การศึกษาค่าความร้อน ปริมาณเถ้า และศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว ที่ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการย้อมสีผ้า

A STUDY ON HEATING VALUE, ASH CONTENT AND ENERGY POTENTIAL OF RICE STRAW AS ABSORBENT MATERIAL FROM DYEING PROCESS OF FABRIC

จาตุรนต์ บุญช่วย
JATURON BOONCHUAY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-100-079

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาค่าความร้อน ปริมาณเถ้า และศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว ที่ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการย้อมสีผ้า

A STUDY ON HEATING VALUE, ASH CONTENT AND ENERGY POTENTIAL OF RICE STRAW AS ABSORBENT MATERIAL FROM DYEING PROCESS OF FABRIC

T148671

จาตุรนต์ บุญช่วย

JATURON BOONCHUAY

ศูนย์วิทยทรัพยากร
เลขทะเบียน 148671
วัน.เดือน.ปี 14 พ.ค. 2560

b.....
l.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-100-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON HEATING VALUE, ASH CONTENT AND ENERGY POTENTIAL OF RICE STRAW AS ABSORBENT MATERIAL FROM DYEING PROCESS OF FABRIC

JATURON BOONCHUAY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-EN-M-100-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาค่าความร้อน ปริมาณเถ้า และศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าวที่ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการย้อมสีผ้า

Thesis Title A Study on Heating Value , Ash Content and Energy Potential of Rice Straw as Absorbent Material from Dyeing Process of Fabric

นักศึกษา นายจาตุรนต์ บุญช่วย

รหัสประจำตัว 55612302

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-100-079

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.รัตนพล	มงคลรัตนาสิทธิ์	
ดร.รวิภัทร	ลาภเจริญสุข	
ผศ.ดร.ธีรพงศ์	ผลโพธิ์	
ดร.จิราพร	ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
ผศ.ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียติ ห้อง HM -302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาค่าความร้อน ปริมาณเถ้า และศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าวที่ถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับในกระบวนการย้อมสีผ้า
นักศึกษา	นายจาตุรนต์ บุญช่วย
รหัสประจำตัว	55612302
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมในแต่ละปีจะมีของเหลือจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ฟางข้าวก็เป็นอีกชนิดหนึ่งที่เหลือเป็นจำนวนมาก จึงมีการคิดค้นการเพิ่มมูลค่าให้กับฟางข้าว โดยการนำฟางข้าวมาเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ศึกษาศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมผ้าเพื่อเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุอย่างคุ้มค่าด้วยการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยศึกษาค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของฟางข้าว 4 ชนิด คือ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า direct red 23 เป็นเวลา 0 ถึง 120 นาที โดยใช้ปริมาณวัสดุดูดซับต่อสารละลายสีย้อมผ้าในอัตราส่วน 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟางข้าวที่ไม่ดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.491 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ 14.472 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก 14.392 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และฟางข้าวที่นำมาดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนเท่ากับ 15.948 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 6.076 ลดลงจากฟางข้าวที่ไม่ดัดแปลงสภาพที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 17.054 เมื่อนำไปดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า พบว่าค่าความร้อนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของเวลาในการดูดซับ ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.806 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าร้อยละ 25.241 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.854 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าร้อยละ 25.315 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.968 เมกกะจูลต่อ ปริมาณเถ้าร้อยละ 25.421 และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.002 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าร้อยละ 16.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A STUDY ON HEATING VALUE, ASH CONTENT AND ENERGY POTENTIAL OF RICE STRAW AS ABSORBENT MATERIAL FROM DYEING PROCESS OF FABRIC
Student	Mr. Jaturon Boonchuay
StudentID.	55612302
Degree	Master of Engineering
Progam	Agricultural Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof.Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

Thailand has been called as agricultural country; therefore, there have been large amounts of agricultural residues yearly, particularly rice straw. Many researchers have investigated the alternative various usages of rice straw and two favorite approaches are using rice straw as the bio-sorption material and using rice straw in the industry of renewable energy sector. Therefore, the objective of this study is to study on the energy efficiency of rice straw as absorbent material from dyeing process. The rice straw samples (bio-sorption) applied for this study were untreated straw and treated straws by water, H_2SO_4 and NaOH respectively. The sorption ratio of the bio-sorption to volume of solution was 0.05 g/ml and the absorption periods were 0 to 120 minutes that employed for this experiment. The results showed that the rice straw treated with NaOH had highest heating value 14.491 MJ/kg and decreased ash content 6.076% from untreated rice straw. After finishing the dyeing process, the heating value and the ash content of untreated rice straw were 12.806 MJ/kg and 25.241%, of water-treated straw were 12.854 MJ/kg and 25.315%, of H_2SO_4-treated straw were 12.968 MJ/kg and 25.421%, of NaOH-treated straw were 14.002 MJ/kg and 16.130% respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาผศ.ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาชี้แนะตลอดจนช่วยแก้ปัญหาเป็นอย่างดีตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความรู้ ความเหลือและคำแนะนำทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือคำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุนสนับสนุนวิจัยขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ สาขาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยดีตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณครอบครัว คณาจารย์ทุกท่านผู้ซึ่งเคยประสิทธิ์ ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานให้กับข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนตลอดจนคอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

จาตุรนต์ บุญช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I
ABSTRACT II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป XI
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แหล่งพลังงาน 3
2.2 พลังงานชีวมวล 5
2.2.1 ชีวมวล 5
2.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล 5
2.2.3 การเปลี่ยนและการใช้ประโยชน์จากชีวมวล 8
2.3 คุณสมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อผลิตพลังงาน 9
2.3.1 ความชื้น (Moisture) 10
2.3.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM) 10
2.3.3 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) 11
2.3.4 เถ้า (Ash) 11
2.4 การเผาไหม้ (Combustion) 11
2.5 ค่าความร้อน (Heating Value) 12
2.5.1 ค่าความร้อนสูง 12
2.5.2 ค่าความร้อนต่ำ 13
2.6 การวิเคราะห์ค่าความร้อน 13
2.6.1 Isoperibol Calorimeter 13
2.6.2 Adiabatic Calorimeter 14
2.6.3 Dynamic IKA Calorimeter 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7 ความเหมาะสมของฟางข้าวในการใช้เป็นพลังงานชีวมวล 14
2.7.1 ชนิดของฟางข้าว 15
2.7.2 ประโยชน์จากฟางข้าว 16
2.7.3 องค์ประกอบและโครงสร้างของฟางข้าว 16
2.8 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า 17
2.8.1 การย้อมสีผ้า 17
2.8.2 สารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีผ้า 18
2.8.3 ฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อม 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล 23
3.1 การเตรียมฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับ 23
3.1.1 ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ 23
3.1.2 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ 23
3.1.3 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด 24
3.1.4 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 25
3.2 การทดลองใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับภายหลังกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้าย 25
3.2.1 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 26
3.2.2 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 28
3.2.3 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 28
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 29
3.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ 29
3.3.2 การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ 30
3.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ 31
3.3.4 การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว 32

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ 33
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 33
4.2 การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ 35
4.2.1 การศึกษาค่าความร้อนของฟางที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 35
4.2.2 การศึกษาค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 36
4.2.3 การศึกษาค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.4 การศึกษาค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 40
4.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ 42
4.3.1 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 42
4.3.2 การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม .. 44
4.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 46
4.3.4 การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 48
4.4 การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว 50

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 52
5.1 สรุปผลการวิจัย 52
5.2 ข้อเสนอแนะ 53

เอกสารอ้างอิง 54

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ 57
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ 68
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าว 79
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า 83
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 86

ประวัติผู้เขียน 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 6

2.2 ปริมาณผลพลอยได้จากการผลิตข้าว (2556) 15

4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 36

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 37

4.3 ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 38

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 39

4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 41

4.6 ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 42

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 43

4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 45

4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 47

4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 49

4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 50

4.13 ศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวแต่ละชนิดต่อกิโลกรัม 51

ก.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 58

ก.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าว 58

ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 59

ก.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 60

ก.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 62

ก.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 63

ก.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 65

ก.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 69
ข.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าว 69
ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าว หลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 70
ข.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 71
ข.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 73
ข.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 74
ข.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 76
ข.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 77
ค.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 80
ค.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 81
ค.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อม โดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาทีต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 84

ง.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อม โดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 84

ง.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 85

จ.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 87

จ.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 87

จ.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 Energy Flow Through the Ecosystem 3

2.2 การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย 2558 4

2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส 6

2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่ประกอบโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1, 4-ไกลโคซิดิก 7

2.5 โครงสร้างโมเลกุลของไซแลน 7

2.6 สูตรโครงสร้างของ (a) trans-coniferyl alcohool (b) trans-p-sinapyl alcohol และ(c) tran-pcoumaryl alcohol 8

2.7 ความหลากหลายของเทคโนโลยีการเปลี่ยนและการบำบัดก่อน 9

2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ 10

2.9 ช่วงการเผาไหม้องค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการเผาไหม้ 11

2.10 Isoperibol Calorimeter 14

2.11 Adiabatic Calorimeter 14

2.12 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM 17

2.13 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กต์ 18

2.14 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด 20

2.15 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 21

2.16 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยด่างในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 21

2.17 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที 22

3.1 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในน้ำ 24

3.2 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 24

3.3 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25

3.4 สี direct red 23 และสูตรโครงสร้างทางเคมี 26

3.5 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ 26

3.6 วัสดุดูดซับที่ถูกกรองออกระหว่างขั้นตอนการลดอุณหภูมิ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 การอบแห้งวัสดุดูดซับที่ผ่านการดูดซับในกระบวนการย้อมผ้า 27

3.8 ฟางข้าวหลังจากที่นำไปดูดซับ 28

3.9 การลดอุณหภูมิด้วยโถดูดความชื้น 29

3.10 กล้องดิจิตอลไมโครสโคป (Digital Microscope) รุ่น USB S02 30

3.11 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (C200, IKA, Germany) 30

3.12 เตาเผาเถ้าอุณหภูมิสูง (Muffer furnace) ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T 31

4.1 ภาพถ่ายวัสดุดูดซับ (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด (ง) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 33

4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟางข้าวด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด (ง) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส 34

4.3 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 35

4.4 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 36

4.5 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 39

4.6 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 40

4.7 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 43

4.8 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 44

4.9 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 47

4.10 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การพัฒนาเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของคนในประเทศพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ปัจจุบันการขยายตัวของเศรษฐกิจ สังคมและอุตสาหกรรมส่งผลให้อัตราความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นจากในอดีตและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต ในภาคอุตสาหกรรมแหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในโรงงาน คือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีจำกัดในประเทศ [1] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมองหาพลังงานทางเลือก (alternative energy) ชนิดใหม่มาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่เดิมพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น พลังงานจากชีวมวล (biomass) ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากอินทรีย์สารของพืชและสัตว์ต่างๆ ได้แก่ พืชเกษตรกรรมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเศษไม้ขยะมูลฝอย ฯลฯ โดยใช้กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง การผลิตก๊าซการหมัก และการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช นอกจากพลังงานจากชีวมวลแล้วยังมีพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานนิวเคลียร์ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของพลังงานทางเลือกคือเป็นพลังงานสะอาดมีการปลดปล่อยก๊าซพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลและสามารถสร้างทดแทนได้ตลอดเวลา พลังงานจากชีวมวลจึงมีความน่าสนใจและได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นพลังงานที่มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมัน [2] ได้มีศึกษาเกี่ยวกับชีวมวลและได้พบว่าการนำพลังงานจากชีวมวลนั้นได้เกิดขึ้นมานานแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และยังพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลเกิดการเผาไหม้ได้เร็วกว่าและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย อีกทั้งยังสามารถหาได้ง่าย เพราะส่วนใหญ่มาจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ทำให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังศึกษาถึง คุณสมบัติของชีวมวลในการเผาไหม้ด้วย ซึ่งพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลในการเผาไหม้ ได้แก่ ความหนาแน่น รูพรุน พื้นที่ผิวภายใน ขนาดของอนุภาค รูปร่างของเชื้อเพลิง ค่าความร้อน HHV ความร้อนของการเกิดไพโรไลซิส ความร้อนจำเพาะ การนำความร้อน ความชื้น ปริมาณน้ำมันดิบ [3]

ประเทศไทยมีผลพลอยได้จากการผลิตข้าวดังนี้คือ แกลบ รำข้าว และฟางข้าว เป็นจำนวนมาก ซึ่งฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาข้าวบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง คลุมแปลงผักและใช้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่โดยส่วนใหญ่ชาวนาจะใช้วิธีการเผาเพื่อกำจัดออกจากพื้นที่ก่อนจะลงมือทำนาในรอบต่อไป ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะจากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้และและส่งผลให้หน้าดินเสื่อมสภาพ และได้มีการศึกษาการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายร้อยละ 88.67 รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้าที่จะนำมาใช้ประโยชน์ต่อโดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกทดแทน ดังนั้นการนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก นอกจากจะเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้แล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าอีกวิธีหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปลงแปลงสภาพ
2. เพื่อศึกษาค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้า
3. เพื่อศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานในการนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมในขั้นตอนการย้อมสีผ้ามาใช้เป็นพลังงานทางเลือก

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การทดลองใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายปริมาณวัสดุดูดซับต่อสารละลายอัตราส่วน 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ในกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว
2. สีที่ใช้ในการทดลองเป็นสีย้อมสังเคราะห์ชนิดไดเร็กต์ red 23 โดยสารช่วยย้อมคือ โซเดียมคลอไรด์
3. ฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับในการทดลองศึกษาเป็นส่วนของลำต้น ขนาด 1-2 เซนติเมตร
4. วิเคราะห์ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดคุณค่า และเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษวัสดุที่เหลือใช้
2. ได้วัสดุฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานเพื่อเป็นพลังงานทางเลือก
3. เป็นแนวทางในการกำจัดฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อม

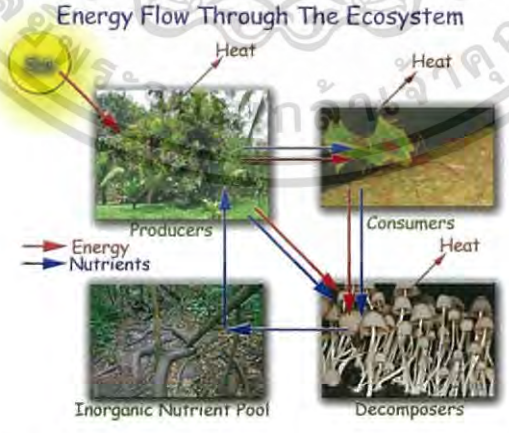
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาความเป็นไปได้และศักยภาพในการนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการทำวิจัย ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับแหล่งพลังงาน ชีวมวล องค์ประกอบชีวมวล คุณสมบัติชีวมวลที่ใช้ในการผลิตพลังงาน การเผาไหม้ ค่าความร้อน การวิเคราะห์ค่าความร้อน ความเหมะสมของฟางข้าวในการใช้เป็นพลังงานชีวมวล กระบวนการย้อมผ้า การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า ตัวอย่างงานวิจัยที่นำฟางข้าวมาใช้ในขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย การพิจารณาความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของการรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.1 แหล่งพลังงาน

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ซึ่งมีแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน เป็นต้น ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดและเป็นแหล่งเริ่มต้นของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในโลก พืชสีเขียวสามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง โดยสะสมพลังงานจากดวงอาทิตย์ไว้ในรูปสารประกอบคาร์บอน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต พืชสีเขียวจึงทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (producer) ในระบบนิเวศ พลังงานเบื้องต้นที่สะสมไว้ในพืชจะถูกนำไปใช้และสูญเสียไปในกิจกรรมต่างๆ จากนั้นพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivores) และพลังงานบางส่วนที่เหลือก็จะถูกถ่ายทอดสู่สัตว์ที่กินสัตว์เป็นอาหาร (carnivores) และไปจนถึงพวกมนุษย์ ซึ่งถือว่าระดับสุดท้าย (top carnivore) ของโซ่อาหาร (food chains) ในขณะเดียวกันเมื่อผู้ผลิตและผู้บริโภคตายไป พลังงานต่างๆที่สะสมอยู่ก็จะถูกถ่ายทอดไปยังผู้ย่อยสลาย (decomposers) ซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการถ่ายทอดพลังงาน [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

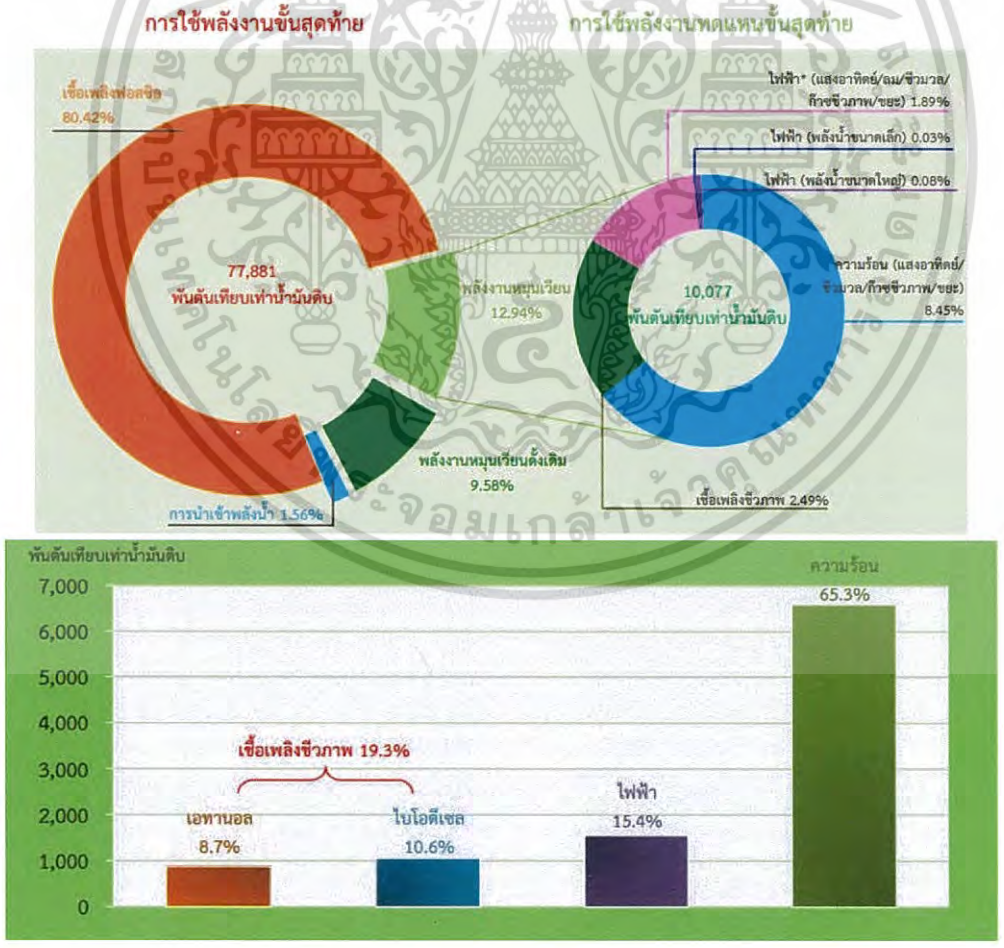


รูปที่ 2.1 Energy Flow Through the Ecosystem [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการนำพืชซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นอันดับแรกมาใช้โดยตรงจึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ถ่ายทอดจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุดและเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้ในเวลาไม่นานนักซึ่งมนุษย์รู้จักใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณในรูปของไม้ฟืน อย่างไรก็ตามหลังจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมน้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านหินจัดเป็นพลังงานที่สำคัญจากการเพิ่มจำนวนประชากรของมนุษย์อย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานต่างๆถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งจำเป็น

พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือพลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป หรือเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนประเภทใช้แล้วสามารถนำหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ น้ำ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น [7] จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานทดแทนของประเทศปี พ.ศ. 2558 คิดเป็นพลังงานปริมาณเท่ากับ 10,077 พันตัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก ปีก่อนร้อยละ 11.7 และคิดเป็นร้อยละ 12.94 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ส่งผลให้มีการลดการนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่า 129,287.91 ล้านบาท ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30.91 ล้านตัน โดยพบว่า มีการใช้ในรูปความร้อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 65.3 ของการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอลและไบโอดีเซล) และไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 19.3 และ 15.4 ตามลำดับ [8]



รูปที่ 2.2 การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย 2558 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พลังงานชีวมวล

2.2.1 ชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง วัสดุที่ได้จากธรรมชาติซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติรวมทั้งสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างทดแทนได้ ชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืชโดยพืชจะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตก๊าซออกซิเจน ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผาจึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศชีวมวลที่ได้จากธรรมชาติมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน สามารถจำแนกแหล่งที่มาของชีวมวล ได้ดังนี้ [9]

1. พืชเกษตรกรรม (Agricultural crop) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาลสามารถปลูกเป็นพืชที่ให้พลังงานและผลิตเป็นน้ำมันพืช (vegetable oil) นอกจากนี้ยังมีพืชที่ปลูกเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ เช่น ปาล์มน้ำมัน และสบู่ดำ

2. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) เช่น ฟางข้าว รากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กากถั่วเหลือง

3. เนื้อไม้และเศษเหลือทิ้งของเนื้อไม้ (Wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็วและไม้ยืนต้นทั่วไปเศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไม้ รวมทั้งเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ฯลฯ

4. เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม (Waste streams) เช่น แกลบจากโรงสีข้าว กากน้ำตาลและชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และเศษเหลือทิ้งจากการสกัดปาล์มน้ำมัน

5. ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะที่เป็นของสดและมูลสัตว์ต่างๆ [10]

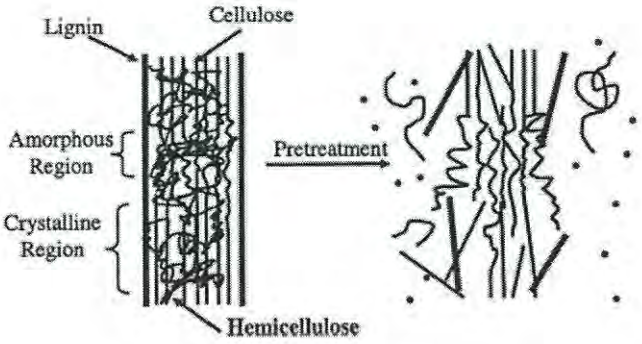
6. สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไบโอดีเซลจากสาหร่ายและการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน [11]

