่วโมง ชานอ้อยที่ถูกปรับสภาพด้วย Cellulase และ NaOH มีอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ส่วนชานอ้อยที่ถูกปรับสภาพด้วย HCl และ Deionized Water มีอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ นั้นเป็นเพราะในช่วงเวลาที่ 0-5 ชั่วโมง พื้นที่ผิวภายในรูพรุนของชานอ้อยมีที่ว่างมากพอที่โมเลกุลของสีย้อมจะแพร่เข้าไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปที่ว่างในรูพรุนมีขนาดเล็กลงโมเลกุลของสีย้อมแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ช้าลงส่งผลให้อัตราการดูดซับเกิดได้ช้าลงเช่นกัน และแสดงให้เห็นถึงชานอ้อยที่ถูกปรับสภาพด้วย HCl มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด เพราะว่า HCl เข้าไปทำให้เกิดรูพรุน ได้มากกว่าการปรับสภาพด้วย DI Cellulase และ NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับ พิณฑตา (2559) พบว่า การศึกษาการดูดซับ Pb (II) และ Cr (VI) ด้วยเส้นใยไผ่ล่อนดัดแปรด้วยกรดอะคริลิก ประสิทธิภาพในการกำจัด Pb (II) และ Cr (VI) มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 34 ถึง 96 และจากร้อยละ 20 ถึง 85 เมื่อเวลาการสัมผัสเพิ่มขึ้น ในช่วง 10 ถึง 150 นาที และ 10 ถึง 180 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ไอออนของโลหะหนักสามารถแพร่ไปยังตำแหน่งว่องไวต่อการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มเป็น 150 นาที สำหรับ Pb (II) และ 180 นาที สำหรับ Cr (VI) จนกระทั่งที่ 240 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดมีประมาณร้อยละ 96 และ 85 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเนื่องจากการดูดซับเริ่มเข้าสู่สมดุล

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการนำขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการคายซึบนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับชนิดของสารที่ใช้ในการปรับสภาพขานอ้อยแม่เหล็ก

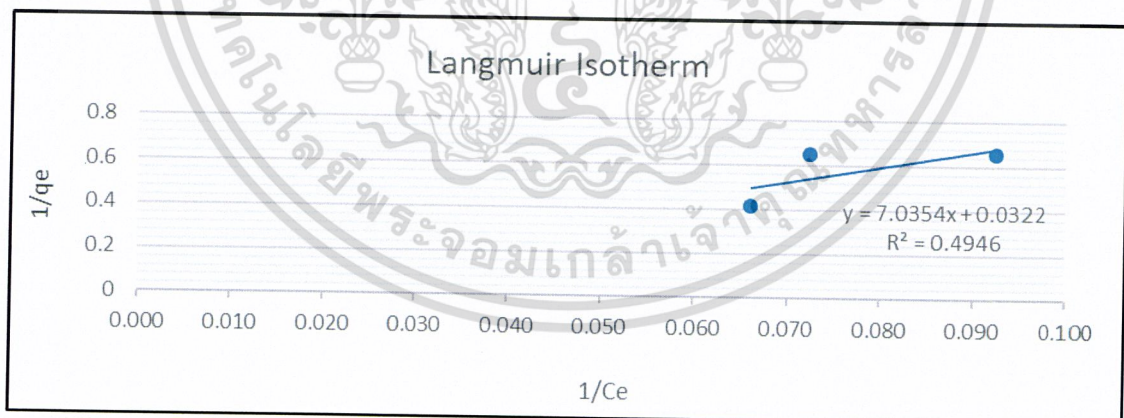
การศึกษาประสิทธิภาพการนำขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการคายซึบนำกลับมาใช้ใหม่ จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl, NaOH และ Cellulase โดยมีน้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม มาทำการคายซึบ แล้วนำกลับมาใช้ซ้ำอีก 3 ครั้ง พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับครั้งที่ 1 ของขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl, NaOH และ Cellulase รวมทั้งชุดควบคุม คือ 38.82, 23.83, 17.63 และ 16.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อจำนวนครั้งในการทำซ้ำเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับของครั้งที่ 2-4 ของขานอ้อยแม่เหล็กมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับ

เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กในครั้งที่ 1 ยกเว้นในครั้งที่ 3 ชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase และชุดควบคุม ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเพิ่มขึ้นในครั้งที่ 3 คือ 26.77 และ 30.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วจึงลดลงในครั้งที่ 4 คือ 6.45 และ 5.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับชนิดของสารที่ใช้ในการปรับสภาพชานอ้อยแม่เหล็ก พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

4.5 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของวัสดุดูดซับ

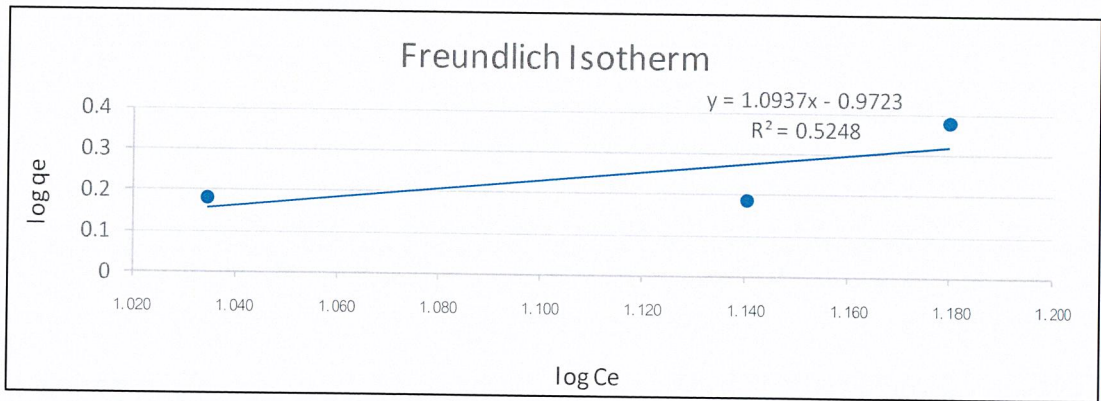
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water

ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.05	0.025	20	15.141	2.410	0.066	0.415	1.180	0.382
2	0.1	0.025	20	13.815	1.540	0.072	0.649	1.140	0.188
3	0.15	0.025	20	10.831	1.525	0.092	0.656	1.035	0.183



รูปที่ 4.27 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water โดยใช้ Langmuir Isotherm

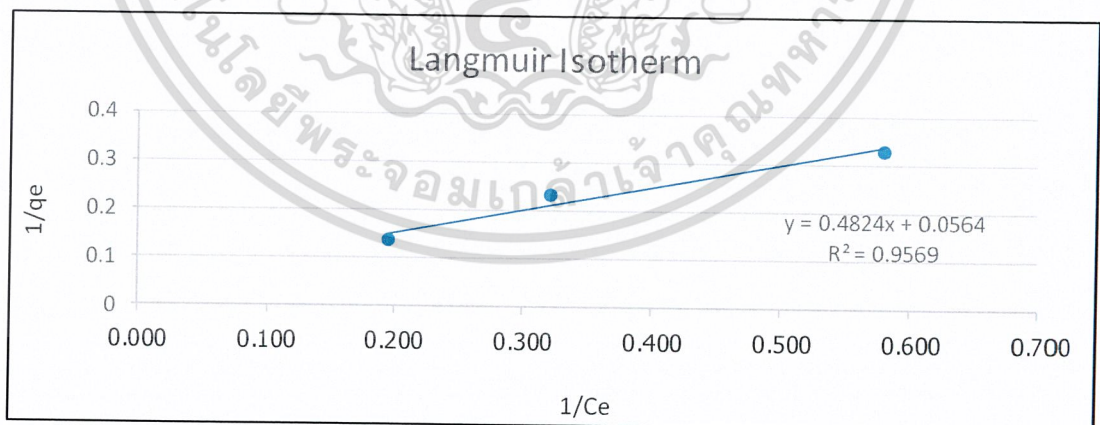
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Deionized Water โดยใช้ Freundlich Isotherm