2.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

สารประกอบชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งมีองค์ประกอบต่างกัน องค์ประกอบขั้นต้นได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน ซึ่งต้นไม้มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยสารชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีองค์ประกอบต่างกัน เช่น ธัญพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน [12]

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) เป็นวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่มีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ (รูปที่ 2.3) ในอัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ตารางที่ 2.1) โดยทั่วไปพบเซลลูโลสร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-30 และลิกนินร้อยละ 15 -30 [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส [13]

องค์ประกอบชีวมวลจำแนกออกได้ดังนี้

1. เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืชอยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เนื้อไม้พบประมาณร้อยละ 40-50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98 [14] [15]

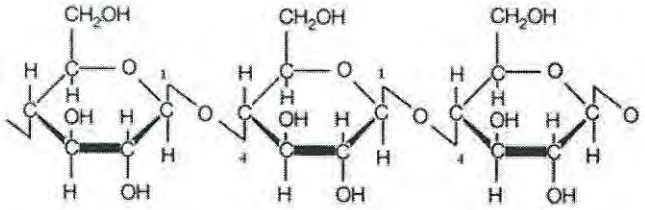
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [16][17][18]

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	ร้อยละของเซลลูโลส	ร้อยละของเฮมิเซลลูโลส	ร้อยละของลิกนิน
ไม้เนื้อแข็ง	40-55	24-40	18-25
ไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
ซังข้าวโพด	45	35	15
หญ้า	25-40	35-50	10-30
ฟางข้าว	30	50	15
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0
หญ้าคอสทอล เบอมิวดา	25	35.7	6.4
หญ้าสวิช	45	31.4	12.0

เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-ดี-กลูโคไพราโนส (β-D-Glucopyranose) เชื่อมต่อด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β-1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนโดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ crystalline cellulose และ amorphous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

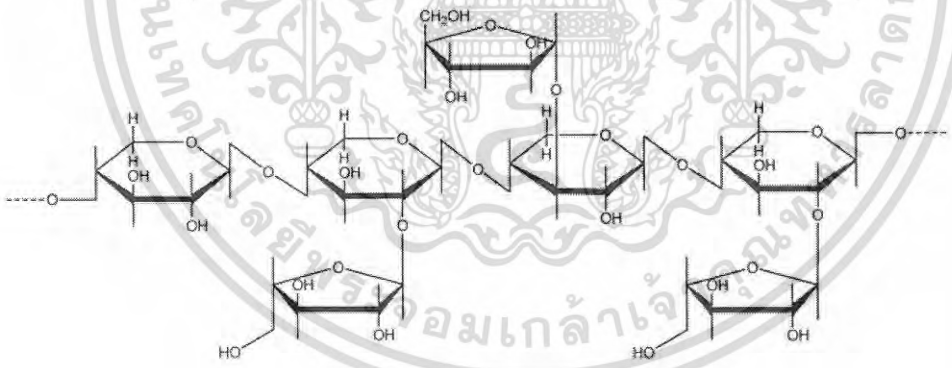
celluloseโดยส่วนของ crystalline cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า amorphous cellulose [14] สำหรับโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่ประกอบโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1, 4-ไกลโคซิดิก [19]

2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮทเทอร์โรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน [20] มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไวแลน ดี-ไซโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูคิวโรนิก กรดกาแลคตูโรนิก จะพบปริมาณน้อย [21] โดยไซโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก [22] สำหรับโครงสร้างทางเคมีของไซแลน แสดงในรูปที่ 2.5

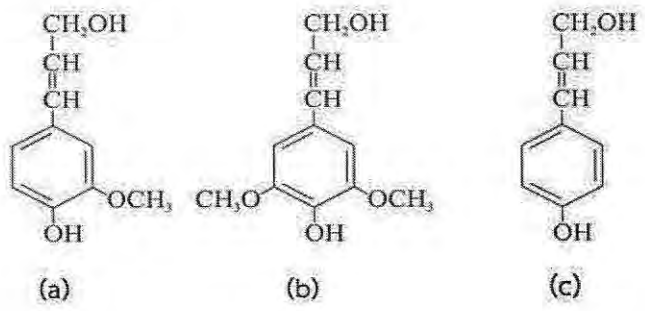


รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของไซแลน [20]

3. ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลลินทรีย์ ลิกนิน เป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึก [23] ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ประกอบด้วย tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohool และtrans-p-sinapyl alcohol [13] นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย เช่น vanillin และ yringaldehyde [24] สูตรโครงสร้างของ tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohool และ trans-p-sinapyl alcohol แสดงดังรูปที่ 2.6

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของ (a) trans-coniferyl alcohool (b) trans-p-sinapyl alcohol และ (c) tran-pcoumaryl alcohol [13]

4. แป้ง

คล้ายเซลลูโลส เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยยูนิตของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟากลูโคไซดิก เนื่องจากความต่างของโครงสร้างพันธะ เซลลูโลสละลายน้ำ แต่บางส่วนของแป้งละลายในน้ำร้อน และบางส่วนไม่ละลายน้ำ แป้งถูกพบในรากและลำต้นซึ่งถือเป็นอาหาร [12]

5. โปรตีน

เป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลิเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลิเมอร์ไรเซชั่น โปรตีนไม่ใช่องค์ประกอบพื้นฐานของสารชีวมวลและมีสัดส่วนน้อย [12]

6. สารอื่นๆ (อินทรีย์และอนินทรีย์)

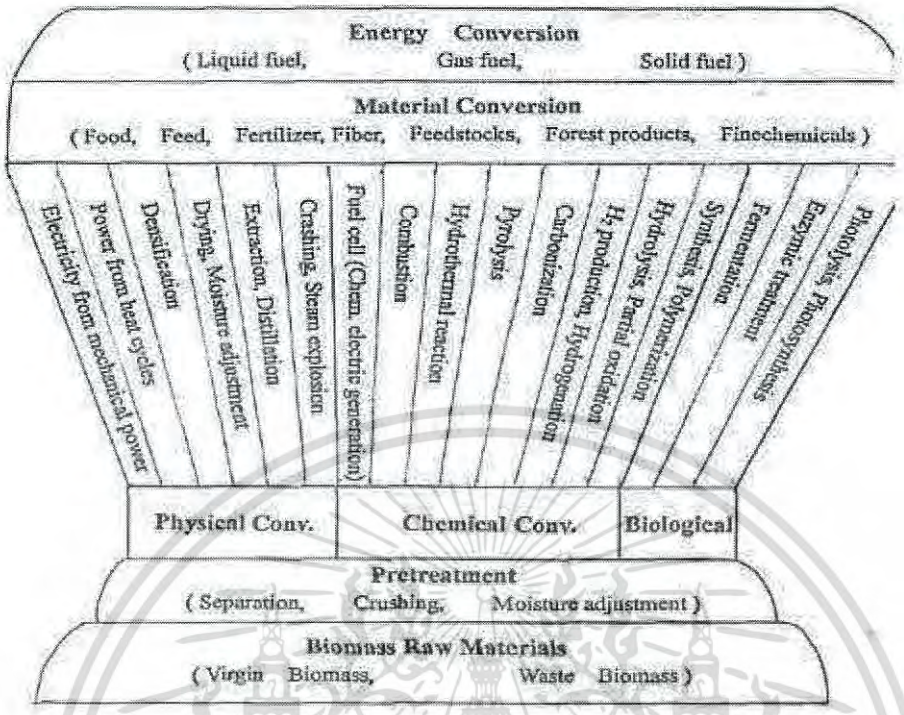
ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์อื่นๆที่มีจำนวนมากได้แก่ กรีเซอรอล ซูโครส และยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ เช่น เถ้า ในจำนวนน้อย ธาตุโลหะพื้นฐานได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และโซเดียม สารและปริมาณขึ้นกับวัตถุดิบตั้งต้น [12]

2.2.3 การเปลี่ยนและการใช้ประโยชน์จากชีวมวล

1. การบำบัดชีวมวล

การบำบัดชีวมวลก่อนเช่น การแยก การบด การสี การควบคุมความชื้นเป็นต้น จะทำก่อนกระบวนการเปลี่ยนหลัก จากรูป 2.7 อธิบายสิ่งที่เรียกว่ากล่องวิเศษที่ใส่ชีวมวลเข้าไปด้านล่าง ชีวมวลเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนโดยวิธีหลากหลายเพื่อสนองกับจุดประสงค์การใช้งาน การประเมินผลของกระบวนการเปลี่ยนสามรถทำได้โดยเงื่อนไขของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพของพลังงาน ผลผลิต ปริมาณชีวมวล วิธีและค่าใช้จ่ายในการขนส่งการเก็บรักษาและความคุ้มในการลงทุนของระบบ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความหลากหลายของเทคโนโลยีการเปลี่ยนและการบำบัดก่อน [12]

2. การแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี จำแนกได้เป็น 3 วิธีหลักคือ [2]

- วิธีเคมีความร้อน (Thermochemical process) เป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยการใช้ความร้อนจนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (combustion) การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรลิซิส (pyrolysis) และการทำให้เกิดก๊าซ (gasification)

- วิธีชีวเคมี (Biochemical process) เป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมีซึ่งต้องพึ่งพาจุลชีพชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรียและรา โดยนำไปหมักจนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอินทรีย์ที่นำไปใช้เป็นพลังงานได้ในรูปของเอทานอลและก๊าซมีเทน (CH_4)

-วิธีปฏิกิริยาเคมี (Chemical process) เป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานโดยการใช้ปฏิกิริยาเคมี เช่น การผลิตไบโอดีเซล [25]

2.3 คุณสมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อผลิตพลังงาน

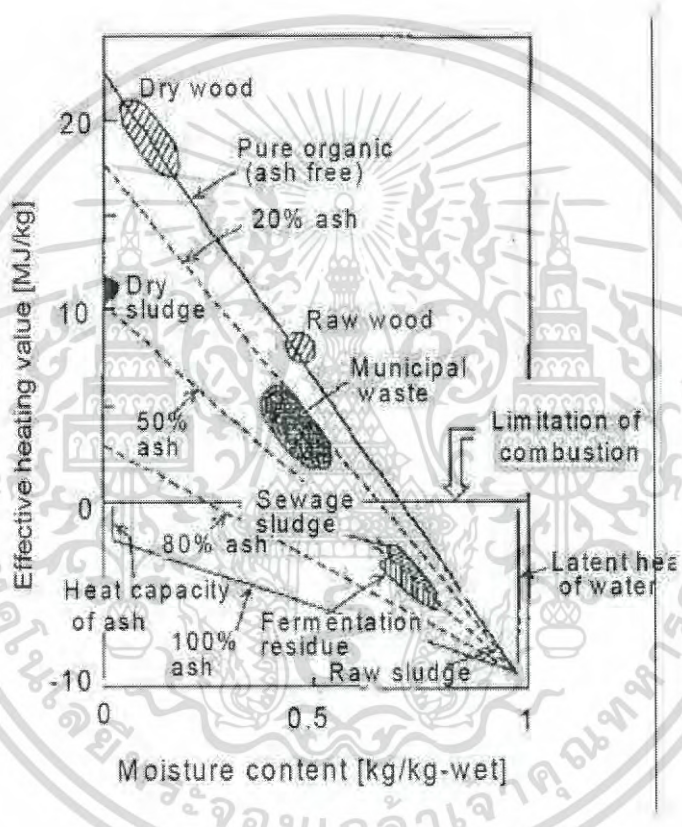
องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความชื้น (Moisture)

เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีความชื้นสูงมากก็จะไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ ความชื้นจะต้องถูกจัดการควบคุมและจัดเก็บ เนื่องจากความชื้นจะเข้ามาแทนที่สสารที่เผาไหม้ได้ จึงทำให้ปริมาณความร้อนต่อกิโลกรัมของถ่านหินลดลงได้ โดยปกติแล้วความชื้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-10 ซึ่งผลจากความชื้น คือ

1. เพิ่มการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอ และการที่ไอน้ำมีความร้อนมากเกินไป
2. ช่วยให้มีการยืดเหนี่ยวของอนุภาคละเอียด
3. ช่วยในการแผ่รังสีของการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ [12]

2.3.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM)

สารระเหย ได้แก่ มีเทน ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซที่ไม่เผาไหม้อื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ซึ่งจะพบได้ในเชื้อเพลิง สารระเหยเหล่านี้จะช่วยให้เชื้อเพลิงติดไฟง่ายขึ้น ปริมาณของสารระเหยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 20-35 ผลจากสารระเหย คือ

1. เพิ่มความยาวของเปลวไฟอย่างเป็นสัดส่วน และช่วยให้ถ่านหินจุดติดไฟได้ง่ายขึ้น
2. เป็นตัวกำหนดค่าต่ำสุดของ ความสูงและปริมาตรของเตาเผา
3. มีอิทธิพลต่อความต้องการอากาศและการกระจายของอากาศสำรอง
4. มีอิทธิพลต่อการเสริมน้ำมันสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC)

คาร์บอนคงตัวเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เหลืออยู่ในเตาเผา หลังจากที่สารระเหยได้ถูกกลั่นไปแล้วค่าคาร์บอนคงที่จะเป็นการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอย่างคร่าว ๆ

2.3.4 เถ้า (Ash)

ปริมาณเถ้ามีผลต่อการออกแบบเตาเผาเนื่องจากเถ้าสามารถฟุ้งกระจายในอากาศจึงจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างถูกวิธี เพราะฉะนั้นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้ามากจึงต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ เถ้าเป็นสิ่งเจือปนที่จะไม่ถูกเผาไหม้ จะมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 5-40 โดยเถ้าจะมีผล คือ

1.ลดกำลังความสามารถในการจัดการควบคุมและการเผา

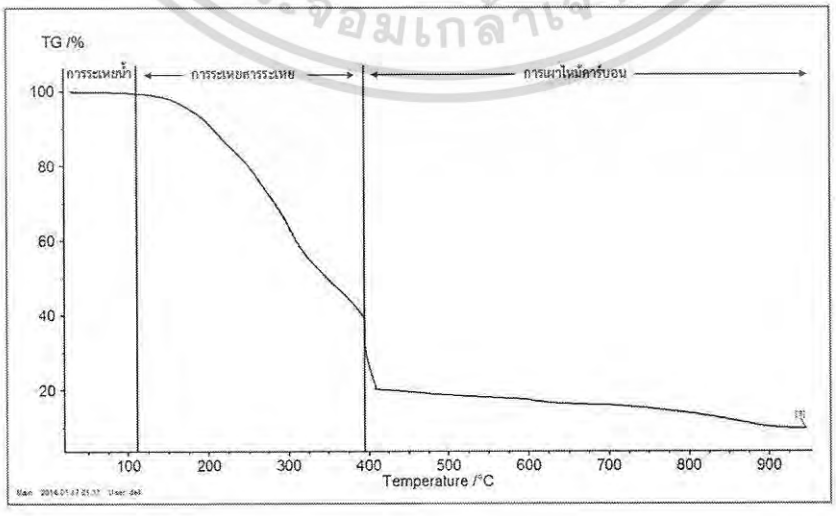
2.เพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดการควบคุม

3.มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

4.เป็นสาเหตุของการเกิดเม็ดกรวดและขี้โลหะ

2.4 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ (Combustion) คือ กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานความร้อน โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน เพื่อทำให้เกิดการจุดระเบิด (จุดวาบไฟ) และคายความร้อนออกมา ซึ่งในกระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่จะเป็นการใช้อากาศ (อากาศ, O_2+3.76N_2) เนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ร้อยละ 21 โดยปริมาณ หรือร้อยละ 23 โดยน้ำหนักซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลประกอบด้วยธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) ในกระบวนการการเผาไหม้สามารถแบ่งช่วงของการเผาไหม้องค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ช่วง (รูป 2.9) ดังนี้ ช่วงการระเหยของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-110 องศาเซลเซียส ช่วงการระเหยสารระเหย คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 110 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป และช่วงการเผาไหม้คาร์บอน คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต่อจากช่วงการระเหยสารระเหย (อุณหภูมิที่เริ่มช่วงการเผาไหม้คาร์บอนจะขึ้นอยู่กับจุดวาบไฟของวัสดุ) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อยๆ ได้ดังนี้ ในช่วงแรกจะเกิดการเผาไหม้คาร์บอนอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายจะเป็นการเผาไหม้คาร์บอนอย่างช้าๆ สิ่งที่เหลือจากกระบวนการการเผาไหม้คือ เถ้า (Ash) [27]



รูปที่ 2.9 ช่วงการเผาไหม้องค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการเผาไหม้ [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการเผาไหม้โดยตรงแล้วยังมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้พลังงาน โดยเริ่มจากการนำชีวมวลชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกลบ ฟางข้าว กาบมะพร้าว ใยมะพร้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพดรวมทั้งขี้เลื่อยมาทำให้แห้งก่อนแล้วจึงนำชีวมวลนั้นมาเผาซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยตรงแต่เนื่องจากชีวมวลเหล่านั้นมีความชื้นมากและมีความหนาแน่นน้อยทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพความร้อนต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรงและทำให้เกิดความไม่สะดวกในด้านต่างๆ เช่น การขนส่งและการจัดเก็บ ซึ่งต้องใช้พื้นที่มาก ดังนั้นจึงได้มีการนำชีวมวลมาอัดเป็นก้อนเพื่อเพิ่มความหนาแน่น และประสิทธิภาพด้านความร้อนให้สูงขึ้นโดยการนำชีวมวลไปบดแล้วอัดเป็นก้อน ผลที่ได้คือมีประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการพัฒนาโดยใช้ชีวมวลตั้งแต่ 2 ชนิด ขึ้นไปนำมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนต่างๆ แล้วใส่ตัวประสานเข้าไปเพื่อช่วยให้ชีวมวลยึดติดกันมากขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนให้สูงขึ้น โดยประสิทธิภาพความร้อนที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณของการผสมวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณของตัวประสานขนาดของก้อนเชื้อเพลิงซึ่งการนำพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์มีหลายลักษณะดังนี้ [28]

1. สำหรับการหุงต้มอาหาร เป็นที่นิยมมากในชนบท เช่น ทำเป็นฟืน ถ่าน ไม้ และเศษเหลือทิ้งทางเกษตรกรรม

2. สำหรับอุตสาหกรรมท้องถิ่น เช่น นำไปเป็นตัวให้ความร้อนในเตาเผาสำหรับการทำอิฐ เซรามิก ยาสูบ

3. สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง

2.5 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อน (Heating Value) [29] เป็นค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบต่อ 1 หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงโดยมีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม กิโลแคลลอรีต่อกิโลกรัม เป็นต้น และมีคำจำกัดความ คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทหรือคายออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ก๊าซไอเสีย) เย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น ที่สภาวะมาตรฐานของเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ ซึ่งคำว่าสภาวะมาตรฐานในที่นี้ คือ ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ (atm) และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟาร์เรนไฮต์) โดยปกติค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองเผาเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM 3D 3286-77 ซึ่งจะกำหนดค่าความร้อนไว้ 2 ค่า คือ

2.5.1 ค่าความร้อนสูง (High Heating Value หรือ Gross HeatingValue หรือ HHV)

ค่าความร้อนสูง คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วย จะได้มาก็ต่อเมื่อผลผลิตทั้งหมดของการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิก่อนเผาไหม้และไอน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ถูกควบแน่น ค่าความร้อนสูงวัดด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ซึ่งเป็นการวัดความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value หรือ Net HeatingValue หรือ LHV)

ค่าความร้อนต่ำ ได้มาจากการลบค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากค่าความร้อนสูงในทางปฏิบัติการเอาพลังงานที่ปลดปล่อยการควบแน่นของไอน้ำกลับคืนมา เป็นไปได้ค่อนข้างยากสำหรับการเผาไหม้ชีวมวล

ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงชื้นเท่ากับ

$$\mathrm{HHV}(1-\mathrm{MC}) \tag{2.1}$$

เมื่อ HHV คือค่าความร้อนสูงของชีวมวลแห้ง

MC คือปริมาณความชื้นของชีวมวลฐานเปียก (หน่วยเป็นทศนิยม)

ดังนั้น ค่าความร้อนต่ำ (LHV)

$$\mathrm{LHV} = \mathrm{HHV}(1-\mathrm{MC}) - (\lambda)(\mathrm{MC}) - (1-\mathrm{MC})(\lambda)\left(\frac{18\mathrm{H}}{200}\right) \tag{2.2}$$

เมื่อ H คือ ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

λ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

เทอมที่ 2 ของสมการที่ (2.1) คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในเชื้อเพลิง

เทอมที่ 3 ของสมการที่ (2.2) คือพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการสร้างน้ำจากไฮโดรเจนของเชื้อเพลิง

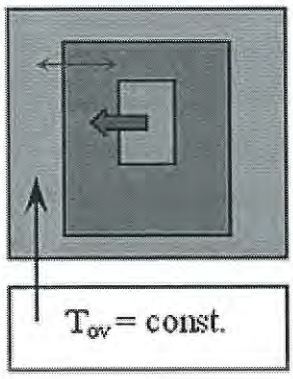
2.6 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimetry เป็นการวัดค่าความร้อนด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ซึ่งเป็นการวัดความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนที่ได้จึงเป็นค่าความร้อนสูง ซึ่งค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงแต่ในงานวิจัยนี้ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนสูงของชีวมวลที่ผ่านการทำแห้งแล้ว ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนต่ำโดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimetry แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

2.6.1 Isoperibol Calorimeter

การวัดแบบ Isoperibol Calorimeter [30] อุณหภูมิของเวสเซล (Vessel) ด้านนอกจะถูกทำให้คงที่ตลอดการทดลอง ถึงแม้อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะถูกทำให้คงที่แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบจะถูกแยกออกอย่างสมบูรณ์ ยังคงมีอุณหภูมิเล็กน้อยแลกเปลี่ยนกันระหว่างเวสเซลด้านในและด้านนอก ควรรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปัจจัยการคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.10