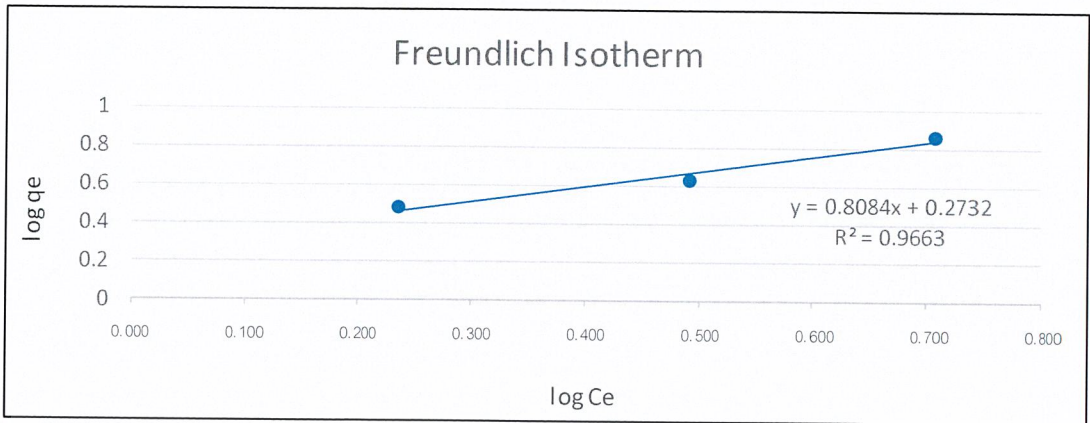
ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl

ขวดที่	ปริมาณ ตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลาย เมทิลีนบลู (ลิตร)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.050	0.025	20.000	5.095	7.364	0.196	0.136	0.707	0.867
2	0.100	0.025	20.000	3.106	4.266	0.322	0.234	0.492	0.630
3	0.150	0.025	20.000	1.724	3.042	0.580	0.329	0.237	0.483



รูปที่ 4.29 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl โดยใช้ Langmuir Isotherm

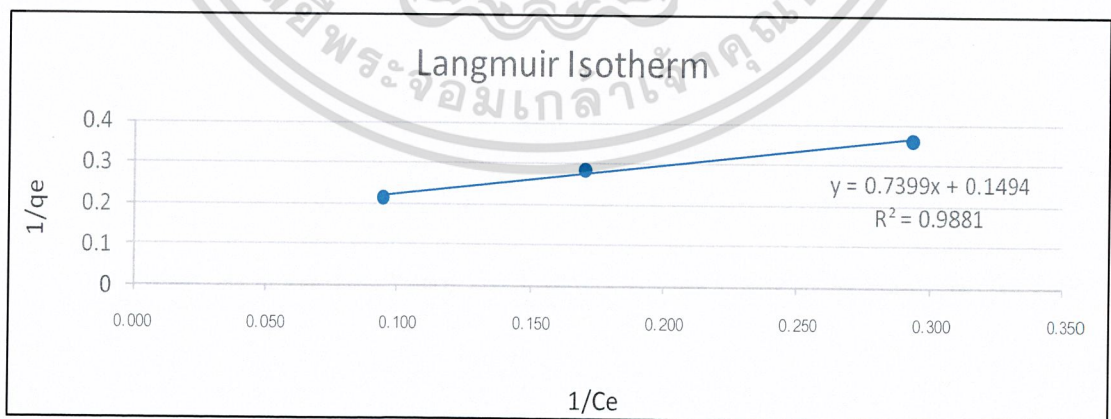
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



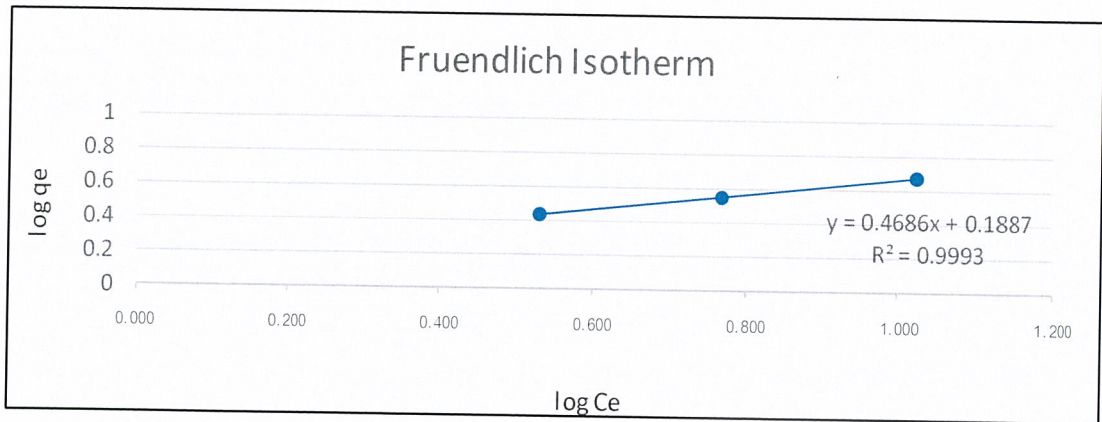
รูปที่ 4.30 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย HCl โดยใช้ Freundlich Isotherm

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH

ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)	C _o (ppm)	C _e (ppm)	q _e (mg/g)	1/C _e	1/q _e	logC _e	logq _e
1	0.050	0.025	20.000	10.566	4.680	0.095	0.214	1.024	0.670
2	0.100	0.025	20.000	5.858	3.508	0.171	0.285	0.768	0.545
3	0.150	0.025	20.000	3.559	2.727	0.281	0.367	0.551	0.436



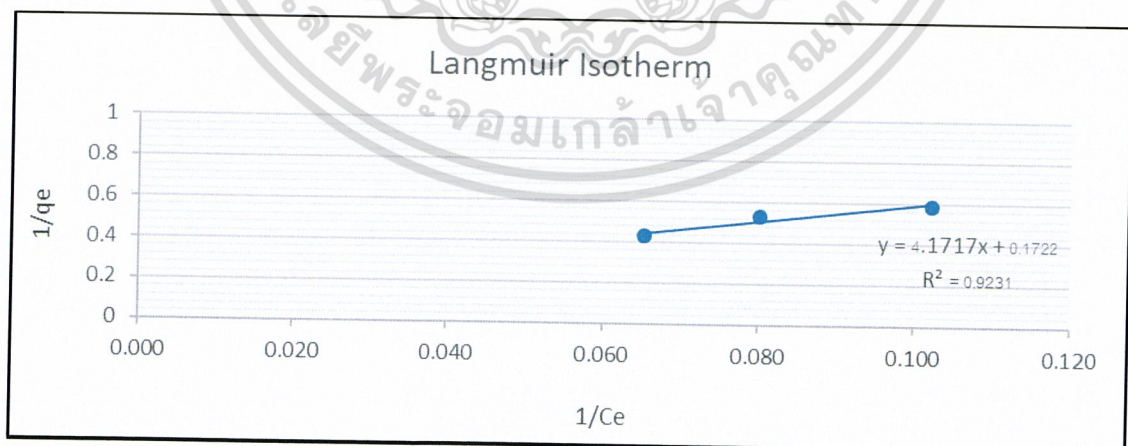
รูปที่ 4.31 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH โดยใช้ Langmuir Isotherm



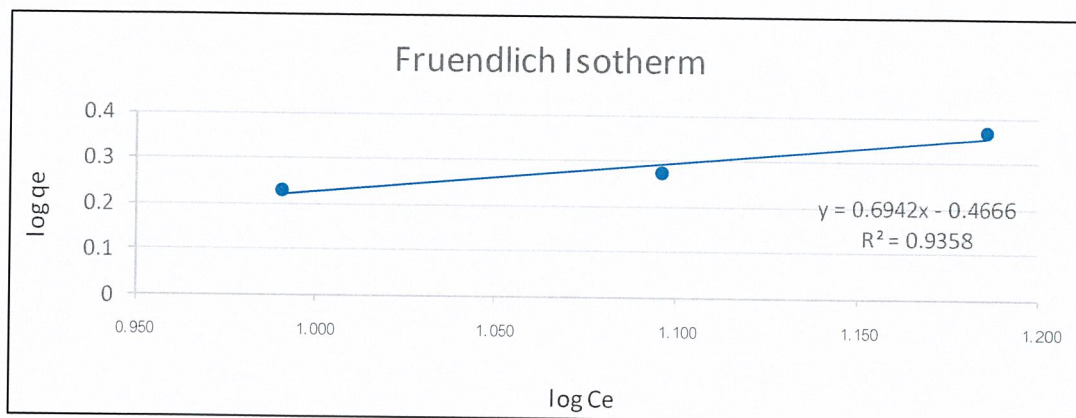
รูปที่ 4.32 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย NaOH โดยใช้ Freundlich Isotherm

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาไอโซเทอมของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วย Cellulase

ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณสารละลายเมทิลีนบลู(ลิตร)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.05	0.025	20	15.329	2.331	0.065	0.429	1.186	0.367
2	0.1	0.025	20	12.467	1.878	0.080	0.533	1.096	0.274
3	0.15	0.025	20	9.781	1.700	0.102	0.588	0.990	0.230



รูปที่ 4.33 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่เคมีด้วย Cellulase โดยใช้ Langmuir Isotherm นี้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยแม่เหล็กที่ถูกปรับสภาพทางเคมีด้วยCellulase โดยใช้ Freundlich Isotherm

จากรูปที่4.30 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยDeionized Water โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง $y = 1.0937x - 0.9723$ ซึ่งมีค่าคงที่ n เท่ากับ 1.0937 และ ค่า $1/n$ เท่ากับ 0.9143 โดย $1/n$ บ่งบอกถึงจำนวนชั้นของการดูดซับของความเป็นพื้นที่ผิวหลายชั้น และสามารถคำนวณหาค่าคงที่ K_d ซึ่งแสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 12.41

จากรูปที่4.31 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยHCl โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง $y = 0.8084x + 0.2732$ ซึ่งมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.8084 และ ค่า $1/n$ เท่ากับ 1.2370 โดย $1/n$ บ่งบอกถึงจำนวนชั้นของการดูดซับของความเป็นพื้นที่ผิวหลายชั้น และสามารถคำนวณหาค่าคงที่ K_d ซึ่งแสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 6.43

จากรูปที่4.33 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยNaOH โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง $y = 0.4686x + 0.1887$ ซึ่งมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.4686 และ ค่า $1/n$ เท่ากับ 2.1340 โดย $1/n$ บ่งบอกถึงจำนวนชั้นของการดูดซับของความเป็นพื้นที่ผิวหลายชั้น และสามารถคำนวณหาค่าคงที่ K_d ซึ่งแสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 2.94

จากรูปที่4.35 แสดงผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยCellulase โดยใช้ Freundlich Isotherm ได้สมการเส้นตรง $y = 0.6942x - 0.4666$ ซึ่งมีค่าคงที่ n เท่ากับ 0.6942 และ ค่า $1/n$ เท่ากับ 1.4405 โดย $1/n$ บ่งบอกถึงจำนวนชั้นของการดูดซับของความเป็นพื้นที่ผิวแบบหลายชั้น และสามารถคำนวณหาค่าคงที่ K_d ซึ่งแสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของชานอ้อย มีค่าเท่ากับ 4.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันกับของ จักรกฤษณ์ และคณะ (2560) พบว่า ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช โดยพิจารณาจากค่า R^2 แสดงว่า สีย้อมเข้าไปยึดติดผิวของถ่านกัมมันต์ในลักษณะหลายชั้น (multilayer) ผลการทดลองไม่มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซับโดยใช้ขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาการดูดซับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ศึกษาการนำขานอ้อยแม่เหล็กที่คายซับแล้วกลับมาใช้ใหม่ ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase รวมทั้งได้ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยทั้งก่อนและหลังการดูดซับสีเมทิลีนบลูโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) จากนั้นทำการศึกษาชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในขานอ้อยหลังจากการปรับสภาพวัสดุขานอ้อยก่อนเป็นแม่เหล็ก โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ จะขรุขระน้อยกว่า มีปริมาณรูพรุนน้อยกว่าขานอ้อยถูกปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, HCl, NaOH และ Cellulase
2. การศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่า ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด รองลงมาคือ ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยน้ำกลั่น, Cellulase และ NaOH ตามลำดับ
3. ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่ในคอลัมน์ของ Glucose เท่ากับ 17.50 และมีน้ำตาลอื่นๆ อย่างเช่น Sucrose เท่ากับ 15.50 และ Fructose เท่ากับ 21.17 เป็นต้น ยกเว้นน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้หลังการปรับสภาพด้วย HCl จะไม่แสดงพีคของ Sucrose
4. การศึกษาหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วงที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมทิลีนบลูออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase พบว่า สารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 5-7 จะทำให้ขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water และ HCl สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 52.23-60.56 และ 41.97-51.62 ตามลำดับ ส่วนสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 4-7 จะทำให้ขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 14.97-30.1 ตามลำดับ และสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 1 และ 6 จะทำให้ขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase สามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 55 และ 39.46 ตามลำดับ
5. การศึกษาระยะเวลาการดูดซับของขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase ในสารละลายเมทิลีนบลู พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับที่เวลา 7 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่ดีที่สุดในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู มีประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 11.27, 66.64, 41.31 และ 46.12 ตามลำดับ และหลังจาก 7 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับจะคงที่

6. การศึกษาการนำขานอ้อยแม่เหล็กที่คายซับลแล้วกลับมาใช้ใหม่ พบว่า การคายซับลของขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase ในสารละลายเมทิลีนบลู สามารถดูดซับลเมทิลีนบลูได้โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดของครั้งที่ 1 ได้ร้อยละ คือ 16.57, 38.82, 23.83 และ 17.63 ตามลำดับ ครั้งที่ 2 ได้ร้อยละ คือ 14.14, 38.53, 15.25 และ 17.01 ตามลำดับ ครั้งที่ 3 ได้ร้อยละ คือ 30.40, 24.76, 4.98 และ 26.77 ตามลำดับ ครั้งที่ 4 ได้ร้อยละ คือ 5.30, 22.16, 5.09 และ 6.45 ตามลำดับ

7. การดูดซับลเมทิลีนบลูของขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการปรับสภาพด้วย Deionized Water, HCl, NaOH และ Cellulase พบว่า สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับลแบบฟรุนดิช แสดงถึงการดูดซับลสามารถเกิดขึ้นได้หลายชั้นที่พื้นผิวของวัสดุดูดซับล

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมจริง
2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับลสีย้อมที่หลากหลายโดยการสังเคราะห์น้ำเสียที่มีสีย้อมรวมกันมากกว่า 1 ชนิด
3. ควรศึกษาวัสดุอื่นในการดูดซับลเมทิลีนบลูแทนขานอ้อย
4. ควรศึกษาปริมาณตัวดูดซับลที่เหมาะสมของขานอ้อยแม่เหล็ก และความเข้มข้นของสีย้อมในสภาวะที่เหมาะสม
5. ควรคำนวณอัตราส่วนของขานอ้อยต่อภาชนะที่ใช้ในการย่อยวัสดุดูดซับลให้เหมาะสม
6. ควรทำการตรวจวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับล

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2559. แร่แมกนีไทต์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.dmr.go.th/main.php?filename=magnetite>

ชนิษฐา. 2007. สีย้อม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.