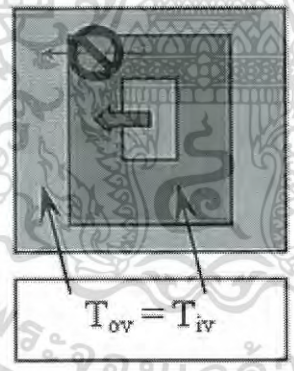
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 Isoperibol Calorimeter [30]

2.6.2 Adiabatic Calorimeter

การวัดแบบ Adiabatic Calorimeter [30] อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะมีอุณหภูมิเดียวกับเวสเซลด้านในตลอดการทดลอง จึงทำให้ใกล้เคียงกับการแยกระบบออกจากสิ่งแวดล้อมได้สมบูรณ์ ถึงอย่างไรก็ตามยังคงต้องรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ไม่มีปัจจัยการคลาดเคลื่อนที่ถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Adiabatic Calorimeter [30]

2.6.3 Dynamic IKA Calorimeter

การวัดนี้ไม่มีหลักการจริง การวัดแบบนี้ถูกออกแบบมาสำหรับความต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เร็วกว่าแต่ยังคงมาตรฐานเหมือนการวัดในสองแบบแรก สรุปคือการวัดแบบ Dynamic IKA Calorimeter เป็นการทอนการวัดให้มีระยะเวลาสั้นลงแต่ยังคงมาตรฐานเหมือนการวัดแบบปกติ [30]

2.7 ความเหมาะสมของฟางข้าวในการใช้เป็นพลังงานชีวมวล

ประเทศไทยมีการผลิตข้าวเพื่อการบริโภคและส่งออกรายสำคัญของโลก ทำให้มีผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวและสีข้าวเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ รำข้าว และปลายข้าว เป็นต้น ในปี 2556 พบว่าประเทศไทยมีฟางข้าวเป็นผลพลอยได้จากการผลิตตามตารางที่ 2.2 จากข้าวนาปีประมาณ 13.7 ล้านตัน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวนาปรังประมาณ 5.2 ล้านตัน [31] ซึ่งฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาข้าวบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง คลุมแปลงผักและใช้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่โดยส่วนใหญ่ชาวนาจะใช้วิธีการเผาเพื่อกำจัดออกจากพื้นที่ก่อนจะลงมือทำนาในรอบต่อไปซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะจากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้และและส่งผลให้หน้าดินเสื่อมสภาพ ดังนั้นการนำฟางข้าวซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นพลังงานชีวมวลเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้อีกวิธีหนึ่ง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณผลพลอยได้จากการผลิตข้าว (2556) [31]

ผลผลิตข้าว	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ปริมาณ ผลผลิต (ตัน/ปี)	ปริมาณ ชีวมวล (ตัน)	ชีวมวล ที่ใช้ไปแล้ว (ตัน)	ชีวมวล ที่เหลือ (ตัน)
ข้าวนาปี	61369004.70	28021598.85	-	-	-
ฟางข้าว-นาปี	-	-	13730583.71	7441432.54	6289151.16
แกลบ-นาปี	-	-	5884535.57	5765672.66	118862.98
ข้าวนาปรัง	15961677.75	10765397.37	-	-	-
ฟางข้าว-นาปรัง	-	-	5275044.81	671368.88	4603675.94
แกลบ-นาปรัง	-	-	2260733.37	2240610.47	20122.97

2.7.1 ชนิดของฟางข้าว

ฟางข้าวที่มีสภาพสมบูรณ์จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ใบข้าว ปล้องข้าว และรวงข้าว ส่วนฟางข้าวที่ได้จากการเก็บด้วยการตัดในแปลงนาจะมีส่วนประกอบของตอซังหรือ กอข้าวรวมด้วย แต่จะอยู่ในลักษณะที่แยกแยะได้ยากว่าเป็นส่วนใด โดยทั่วไปฟางข้าวแบ่งได้เป็น 3 ประเภทจากวิธีการรวบรวม [32] ได้แก่

1. ฟางข้าวจากการเกี่ยวมือ และนวดมือ

เป็นฟางข้าวที่ได้จากการเกี่ยวข้าว และนำเมล็ดข้าวออก อาจด้วยวิธีการเกี่ยวด้วยมือหรือใช้รถเกี่ยวข้าวฟางข้าวจากการเกี่ยวด้วยด้วยมือจะถูกมัดเป็นระเบียบด้วยตอก และถูกนำเมล็ดออกด้วยการตีด้วยไม้ หรืออาจไม่เป็นระเบียบ มีการแตกขาดเป็นเส้นจากกการนำเมล็ดข้าวออกด้วยการแยกด้วยเครื่องแยกเมล็ด หรือรถสีข้าวฟางข้าวที่ได้จากการเกี่ยวมือจะมีลักษณะเป็นระเบียบ และฟางข้าวมีความสมบูรณ์ ไม่แตกเป็นเส้นเนื่องจากใช้แรงงานคนในการตีเมล็ดออก ซึ่งวิธีนี้ เป็นวิธีโบราณที่พบในบางท้องที่เท่านั้น เพราะเกษตรกรหันมาใช้รถเกี่ยวข้าวแทน ซึ่งทำให้ประหยัด สะดวก และรวดเร็วกว่ามาก

2. ฟางข้าวจากการเกี่ยวมือ และนวดด้วยรถนวด

เป็นฟางข้าวที่ได้จากการนำมัดข้าวจากการเกี่ยวมือเข้าเครื่องนวดหรือรถนวดที่อาศัยการปั่นที่ทำให้ฟางข้าว และเมล็ดแยกออกจากกัน โดยฟางจะถูกแรงปั่นแยกออกทางด้านบนของเครื่อง และกองรวมกัน ส่วนเมล็ดที่มีน้ำหนักจะตกลงสู่ด้านล่างของเครื่องปั่นรวมกัน โดยใช้ถุงกระสอบรองรับลักษณะฟางที่ได้จากการนวดเมล็ดด้วยวิธีนี้จะทำให้ฟางมีลักษณะแตกเป็นเส้นขนาดเล็ก ไม่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ วิธีนี้จะพบได้มากในพื้นที่ภาคอีสาน แต่ปัจจุบันเริ่มลดน้อยลง เนื่องจากเกษตรหันมาใช้รถเกี่ยวข้าวแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฟางข้าวจากรถอัดฟางข้าว

เป็นฟางข้าวที่ได้จากการตัดเก็บตอซัง และอัดฟางข้าวที่กองในแปลงนาหลังการใช้รถเกี่ยวข้าว ซึ่งจะเป็นฟางผสมระหว่างตอซัง และฟางข้าวส่วนบนฟางข้าวที่หล่นในแปลงนาหลังการเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าวจะเป็นฟางข้าวที่มีการแตกขาดเป็นเส้นเหมือนกับฟางข้าวที่แยกเมล็ดด้วยเครื่องนวดข้าว และฟางชนิดนี้จะถูกปล่อยทิ้งตามแปลงนา ต้องใช้รถเก็บฟางข้าวรวบรวมอีกครั้ง ซึ่งจะได้ฟางข้าวจาการเกี่ยวข้าวร่วมกับฟางข้าวจากตอซังรวมกัน

2.7.2 ประโยชน์จากฟางข้าว [32]

1. ใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโค กระบือ
2. ใช้ทำปุ๋ยหมัก
3. ใช้ทำเป็นวัสดุปกคลุมดินหลังการหว่านเมล็ดพืช
4. ใช้ทำเป็นวัสดุคลุมดินสำหรับรักษาความชุ่มชื้นของดิน และใช้คลุมดินแก้ปัญหาดินเค็ม
5. ใช้เป็นวัสดุสำหรับการเพาะเห็ดฟาง
6. ใช้ทำเป็นที่มุงหลังคาหรือฝากระท่อม
7. ใช้ทำเป็นเชื้อจุดไฟ ช่วยให้ก่อไฟง่าย
8. ใช้เป็นวัสดุผูกมัดหรือใช้แทนเชือก แต่ต้องนำมาแช่น้ำก่อนเพื่อให้ฟางนุ่ม และป้องกันการแตก ขาด ขณะพันเป็นเกลียวรัด
9. ใช้เป็นวัสดุสำหรับการปล่อยครั่ง
10. ใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ
11. ใช้สำหรับการแยกสกัดสารแทนนิน

2.7.3 องค์ประกอบและโครงสร้างของฟางข้าว

1. องค์ประกอบทางเคมี [32]

- เนื้อเซลล์ : 21%
- ผนังเซลล์ : 79%
- เซลลูโลส : 33%
- เฮมิเซลลูโลส : 26%
- ลิกนิน : 7%
- ซิลิกา : 13%

2. คุณค่าทางโภชนาการ [32]

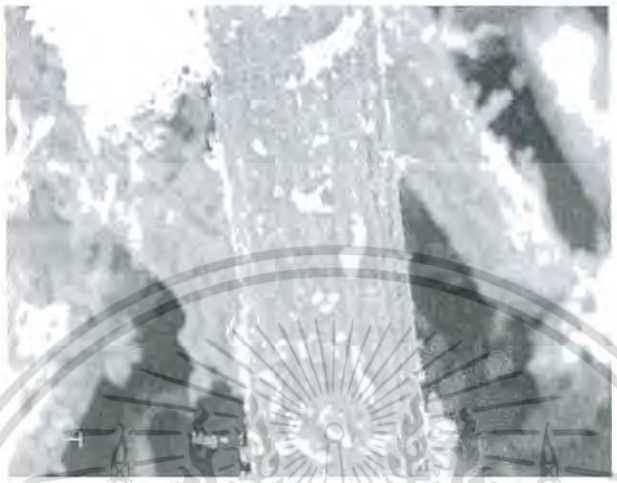
- โปรตีน 3.44%
- ไขมัน 1.88%
- เยื่อใย 37.48%
- ปริมาณเถ้า 12.30%
- ฟอสฟอรัส 0.11%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3. โครงสร้างของฟางข้าว

ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JMS-5400 Scanning Electron Microscope, SEM) ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่าดังรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1000 เท่า [33]

ลักษณะทางกายภาพและองค์ประทางเคมีของฟางข้าวจากภาพถ่าย Microstructure ฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย crude protein hemicellulose และ cellulose ซึ่งทำให้มีลักษณะเหมาะสมสำหรับยึดจับกับไอออนของโลหะหนัก [4]

เมื่อพิจารณาจากปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นและปริมาณที่เหลือจากการนำไปใช้แล้วมีความน่าสนใจที่จะนำส่วนที่เหลือใช้มาหาวิธีใช้ประโยชน์หรือกำจัดทิ้งอย่างถูกวิธี มีงานวิจัยได้ศึกษาถึงการใช้ฟางข้าวเพื่อกำจัดสีย้อมออกจากน้ำย้อมสีผ้าซึ่งเป็นการนำฟางข้าวที่เป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และฟางข้าวที่ผ่านการใช้งานกำจัดสีย้อมและโลหะหนักออกจากน้ำย้อมสีผ้าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ประโยชน์ต่อเป็นพลังงานทางชีวมวลทางเลือกซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าสูงสุดและเป็นการกำจัดวัสดุเหลือใช้อีกด้วย

2.8 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมผ้า

2.8.1 การย้อมสีผ้า

การย้อมผ้าเป็นสิ่งที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมมนุษย์มาอย่างยาวนานในสมัยโบราณมนุษย์ตกแต่งผ้าจากวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ เช่น การใช้ใบไม้ ดอกไม้ หรือกิ่งไม้ ยึดติดกับผ้าด้วยไข่ขาว หรือเลือด อีกวิธีหนึ่งคือการถูวัสดุที่มีสีต่างๆ ลงบนผ้า ซึ่งมีข้อเสียคือไม่ทนต่อการซักล้าง และการสวมใส่ จนกระทั่งมนุษย์สามารถค้นพบวิธีการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติโดยการนำผลไม้ ใบไม้ เปลือกไม้ ไปตำให้ละเอียดแล้วนำมาต้มรวมกับผ้า ทำให้เส้นใยผ้าเปลี่ยนสี และทนต่อการซักล้างมากขึ้น แม้มนุษย์จะรู้จักวิธีย้อมสีผ้าจากธรรมชาติตั้งแต่หลายพันปีก่อน แต่เพิ่งรู้จักการใช้สีย้อมผ้าสังเคราะห์เมื่อปี ค.ศ. 1856 โดยนายวิลเลียม เพอร์กิน (William Perkin) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษพบวิธีสังเคราะห์สีม่วงโดยบังเอิญ ส่งผลให้ในเวลาต่อมานักวิทยาศาสตร์สามารถค้นพบวิธีสังเคราะห์สีใหม่ๆ นับร้อยสี [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148671

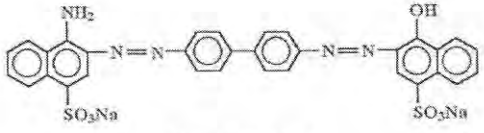
หลักการย้อมสี คือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลายเป็นสารละลาย (Dispersion) ไปทำทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อม เช่นเส้นใย ผ้า ฝ้าย ฯลฯ แล้วทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมไม่เพียงแต่จะเกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่จะสามารถซึมให้เกิดสีตลอด (Unifrom) บนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่จะย้อม [35] ในการย้อมสีผ้าสีที่ใช้จะเป็นสีเคมีสังเคราะห์และสีย้อมจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งชาวบ้านนิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่า ในขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยฝ้ายด้วยสีย้อมเคมีจะเริ่มจากการต้มน้ำในภาชนะรอจนกระทั่งน้ำเดือดแล้วเติมสีย้อมลงไป เมื่อสีละลายดีแล้วนำเส้นใยใส่ลงไปพลิกเส้นใยไปมาเพื่อให้สามารถย้อมสีเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอและป้องกันไม่ให้มีรอยด่างบนเส้นใยในระหว่างนั้นเติมสารช่วยย้อมได้แก่ สารส้ม เกลือ หรือจุนสีลงไป เพื่อให้สีติดผ้าได้ดีขึ้นและผ้ามีสีสดขึ้น ปล่อยเส้นใยให้ต้มอยู่ในภาชนะ หลังจากนั้นนำเส้นใยไปล้างในน้ำสะอาด จนกระทั่งไม่มีสีย้อมละลายละลายออกจากเส้นใย

2.8.2 สารเคมีที่ใช้ในการย้อมสีผ้า

สารเคมีหลักที่ใช้ในการย้อม คือ สีย้อม (Dyes) และสารช่วยย้อม (Auxiliaries) เส้นใยสิ่งทอแต่ละชนิดมีสมบัติการย้อมติดสีแตกต่างกัน และในการย้อมสีแต่ละประเภทจำเป็นต้องใช้สารช่วยที่แตกต่างกันด้วย [36]

1. สีย้อม (Dyes)

สีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีด้วยกันหลายประเภท หลักๆ ได้แก่ สีไดเร็กต์ สีรีแอคทีฟ สีแวต สีซัลเฟอร์ สีเอโซอิค สีดีสเพิร์ส สีเบสิค และสีแอซิด สีย้อมที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเอโซเป็นกลุ่มที่ใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมการย้อมสีสิ่งทอ สีย้อมประเภทที่ประกอบด้วยสารฮาโลเจนในโครงสร้าง ก่อให้เกิดการปลดปล่อยสาร Absorbable Organic Halogen ส่วนสีที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง โลหะหนักเหล่านี้อาจเจือปนออกมากับน้ำทิ้งได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับการผนึกของสีบนเส้นใย [36] เนื่องจากเป็นสีที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันโดยสีย้อมฝ้ายที่นิยมใช้กันมากคือ สีแวต สีรีแอคทีฟ และสีไดเร็กต์ สำหรับสีแวตนั้นมีความทนทานต่อการซักดีเยี่ยม นิยมใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการคุณภาพในด้านความคงทนค่อนข้างสูงเป็นพิเศษ แต่เป็นสีย้อมที่มีราคาแพง มีกรรมวิธีการย้อมที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องใช้ความระมัดระวังมากกว่าสีรีแอคทีฟ และสีไดเร็กต์ ส่วนสีรีแอคทีฟและสีไดเร็กต์นั้น หากเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกันจะพบว่าในด้านคุณภาพ สีรีแอคทีฟดีกว่าสีไดเร็กต์ แต่ถ้าพิจารณาในด้านของราคา กรรมวิธีการย้อม พลังงานและปริมาณสารช่วยย้อมที่ใช้แล้วสีไดเร็กต์จะดีกว่า และในขณะนี้สีไดเร็กต์ได้มีพัฒนาขึ้นมาก มีความทนทานต่อแสงแดดมากกว่าสีรีแอคทีฟและบางชนิดก็ทนต่อความร้อนสูงสามารถย้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดได้ รวมทั้งมีขั้นตอนในการย้อมที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาถูก ดังนั้นสีไดเร็กต์จึงถูกนำมาใช้ในการย้อมสีสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนมาก[4]งานวิจัยนี้สนใจในด้านการย้อมสีผ้าฝ้ายเนื่องจากเป็นเส้นใยที่นิยมนำไปผลิตเป็นสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยใช้สีไดเร็กต์เนื่องจากเป็นสีที่มีการซื้อขายสูงประเทศไทย ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสีย้อมผ้าไดเร็กต์แสดงดังรูปที่ 2.13



Direct Red 10

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กต์ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารช่วยย้อม (Auxiliaries)

นอกจากสีย้อมแล้วในกระบวนการย้อมยังประกอบด้วยสารช่วยย้อมซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อมที่ใช้ แล้วแต่กลไกการย้อมที่แตกต่างกัน สีย้อมหลายประเภทจำเป็นต้องใช้เกลือช่วยในการย้อมเพื่อให้สีดูดซับเข้าไปในเส้นใยได้ดีขึ้น เช่น สีไดเร็กต์ สีรีแอคทีฟสำหรับย้อมเส้นใยเซลลูโลส เป็นต้น เกลือที่ใช้ทั่วไปในการย้อม คือเกลือโซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต แม้เกลือจะมีระดับความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่ำแต่หากใช้ในปริมาณมากความเข้มข้นของเกลืออาจสูงจนก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากการเติมเกลือแล้ว การย้อมสีรีแอคทีฟยังจำเป็นต้องใช้ด่างเป็นสารช่วยในการผนึกสีด้วย ด่างที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับสีย้อมเซลลูโลสกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สีแวต และสีซัลเฟอร์ เมื่อจะทำการย้อมบนเส้นใยจำเป็นต้องเปลี่ยนโมเลกุลสีให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้โดยรีดิวซ์โมเลกุลสีด้วยสารรีดิวซิงเพื่อให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปย้อมติดเส้นใยได้ การย้อมเซลลูโลสด้วยสีซัลเฟอร์ใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซิง หลังการย้อมซัลไฟด์จะเจือปนในน้ำทิ้งซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและทำให้ค่า COD ของน้ำสูงขึ้น สารรีดิวซิงอีกตัวหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการย้อม คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ แต่ไม่รุนแรงเท่าซัลไฟด์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม [38]

2.8.3 ฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อม

1. การดัดแปลงสภาพของวัสดุสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่เป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรในบางครั้งวัสดุดูดซับเหล่านี้มีข้อจำกัดคือมีสารเคลือบ เช่น ลิกนิน และ สารประกอบระหว่างซิลิกากับเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการดัดแปลงสภาพวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ เช่น การทำให้อยู่ในรูปของ เถ้า [39] หรือถ่านกัมมันต์ [40] แต่วิธีการเหล่านี้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้สำหรับการดูดซับระหว่างกระบวนการย้อมผ้าจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษางการดัดแปลงสภาพทางเคมี ซึ่งเป็นวิธีการที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสารเคมีที่นำมาใช้จะสามารถขจัดในส่วนของสารเคลือบผิว หรือทำลายโครงสร้างบางส่วนของวัสดุดูดซับทางการเกษตรทำให้มีโครงสร้างรูพรุนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น งานวิจัยการดัดแปลงสภาพของแกลบด้วยกรดซิตริก โดยทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแกลบและแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ พบว่าแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซิตริกมีความสามารถในการดูดซับกรดซิตริกได้เพิ่มขึ้นถึง 13 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแกลบแห้ง(กรัม) [41] การทดลองของ sagnik และคณะ [42] ทำการทดลองดัดแปลงสภาพของแกลบด้วยโซเดียมไฮดรอไซด์ เพื่อขจัดสีย้อม Crystal Violet ออกจากสารละลายสีย้อมที่เตรียมขึ้น พบว่าในการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแกลบต่อปริมาตรสารละลายตั้งแต่ 0.5-5 กรัมต่อลิตร และเปลี่ยนแปลงระดับ pH ตั้งแต่ 2-10 พบว่าความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแกลบต่อสารละลายตั้งแต่ 0.5-1 กรัมต่อลิตร และมีความสามารถในการขจัดสีย้อม Crystal Violet ได้ดีที่สุดที่ pH 7 แกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอไซด์ มีความสามารถในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายได้ดีกว่าแกลบธรรมดา งานวิจัยของสุพรรษา [4] ได้มีการนำฟางข้าวไม่ดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอไซด์ และฟางข้าวดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก การขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมผ้า โดยจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวตามปกติมีลักษณะเป็นปุ่มกรวยเรียงตัวยื่นออกจากพื้นผิว ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวดัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบสเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกร้าวของปุ่มรูปกรวยที่ยื่นออกมาจากพื้นผิวนอกจากนี้ยังมีลักษณะหยาบกร้านและรอยแตกตามแนวแกนของพื้นผิวซึ่งอาจเป็นผลจากการที่วัตถุ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสาน (โดยหลักได้แก่ เฮมิเซลลูโลส และลิกนินถูกขจัดออกไป) ส่วนฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีลักษณะหยาบกร้านมากกว่ามีรอยแตกร้าวบนพื้นผิวและกรวยบนผิวแตกออกเล็กน้อยซึ่งอาจเนื่องมาจากสารละลายกรดขจัดสารเคลือบผิวออกไปแต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสจะเห็นว่าฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีการแตกของปุ่มกรวยบนพื้นผิวมากกว่า

(ก) (ข) (ค)