เขมณิจจารย์ สารีพันธ์ และ อุไรลักษณ์ พงษ์เกษ. 2560. “Effect of Pretreatment Methods of Cassava Residue on Sugar Production.” วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 45(4): 904-913

จงรัก นุขุนทด, ศรีนทิพย์ สุนทรชัย และ แสงสุรีย์ วาระสิทธิ์. 2557. “การดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 ในน้ำเสีย สังกะหรณ์โดยใช้ขานอ้อย.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จักรกฤษณ์ อัมพูช และ บุญส่ง จุฑารัตน์. 2559. “พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

จินดาพร บุญวัฒนา. 2558. UV-Visible spectrophotometer. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://web2.mfu.ac.th/center/stic/spectroscopy-chem-analysis-instrument/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html>

พชรวรรณ อังศิริสวัสดิ์ และ เฉลิม เรืองวิริยะ. 2559. “การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เปลือกหน่อไม้แห้ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสำหรับครู, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พินิตตา ผลาทิพย์. 2559. “การดูดซับโลหะหนักด้วยเส้นใยประดิษฐ์ดัดแปร.” วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รวินิภา ศรีมูล. 2559. “การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วิกิพีเดีย. 2018. โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose>

วิกิพีเดีย. 2018. โครงสร้างลิกนิน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<https://en.wikipedia.org/wiki/Lignin>

วิกิพีเดีย. 2018. ลักษณะของแร่แม่เหล็ก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetite>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2561. แม่เหล็ก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<https://th.wikipedia.org/wiki/แม่เหล็ก>

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2561. องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/6.html>

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2561. UV-VIS spectrum. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/6.html>

สารานุกรมไทย สำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2561.

ลักษณะต่างๆ ไป และลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail05.html>

อรทัย วิเศษรัตน์, รินรติ งามสมบัติ, งามใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์ และจิตติมา ประสาระเอ. 2554. “การดูดซับน้ำมันโดยใช้ขานอ้อยและขานอ้อยปรับสภาพ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Al-Baldawi I.A., Abdullah S.R.S, Anuar N. and Hasan H.A. 2018 “Phytotransformation of methylene blue from water using aquatic plant (*Azolla pinnata*).”

Journal of Environmental Technology & Innovation. 11(2018): 15–22

Cellulose chemical structure. [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/cell-wall-373613>

Cellulose structure. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/figure/Cellulose-structure-adapted-from-GURUNATHAN-et-al-2015_fig2_299326092

Kanchi,S.Bisetty,K.Kumar,G.Sabela,M.I. 2017. “Robust adsorption of Direct Navy Blue-106 from textile industrial effluents by bio-hydrogen fermented waste derived activated carbon: Equilibrium and kinetic studies.” *Arabian Journal of Chemistry* 2(2017): S3084-S3096

Methylene blue structure. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-methylene-blue_fig2_324315140

Patchra Personal Library. 2561. แมกนีไทต์(Magnetite). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

<http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/magnetite.php>

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pectin structure. [Online]. Available: <http://std.com.pk/fulltext/?doi=std.2015.9.15>

Pub Chem. 2018. Methylene Blue Anhydrous. [Online]. Available:

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6099>

Rattanachueskul N., Saning A., Kaowphong S., Chumha N. and Chuenchom L. 2016.

“Magnetic carbon composites with a hierarchical structure for adsorption of tetracycline, prepared from sugarcane bagasse *via* hydrothermal carbonization coupled with simple heat treatment process.” *Journal of Bioresource Technology*. 226(2017): 164-172

Rattanapan S., Srikram S. and Kongsune P. 2017. “Adsorption of Methyl Orange on Coffee grounds Activated Carbon.” *Journal of Energy Procedia* (138): 949-954

Researchgate.net. 2018. สูตรโครงสร้างของเมทิลีนบลู. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-methylene-blue_fig2_324315140

ThoughtCo. 2018. โครงสร้างองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<https://www.thoughtco.com/cell-wall-373613>

Vladimir P., Zlatko K., Stavoj C. 1974. กระบวนการดูดซับ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

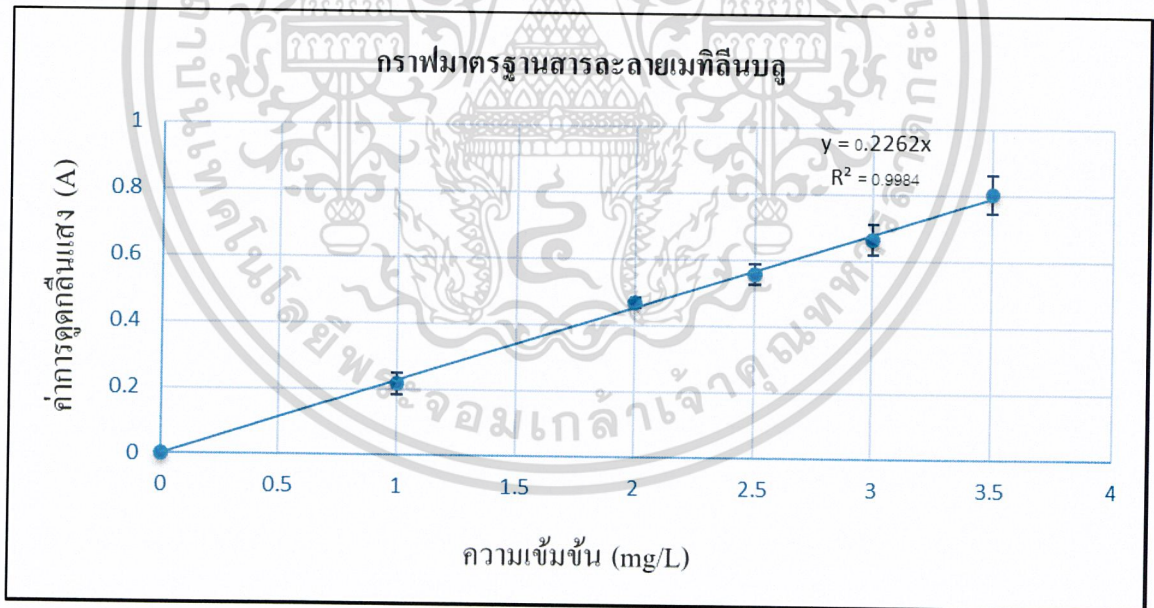
1. การเตรียมสารเคมี

1.1 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู

เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 1, 2, 2.5, 3 และ 3.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตาราง ก-1

ตารางที่ ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	SD
0	0	0
1	0.216	0.0328
2	0.468	0.0139
2.5	0.556	0.0302
3	0.666	0.0462
3.5	0.803	0.0579