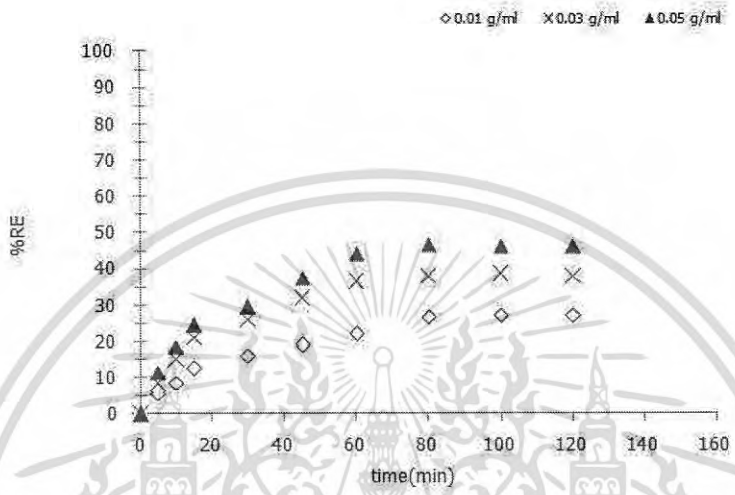
รูปที่ 2.14 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด [4]

2. การใช้ฟางข้าวดูดซับสารละลายสีย้อม

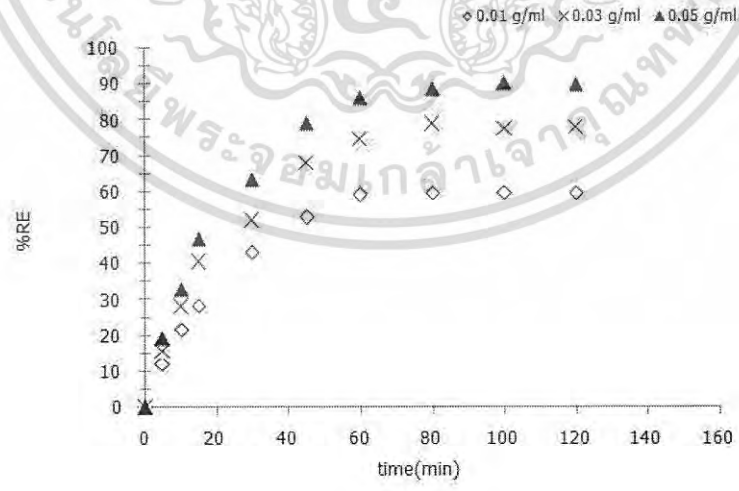
มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการกำจัดสีและโลหะหนักในน้ำทิ้ง และฟางข้าวเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อกำจัดสีย้อมและโลหะหนักออกจากน้ำย้อมสีผ้าได้งานวิจัยของสุพรรษา [4] ทำการทดลองใช้วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองนี้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอไซด์ และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร และที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับและประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาที ที่ทุกสัดส่วนของวัสดุดูดซับ ซึ่งที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายร้อยละ 88.67 รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ โดยมีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายร้อยละ 59.53 และ 46.49 ตามลำดับ และในการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าพบว่าในด้านคุณภาพสีผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีค่าสีไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ เมื่อพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะทางกายภาพ พบว่า ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมและจากการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำ พบว่าผ้าย้อมโดยกระบวนการปกติมีการตกสีมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

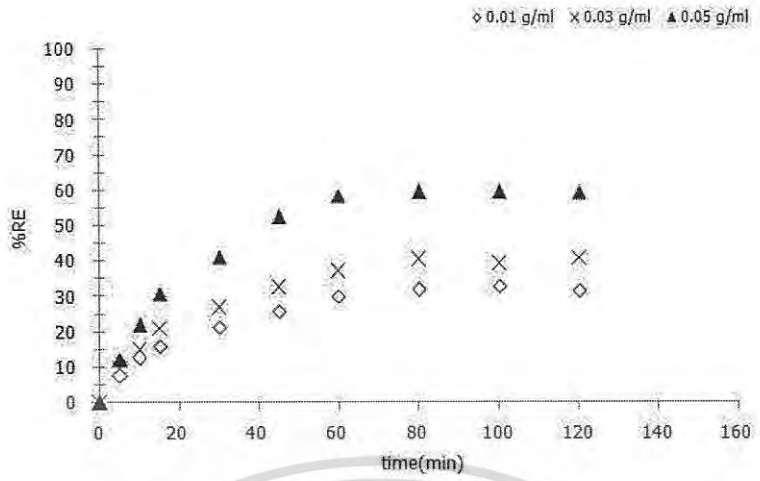


รูปที่ 2.15 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที [4]



รูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยด่างในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ประสิทธิภาพ (% Re) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที [4]

นอกจากนี้แล้วในงานวิจัยของสุพรรษา [4] ยังศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าพบว่าในด้านคุณภาพสีผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีค่าสีไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมและจากการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำพบว่าผ้าย้อมโดยกระบวนการปกติมีการตกสีมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

เนื่องจากสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมดีที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำสัดส่วนฟางข้าวที่ใช้ในการดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้าเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางพลังงานต่อซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวและเป็นการกำจัดฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมโดยวิธีการทดลองและวิเคราะห์ผลจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นศึกษาศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวแสดงเป็นหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

3.1 การเตรียมฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับ

การเพิ่มประสิทธิภาพฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับโดยดัดแปลงสภาพ ซึ่งการกระทำดังกล่าวส่งผลให้วัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการแช่ในสารละลายก่อนการนำไปใช้ ดังนั้นในการเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวจะมีการเตรียมโดยการแบ่งเป็น 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.1 ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ

ฟางข้าวเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ได้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของดินและในการทดลองจะใช้ส่วนของลำต้นฟางข้าวเท่านั้น ก่อนการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับจึงต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมวัสดุโดยนำฟางข้าวมาคัดเลือกเฉพาะส่วนของลำต้น หลังจากนั้นนำไปทำการลดขนาดด้วยการตัดให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH ของน้ำล้างประมาณ 6.0 – 7.0 แล้วจึงนำฟางข้าวที่ได้ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

3.1.2 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ

การดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโดยการนำฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมในหัวข้อ 3.1.1 มาชั่ง 100 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเทน้ำ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ลงไปแช่ฟางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 3.1 หลังจากนั้นนำมากรองเพื่อเอาฟางออก นำฟางที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่า pH ในน้ำล้างมีค่า ประมาณ 6.0 – 7.0 แล้วจึงนำฟางข้าวที่ได้ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในน้ำ

3.1.3 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด

การดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยกรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของฟางข้าวโดยการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยการปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นปริมาตร 169.8 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ นำฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมในหัวข้อ 3.1.1 มาชั่ง 100 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากขวดวัดปริมาตรที่เตรียมไว้ลงไปแช่ฟางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 3.2 หลังจากนั้นนำมากรองเพื่อเอาฟางออกจากสารละลาย นำฟางที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่า pH ในน้ำล้างมีค่า ประมาณ 6.0 – 7.0 แล้วจึงนำฟางข้าวที่ได้ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

รูปที่ 3.2 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

การดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 120 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรเขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมในหัวข้อ 3.1.1 มาชั่ง 100 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตรจากขวดปริมาตรที่เตรียมไว้ลงไปแช่ฟางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 3.3 หลังจากนั้นนำมากรองเพื่อเอาฟางออกจากสารละลาย นำฟางที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่า pH ในน้ำล้างมีค่าประมาณ 6.0 – 7.0 แล้วจึงนำฟางข้าวที่ได้ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

รูปที่ 3.3 การดัดแปลงสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

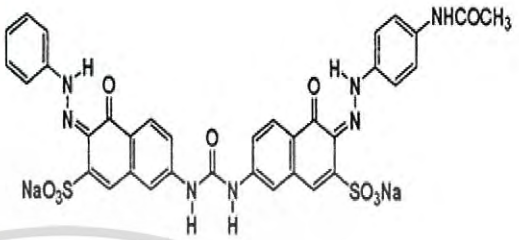
3.2 การทดลองใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับภายหลังกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้าย

การนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมภายหลังกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้ายโดยเปลี่ยนแปลงวัสดุดูดซับ 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ที่ปริมาณวัสดุดูดซับ 5 กรัมต่อสารละลาย100 มิลลิลิตรต่อผ้า 3 กรัม ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 10 ระดับ คือ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารละลายในกระบวนการย้อมผ้าและเวลาในการดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพทางพลังงานของฟางข้าวหรือไม่ซึ่งแบ่งการทดลองในการดูดซับสารละลายออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 2) ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม 3) ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบใช้สี direct red 23 ซึ่งได้รับจากบริษัทพิสิฐอินเตอร์กรุ๊ปโดยมีลักษณะสีและสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.4

(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 สี direct red 23 (ก) และสูตรโครงสร้างทางเคมี $C_{35}H_{25}N_7Na_2O_{10}S_2$ (ข)

3.2.1 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม

1. ตัดผ้าฝ้ายดิบที่ผ่านการฟอกขาวออกเป็นชิ้น โดยให้แต่ละชิ้นมีขนาด 4 x 10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัมต่อชิ้น

2. เตรียมสารละลายสีย้อมมาตราฐาน โดยใช้สี direct red 23 จำนวน 0.8 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 2 %w/v และน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร คนให้เข้าเป็นสารละลายเดียวกัน จากนั้นเทสารละลายสีย้อมมาตรฐานปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายสีย้อมมาตรฐานปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาทำการปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.5

4. นำผ้าฝ้ายที่เตรียมไว้ใส่ลงในบีกเกอร์บีกเกอร์ละ 3 ชิ้น รักษาระดับอุณหภูมิในการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที

รูปที่ 3.5 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อครบตามระยะเวลาในการย้อม นำบีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนำวัสดุดูดซับใส่ลงในบีกเกอร์ทันที

6. ทำการกรองวัสดุดูดซับออกระหว่างขั้นตอนการลดอุณหภูมิที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที

รูปที่ 3.6 วัสดุดูดซับที่ถูกกรองออกระหว่างขั้นตอนการลดอุณหภูมิ

7. นำวัสดุดูดซับนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อรอวิเคราะห์

รูปที่ 3.7 การอบแห้งวัสดุดูดซับที่ผ่านการดูดซับในกระบวนการย้อมผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 ฟางข้าวหลังจากที่นำไปดูดซับ

3.2.2 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม

1. ตัดผ้าฝ้ายดิบที่ผ่านการฟอกขาวออกเป็นชิ้น โดยให้แต่ละชิ้นมีขนาด 4 x 10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัมต่อชิ้น

2. เตรียมสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม โดยใช้สีdirect red 23 0.8 กรัม และน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร คนให้เข้าเป็นสารละลายเดียวกัน จากนั้นเทสารละลายสีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายสีปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาทำการปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

4. นำผ้าฝ้ายที่เตรียมไว้ใส่ลงในบีกเกอร์บีกเกอร์ละ 3 ชิ้น รักษาระดับอุณหภูมิในการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที

5. เมื่อครบตามระยะเวลาในการย้อม นำบีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนำวัสดุดูดซับใส่ลงในบีกเกอร์ทันที

6. ทำการกรองวัสดุดูดซับออกระหว่างขั้นตอนการลดอุณหภูมิที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที

7. นำวัสดุดูดซับนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อรอวิเคราะห์

3.2.3 การใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1. ตัดผ้าฝ้ายดิบที่ผ่านการฟอกขาวออกเป็นชิ้น โดยให้แต่ละชิ้นมีขนาด 4 x 10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัมต่อชิ้น

2. เตรียมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารช่วยย้อมโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 2 %w/v และน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร คนให้เข้าเป็นสารละลายเดียวกัน จากนั้นเทสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. นำบีกเกอร์ที่ปิเปตสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาทำการปรับอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำผ้าฝ้ายที่เตรียมไว้ใส่ลงในบีกเกอร์บีกเกอร์ละ 3 ชิ้น รักษาระดับอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที

5. เมื่อครบตามระยะเวลา นำบีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำวัสดุดูดซับใส่ลงในบีกเกอร์ทันที

6. ทำการกรองวัสดุดูดซับออกระหว่างขั้นตอนการลดอุณหภูมิที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที

7. นำวัสดุดูดซับนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อรอวิเคราะห์

รูปที่ 3.9 การลดอุณหภูมิด้วยโถดูดความชื้น

เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพทางพลังงานของวัสดุดูดซับ ตัวอย่างที่ได้จากการทดลองได้แก่ ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ได้ถูกนำไปทดลองในขั้นตอนของวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ 2) การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับ 3) การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ และ 4) การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว

3.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

การเตรียมวัสดุดูดซับด้วยการแช่ในสารละลายจะทำให้ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการนำวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ผ่านการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงในรูป 3.10 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 กล้องดิจิตอลไมโครสโคป (Digital Microscope) รุ่น USB S02

3.3.2 การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ

การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งทำการดูดซับที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที ด้วยการวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยวิธี Isoperibol ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบมาตรฐานเครื่องโดยใช้เม็ด Benzoic acid ขนาด 0.5 กรัม (C723, IKA, Germany) โดยการนำตัวอย่างฟางแต่ละชนิด ประมาณ 0.5 กรัม มาอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด แล้วทำการชั่งน้ำหนักละเอียดด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าความร้อนของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (C200, IKA, Germany) แสดงในรูป 3.11 แล้วนำค่าความร้อนของฟางข้าวที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลต่อค่าความร้อนของฟางข้าว ที่เกิดจากการดัดแปลงสภาพฟางข้าว สารละลายที่ฟางข้าวทำการดูดซับและระยะเวลาในการดูดซับ

รูปที่ 3.11 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (C200, IKA, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ

ปริมาณเถ้าในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีปริมาณเถ้ามากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง ชีวมวลบางชนิดมีเถ้ามากจะก่อให้เกิดปัญหาเถ้าหลอม (slagging) ในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำได้ การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งทำการดูดซับที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที แล้วนำค่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาอิทธิพลต่อปริมาณเถ้าของฟางข้าว ที่เกิดจากการดัดแปลงสภาพฟางข้าว สารละลายที่ฟางข้าวทำการดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับ

โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าในตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้

1. นำถ้วยกระเบื้องเปล่าอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 1 กรัม นำไปทำการเผาบนเตา จนหมดควัน

3. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้วไปเผาต่อในเตาเผาเถ้าอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงเหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นอย่างกะทันหันซึ่งอาจทำให้ถ้วยกระเบื้องแตกได้

รูปที่ 3.12 เตาเผาเถ้าอุณหภูมิสูง (Muffer furnace) ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T

4. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา มาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งจนเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณหาปริมาณเถ้าโดยใช้สูตรที่ 3.2

$$\text{ปริมาณเถ้า}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad (3.1)$$

W_1 คือ น้ำหนักถ้วย (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วย (กรัม) + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

6. นำค่าปริมาณเถ้าที่วัดได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

3.3.4 การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว

การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมผ้านั้น ประเมินได้โดยการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากชีวมวลเทียบเท่าน้ำมันดิบและเทียบเท่าไฟฟ้าด้วยความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 3.2

$$1 \text{ ktoe} = 42{,}120{,}000 \text{ MJ} = 11{,}700{,}000 \text{ kWh} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการทดลองเป็นการศึกษาความเป็นไปได้และประสิทธิภาพในการนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมภายหลังขั้นตอนการย้อมสีผ้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4ส่วน คือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ 2) การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ 3) การศึกษาปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ 4) การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว

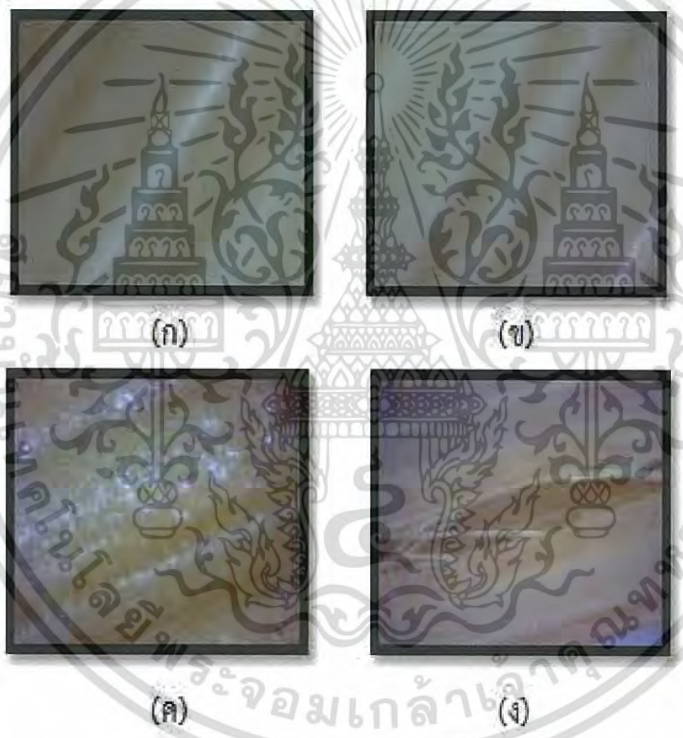
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

ลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่นำไปดัดแปลงสภาพเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง จากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.1 (ก) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำในรูปที่ 4.1 (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.1 (ค) มีลักษณะใกล้เคียงกันโดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีลักษณะพองตัวกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเล็กน้อย และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดจะมีลักษณะสีชีดกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพกับ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำเล็กน้อย ส่วนฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสในรูปที่ 4.1 (ง) มีลักษณะฉีกขาดออกจากกันเป็นชิ้นเล็กๆมีการการพองตัวสูงและมีน้ำหนักบางส่วนหายไปประมาณร้อยละ 20 ซึ่งเกิดจากการที่สารละลายเบสไปทำลายองค์ประกอบบางส่วนของฟางข้าวออกไป

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายวัสดุดูดซับ (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด (ง) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องไมโครสโคปแบบดิจิตอล (Digital Microscope) ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.2 (ก) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นมันเงาซึ่งลักษณะที่เป็นมันเงานี้เป็นส่วนของสารเคลือบผิว ได้แก่ ลิกนินและเยื่อหุ้มที่เกิดจากสารประกอบระหว่างซิลิกอนกับเฮมิเซลลูโลส ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำในรูปที่ 4.2 (ข) มีลักษณะใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพแต่มีความเป็นมันเงาน้อยกว่า ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.2 (ค) มีความเป็นมันเงาน้อยกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพและมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการแช่ฟางข้าวในสารละลายกรดช่วยขจัดสิ่งสกปรกและสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนเนต ออกจากผิวของฟางข้าว [41] จึงไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของฟางข้าว ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสในรูปที่ 4.2 (ง) มีลักษณะพื้นผิวหยาบไม่เป็นมันเงาและมีรอยแตกโดยทั่วไปบนพื้นผิว ลักษณะนี้เกิดจากสารละลายเบสกำจัดองค์ประกอบประเภทลิกนินและซิลิคอนซึ่งเป็นสารเคลือบผิวออกจากผิวของฟางข้าวทำให้ผิวของฟางข้าวหยาบขึ้นและขาดความเป็นมันเงา [42]



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของฟางข้าวด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด (ง) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

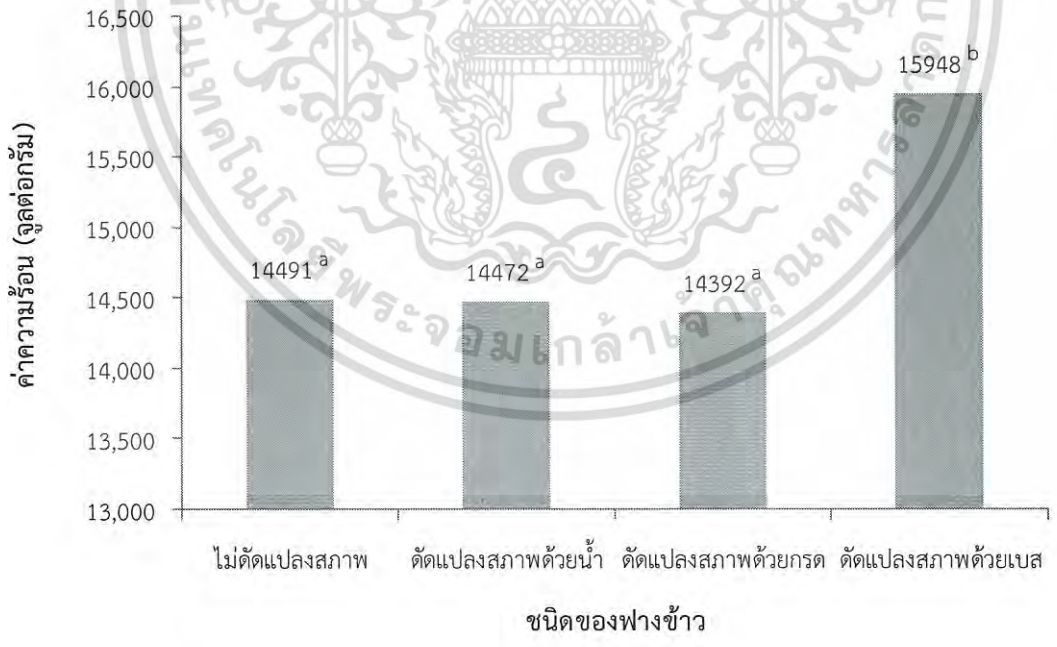
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ

การศึกษาค่าความร้อนเป็นส่วนสำคัญในการนำมาประเมินศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าซึ่งได้ทำการศึกษา 4 ส่วนคือ 1) ค่าความร้อนของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 2) ค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 3) ค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และ 4) ค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยฟางข้าวที่วิเคราะห์มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-2 แสดงในภาคผนวก ค

4.2.1 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

ผลการทดลองวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์โดยวิธี Isoperibol พบว่าจากรูปที่ 4.3 ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อนอยู่ที่ 14491 จูลต่อกรัม ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีค่าความร้อนอยู่ที่ 14472 จูลต่อกรัม ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีค่าความร้อนอยู่ที่ 14392 จูลต่อกรัม และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนอยู่ที่ 15948 จูลต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าสารละลายเบสขจัดองค์ประกอบบางส่วนของฟางข้าวที่ไม่สามารถให้ความร้อนได้ส่งผลให้ค่าความร้อนต่อมวลของฟางข้าวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส มีความแตกต่างกับฟางข้าวชนิดอื่นๆในทางสถิติ