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู

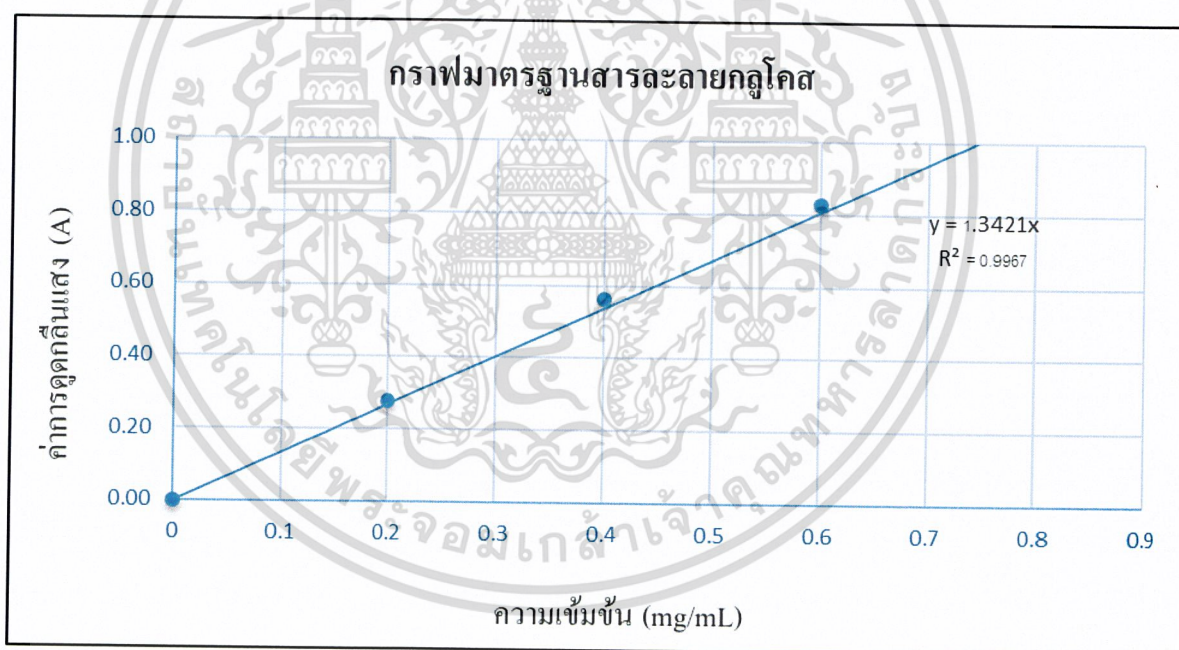
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายกลูโคส

เตรียมสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำให้เกิดสีด้วยวิธีDNS นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังแสดงในตาราง ก-2

ตารางที่ ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	SD
0	0.00	0.07
0.2	0.28	0.01
0.4	0.56	0.01
0.6	0.83	0.01
0.8	1.04	0.01



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 การศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสม

1. ผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water

pH	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
1	14.19	14.58	14.90	14.56	17.68	2.00
2	15.53	15.87	16.22	15.87	10.23	1.98
3	14.28	13.31	12.69	13.43	24.07	4.52
4	15.21	16.28	15.98	15.82	10.53	3.12
5	9.41	9.95	5.99	8.45	52.23	12.15
6	10.66	4.58	5.69	6.97	60.56	18.31
7	8.76	8.34	8.01	8.37	52.67	2.13

2. ผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl

pH	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
1	17.08	15.35	16.10	16.18	16.84	4.47
2	16.87	16.26	18.86	17.33	10.91	7.00
3	18.21	18.19	17.97	18.13	6.82	0.69
4	17.74	16.05	18.97	17.58	9.61	7.53
5	13.27	12.53	8.06	11.29	41.97	14.48
6	8.75	7.56	11.92	9.41	51.62	11.58
7	10.01	8.80	13.17	10.66	45.20	11.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH

pH	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
1	14.26	15.61	14.22	14.70	16.88	4.47
2	17.12	16.84	17.22	17.06	3.51	1.11
3	17.12	17.24	16.35	16.91	4.40	2.73
4	15.69	13.73	14.58	14.67	17.07	5.58
5	14.53	16.00	14.58	15.04	14.97	4.71
6	11.57	14.35	12.60	12.84	27.39	7.93
7	12.70	11.95	12.43	12.36	30.10	2.14

4. ผลการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Cellulase

pH	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
1	4.99	7.82	11.07	7.96	55.00	17.21
2	17.35	10.04	15.61	14.33	18.97	21.60
3	17.48	16.78	16.95	17.07	3.46	2.08
4	15.98	14.43	14.52	14.97	15.32	4.92
5	14.82	16.85	13.40	15.02	15.06	9.81
6	6.93	10.53	14.66	10.71	39.46	21.85
7	14.36	15.04	15.92	15.10	14.59	4.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 การศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

1. ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water

Contact Time	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
0	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00
1	19.08	18.92	19.85	19.46	2.64	0.55
2	13.79	16.91	19.30	16.55	7.03	3.89
3	16.89	18.59	18.02	17.45	7.91	0.80
5	13.59	11.43	14.74	14.17	14.88	0.81
7	17.55	16.06	13.20	15.37	11.27	3.08
24	13.37	13.12	14.99	14.18	23.20	1.14

2. ผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย HCl

Contact Time	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
0	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00
1	4.89	16.29	17.64	11.26	27.83	9.02
2	14.21	7.47	6.59	10.40	46.84	5.39
3	8.72	5.87	6.06	7.39	64.46	1.88
5	3.50	4.62	7.71	5.61	69.63	2.98
7	2.73	5.46	3.63	3.18	66.64	0.63
24	1.61	1.14	1.69	1.65	91.78	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการศึกษาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH

Contact Time	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
0	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00
1	16.34	15.80	18.08	17.21	15.95	1.23
2	15.12	14.70	15.12	15.12	18.94	0.00
3	13.48	14.85	9.33	11.41	27.46	2.94
5	14.19	11.38	6.32	10.26	32.21	5.56
7	9.05	8.26	9.86	9.46	41.31	0.57
24	7.86	7.67	9.87	8.86	43.72	1.42

4. ผลการศึกษาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย Cellulase

Contact Time	Ce (mg/L)			เฉลี่ย	%Adsorption	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3			
0	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00
1	20.71	15.63	16.87	18.79	10.75	2.72
2	17.53	15.78	11.52	14.52	17.26	4.25
3	13.75	12.09	13.51	13.63	24.32	0.17
5	12.82	9.46	9.86	11.34	35.29	2.09
7	8.69	8.20	6.85	7.77	46.12	1.30
24	7.08	6.16	5.65	6.37	53.46	1.02