รูปที่ 4.3 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

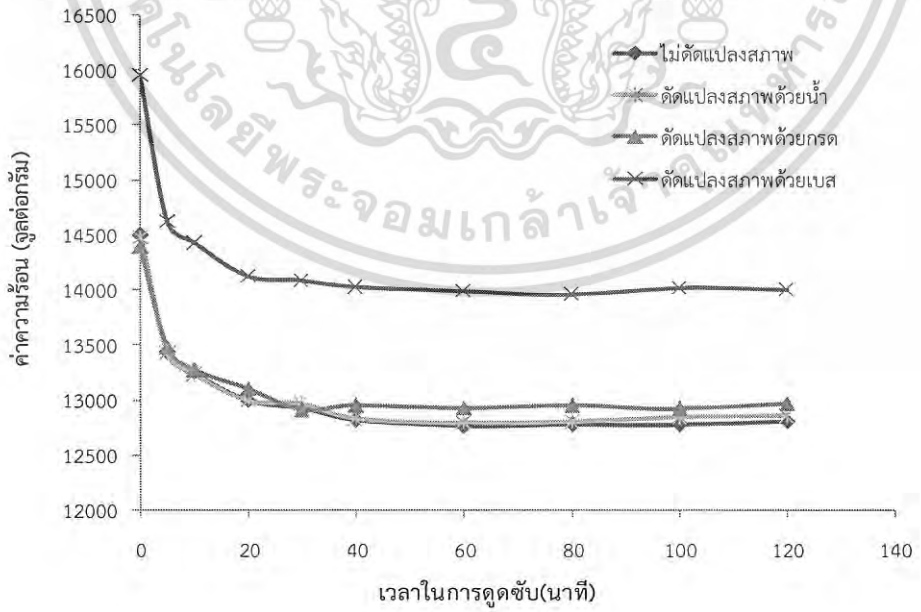
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	3	5056390	1685463	90.081**
Error	8	149684	18710.5	
Total	11	5206074		

เมื่อนำค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าการดัดแปลงสภาพด้วยวิธีต่างๆทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

4.2.2 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม

สารละลายสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นส่วนผสมระหว่างสีย้อมและสารช่วยย้อมคือ โซเดียมคลอไรด์ จากการทดลองนำฟางข้าวชนิดต่างๆไปดูดซับสีย้อมจากสารละลายสีย้อมภายหลังกระบวนการย้อมสีผ้านั้น ได้ศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เวลาในการดูดซับต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความร้อนของฟางข้าวที่นำไปดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรก หลังจากนั้นค่าความร้อนของฟางแต่ละชนิดจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการดูดซับมีผลทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวลดลง



รูปที่ 4.4 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	7828183.467	869798.163	113.491**
Error	20	153280	7664	
Total	29	7981463.467		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	7244411.633	804934.625	118.451**
Error	20	135909.333	6795.466	
Total	29	7380320.967		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	5797756.3	644195.144	62.526**
Error	20	206054	10302.7	
Total	29	6003810.3		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	10125256.13	1125028.459	314.388**
Error	20	71569.333	3578.466	
Total	29	10196825.47		

เมื่อนำค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส หลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกันทำให้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยวิธีต่างๆ มีค่าความร้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	14491^{a}	14472^{a}	14393^{a}	15949^{a}
5	13432^{b}	13422^{b}	13476^{b}	14615^{b}
10	13245^{c}	13230^{c}	13270^{bc}	14425^{c}
20	12993^{d}	12991^{d}	13099^{cd}	14121^{d}
30	12920de	12970de	12906^{d}	14084^{d}
40	12815de	12828^{e}	12947^{d}	14019^{d}
60	12760^{e}	12794^{e}	12929^{d}	13984^{d}
80	12771^{e}	12798^{e}	12947^{d}	13957^{d}
100	12771^{e}	12840de	12919^{d}	14016^{d}
120	12806de	12854de	12968^{d}	14002^{d}

*สำหรับในคอลัมท์เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

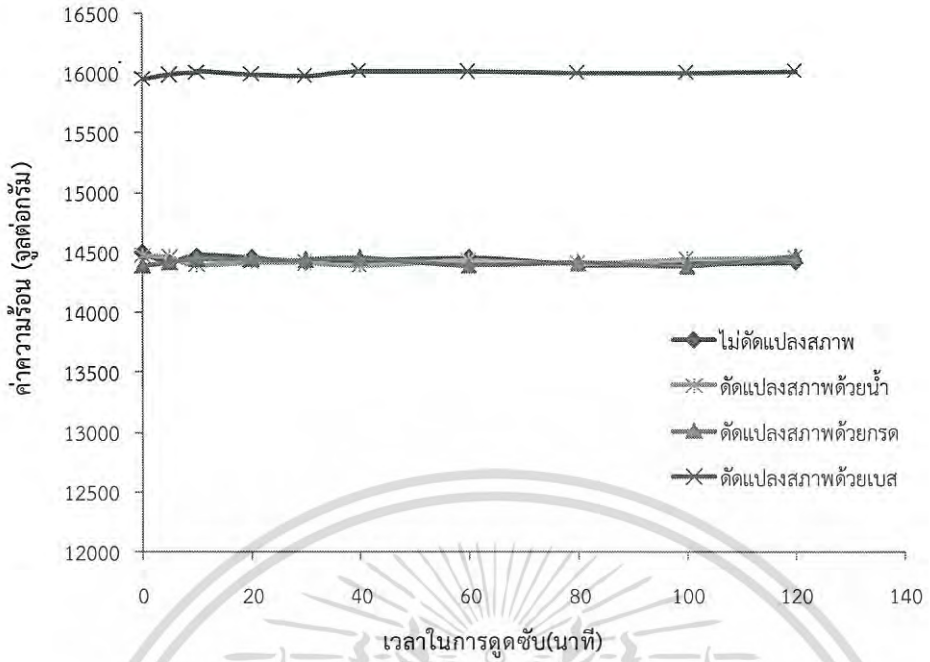
เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่ระยะเวลา 0-120 นาที มาเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD จากตารางที่ 4.3 พบว่าฟางข้าวชนิดต่างๆที่เวลาดูดซับ 0-20 นาทีแรก มีค่าเฉลี่ยค่าความร้อนแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ที่เวลาดูดซับประมาณ 20 นาทีเป็นต้นไป ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนเริ่มคงตัวเข้าสู่สมดุลเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่าค่าความร้อนที่ลดลงจนคงที่ตลอดเวลาการดูดซับด้วยฟางข้าวชนิดต่างๆเกิดจากสาเหตุใด ทั้งนี้อาจเกิดจากการดูดซับสารละลายสีหรือจากการดูดซับสารละลายสารช่วยย้อม (โซเดียมคลอไรด์) หรืออาจจะเกิดจากการดูดซับสารละลายทั้งสองอย่าง เพื่อให้การประยุกต์ใช้ฟางข้าวในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าต่อไปนี้จำเป็นต้องทราบถึงเหตุผลว่าทำไมค่าความร้อนจึงลดลงด้วยเหตุผลนี้ จึงเกิดการทดลองในหัวข้อ 4.2.3 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และ 4.2.4 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพื่อหาสาเหตุของการลดลงของค่าความร้อนของฟางข้าวที่นำไปบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้า

4.2.3 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม

สารละลายสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ไม่มีส่วนของสารช่วยย้อม ซึ่งจากการทดลองนำฟางข้าวชนิดต่างๆไปดูดซับสารละลายสีย้อมที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที พบว่าจากรูปที่ 4.5 ค่าความร้อนของฟางข้าวที่วัดได้จะมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากฟางข้าวที่ยังไม่ได้นำมาดูดซับ แสดงให้เห็นว่าสีย้อมที่ฟางดูดซับไปที่เวลาต่างๆไม่ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวเพิ่มขึ้นหรือลดลงแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	23628.966	2625.440	0.503^{NS}
Error	20	104355.333	5217.766	
Total	29	127984.3		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	22470.8	2496.755	0.262^{NS}
Error	20	190216.666	9510.833	
Total	29	212687.466		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	20855.633	2317.292	0.293^{NS}
Error	20	158113.333	7905.666	
Total	29	178968.966		
ฟางฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	11009.2	1223.244	0.809^{NS}
Error	20	30218.666	1510.933	
Total	29	41227.866		

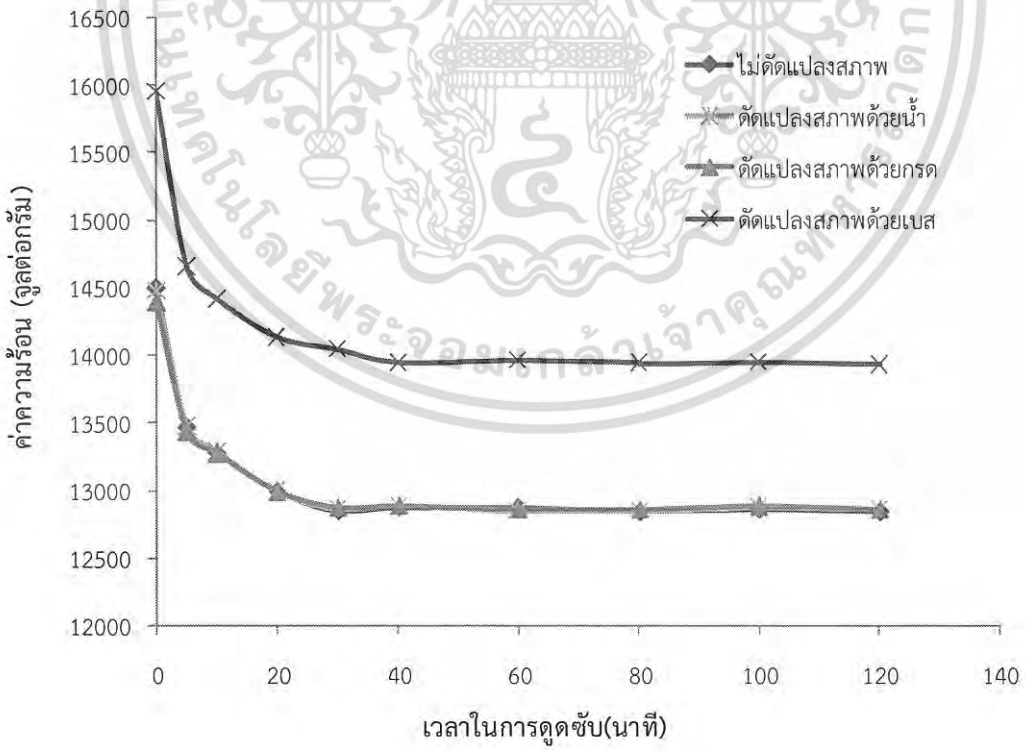
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส หลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกันฟางข้าวมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ซึ่งหากพิจารณาจากการทดลองก่อนหน้านี้ในหัวข้อ 4.2.2 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ที่หลังผ่านการนำไปดูดซับมีค่าความร้อนลดลงไม่ได้เกิดจากการที่ฟางข้าวดูดซับสีย้อม และค่าความร้อนที่ลดลงอาจเกิดจากการที่ฟางข้าวดูดซับสารช่วยย้อม (โซเดียมคลอไรด์) ซึ่งผลการทดลองแสดงในหัวข้อ 4.2.4 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

4.2.4 การศึกษาค่าความร้อนของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

สารละลายที่นำมาใช้ในการทดลองนี้คือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งจากการทดลองนำฟางข้าวชนิดต่างๆไปดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที พบว่าจากรูปที่ 4.6 ค่าความร้อนของฟางข้าว มีค่าที่ใกล้เคียงกับฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม แสดงว่าโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารช่วยย้อมที่ฟางดูดซับได้ที่เวลาต่างๆ ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวลดลง



รูปที่ 4.6 ค่าความร้อนของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	7384111.333	820456.814	210.521**
Error	20	77945.333	3897.266	
Total	29	7462056.667		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	7208910.133	800990.014	140.992**
Error	20	113621.333	5681.066	
Total	29	7322531.467		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	6408373.633	712041.514	181.946**
Error	20	78269.333	3913.466	
Total	29	6486642.967		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	10745409.2	1193934.356	371.722**
Error	20	64238	3211.9	
Total	29	10809647.2		

เมื่อนำค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส หลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ฟางข้าวมีค่าความร้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	14491[a]	14472[a]	14393[a]	15949[a]
5	13459[b]	13471[b]	13432[b]	14653[b]
10	13275[c]	13284[c]	13270[c]	14409[c]
20	12988[d]	12987[d]	12988[d]	14128[d]
30	12847[dc]	12861[d]	12870[d]	14044[de]
40	12869[dc]	12879[d]	12883[d]	13940[e]
60	12866[dc]	12848[d]	12862[d]	13965[e]
80	12842[c]	12848[d]	12858[d]	13940[e]
100	12858[dc]	12865[d]	12880[d]	13947[e]
120	12838[c]	12853[d]	12857[d]	13929[e]

*สำหรับในคอลัมท์เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อนำค่าเฉลี่ยค่าความร้อนของฟางข้าวชนิดต่างๆหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระยะเวลา 0-120 นาที มาเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD จากตารางที่ 4.6 พบว่าฟางข้าวชนิดต่างๆที่เวลาดูดซับ 0-20 นาทีแรก มีค่าเฉลี่ยค่าความร้อนแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ที่เวลาดูดซับประมาณ 20 นาทีเป็นต้นไป ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนเริ่มคงตัวเข้าสู่สมดุลเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

จากการทดลองนำฟางข้าวชนิดต่างๆไปดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของค่าความร้อน ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวที่นำไปบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าที่มีส่วนของสารละลายสีและสารช่วยย้อมมีค่าลดลง

4.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ

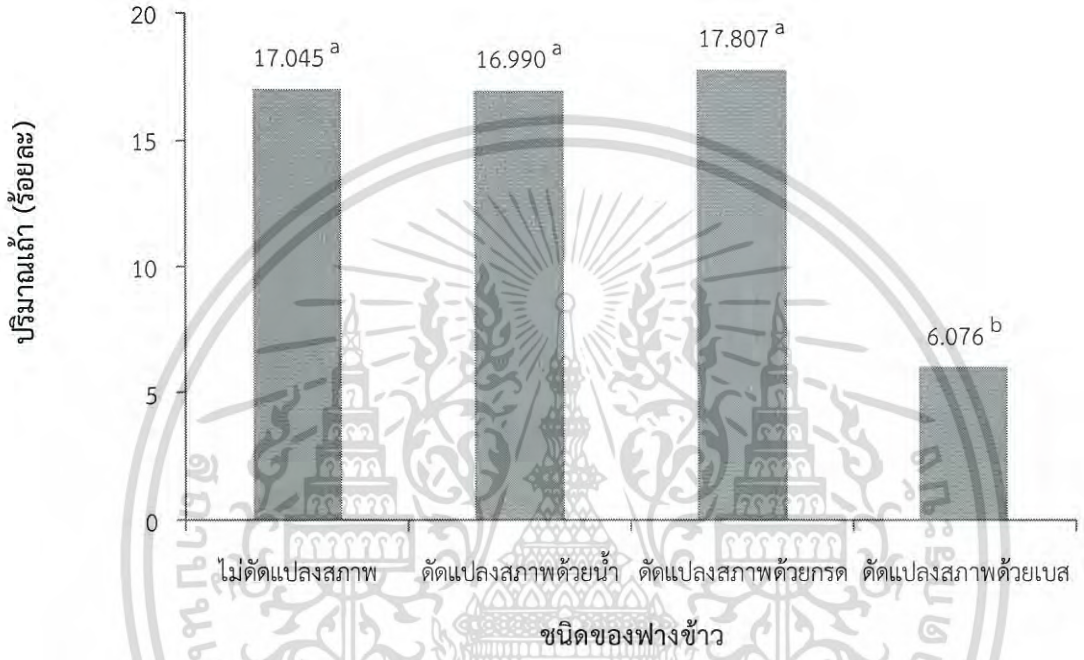
การศึกษาปริมาณเถ้าเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเถ้าในระหว่างการนำฟางข้าวไปเป็นตัวดูดซับ ซึ่งได้ทำการศึกษา 4 ส่วนคือ 1) การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ 2) การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม 3) การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับจากสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และ 4) การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยฟางข้าวที่วิเคราะห์มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-2 แสดงในภาคผนวก ค

4.3.1 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

จากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับสารละลายหลังจากกระบวนการย้อมผ้า พบว่าฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าปริมาณเถ้าน้อยที่สุด ประมาณร้อยละ 6 ของน้ำหนักวัสดุดูดซับ ส่วนฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำจะมีปริมาณเถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ประมาณร้อยละ 17 ของน้ำหนักวัสดุดูดซับ แสดงให้เห็นว่าสารละลายเบสขจัดองค์ประกอบบางส่วนของฟางข้าวที่ทำให้เกิดเถ้าออกไป ส่งผลให้ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆ รูปที่ 4.7 จะเห็นว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส มีความแตกต่างกับฟางข้าวชนิดอื่นๆในทางสถิติ



รูปที่ 4.7 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

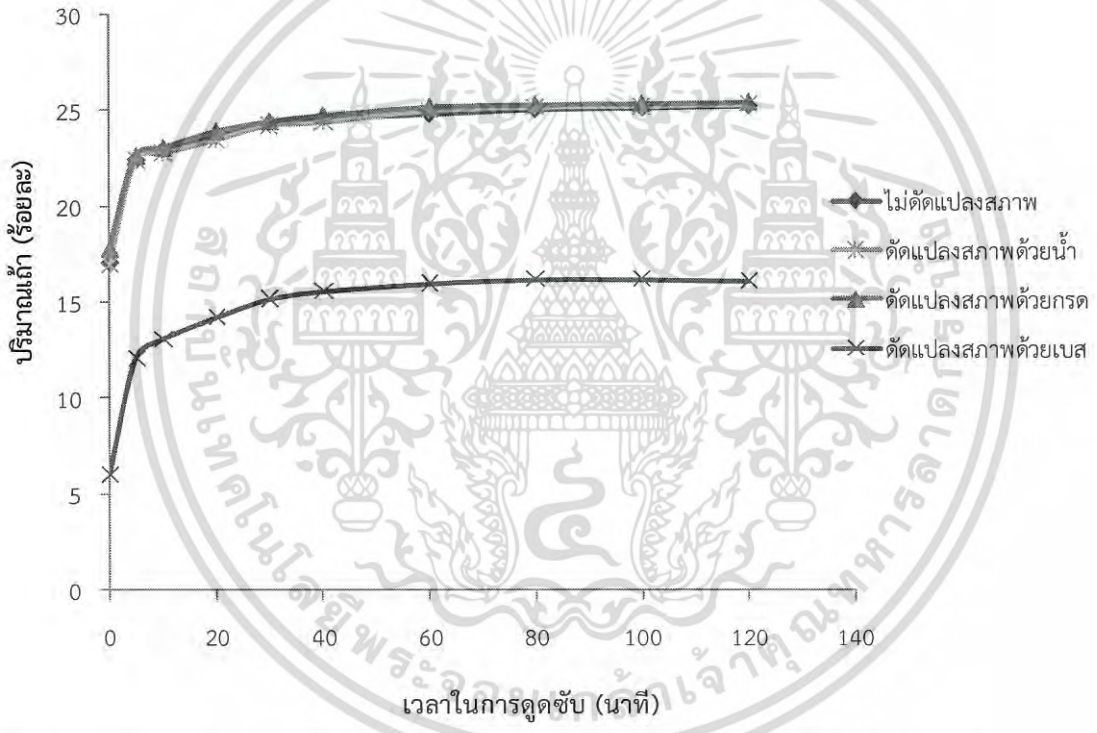
SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	3	283.814	94.604	983.715**
Error	8	0.769	0.096	
Total	11	284.583		

เมื่อนำปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าการดัดแปลงสภาพด้วยวิธีต่างๆทำให้ฟางข้าวมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม

เมื่อนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม พบว่ามีปริมาณเถ้าสูงกว่าฟางข้าวที่ยังไม่นำไปดูดซับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับมีการดูดซับมวลสารละลายไว้จึงทำให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้น จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้ากับเวลาในการดูดซับต่างๆ คือ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที โดยปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าในฟางข้าวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับมวลสารละลายมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับดูดซับมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าระยะเวลาในการดูดซับที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.8 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	164.434	18.270	109.807**
Error	20	3.327	0.166	
Total	29	167.762		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	169.480	18.831	92.753**
Error	20	4.060	0.203	
Total	29	173.541		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	144.849	16.094	121.411**
Error	20	2.651	0.132	
Total	29	147.501		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	268.108	29.789	173.200**
Error	20	3.439	0.171	
Total	29	271.548		

เมื่อนำปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสหลังผ่านการนำไปทดลองเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ฟางข้าวมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลอง พบว่าปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้นจนคงที่ตลอดเวลาการดูดซับด้วยฟางข้าวชนิดต่างๆเกิดจากสาเหตุใด ทั้งนี้อาจเกิดจากการดูดซับสารละลายสีหรือจากการดูดซับสารละลายสารช่วยย้อม (โซเดียมคลอไรด์) หรืออาจจะเกิดจากการดูดซับสารละลายทั้งสองอย่าง เพื่อให้การประยุกต์ใช้ฟางข้าวในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าต่อไปนี้จำเป็นต้องทราบถึงเหตุผลว่าทำไมค่าปริมาณเถ้าจึงเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลนี้ จึงเกิดการทดลองในหัวข้อ 4.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม และ 4.3.4 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เพื่อหาสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่นำไปบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (ร้อยละ)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	17.054[a]	16.990[a]	17.807[a]	6.076[a]
5	22.420[b]	22.428[b]	22.614[b]	12.083[b]
10	22.936[bc]	22.758[bc]	23.053[b]	13.091[c]
20	23.669[cd]	23.446[cd]	23.913[c]	14.223[d]
30	24.347[de]	24.214[de]	24.415[cd]	15.175[de]
40	24.601[de]	24.369[def]	24.726[cde]	15.584[ef]
60	24.810[e]	24.975[ef]	25.174[de]	15.991[ef]
80	25.056[e]	25.164[ef]	25.299[e]	16.207[f]
100	25.131[e]	25.207[ef]	25.347[e]	16.197[f]
120	25.241[e]	25.315[f]	25.421[e]	16.130[f]

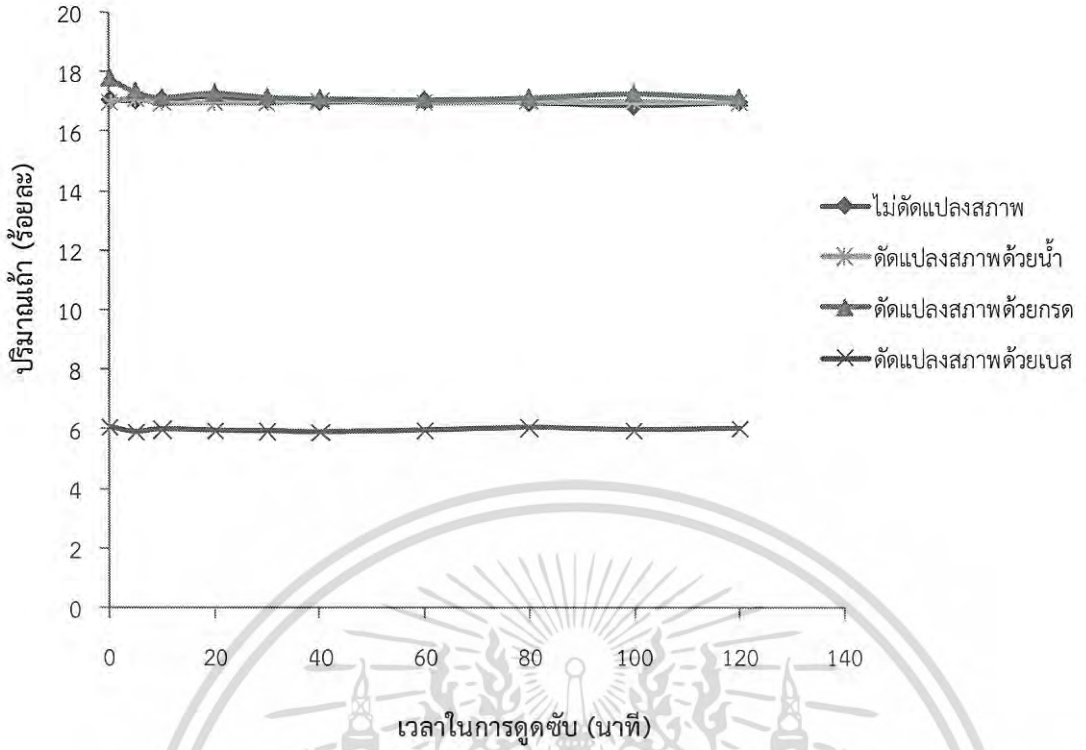
*สำหรับในคอลัมท์เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่ระยะเวลา 0-120 นาที มาเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD จากตารางที่ 4.9 พบว่าฟางข้าวชนิดต่างๆที่เวลาดูดซับช่วงแรก มีค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ที่เวลาดูดซับประมาณ 20 นาทีเป็นต้นไป ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าเริ่มคงตัวเข้าสู่สมดุลเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

4.3.3 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม

จากการศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่นำไปในการดูดซับสารละลายสีย้อมที่ไม่มีสารช่วยย้อม พบว่าฟางข้าวที่นำไปดูดซับสารละลายสีย้อมที่ไม่มีสารช่วยย้อมมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลาในการดูดซับต่างๆดังแสดงในรูป 4.9 แสดงให้เห็นว่าสีย้อมที่ฟางข้าวสามารถดูดซับไปได้นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	0.168	0.018	0.233^{NS}
Error	20	1.601	0.080	
Total	29	1.769		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	0.053	0.005	0.038^{NS}
Error	20	3.082	0.154	
Total	29	3.135		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	1.255	0.139	1.239^{NS}
Error	20	2.250	0.112	
Total	29	3.506		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	0.079	0.008	0.107^{NS}
Error	20	1.644	0.082	
Total	29	1.724		

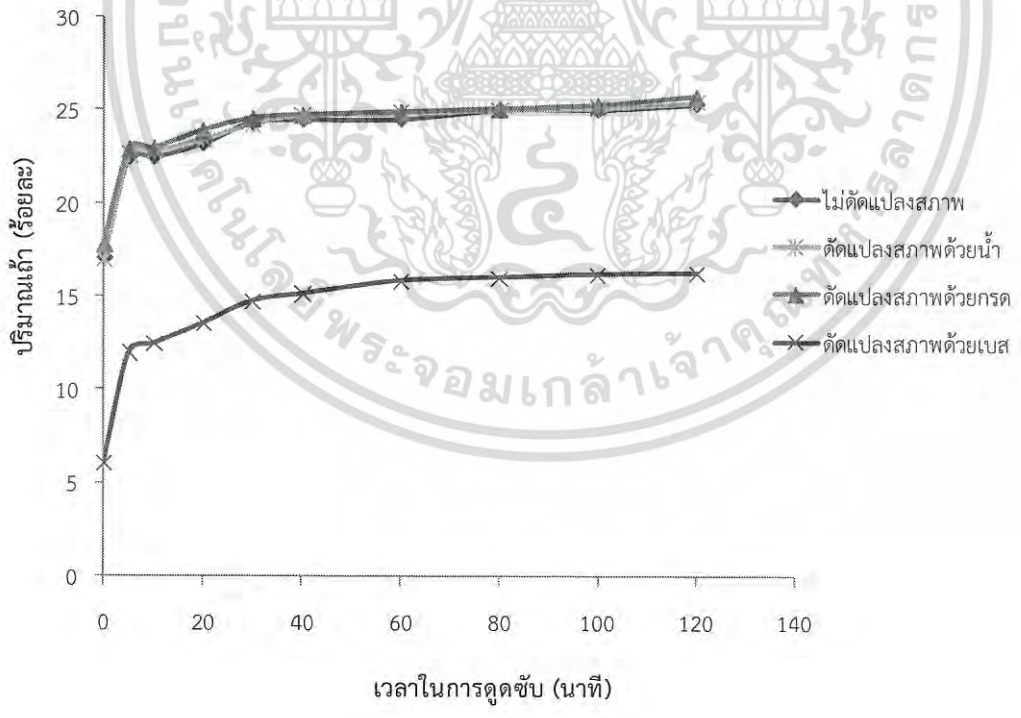
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส หลังผ่านการนำไปทดลองเป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกัน ฟางข้าวมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

ซึ่งหากพิจารณาจากการทดลองก่อนหน้านี้ในหัวข้อ 4.3.2 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ที่หลังผ่านการนำไปดูดซับมีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นไม่ได้เกิดจากการที่ฟางข้าวดูดซับสีย้อม และปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการที่ฟางข้าวดูดซับสารช่วยย้อม (โซเดียมคลอไรด์) ซึ่งผลการทดลองแสดงในหัวข้อ 4.3.4 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

4.3.4 การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

การศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที จากรูปที่ 4.10 ปริมาณเถ้ามีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม แสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ฟางสามารถดูดซับได้ส่งผลทำให้ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 ปริมาณเถ้าของฟางข้าวแต่ละชนิดที่เวลาใดๆของการดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ				
Treatment	9	164.206	18.245	50.237**
Error	20	7.263	0.363	
Total	29	171.470		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ				
Treatment	9	169.139	18.793	91.188**
Error	20	4.121	0.206	
Total	29	173.260		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด				
Treatment	9	143.259	15.917	151.645**
Error	20	2.099	0.104	
Total	29	145.359		
ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส				
Treatment	9	266.315	29.590	123.592**
Error	20	4.788	0.239	
Total	29	271.104		

เมื่อนำปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส หลังผ่านการนำไปทดลองเป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ฟางข้าวมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (ร้อยละ)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	17.054[a]	16.990[a]	17.807[a]	6.076[a]
5	22.477[b]	22.605[b]	22.890[b]	11.987[b]
10	22.490[b]	22.768[b]	22.955[b]	12.472[bc]
20	23.217[bc]	23.419[bc]	23.896[c]	13.559[c]
30	24.360[cd]	24.252[cd]	24.552[cd]	14.759[d]
40	24.510[cd]	24.725[de]	24.734[d]	15.157[de]
60	24.544[cd]	24.859[de]	24.910[d]	15.864[de]
80	25.040[d]	25.025[de]	25.074[de]	16.043[e]
100	25.064[d]	25.133[de]	25.282[de]	16.218[e]
120	25.358[d]	25.439[e]	25.748[e]	16.273[e]

*สำหรับในคอลัมท์เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าของฟางข้าวชนิดต่างๆหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระยะเวลา 0-120 นาที มาเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD จากตารางที่ 4.12 พบว่าฟางข้าวชนิดต่างๆที่เวลาดูดซับช่วงแรก มีค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ที่เวลาดูดซับประมาณ 20 นาทีเป็นต้นไป ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าเริ่มคงตัวเข้าสู่สมดุลเป็นผลทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

จากการทดลองนำฟางข้าวชนิดต่างๆไปดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่นำไปบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าที่มีส่วนของสารละลายสีและสารช่วยย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น

4.4 การประเมินศักยภาพเชิงพลังงานของฟางข้าว

การประเมินศักยภาพทางพลังงานที่ได้จากซิวมวลเทียบเท่าน้ำมันดิบ และเทียบเท่าไฟฟ้าใช้ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนเทียบเท่าน้ำมันดิบ และเทียบเท่าไฟฟ้าโดยทำการศึกษาฟางที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ และฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าที่ระยะเวลาสิ้นสุดกระบวนการ 120 นาที พบว่าจากตาราง 4.13 ศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับชนิดต่างๆต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม มีค่าดังนี้ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.491 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.430×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 4.025 กิโลวัตต์ชั่วโมง ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.472 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.425×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 4.020 กิโลวัตต์ชั่วโมง ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.393 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.407×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.998 กิโลวัตต์ชั่วโมง และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนเท่ากับ 15.949 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.775×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 4.430 กิโลวัตต์ชั่วโมง หลังจากผ่านการดูดซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่าฟางข้าวแต่ละชนิดมีศักยภาพทางพลังงานลดลงจากฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการดูดซับ โดยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.806 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.040×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.557 กิโลวัตต์ชั่วโมง ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.854 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.050×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.570 กิโลวัตต์ชั่วโมง ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.968 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.080×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.602 กิโลวัตต์ชั่วโมง และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนเท่ากับ 14.002 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.320×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.889 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 4.13 ศักยภาพทางพลังงานของฟางข้าวแต่ละชนิดต่อกิโลกรัม

ชนิดของฟางข้าว	การดูดซับหลังจากกระบวนการย้อมผ้า	ค่าความร้อน (เมกกะจูล)	เทียบน้ำมันดิบ (ตันน้ำมันดิบ)	เทียบไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)
ฟางข้าวที่ไม่ผ่านดัดแปลงสภาพ	ไม่ผ่าน	14.491	3.430×10^{-4}	4.025
	ผ่าน	12.806	3.040×10^{-4}	3.557
ฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ไม่ผ่าน	14.472	3.425×10^{-4}	4.020
	ผ่าน	12.854	3.050×10^{-4}	3.570
ฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ไม่ผ่าน	14.393	3.407×10^{-4}	3.998
	ผ่าน	12.968	3.080×10^{-4}	3.602
ฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	ไม่ผ่าน	15.949	3.775×10^{-4}	4.430
	ผ่าน	14.002	3.320×10^{-4}	3.889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบานการย้อมสีผ้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ และการประเมินศักยภาพฟางข้าวในการผลิตพลังงานจากผลการทดลองพบว่า

การศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ มีลักษณะพื้นผิวเป็นมันเงา ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำมีลักษณะพองตัวมากกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเล็กน้อย ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีลักษณะสีซีดกว่าฟางข้าวที่ผ่านการไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ พื้นผิวมีหยาบขึ้นเล็กน้อยกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสบางส่วนมีลักษณะเส้นใยฉีกออกจากกันทำให้กลายเป็นชิ้นขนาดเล็กพื้นผิวขาดความมันเงารวมทั้งพบรอยเส้นใยฉีกออกจากกันในบางส่วน

การศึกษาค่าความร้อนฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดซับ ได้ทำการทดลองใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้า และทำการนำวัสดุดูดซับออกจากสารละลายที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าว ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าความร้อนของฟางที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ ค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม ค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับจากสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม ค่าความร้อนของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่าฟางข้าวที่เตรียมสำหรับเป็นวัสดุดูดซับที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีค่าความร้อนสูงที่สุด 15948 จูลต่อกรัม โดยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีค่าความร้อน 14491 จูลต่อกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันกับฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดัดแปลงสภาพของฟางข้าวเบสมีผลทำให้ฟางข้าวมีค่าความร้อนต่อมวลสูงขึ้น และหลังจากนำฟางข้าวแต่ละชนิดไปใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่เวลาต่างๆ พบว่าค่าความร้อนของฟางข้าวจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรกแล้วหลังจากนั้นค่าความร้อนของฟางแต่ละชนิดจะเริ่มคงที่ จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล และในขณะเดียวกันสารละลายที่ฟางดูดซับที่เวลาต่างๆมีผลทำให้ค่าความร้อนของฟางลดลงซึ่งฟางข้าวที่มีความเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนมากที่สุดคือฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบส เป็นผลมาจากสิ่งที่ฟางข้าวดูดซับได้ซึ่งฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด และเมื่อนำฟางข้าวไปดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม พบว่าค่าความร้อนของฟางข้าวที่นำไปดูดซับที่เวลาใดๆไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการดูดซับ แต่ฟางข้าวที่นำไปดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการย้อมผ้า พบว่าค่าความร้อนของฟางข้าวมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคล้ายกับฟางข้าวแต่ละชนิดที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อม แสดงให้เห็นว่าโซเดียมคลอไรด์ที่ฟางดูดซับได้มีผลทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าได้ทำการศึกษาปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เตรียมเป็นวัสดุดูดซับ ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยย้อม ปริมาณเถ้าของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับจากสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม ปริมาณเถ้าของฟางที่เป็นวัสดุดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีปริมาณเถ้าที่ลดลงจากฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพส่วนฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำจะมีปริมาณเถ้าใกล้เคียงกับ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ และเมื่อนำมาทำการดูซับสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าด้วยการดูดซับสารละลายสีย้อมที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยย้อม ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลาในการดูดซับเวลาใดเวลาหนึ่งซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าในฟางข้าวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการดูดซับมวลสารละลายมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับดูดซับมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง และเมื่อนำฟางข้าวไปดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อม พบว่าปริมาณของฟางข้าวที่นำไปดูดซับที่เวลาใดๆไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการดูดซับ แต่ฟางข้าวที่นำไปดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการย้อมผ้า พบว่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคล้ายกับฟางข้าวแต่ละชนิดที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมผ้า แสดงให้เห็นว่าโซเดียมคลอไรด์ที่ฟางดูดซับได้มีผลต่อปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น

จากผลของการวิเคราะห์ค่าความร้อนและปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้า พบว่าสารช่วยย้อม (โซเดียมคลอไรด์) ส่งผลทำให้ค่าความร้อนของฟางข้าวลดลงในขณะที่ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น โดยฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบสซึ่งผ่านการดูดซับหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าที่ระยะเวลาสิ้นสุดกระบวน 120 นาที มีค่าความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 14.002 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.320×10^{-4} ตันน้ำมันดิบ เทียบเท่าไฟฟ้า 3.889 กิโลวัตต์ชั่วโมง อีกทั้งยังมีปริมาณเถ้าน้อยที่สุดร้อยละ 16.130 ซึ่งมีศักยภาพที่ใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพและผ่านการดูดซับ ดังนั้นฟางข้าวที่ดัดแปลงสภาพด้วยเบสซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อเป็นพลังงานทดแทน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้วัสดุดูดซับที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมในระดับครัวเรือนเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก ซึ่งอาจมีการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นนั้นๆ

2. การผลิตพลังงานจากชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีลักษณะรูปร่างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีในการผลิตพลังงานควรเลือกให้มีความเหมาะสม

3. งานวิจัยนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฟางข้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุดูดสารละลายสีย้อมหลังจากกระบวนการย้อมสีผ้าควรมีการศึกษาองค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในเชื้อเพลงอย่างละเอียด รวมทั้งการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ก่อนนำไปใช้งานจริง

4. งานวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ซึ่งสารที่มีผลต่อปริมาณเถ้าคือสารช่วยย้อมได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ ส่วนสารชนิดอื่นๆซึ่งเป็นส่วนประกอบในสีย้อมที่ฟางข้าวดูดซับได้นั้นยังไม่ทราบ เป็นที่น่าสนใจในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1]ภัทราภรณ์ แซ่เตี้ยว, Hata, M., Masami, F. และอัจฉริยา สุริยะวงค์. 2555. "การศึกษามลพิษในรูปอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ชีวมวลและถ่านหินลิกไนต์." **วารสารวิจัยพลังงาน**. ปีที่9(ฉบับที่ 3) : 47-58.

[2]ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.2553. **ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ พลังงานจากชีวมวล (Biomass energy).** กรุงเทพฯ : สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[3]Demirbas, A. 2003. **Combustion characteristic of different biomass fuels.** Konya Turkey : Department of Chemical Engineering Selcuk University.

[4]สุพรรษา มีถาวร. 2556. "การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าและผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5]เกษม จันทร์แก้ว. 2524. **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**. เล่ม1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6]Environmental Biology - Ecosystems. Energy Flow Through the Ecosystem. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.marietta.edu/~biol/biomes/ecosystems.htm. 2558.

[7]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.dede.go.th. 2559.

[8]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. "รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2558 (Thailand Alternative Energy Situation 2015)." ปีที่14(ฉบับที่14).

[9]Laohalidanond, K. 2007. "The production of synthetic diesel from biomass." **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**. Vol.6(no.1) : 127-139.

[10]Choorit, W. and Wisarnwan P. 2007. "Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent." **Electronic Journal of Biotechnology**. Vol. 10(no. 3) : 376-385.

[11]Hossain, S., Salleh, A., Boyce, A.N., Chowdhury, P. and Naqiuddin, M. 2008. "Biodiesel fuel production from algae as renewable energy." **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**. Vol. 4(no. 3) : 250-254.

[12] Shinya, Y. and Yukihiko, M. 2008. **Biomass Handbook**. Tokyo : The japan institute of Energy.

[13]Lee, J.S., Parameswaran, B., Lee, J.P. and Park, S.C. 2008. "Recent Developments of KeyTechnologies on Cellulosic Ethanol Production." **Journal of Scientific & Industrial Research**. Vol. 67 : 865-873.

[14]Eriksson, K.E.L. 1990. "Biotechnology in the pulp and paper industry." **Wood Science and Technology**. Vol. 24 : 79-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15]Goshadrou, A., Karimi, K. and Taherzadeh, MJ. 2011. "Bioethanol production from sweetsorghum bagasse by Mucor hiemalis." **Industrial Crops and Products.** Vol. 34 : 1219–1225.

[16]Reshamwala, S., Shawky, BT. and Dale, BE. 1995. "Ethanol production from enzymatic hydrolysates of AFEX-treated coastal Bermuda grass and switch grass." **Applied Biochemistry Biotechnology.** Vol. 51/52 : 43-55.

[17]Cheung, S.W. and Anderson, B.C. 1997. "Laboratory investigation of ethanol production from municipal primary wastewater." **Bioresource Technology.** Vol. 59 : 81–96.

[18]Boopathy, R. 1998. "Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors." **Bioresource Technology.** Vol. 64 : 1–6.

[19]วนิดา ปานอุทัย, นิคม แหลมสัก, สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล, วิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนา และประมุข ภระกูลสุขสถิตย์. 2553. "การผลิตเอทานอลจากไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาล และหมักพร้อมกัน." **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.** 392-400.

[20]Bastawde, K.B. 1992. "Xylan structure, microbial xylanases and their mode of action." **The World Journal of Microbiology and Biotechnology.** Vol. 8 : 355-368.

[21]Browing, B.L. 1963. **Method in wood chemistry.** New York and London : Interscience Publishers.

[22]Altıntas, M.M., U lgen K.O., Kirdar, B. O., Nsan, Z.I. and Oliver, S.G. 2002. "Improvement of ethanol production from starch by recombinant yeast through manipulation of environmental factors." **Enzyme Microb Technology.** Vol. 31 : 640–647.

[23]Cheng, K.K., J.A. Zhang., W.X. Ping., J.P. Ge., Y.J. Zhou., H.Z. Ling and J.M. Xu. 2008. "Sugarcane Bagasse Mild Alkaline/Oxidative Pretreatment for Ethanol Production by Alkaline Recycle Process." **Applied Biochemistry Biotechnology.** Vol. 151 : 43-50.

[24]Yudkin, M. and Offord, R. 1973. "Comprehensible biochemistry." American ed. Biochemistry Bibliography. 547-550.

[25]Hertzmark, D. State of the art lecture Biomass. In Hertzmark. 1982. "DI. US-ASEAN seminar on energy technology : biomass coal solar/wind energy planning." **LIPI Asean Institute of technology.** 62-84.

[26]วิสาขา ภู่จินดา. 2557. "รายงานวิจัยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมของการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน (Environmental Impact and Social Return of the Use of Biomass in Community and Household Levels)." สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[27]ธนภัทร สมสกุล ,ธีระชัย แดงสมุทร และวงศ์ชัยวัชร์ ธนาภิวัฒน์. 2556. "การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28]Chomcharn, A. Biomass uses, conversions, and productions in Thailand. In Hertzmark. 1982. "DI.US-ASEAN seminar on energy technology : biomass coal solar/wind energy planning." **LIPI] Asean Institute of Technology**. 207-222.

[29]สุวดี จางอิสระกุล ,อับดุลลาตีฟ ดอรอแม ,อาริษา เรืองมี และชญานุช แสงวิเชียร. 2552. "ชีวมวลทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานทดแทนโดยเปลือกลูกยางและหญ้าแฝก (Alternative Biomass to Producing Renewable Energy From Pericarp of Rubber Fruit and Vetiveria)." **การประชุมวิชาการเครือขายพลังงานแหงประเทศไทยครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.**

[30]IKA. How does a calorimeter work?. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://oxygenbomb calorimeter.com/how-does-a-calorimeter-work.htm. 2557.

[31]รายงานการใช้ชีวมวลในประเทศไทย2556. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : http://biomass.dede.go.th/ Symfony/web/map/district?year=2556/. 2559.

[32]ฟางข้าว และประโยชน์จากฟางข้าว. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : http://puechkaset.com/ฟางข้าว/. 2559.

[33]Fei Yao, Q.W., Yong, L. and Yanjun, X. 2008. "Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading." **industrial crops and products**. Vol. 28 : 63–72.