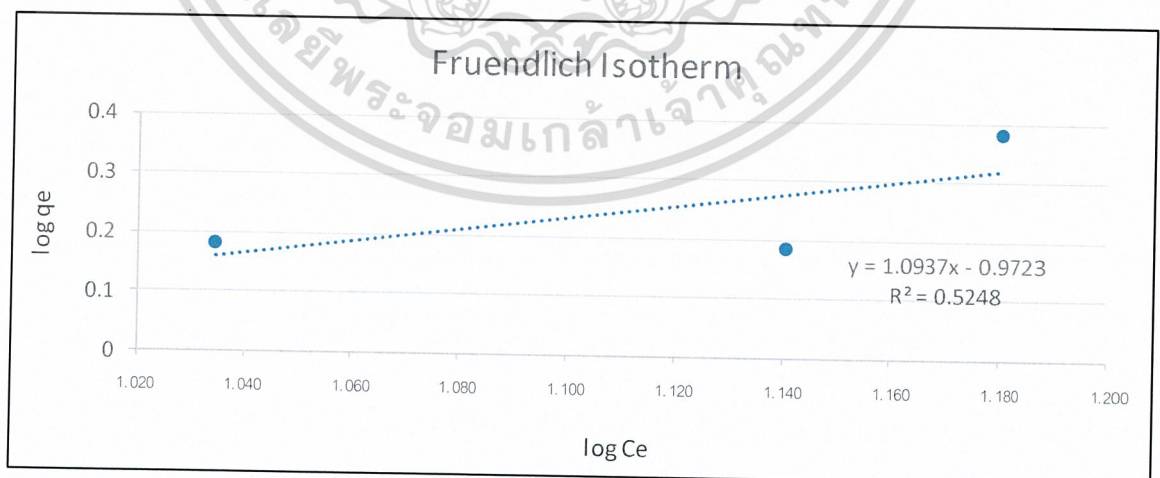
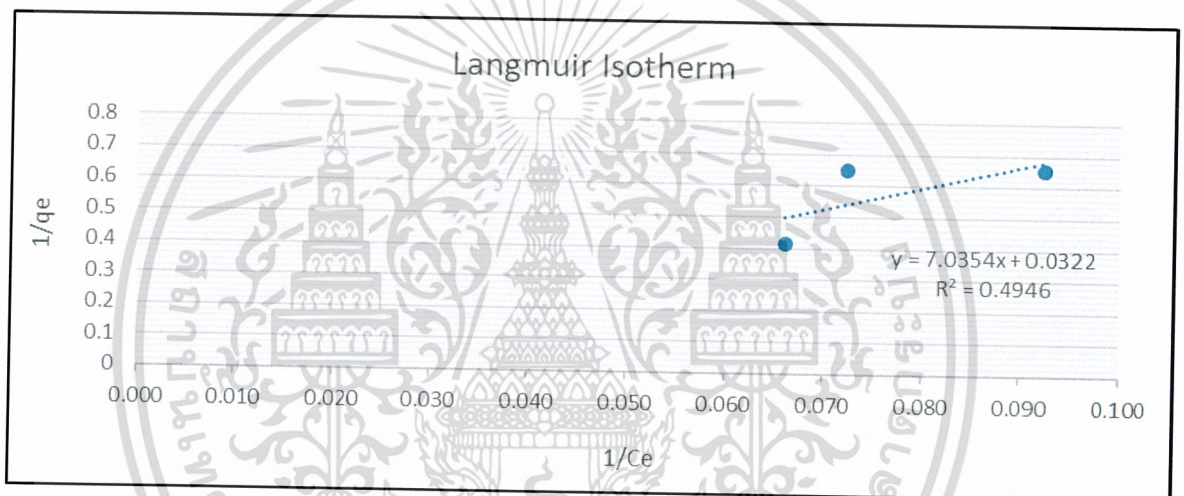
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Deionized Water

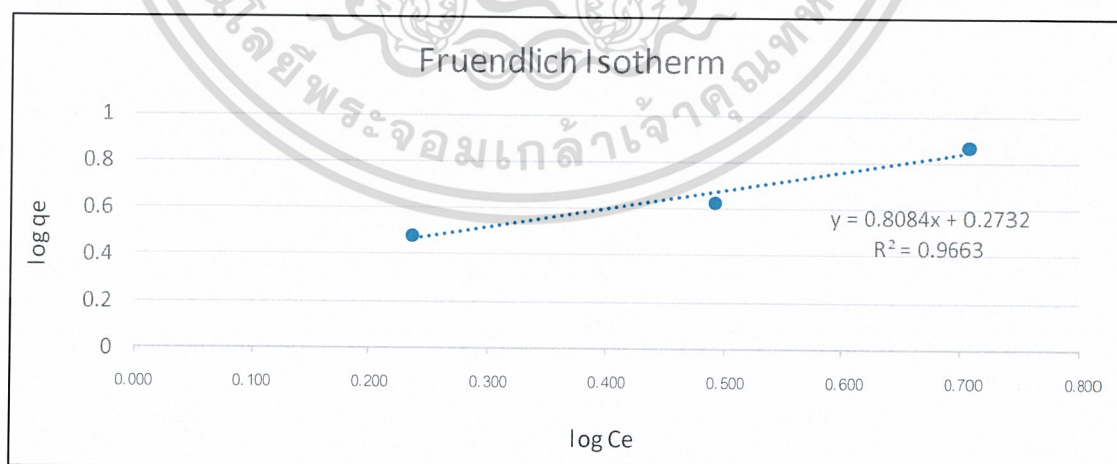
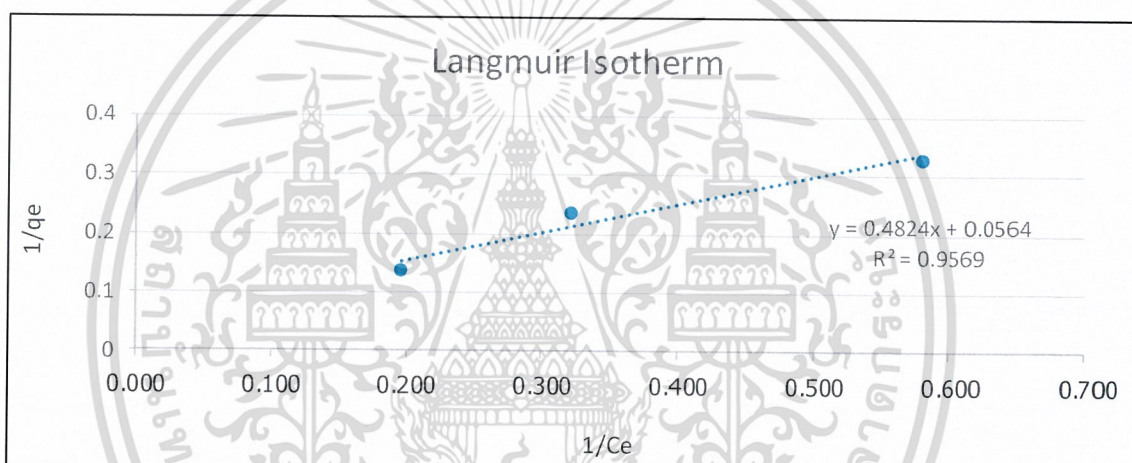
ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.05	0.025	20	15.141	2.410	0.066	0.415	1.180	0.382
2	0.1	0.025	20	13.815	1.540	0.072	0.649	1.140	0.188
3	0.15	0.025	20	10.831	1.525	0.092	0.656	1.035	0.183