[34]วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และธราพงษ์ ศรีคงแก้ว. 2552.รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์. ผลของบีตาไซโคลเด็กซ์ตรินที่เชื่อมติดกับสีย้อมและมิโคนาโซลไนเตรทต่อสิ่งทอ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

[35]จินตนา จุลอุล. 2550. "การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไดเร็กท์จากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[36]สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2552. **แนวทางการผลิตสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสู่ตลาดสหภาพยุโรป**. กรุงเทพฯ.

[37]ลิลี่ โกศัยยานนท์. 2541. **คู่มือวิชาการสิ่งทอไทย**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[38]สารเคมีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.worldchemical.co.th/ page-38-สารเคมีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ.html. 2558.

[39]Debasish, S. and Amitava, B. 2010. "Adsorptive Mass Transport of Dye on Rice Husk Ash." **Journal of Water Resource and Protection**. Vol. 2 : 424-431.

[40]รุ่งนภา สุขสว่าง. 2550. "การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา.

[41]Ola, A., Ahmed, E.N., Amany, E.S. and Azzakhaled. 2005. "Use of rice husk for adsorption of direct dyes from aqueous solution: A case study of direct." **Egyptian journal of aquatic research.** Vol. 31 : 1110-0354.

[42]Sagnik, C., Shamik, C. and Papita, D. S. 2011. "Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk." **Carbohydrate polymer**. Vol. 86 : 1533-1541.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
14600	14456	14519	15869
14521	14298	14421	16002
14352	14663	14238	15975

ตารางที่ ก.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าว

การดัดแปลงสภาพฟางข้าว	เทียบกับการดัดแปลงสภาพฟางข้าว	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	19	374.705	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	99	374.705	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	1457	374.705	**
ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	80	374.705	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	1476	374.705	**
ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	1556	374.705	**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	14600	14456	14519	15869
	14521	14298	14421	16002
	14352	14663	14238	15975
5	13418	13464	13475	14628
	13482	13376	13512	14587
	13397	13425	13441	14631
10	13263	13238	13293	14446
	13283	13195	13265	14433
	13189	13257	13252	14396
20	12986	12981	13093	14135
	12935	13048	13116	14106
	13059	12945	13088	14121
30	12929	12982	12935	14078
	12918	12953	12875	14092
	12913	12976	12908	14081
40	12796	12880	12980	13912
	12845	12789	12997	14078
	12803	12816	12864	14068
60	12707	12727	13009	13965
	12876	12802	12954	14012
	12698	12854	12823	13975
80	12965	12734	13128	14075
	12645	12895	12901	13846
	12704	12766	12812	13951
100	12806	12880	12888	13975
	12854	12711	12766	14021
	12654	12928	13103	14051
120	12844	12903	12889	14073
	12809	12815	13079	14006
	12765	12844	12935	13926

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองเป็นสารดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	1059	203.359	**	1050	191.490	**	917	235.783	**	1334	138.959	**
	10	1246	203.359	**	1242	191.490	**	1123	235.783	**	1524	138.959	**
	20	1498	203.359	**	1481	191.490	**	1294	235.783	**	1828	138.959	**
	30	1571	203.359	**	1502	191.490	**	1487	235.783	**	1865	138.959	**
	40	1676	203.359	**	1644	191.490	**	1446	235.783	**	1930	138.959	**
	60	1731	203.359	**	1678	191.490	**	1464	235.783	**	1965	138.959	**
	80	1720	203.359	**	1674	191.490	**	1446	235.783	**	1992	138.959	**
	100	1720	203.359	**	1632	191.490	**	1474	235.783	**	1933	138.959	**
	120	1685	203.359	**	1618	191.490	**	1425	235.783	**	1947	138.959	**
5	10	187	203.359	**	192	191.490	**	206	235.783	NS	190	138.959	**
	20	439	203.359	**	431	191.490	**	377	235.783	**	494	138.959	**
	30	512	203.359	**	452	191.490	**	570	235.783	**	531	138.959	**
	40	617	203.359	**	594	191.490	**	529	235.783	**	596	138.959	**
	60	672	203.359	**	628	191.490	**	547	235.783	**	631	138.959	**
	80	661	203.359	**	624	191.490	**	529	235.783	**	658	138.959	**
	100	661	203.359	**	582	191.490	**	557	235.783	**	599	138.959	**
	120	626	203.359	**	568	191.490	**	508	235.783	**	613	138.959	**
10	20	252	203.359	**	239	191.490	**	171	235.783	NS	304	138.959	**
	30	325	203.359	**	260	191.490	**	364	235.783	**	341	138.959	**
	40	430	203.359	**	402	191.490	**	323	235.783	**	406	138.959	**
	60	485	203.359	**	436	191.490	**	341	235.783	**	441	138.959	**
	80	474	203.359	**	432	191.490	**	323	235.783	**	468	138.959	**
	100	474	203.359	**	390	191.490	**	351	235.783	**	409	138.959	**
	120	439	203.359	**	376	191.490	**	302	235.783	**	423	138.959	**

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	73	203.359	NS	21	191.490	NS	193	235.783	NS	37	138.959	NS
	40	178	203.359	NS	163	191.490	NS	152	235.783	NS	102	138.959	NS
	60	233	203.359	**	197	191.490	**	170	235.783	NS	137	138.959	NS
	80	222	203.359	**	193	191.490	**	152	235.783	NS	164	138.959	**
	100	222	203.359	**	151	191.490	NS	180	235.783	NS	105	138.959	NS
	120	187	203.359	NS	137	191.490	NS	131	235.783	NS	119	138.959	NS
30	40	105	203.359	NS	142	191.490	NS	41	235.783	NS	65	138.959	NS
	60	160	203.359	NS	176	191.490	NS	23	235.783	NS	100	138.959	NS
	80	149	203.359	NS	172	191.490	NS	41	235.783	NS	127	138.959	NS
	100	149	203.359	NS	130	191.490	NS	13	235.783	NS	68	138.959	NS
	120	114	203.359	NS	116	191.490	NS	62	235.783	NS	82	138.959	NS
40	60	55	203.359	NS	34	191.490	NS	18	235.783	NS	35	138.959	NS
	80	44	203.359	NS	30	191.490	NS	0	235.783	NS	62	138.959	NS
	100	44	203.359	NS	12	191.490	NS	28	235.783	NS	3	138.959	NS
	120	9	203.359	NS	26	191.490	NS	21	235.783	NS	17	138.959	NS
60	80	11	203.359	NS	4	191.490	NS	18	235.783	NS	27	138.959	NS
	100	11	203.359	NS	46	191.490	NS	10	235.783	NS	32	138.959	NS
	120	46	203.359	NS	60	191.490	NS	39	235.783	NS	18	138.959	NS
80	100	0	203.359	NS	42	191.490	NS	28	235.783	NS	59	138.959	NS
	120	35	203.359	NS	56	191.490	NS	21	235.783	NS	45	138.959	NS
100	120	35	203.359	NS	14	191.490	NS	49	235.783	NS	14	138.959	NS

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	14600	14456	14519	15869
	14521	14298	14421	16002
	14352	14663	14238	15975
5	14442	14521	14486	15967
	14378	14461	14401	15975
	14432	14397	14364	16008
10	14486	14381	14469	15977
	14521	14416	14388	16031
	14407	14376	14464	16011
20	14356	14445	14408	16018
	14521	14463	14601	15938
	14475	14342	14324	16009
30	14359	14401	14398	15976
	14493	14454	14386	16004
	14406	14375	14523	15944
40	14381	14488	14393	16055
	14484	14401	14535	16011
	14428	14286	14421	15967
60	14348	14420	14380	15974
	14498	14530	14399	16009
	14504	14322	14402	16037
80	14397	14399	14310	16003
	14467	14501	14528	16039
	14336	14322	14391	15958
100	14431	14524	14366	16002
	14423	14466	14336	15973
	14371	14328	14456	16021
120	14481	14341	14538	16017
	14402	14469	14397	16045
	14359	14560	14467	15983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	74	167.795	NS	12	226.541	NS	24	206.541	NS	34	90.294	NS
	10	20	167.795	NS	81	226.541	NS	47	206.541	NS	57	90.294	NS
	20	40	167.795	NS	55	226.541	NS	51	206.541	NS	39	90.294	NS
	30	72	167.795	NS	62	226.541	NS	43	206.541	NS	26	90.294	NS
	40	60	167.795	NS	80	226.541	NS	57	206.541	NS	62	90.294	NS
	60	41	167.795	NS	48	226.541	NS	1	206.541	NS	58	90.294	NS
	80	91	167.795	NS	65	226.541	NS	17	206.541	NS	51	90.294	NS
	100	83	167.795	NS	33	226.541	NS	7	206.541	NS	50	90.294	NS
	120	77	167.795	NS	15	226.541	NS	74	206.541	NS	66	90.294	NS
5	10	54	167.795	NS	69	226.541	NS	23	206.541	NS	23	90.294	NS
	20	34	167.795	NS	43	226.541	NS	27	206.541	NS	5	90.294	NS
	30	2	167.795	NS	50	226.541	NS	19	206.541	NS	8	90.294	NS
	40	14	167.795	NS	68	226.541	NS	33	206.541	NS	28	90.294	NS
	60	33	167.795	NS	36	226.541	NS	23	206.541	NS	24	90.294	NS
	80	17	167.795	NS	53	226.541	NS	7	206.541	NS	17	90.294	NS
	100	9	167.795	NS	21	226.541	NS	31	206.541	NS	16	90.294	NS
	120	3	167.795	NS	3	226.541	NS	50	206.541	NS	32	90.294	NS
10	20	20	167.795	NS	26	226.541	NS	4	206.541	NS	18	90.294	NS
	30	52	167.795	NS	19	226.541	NS	4	206.541	NS	31	90.294	NS
	40	40	167.795	NS	1	226.541	NS	10	206.541	NS	5	90.294	NS
	60	21	167.795	NS	33	226.541	NS	46	206.541	NS	1	90.294	NS
	80	71	167.795	NS	16	226.541	NS	30	206.541	NS	6	90.294	NS
	100	63	167.795	NS	48	226.541	NS	54	206.541	NS	7	90.294	NS
	120	57	167.795	NS	66	226.541	NS	27	206.541	NS	9	90.294	NS

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	32	167.795	NS	7	226.541	NS	8	206.541	NS	13	90.294	NS
	40	20	167.795	NS	25	226.541	NS	6	206.541	NS	23	90.294	NS
	60	1	167.795	NS	7	226.541	NS	50	206.541	NS	19	90.294	NS
	80	51	167.795	NS	10	226.541	NS	34	206.541	NS	12	90.294	NS
	100	43	167.795	NS	22	226.541	NS	58	206.541	NS	11	90.294	NS
	120	37	167.795	NS	40	226.541	NS	23	206.541	NS	27	90.294	NS
30	40	12	167.795	NS	18	226.541	NS	14	206.541	NS	36	90.294	NS
	60	31	167.795	NS	14	226.541	NS	42	206.541	NS	32	90.294	NS
	80	19	167.795	NS	3	226.541	NS	26	206.541	NS	25	90.294	NS
	100	11	167.795	NS	29	226.541	NS	50	206.541	NS	24	90.294	NS
	120	5	167.795	NS	47	226.541	NS	31	206.541	NS	40	90.294	NS
40	60	19	167.795	NS	32	226.541	NS	56	206.541	NS	4	90.294	NS
	80	31	167.795	NS	15	226.541	NS	40	206.541	NS	11	90.294	NS
	100	23	167.795	NS	47	226.541	NS	64	206.541	NS	12	90.294	NS
	120	17	167.795	NS	65	226.541	NS	17	206.541	NS	4	90.294	NS
60	80	50	167.795	NS	17	226.541	NS	16	206.541	NS	7	90.294	NS
	100	42	167.795	NS	15	226.541	NS	8	206.541	NS	8	90.294	NS
	120	36	167.795	NS	33	226.541	NS	73	206.541	NS	8	90.294	NS
80	100	8	167.795	NS	32	226.541	NS	24	206.541	NS	1	90.294	NS
	120	14	167.795	NS	50	226.541	NS	57	206.541	NS	15	90.294	NS
100	120	6	167.795	NS	18	226.541	NS	81	206.541	NS	16	90.294	NS

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความร้อนของวัสดุดูดซับ (จูลต่อกรัม)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	14600	14456	14519	15869
	14521	14298	14421	16002
	14352	14663	14238	15975
5	13538	13462	13435	14686
	13384	13453	13396	14675
	13455	13497	13464	14597
10	13267	13315	13246	14421
	13215	13277	13286	14376
	13342	13261	13279	14430
20	13016	12976	13084	14195
	12984	12985	12967	14101
	12965	13001	12913	14088
30	12873	12864	12833	14094
	12804	12817	12893	14052
	12864	12902	12885	13987
40	12808	12897	12902	13947
	12889	12876	12869	13975
	12911	12864	12879	13899
60	12811	12802	12939	13991
	12908	12876	12841	13946
	12879	12865	12806	13957
80	12830	12764	12801	13992
	12876	12907	12897	13932
	12819	12874	12875	13897
100	12927	12816	12889	13856
	12830	12908	12856	13981
	12817	12870	12896	14004
120	12856	12739	12863	13848
	12855	12886	12875	14015
	12804	12935	12834	13924

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าความร้อนของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	1032	145.016	**	1001	175.086	**	961	145.317	**	1296	131.649	**
	10	1216	145.016	**	1188	175.086	**	1123	145.317	**	1540	131.649	**
	20	1503	145.016	**	1485	175.086	**	1405	145.317	**	1821	131.649	**
	30	1644	145.016	**	1611	175.086	**	1523	145.317	**	1905	131.649	**
	40	1622	145.016	**	1593	175.086	**	1510	145.317	**	2009	131.649	**
	60	1625	145.016	**	1624	175.086	**	1531	145.317	**	1984	131.649	**
	80	1649	145.016	**	1624	175.086	**	1535	145.317	**	2009	131.649	**
	100	1633	145.016	**	1607	175.086	**	1513	145.317	**	2002	131.649	**
	120	1653	145.016	**	1619	175.086	**	1536	145.317	**	2020	131.649	**
5	10	184	145.016	**	187	175.086	**	162	145.317	**	244	131.649	**
	20	471	145.016	**	484	175.086	**	444	145.317	**	525	131.649	**
	30	612	145.016	**	610	175.086	**	562	145.317	**	609	131.649	**
	40	590	145.016	**	592	175.086	**	549	145.317	**	713	131.649	**
	60	593	145.016	**	623	175.086	**	570	145.317	**	688	131.649	**
	80	617	145.016	**	623	175.086	**	574	145.317	**	713	131.649	**
	100	601	145.016	**	606	175.086	**	552	145.317	**	706	131.649	**
	120	621	145.016	**	618	175.086	**	575	145.317	**	724	131.649	**
10	20	287	145.016	**	297	175.086	**	282	145.317	**	281	131.649	**
	30	428	145.016	**	423	175.086	**	400	145.317	**	365	131.649	**
	40	406	145.016	**	405	175.086	**	387	145.317	**	469	131.649	**
	60	409	145.016	**	436	175.086	**	408	145.317	**	444	131.649	**
	80	433	145.016	**	436	175.086	**	412	145.317	**	469	131.649	**
	100	417	145.016	**	419	175.086	**	390	145.317	**	462	131.649	**
	120	437	145.016	**	431	175.086	**	413	145.317	**	480	131.649	**

ตารางที่ ก.8 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	141	145.016	NS	126	175.086	NS	118	145.317	NS	84	131.649	NS
	40	119	145.016	NS	108	175.086	NS	105	145.317	NS	188	131.649	**
	60	122	145.016	NS	139	175.086	NS	126	145.317	NS	163	131.649	**
	80	146	145.016	**	139	175.086	NS	130	145.317	NS	188	131.649	**
	100	130	145.016	NS	122	175.086	NS	108	145.317	NS	181	131.649	**
	120	150	145.016	**	134	175.086	NS	131	145.317	NS	199	131.649	**
30	40	22	145.016	NS	18	175.086	NS	13	145.317	NS	104	131.649	**
	60	19	145.016	NS	13	175.086	NS	8	145.317	NS	79	131.649	NS
	80	5	145.016	NS	13	175.086	NS	12	145.317	NS	104	131.649	NS
	100	11	145.016	NS	4	175.086	NS	10	145.317	NS	97	131.649	NS
	120	9	145.016	NS	8	175.086	NS	13	145.317	NS	115	131.649	NS
40	60	3	145.016	NS	31	175.086	NS	21	145.317	NS	25	131.649	NS
	80	27	145.016	NS	31	175.086	NS	25	145.317	NS	0	131.649	NS
	100	11	145.016	NS	14	175.086	NS	3	145.317	NS	7	131.649	NS
	120	31	145.016	NS	26	175.086	NS	26	145.317	NS	11	131.649	NS
60	80	24	145.016	NS	0	175.086	NS	4	145.317	NS	25	131.649	NS
	100	8	145.016	NS	17	175.086	NS	18	145.317	NS	18	131.649	NS
	120	28	145.016	NS	5	175.086	NS	5	145.317	NS	36	131.649	NS
80	100	16	145.016	NS	17	175.086	NS	22	145.317	NS	7	131.649	NS
	120	4	145.016	NS	5	175.086	NS	1	145.317	NS	11	131.649	NS
100	120	20	145.016	NS	12	175.086	NS	23	145.317	NS	18	131.649	NS

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (%)			
ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
17.25	16.57	17.95	5.988
17.28	16.97	17.94	6.16
16.63	17.43	17.53	6.082

ตารางที่ ข.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าว

การดัดแปลงสภาพฟางข้าว	เทียบกับการดัดแปลงสภาพฟางข้าว	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	0.064	0.849	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	0.753	0.849	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	10.977	0.849	**
ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	0.817	0.849	NS
	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	10.913	0.849	**
ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส	11.730	0.849	**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าว หลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	17.248	16.566	17.946	5.988
	17.282	16.972	17.943	6.159
	16.633	17.433	17.531	6.081
5	22.596	23.203	23.200	11.838
	21.956	21.188	21.713	13.134
	22.709	22.893	22.931	11.277
10	23.705	22.722	23.625	12.761
	22.277	22.596	22.727	13.492
	22.826	22.955	22.807	13.021
20	23.099	23.865	23.823	14.172
	24.179	22.736	23.984	14.411
	23.728	23.738	23.932	14.083
30	24.083	24.233	24.404	15.210
	24.580	24.327	24.191	15.618
	24.378	24.083	24.650	14.697
40	24.475	24.575	24.775	15.868
	24.975	24.227	24.850	15.476
	24.353	24.305	24.554	15.407
60	24.630	25.000	24.901	16.074
	24.852	25.024	25.347	15.498
	24.950	24.900	25.273	16.401
80	24.702	25.149	24.901	16.369
	25.024	25.124	25.648	16.401
	25.442	25.221	25.347	15.852
100	25.246	24.777	25.098	16.468
	25.297	25.422	25.395	16.103
	24.850	25.423	25.548	16.019
120	25.700	25.249	25.498	16.200
	25.024	25.572	25.149	16.119
	25.000	25.124	25.618	16.071

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	5.365	0.947	**	5.437	1.046	**	4.807	0.846	**	6.006	0.963	**
	10	5.881	0.947	**	5.767	1.046	**	5.246	0.846	**	7.015	0.963	**
	20	6.614	0.947	**	6.456	1.046	**	6.106	0.846	**	8.147	0.963	**
	30	7.292	0.947	**	7.223	1.046	**	6.608	0.846	**	9.099	0.963	**
	40	7.546	0.947	**	7.378	1.046	**	6.919	0.846	**	9.507	0.963	**
	60	7.756	0.947	**	7.984	1.046	**	7.367	0.846	**	9.915	0.963	**
	80	8.001	0.947	**	8.174	1.046	**	7.492	0.846	**	10.131	0.963	**
	100	8.076	0.947	**	8.216	1.046	**	7.540	0.846	**	10.120	0.963	**
	120	8.186	0.947	**	8.324	1.046	**	7.614	0.846	**	10.053	0.963	**
5	10	0.515	0.947	NS	0.329	1.046	NS	0.438	0.846	NS	1.008	0.963	**
	20	1.248	0.947	**	1.018	1.046	NS	1.298	0.846	**	2.140	0.963	**
	30	1.926	0.947	**	1.785	1.046	**	1.801	0.846	**	3.092	0.963	**
	40	2.180	0.947	**	1.940	1.046	**	2.112	0.846	**	3.500	0.963	**
	60	2.390	0.947	**	2.546	1.046	**	2.559	0.846	**	3.908	0.963	**
	80	2.635	0.947	**	2.736	1.046	**	2.684	0.846	**	4.124	0.963	**
	100	2.710	0.947	**	2.778	1.046	**	2.732	0.846	**	4.113	0.963	**
	120	2.821	0.947	**	2.886	1.046	**	2.807	0.846	**	4.046	0.963	**
10	20	0.732	0.947	NS	0.688	1.046	NS	0.860	0.846	**	1.132	0.963	**
	30	1.410	0.947	**	1.456	1.046	**	1.362	0.846	**	2.083	0.963	**
	40	1.665	0.947	**	1.611	1.046	**	1.673	0.846	**	2.492	0.963	**
	60	1.874	0.947	**	2.216	1.046	**	2.120	0.846	**	2.899	0.963	**
	80	2.119	0.947	**	2.406	1.046	**	2.245	0.846	**	3.115	0.963	**
	100	2.195	0.947	**	2.449	1.046	**	2.294	0.846	**	3.105	0.963	**
	120	2.305	0.947	**	2.557	1.046	**	2.368	0.846	**	3.038	0.963	**