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย HCl

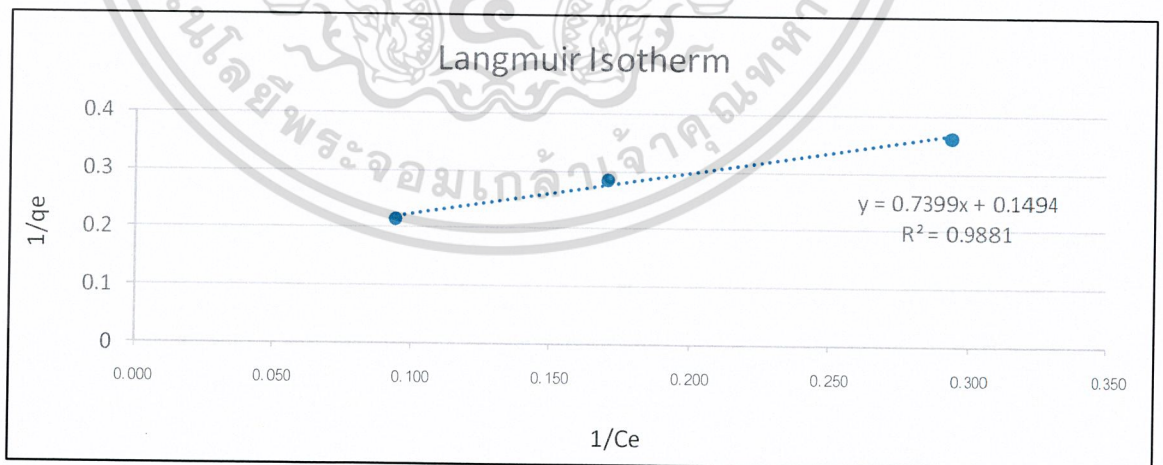
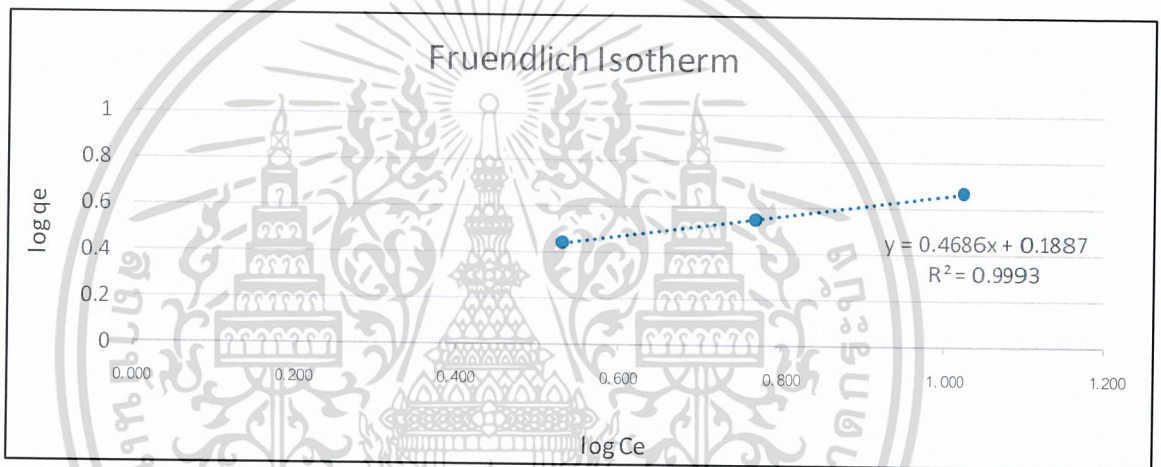
ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)	C_o (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.050	0.025	20.000	5.095	7.364	0.196	0.136	0.707	0.867
2	0.100	0.025	20.000	3.106	4.266	0.322	0.234	0.492	0.630
3	0.150	0.025	20.000	1.724	3.042	0.580	0.329	0.237	0.483



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของขานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย NaOH

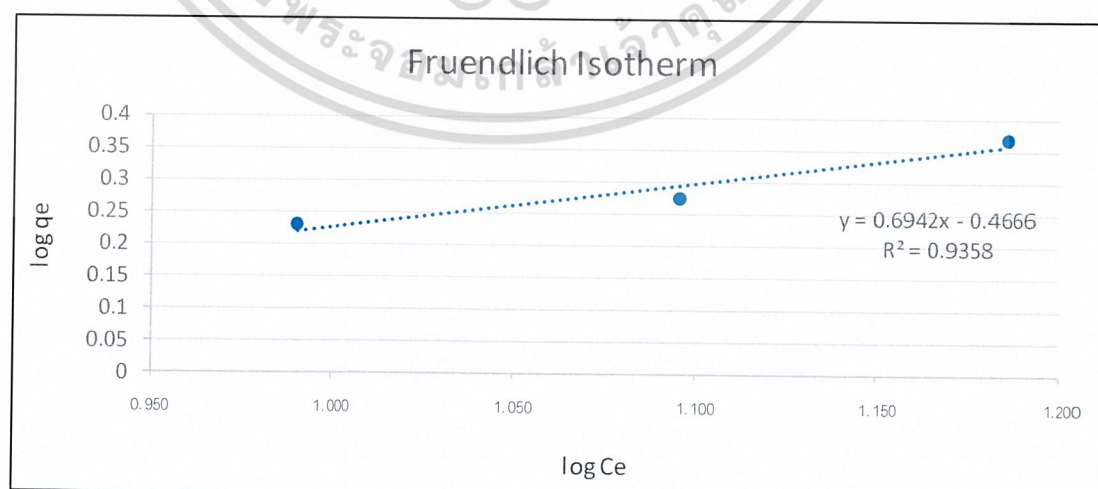
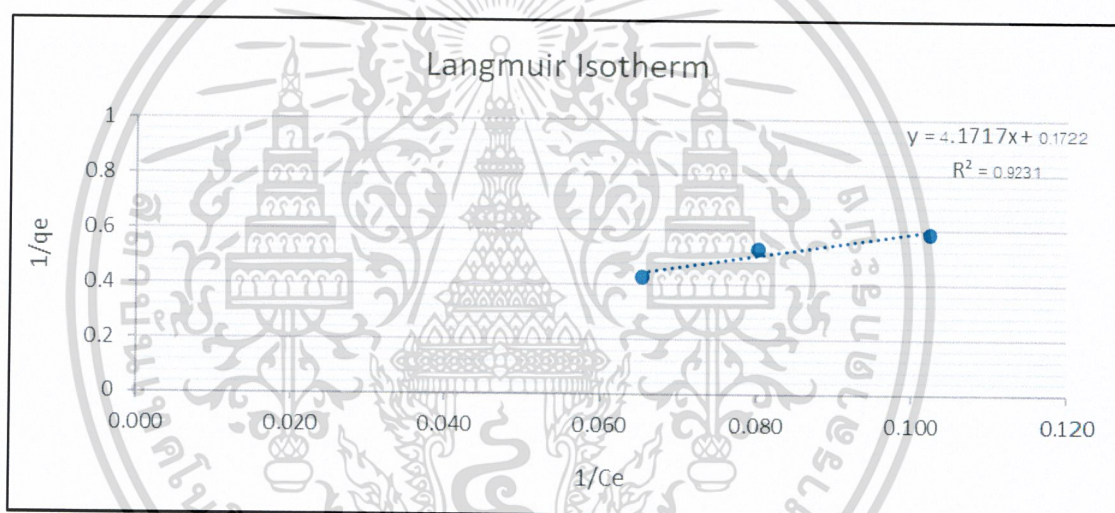
ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู (ลิตร)	C ₀ (ppm)	C _e (ppm)	q _e (mg/g)	1/C _e	1/q _e	logC _e	logq _e
1	0.050	0.025	20.000	10.566	4.680	0.095	0.214	1.024	0.670
2	0.100	0.025	20.000	5.858	3.508	0.171	0.285	0.768	0.545
3	0.150	0.025	20.000	3.559	2.727	0.281	0.367	0.551	0.436



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 การหาไอโซเทอมแบบ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ของชานอ้อยแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วย Cellulase

ขวดที่	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลู(ลิตร)	C_0 (ppm)	C_e (ppm)	q_e (mg/g)	$1/C_e$	$1/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
1	0.05	0.025	20	15.329	2.331	0.065	0.429	1.186	0.367
2	0.1	0.025	20	12.467	1.878	0.080	0.533	1.096	0.274
3	0.15	0.025	20	9.781	1.700	0.102	0.588	0.990	0.230



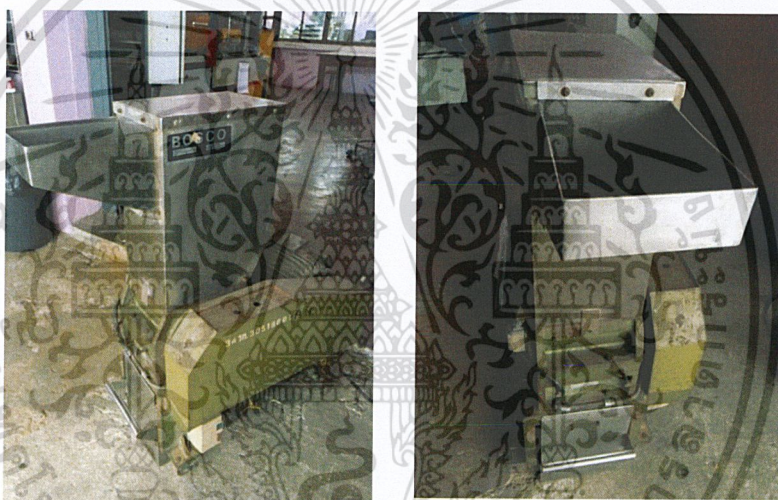
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



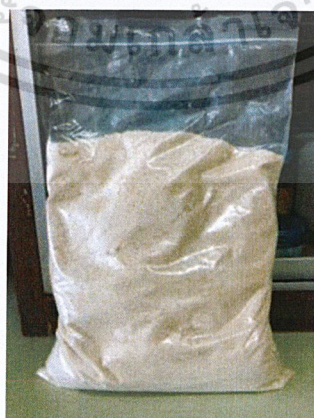
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-1 กากขานอ้อยที่ทิ้งแล้วจากกระบวนการคั้นน้ำอ้อย

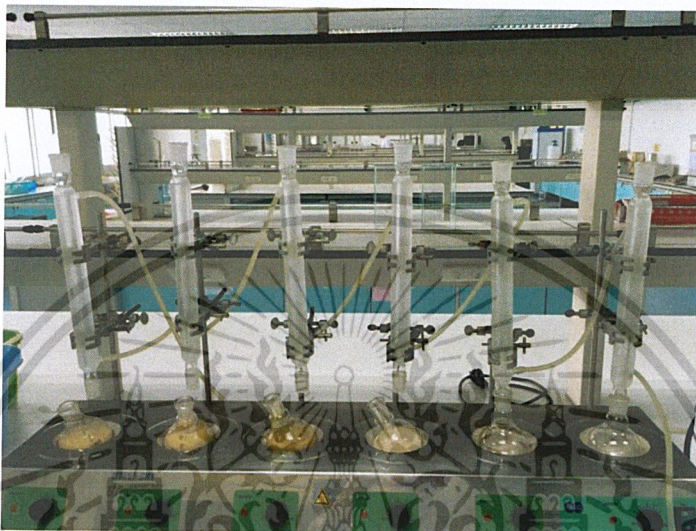


รูปที่ ง-2 เครื่องบด สำหรับบดขานอ้อยให้เป็นผง



รูปที่ ง-3 ขานอ้อยที่ผ่านการอบแล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในเชิงวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำขานอ้อยจากรูปที่ ง-1 มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็น 24 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำ จากนั้นนำไปเข้าเครื่องบด (รูปที่ ง-2) ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสให้มากขึ้น จากนั้นนำไปชั่ง เพื่อวัดน้ำหนักก่อนทำการปรับสภาพในชุดรีฟลักซ์ (รูปที่ ง-3 และ ง-4) ตามลำดับ

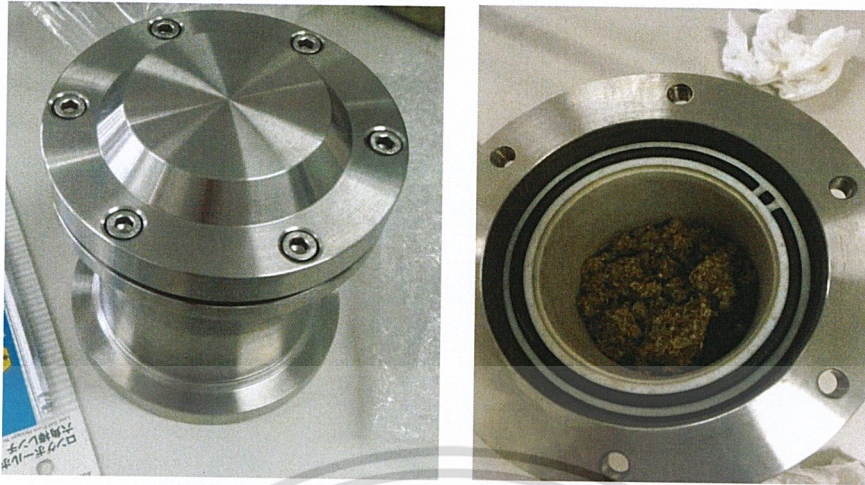


รูปที่ ง-4 ชุดรีฟลักซ์สำหรับการปรับสภาพขานอ้อย



รูปที่ ง-5 ชุดกรองเพื่อทำการล้างขานอ้อย มีค่า pH 7.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-6 ชุด Teflon lined autoclave สำหรับปรับสภาพวัสดุ



รูปที่ ง-7 ขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบ ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส
ขานอ้อยแม่เหล็กที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
จะมีลักษณะเหลว มีสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-8 กรองลดความดัน



รูปที่ ง-9 นำขานอ้อยแม่เหล็กมาเผาเพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นแม่เหล็ก

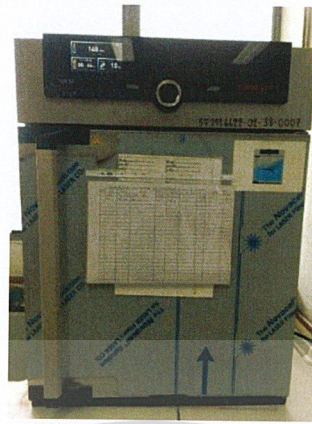
นำขานอ้อยที่ผ่านการล้างและอบแห้งเรียบร้อยแล้ว ปริมาณ 4 กรัม มาผสม FeCl_3 และ FeSO_4 อย่างละ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงไปนในขานอ้อย คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติม NaOH 20 มิลลิลิตร นำมาใส่ในชุด Teflon lined autoclave (รูปที่ ง-6) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการกรองลดความดัน แล้วนำไปอบแห้งต่อที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่ออบแห้งเสร็จเรียบร้อยแล้วนำขานอ้อยแม่เหล็กไปเผาต่อที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นแม่เหล็ก เนื่องจากความร้อนทำ

ให้อิเล็กตรอนจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ จึงทำให้วัสดุมีอำนาจแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

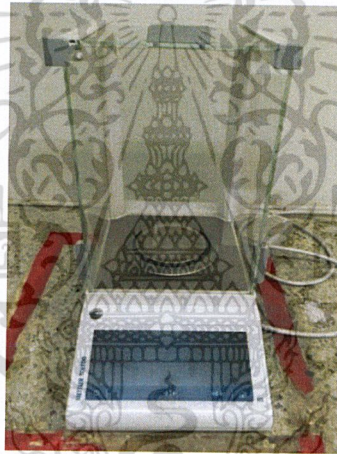
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-1 ตู้อบ (oven) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert



รูปที่ จ-2 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (Balance)



รูปที่ จ-3 เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง (Balance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-4 เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp
ใช้ในการเขย่า มีการควบคุมความเร็วรอบและเวลาเพื่อให้ขานอ้อยกับสีย้อมทำปฏิกิริยากัน
แล้วโมเลกุลของสีย้อมเกิดการแทรกเข้าไปในรูพรุนของเส้นใยขานอ้อย



รูป จ-5 เครื่องกรองสุญญากาศ (Suction pump) รุ่น Aspirator A-3s ยี่ห้อ Eylala



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ จ-6 เครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway**

เครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway ใช้ทำกราฟมาตรฐาน และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร เพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มา คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู



รูปที่ จ-7 เครื่องบด ยี่ห้อ Bosco

เครื่องบด ยี่ห้อ Bosco สำหรับบดขานอ้อยให้เป็นผง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตัววัสดุมาก

ยิ่งขึ้น



รูปที่ จ-8 เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Thermolyne

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เตาเผา (Furnace) ยี่ห้อ Thermolyne ใช้ในการเผาขานอ้อยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความเป็น ไม้ว่านอ้อยๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็ก