ตารางที่ ข.4 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	0.678	0.947	NS	0.767	1.046	NS	0.502	0.846	NS	0.951	0.963	NS
	40	0.932	0.947	NS	0.922	1.046	NS	0.813	0.846	NS	1.360	0.963	**
	60	1.141	0.947	**	1.528	1.046	**	1.260	0.846	**	1.767	0.963	**
	80	1.387	0.947	**	1.718	1.046	**	1.385	0.846	**	1.983	0.963	**
	100	1.462	0.947	**	1.760	1.046	**	1.434	0.846	**	1.973	0.963	**
	120	1.572	0.947	**	1.868	1.046	**	1.508	0.846	**	1.906	0.963	**
30	40	0.254	0.947	NS	0.154	1.046	NS	0.311	0.846	NS	0.408	0.963	NS
	60	0.463	0.947	NS	0.760	1.046	NS	0.758	0.846	NS	0.816	0.963	NS
	80	0.709	0.947	NS	0.950	1.046	NS	0.883	0.846	**	1.032	0.963	**
	100	0.784	0.947	NS	0.993	1.046	NS	0.931	0.846	**	1.021	0.963	**
	120	0.894	0.947	NS	1.100	1.046	**	1.006	0.846	**	0.954	0.963	NS
40	60	0.209	0.947	NS	0.605	1.046	NS	0.447	0.846	NS	0.407	0.963	NS
	80	0.454	0.947	NS	0.795	1.046	NS	0.572	0.846	NS	0.623	0.963	NS
	100	0.529	0.947	NS	0.838	1.046	NS	0.620	0.846	NS	0.613	0.963	NS
	120	0.640	0.947	NS	0.946	1.046	NS	0.695	0.846	NS	0.546	0.963	NS
60	80	0.245	0.947	NS	0.189	1.046	NS	0.125	0.846	NS	0.216	0.963	NS
	100	0.320	0.947	NS	0.232	1.046	NS	0.173	0.846	NS	0.205	0.963	NS
	120	0.430	0.947	NS	0.340	1.046	NS	0.247	0.846	NS	0.138	0.963	NS
80	100	0.075	0.947	NS	0.042	1.046	NS	0.048	0.846	NS	0.010	0.963	NS
	120	0.185	0.947	NS	0.150	1.046	NS	0.122	0.846	NS	0.077	0.963	NS
100	120	0.110	0.947	NS	0.107	1.046	NS	0.074	0.846	NS	0.066	0.963	NS

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	17.248	16.566	17.946	5.988
	17.282	16.972	17.943	6.159
	16.633	17.433	17.531	6.081
5	17.296	17.443	17.647	5.864
	16.666	17.114	16.600	5.671
	17.165	16.766	17.828	6.231
10	17.279	16.251	17.482	5.994
	16.983	16.848	16.932	6.342
	16.964	17.810	17.029	5.671
20	17.529	16.566	17.313	6.075
	17.330	16.815	17.182	5.666
	16.666	17.547	17.391	6.150
30	17.111	16.983	17.477	5.876
	16.932	16.880	17.165	5.671
	17.046	17.031	16.832	6.281
40	17.080	17.082	16.964	5.776
	17.046	17.061	17.213	6.480
	16.849	16.966	17.148	5.489
60	16.898	16.880	17.248	5.958
	17.165	17.313	17.031	5.671
	17.029	16.699	16.949	6.274
80	17.014	17.248	16.949	6.132
	17.097	16.866	17.231	5.952
	16.815	16.915	17.248	6.075
100	17.048	17.231	17.365	5.771
	17.114	16.765	17.248	5.853
	16.437	16.998	17.231	6.330
120	17.065	16.533	17.495	6.093
	17.296	17.114	16.450	5.940
	16.616	17.279	17.465	6.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	0.012	0.657	NS	0.117	0.912	NS	0.448	0.779	NS	0.153	0.666	NS
	10	0.020	0.657	NS	0.020	0.912	NS	0.659	0.779	NS	0.073	0.666	NS
	20	0.120	0.657	NS	0.014	0.912	NS	0.511	0.779	NS	0.112	0.666	NS
	30	0.024	0.657	NS	0.025	0.912	NS	0.648	0.779	NS	0.133	0.666	NS
	40	0.062	0.657	NS	0.045	0.912	NS	0.698	0.779	NS	0.161	0.666	NS
	60	0.023	0.657	NS	0.026	0.912	NS	0.730	0.779	NS	0.108	0.666	NS
	80	0.078	0.657	NS	0.019	0.912	NS	0.664	0.779	NS	0.023	0.666	NS
	100	0.188	0.657	NS	0.007	0.912	NS	0.525	0.779	NS	0.091	0.666	NS
	120	0.061	0.657	NS	0.015	0.912	NS	0.670	0.779	NS	0.047	0.666	NS
5	10	0.032	0.657	NS	0.137	0.912	NS	0.210	0.779	NS	0.080	0.666	NS
	20	0.132	0.657	NS	0.131	0.912	NS	0.062	0.779	NS	0.041	0.666	NS
	30	0.012	0.657	NS	0.142	0.912	NS	0.200	0.779	NS	0.020	0.666	NS
	40	0.050	0.657	NS	0.071	0.912	NS	0.249	0.779	NS	0.007	0.666	NS
	60	0.011	0.657	NS	0.143	0.912	NS	0.282	0.779	NS	0.045	0.666	NS
	80	0.066	0.657	NS	0.098	0.912	NS	0.215	0.779	NS	0.130	0.666	NS
	100	0.176	0.657	NS	0.109	0.912	NS	0.077	0.779	NS	0.062	0.666	NS
	120	0.049	0.657	NS	0.132	0.912	NS	0.221	0.779	NS	0.106	0.666	NS
10	20	0.100	0.657	NS	0.006	0.912	NS	0.147	0.779	NS	0.038	0.666	NS
	30	0.045	0.657	NS	0.005	0.912	NS	0.010	0.779	NS	0.059	0.666	NS
	40	0.083	0.657	NS	0.066	0.912	NS	0.039	0.779	NS	0.087	0.666	NS
	60	0.044	0.657	NS	0.005	0.912	NS	0.071	0.779	NS	0.034	0.666	NS
	80	0.099	0.657	NS	0.039	0.912	NS	0.005	0.779	NS	0.050	0.666	NS
	100	0.208	0.657	NS	0.028	0.912	NS	0.133	0.779	NS	0.018	0.666	NS
	120	0.082	0.657	NS	0.005	0.912	NS	0.011	0.779	NS	0.025	0.666	NS

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	0.145	0.657	NS	0.011	0.912	NS	0.137	0.779	NS	0.021	0.666	NS
	40	0.183	0.657	NS	0.060	0.912	NS	0.186	0.779	NS	0.048	0.666	NS
	60	0.144	0.657	NS	0.012	0.912	NS	0.219	0.779	NS	0.004	0.666	NS
	80	0.199	0.657	NS	0.033	0.912	NS	0.153	0.779	NS	0.089	0.666	NS
	100	0.309	0.657	NS	0.021	0.912	NS	0.014	0.779	NS	0.020	0.666	NS
	120	0.182	0.657	NS	0.001	0.912	NS	0.158	0.779	NS	0.064	0.666	NS
30	40	0.038	0.657	NS	0.071	0.912	NS	0.049	0.779	NS	0.027	0.666	NS
	60	0.001	0.657	NS	0.000	0.912	NS	0.082	0.779	NS	0.025	0.666	NS
	80	0.054	0.657	NS	0.044	0.912	NS	0.015	0.779	NS	0.110	0.666	NS
	100	0.163	0.657	NS	0.033	0.912	NS	0.122	0.779	NS	0.041	0.666	NS
	120	0.037	0.657	NS	0.010	0.912	NS	0.021	0.779	NS	0.085	0.666	NS
40	60	0.039	0.657	NS	0.072	0.912	NS	0.032	0.779	NS	0.052	0.666	NS
	80	0.016	0.657	NS	0.026	0.912	NS	0.033	0.779	NS	0.138	0.666	NS
	100	0.125	0.657	NS	0.038	0.912	NS	0.172	0.779	NS	0.069	0.666	NS
	120	0.001	0.657	NS	0.061	0.912	NS	0.028	0.779	NS	0.113	0.666	NS
60	80	0.055	0.657	NS	0.045	0.912	NS	0.066	0.779	NS	0.085	0.666	NS
	100	0.164	0.657	NS	0.033	0.912	NS	0.205	0.779	NS	0.016	0.666	NS
	120	0.038	0.657	NS	0.011	0.912	NS	0.060	0.779	NS	0.060	0.666	NS
80	100	0.109	0.657	NS	0.011	0.912	NS	0.138	0.779	NS	0.068	0.666	NS
	120	0.017	0.657	NS	0.034	0.912	NS	0.005	0.779	NS	0.024	0.666	NS
100	120	0.126	0.657	NS	0.022	0.912	NS	0.144	0.779	NS	0.043	0.666	NS

ตารางที่ ข.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	17.248	16.566	17.946	5.988
	17.282	16.972	17.943	6.159
	16.633	17.433	17.531	6.081
5	23.558	22.862	22.954	11.694
	22.978	22.432	22.654	11.829
	20.895	22.519	23.061	12.437
10	22.596	22.564	23.253	12.362
	22.321	22.808	22.718	12.067
	22.554	22.931	22.893	12.987
20	22.916	23.814	24.003	14.228
	23.053	22.365	23.833	13.690
	23.681	24.079	23.852	12.759
30	24.825	24.179	24.501	14.328
	24.051	24.501	24.378	14.697
	24.203	24.075	24.777	15.254
40	24.378	24.227	25.074	15.384
	24.402	25.000	24.776	14.413
	24.751	24.950	24.353	15.674
60	24.426	24.652	24.383	15.469
	24.404	24.875	25.447	15.308
	24.802	25.049	24.900	16.815
80	24.526	24.925	24.776	15.968
	25.296	24.900	25.298	16.154
	25.298	25.249	25.149	16.007
100	25.717	24.776	24.950	16.385
	25.149	25.848	25.671	16.003
	24.327	24.777	25.224	16.267
120	25.774	25.745	25.274	16.202
	24.630	25.697	25.796	16.566
	25.671	24.876	26.173	16.051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD ระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลค่าปริมาณเถ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
0	5	5.422	1.399	**	5.614	1.055	**	5.082	0.753	**	5.910	1.137	**
	10	5.436	1.399	**	5.777	1.055	**	5.148	0.753	**	6.395	1.137	**
	20	6.162	1.399	**	6.428	1.055	**	6.089	0.753	**	7.483	1.137	**
	30	7.305	1.399	**	7.261	1.055	**	6.745	0.753	**	8.683	1.137	**
	40	7.455	1.399	**	7.734	1.055	**	6.927	0.753	**	9.081	1.137	**
	60	7.489	1.399	**	7.868	1.055	**	7.103	0.753	**	9.787	1.137	**
	80	7.985	1.399	**	8.034	1.055	**	7.267	0.753	**	9.967	1.137	**
	100	8.009	1.399	**	8.142	1.055	**	7.474	0.753	**	10.142	1.137	**
	120	8.304	1.399	**	8.448	1.055	**	7.941	0.753	**	10.197	1.137	**
5	10	0.013	1.399	NS	0.163	1.055	NS	0.065	0.753	NS	0.485	1.137	NS
	20	0.739	1.399	NS	0.814	1.055	NS	1.006	0.753	**	1.572	1.137	**
	30	1.882	1.399	**	1.647	1.055	**	1.662	0.753	**	2.772	1.137	**
	40	2.033	1.399	**	2.120	1.055	**	1.844	0.753	**	3.170	1.137	**
	60	2.067	1.399	**	2.253	1.055	**	2.020	0.753	**	3.877	1.137	**
	80	2.563	1.399	**	2.420	1.055	**	2.184	0.753	**	4.056	1.137	**
	100	2.587	1.399	**	2.528	1.055	**	2.391	0.753	**	4.231	1.137	**
	120	2.881	1.399	**	2.834	1.055	**	2.858	0.753	**	4.286	1.137	**
10	20	0.726	1.399	NS	0.651	1.055	NS	0.941	0.753	**	1.087	1.137	NS
	30	1.869	1.399	**	1.484	1.055	**	1.597	0.753	**	2.287	1.137	**
	40	2.019	1.399	**	1.957	1.055	**	1.779	0.753	**	2.685	1.137	**
	60	2.053	1.399	**	2.090	1.055	**	1.955	0.753	**	3.392	1.137	**
	80	2.549	1.399	**	2.257	1.055	**	2.119	0.753	**	3.571	1.137	**
	100	2.573	1.399	**	2.365	1.055	**	2.326	0.753	**	3.746	1.137	**
	120	2.867	1.399	**	2.671	1.055	**	2.793	0.753	**	3.801	1.137	**

ตารางที่ ข.8 (ต่อ)

เวลาการดูดซับ (นาที)	เปรียบเทียบกับที่เวลา (นาที)	ประเภทของฟางข้าว											
		ไม่ดัดแปลงสภาพ			ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ			ดัดแปลงสภาพด้วยกรด			ดัดแปลงสภาพด้วยเบส		
		ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป	ค่าความต่าง	ค่า LSD	ข้อสรุป
20	30	1.142	1.399	NS	0.832	1.055	NS	0.655	0.753	NS	1.200	1.137	**
	40	1.293	1.399	NS	1.306	1.055	**	0.838	0.753	**	1.597	1.137	**
	60	1.327	1.399	NS	1.439	1.055	**	1.013	0.753	**	2.304	1.137	**
	80	1.823	1.399	**	1.605	1.055	**	1.178	0.753	**	2.483	1.137	**
	100	1.847	1.399	**	1.714	1.055	**	1.385	0.753	**	2.659	1.137	**
	120	2.141	1.399	**	2.019	1.055	**	1.852	0.753	**	2.714	1.137	**
30	40	0.150	1.399	NS	0.473	1.055	NS	0.182	0.753	NS	0.397	1.137	NS
	60	0.184	1.399	NS	0.606	1.055	NS	0.358	0.753	NS	1.104	1.137	NS
	80	0.680	1.399	NS	0.772	1.055	NS	0.522	0.753	NS	1.283	1.137	**
	100	0.704	1.399	NS	0.881	1.055	NS	0.729	0.753	NS	1.459	1.137	**
	120	0.998	1.399	NS	1.187	1.055	**	1.196	0.753	**	1.514	1.137	**
40	60	0.034	1.399	NS	0.133	1.055	NS	0.175	0.753	NS	0.706	1.137	NS
	80	0.529	1.399	NS	0.299	1.055	NS	0.339	0.753	NS	0.886	1.137	NS
	100	0.554	1.399	NS	0.408	1.055	NS	0.547	0.753	NS	1.061	1.137	NS
	120	0.848	1.399	NS	0.713	1.055	NS	1.013	0.753	**	1.116	1.137	NS
60	80	0.495	1.399	NS	0.166	1.055	NS	0.164	0.753	NS	0.179	1.137	NS
	100	0.520	1.399	NS	0.274	1.055	NS	0.371	0.753	NS	0.354	1.137	NS
	120	0.814	1.399	NS	0.580	1.055	NS	0.838	0.753	**	0.409	1.137	NS
80	100	0.024	1.399	NS	0.108	1.055	NS	0.207	0.753	NS	0.175	1.137	NS
	120	0.318	1.399	NS	0.414	1.055	NS	0.673	0.753	NS	0.230	1.137	NS
100	120	0.294	1.399	NS	0.305	1.055	NS	0.466	0.753	NS	0.054	1.137	NS

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	1.382	1.523	1.291	1.417
	1.396	1.434	1.380	1.357
	1.420	1.449	1.415	1.509
5	1.501	1.460	1.357	1.090
	1.655	1.347	1.622	1.706
	0.917	1.306	1.091	1.828
10	1.142	1.717	1.450	1.830
	1.656	1.739	1.131	1.449
	1.563	1.040	1.355	1.491
20	1.696	1.447	1.408	1.378
	1.592	1.574	1.316	1.522
	1.304	1.223	1.365	1.439
30	1.501	1.070	1.346	1.214
	1.549	1.418	1.234	1.316
	0.856	1.255	1.162	1.397
40	1.584	1.306	1.409	1.458
	1.305	1.584	1.357	1.582
	1.142	1.378	1.346	1.622
60	1.071	1.522	1.787	1.447
	1.571	1.214	1.213	1.449
	1.377	1.337	1.183	1.665
80	1.408	1.655	1.947	1.326
	1.409	1.645	1.265	1.789
	1.378	1.131	1.315	1.265
100	1.244	1.439	1.316	1.470
	1.673	1.450	1.234	1.593
	1.726	1.183	1.347	1.409
120	1.357	1.408	1.522	1.223
	1.460	1.507	1.346	1.727
	1.596	1.634	1.440	1.769

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	1.382	1.523	1.291	1.417
	1.396	1.434	1.380	1.357
	1.420	1.449	1.415	1.509
5	1.571	1.594	1.491	1.140
	1.921	1.480	1.386	1.799
	0.836	1.294	1.234	1.514
10	1.254	1.694	1.418	1.625
	1.759	1.645	1.201	1.450
	1.470	1.152	1.152	1.470
20	1.378	1.438	1.285	1.275
	1.470	1.860	1.346	1.480
	1.101	1.040	1.152	1.428
30	1.357	1.120	1.306	1.071
	1.429	1.254	1.489	1.183
	1.091	1.244	1.131	1.355
40	1.419	1.293	1.265	1.295
	1.121	1.285	1.223	1.305
	1.111	1.386	1.325	1.295
60	1.336	1.306	1.213	1.501
	1.357	1.203	1.377	1.478
	1.378	1.316	1.223	1.408
80	1.306	1.775	1.408	1.254
	1.792	1.603	1.132	1.614
	1.275	1.009	1.172	1.354
100	1.232	1.552	1.254	1.357
	1.686	1.584	1.101	1.440
	1.511	1.336	1.285	1.357
120	1.244	1.275	1.368	1.081
	1.428	1.264	1.244	1.583
	1.664	1.471	1.510	1.728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาการดูดซับ(นาที)	ค่าความชื้นของวัสดุดูดซับ (%)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	1.382	1.523	1.291	1.417
	1.396	1.434	1.380	1.357
	1.420	1.449	1.415	1.509
5	1.242	1.469	1.498	1.111
	1.685	1.357	1.081	1.532
	1.018	1.356	1.131	1.573
10	1.223	1.522	1.409	1.306
	1.571	1.398	1.142	1.397
	1.673	1.511	1.326	1.655
20	1.790	1.377	1.643	1.460
	1.574	1.625	1.316	1.594
	1.325	1.214	1.367	1.511
30	1.399	1.212	1.447	1.316
	1.388	1.469	1.387	1.357
	1.078	1.782	1.193	1.347
40	1.982	1.314	1.091	1.388
	1.600	1.233	1.254	1.562
	1.385	1.398	1.368	1.603
60	1.223	1.716	1.697	1.377
	1.480	1.357	1.254	1.379
	1.622	1.469	1.265	1.697
80	1.511	1.687	1.522	1.347
	1.511	1.738	1.276	1.739
	1.439	1.233	1.275	1.336
100	1.265	1.459	1.478	1.531
	1.790	1.562	1.294	1.553
	1.625	1.142	1.316	1.450
120	1.459	1.398	1.562	1.223
	1.470	1.254	1.346	1.737
	1.595	1.646	1.480	1.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาทีต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	4.0253	4.0200	3.9981	4.4303
5	3.7311	3.7284	3.7434	4.0598
10	3.6792	3.6750	3.6861	4.0070
20	3.6092	3.6086	3.6386	3.9225
30	3.5889	3.6028	3.5850	3.9123
40	3.5598	3.5634	3.5964	3.8942
60	3.5445	3.5539	3.5914	3.8845
80	3.5475	3.5550	3.5964	3.8770
100	3.5475	3.5667	3.5886	3.8934
120	3.5573	3.5706	3.6023	3.8895

ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	4.0253	4.0200	3.9981	4.4303
5	4.0048	4.0167	4.0048	4.4398
10	4.0198	3.9975	4.0111	4.4461
20	4.0142	4.0048	4.0123	4.4411
30	4.0053	4.0028	4.0100	4.4375
40	4.0086	3.9978	4.0139	4.4475
60	4.0139	4.0067	3.9984	4.4464
80	4.0000	4.0020	4.0028	4.4445
100	4.0023	4.0109	3.9961	4.4442
120	4.0039	4.0159	4.0186	4.4486

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้าของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	4.0253	4.0200	3.9981	4.4303
5	3.7386	3.7420	3.7311	4.0703
10	3.6875	3.6900	3.6861	4.0025
20	3.6078	3.6075	3.6078	3.9245
30	3.5686	3.5725	3.5750	3.9011
40	3.5748	3.5775	3.5786	3.8723
60	3.5739	3.5689	3.5728	3.8792
80	3.5673	3.5689	3.5717	3.8723
100	3.5717	3.5736	3.5778	3.8742
120	3.5661	3.5703	3.5714	3.8692

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยมีโซเดียมคลอไรด์เป็นสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ตันน้ำมันดิบ)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	0.000344	0.000344	0.000342	0.000379
5	0.000319	0.000319	0.000320	0.000347
10	0.000314	0.000314	0.000315	0.000342
20	0.000308	0.000308	0.000311	0.000335
30	0.000307	0.000308	0.000306	0.000334
40	0.000304	0.000305	0.000307	0.000333
60	0.000303	0.000304	0.000307	0.000332
80	0.000303	0.000304	0.000307	0.000331
100	0.000303	0.000305	0.000307	0.000333
120	0.000304	0.000305	0.000308	0.000332

ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายสีย้อมโดยไม่มีสารช่วยย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ตันน้ำมันดิบ)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	0.000344	0.000344	0.000342	0.000379
5	0.000342	0.000343	0.000342	0.000379
10	0.000344	0.000342	0.000343	0.000380
20	0.000343	0.000342	0.000343	0.000380
30	0.000342	0.000342	0.000343	0.000379
40	0.000343	0.000342	0.000343	0.000380
60	0.000343	0.000342	0.000342	0.000380
80	0.000342	0.000342	0.000342	0.000380
100	0.000342	0.000343	0.000342	0.000380
120	0.000342	0.000343	0.000343	0.000380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบของฟางข้าวหลังผ่านการนำไปทดลองดูดซับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที ต่อสัดส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัม

เวลาการดูดซับ(นาที)	พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ตันน้ำมันดิบ)			
	ไม่ดัดแปลงสภาพ	ดัดแปลงสภาพด้วยน้ำ	ดัดแปลงสภาพด้วยกรด	ดัดแปลงสภาพด้วยเบส
0	0.000344	0.000344	0.000342	0.000379
5	0.000320	0.000320	0.000319	0.000348
10	0.000315	0.000315	0.000315	0.000342
20	0.000308	0.000308	0.000308	0.000335
30	0.000305	0.000305	0.000306	0.000333
40	0.000306	0.000306	0.000306	0.000331
60	0.000305	0.000305	0.000305	0.000332
80	0.000305	0.000305	0.000305	0.000331
100	0.000305	0.000305	0.000306	0.000331
120	0.000305	0.000305	0.000305	0.000331

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายจาตุรนต์ บุญช่วย
วัน เดือน ปีเกิด	18 ธันวาคม 2531
ที่อยู่	96 ถนนจ้ายเจริญ ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง รหัสไปรษณีย์ 93000
ประวัติการศึกษา	2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้