

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุธรรมชาติในการขจัดสีออกจาก
สารละลายสีอินทรีย์ในระหว่างการย้อมสีผ้าและผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า

A STUDY ON EFFICIENCY OF RICE STRAW ADSORBENTS FOR THE
REMOVAL OF DYES DURING THE DYING PROCESS AND IMPACT
ON QUALITY OF THE FABRIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวารสารคณาจารย์และบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-100-164

การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจาก
สารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าและผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า

A STUDY ON EFFICIENCY OF RICE STRAW ADSORBENTS FOR THE
REMOVAL OF DYES DURING THE DYEING PROCESS AND THE IMPACT
ON QUALITY OF THE FABRIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2013-EN-M-100-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON EFFICIENCY OF RICE STRAW ADSORBENTS FOR THE
REMOVAL OF DYES DURING THE DYEING PROCESS AND THE IMPACT
ON QUALITY OF THE FABRIC



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

2013

KMITL-2013-EN-M-100-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MON GKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสี
ย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าและผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า

Thesis Title A Study of Efficiency of Rice Straw Asorbents for the Removal of Dyes During
Dyeing Process and the Impact on Quality of Fabric

นักศึกษา นางสาวสุพรรณษา มีถาวร






รหัสประจำตัว 54612206

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-100-164

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ปานมนัส	ศิริสมบุรณ์	
ดร.จิราพร	ศรียัญญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ	
รศ.ดร.อนุพันธ์	เทอดวงศ์วรกุล	
ดร.วสุ	อุดมเพทายกุล	
ดร.ประสันท์	ชุ่มใจหาญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับจากฟางข้าวในการขจัดสี ย้อมออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าและ ผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า
นักศึกษา	นางสาวสุพรรณษา มีถาวร
รหัสประจำตัว	54612206
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมสีผ้าเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ตั้งอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย การปนเปื้อนของน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าลงสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองนี้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย H₂SO₄ เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01, 0.03 และ 0.05 g/ml และที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ปริมาณเก่าที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับและประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาที ที่ทุกสัดส่วนของวัสดุดูดซับ ซึ่งที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสสามารถดูดซับเก่าได้ในวัสดุดูดซับได้สูงที่สุดถึง 517.50 mg และมีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย 88.67% รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ โดยมีปริมาณเก่าที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับ 172.67 mg และ 91.66 mg ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย 59.53% และ 46.49% ตามลำดับ การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับพบว่าสอดคล้องกับสมการจลนพลศาสตร์แบบ Pseudo-second order และในการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าพบว่าในด้านคุณภาพสีผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีค่าสีไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมและจากการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำพบว่าผ้าย้อมโดยกระบวนการปกติมีการตกสีมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A study on efficiency of rice straw adsorbents for the removal of dyes during the dyeing process and the impact on quality of the fabric
Student	Miss Supunsa Meethawon
StudentID.	54612206
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Dr. Prasan Choomjaihan

ABSTRACT

There are many small dyeing industries located throughout Thailand. This occurs the contamination of waste water from the dyeing process into the environment that causing environment unsecure. Therefore, the objectives of this study are to apply the bio-sorption from rice straw to remove the dye color from the dyeing solution during the process of dyeing and to study on the effect of the fabric quality after treated. The cotton fabric and direct orange 39 was used as the color and the materials throughout this study. The bio-sorption samples applied for this study were untreated straw and treated straws by NaOH and H₂SO₄ respectively. The sorption ratios of the bio-sorption to volume of waste solution were 0.01, 0.03 and 0.05 g/ml and the absorption periods were 0 to 120 minutes were employed for this experiment. The result showed that increasing the absorption time the ash content from the bio-sorption increased the efficiency of color removal also increased and it tended to stable beyond 80 minute of soaking with all sorption ratio. The maximum ash content occurred in the sorption ratio of 0.05g/ml with the NaOH treated straw and it gave 88.67% of the efficiency of color removal. For the H₂SO₄ treated straw and untreated straw gave 172.67 and 91.66mg of absorbed ash content and 59.53 and 46.49% of the efficiency of color removal respectively. The study of absorption kinetic was related with the Pseudo-Second Order absorption kinetic equation. The fabric quality showed that the fabric color of passing this wasted water treatment approach were non significant with the regular dyeing approach (no straw added during dyeing). In the regular dyeing approach there were more the color pigment attached with fabric than the treated approaches. Furthermore, the fabrics with no straw added during dyeing were more dyeing and more fastness than the straw added approaches.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาฯ.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ จารุพัชร อาชวะสมิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้แนวคิด คำแนะนำและให้ความรู้ทางด้านการย้อมสีผ้าตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความรู้ ความเหลือและคำแนะนำทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุนสนับสนุนวิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยกระบวนการแปรรูปธัญพืชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทพิสิฐ อินเทอร์เน็ตกรุ๊ป ในความอนุเคราะห์สีย้อมผ้าสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัว คณาจารย์ทุกท่านผู้ซึ่งเคยประสิทธิ์ ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานให้กับข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนตลอดจนคอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

สุพรรณษา มีถาวร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	i
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญภาพ.....	vii
สารบัญตาราง.....	xii
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 กระบวนการผลิตสิ่งทอ.....	3
2.2 สีย้อม.....	5
2.3 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้าและวิธีการในการบำบัดน้ำเสีย.....	11
2.4 การขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ.....	14
2.5 ความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ.....	26
2.6 การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับสีและโลหะหนักในสารละลาย.....	28
2.7 การดัดแปลงสภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	31
3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ	34
3.2 การทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม	36
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	46
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ	49
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ	51
4.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับชีวภาพ.....	51
4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพ	54
4.2.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ.....	57
4.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม	64
4.3.1 การวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อม.....	64
4.3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ.....	69
4.3.3 การศึกษาความคงทนของสีต่อน้ำ.....	76
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	80
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	86
ภาคผนวก ก เครื่องสไลต์น้ำออกจากผ้า (auto spinner)	88
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับและ.....	90
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐานของสี่เหลี่ยมโตเรอ์ทอเรนธ์ 39 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	100
การคำนวณความเข้มข้นสี และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความเข้มข้นสี	
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณค่าคงที่ทางจลนพลศาสตร์การดูดซับ.....	112
ภาคผนวก จ ข้อมูลการวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้สีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อม..	119
และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการวัดสี	



สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กต์.....	9
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของสารถูกดูดซับ (ADSORBATE) ในกระบวนการดูดซับ.....	16
รูปที่ 2.3 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์.....	18
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ.....	23
รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า.....	27
รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายแกลบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	31
รูปที่ 3.1 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	36
รูปที่ 3.2 สี DIRECT ORANGE 39.....	37
รูปที่ 3.3 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ.....	37
รูปที่ 3.4 กล้องดิจิทัลไมโครสโคป(DIGITAL MICROSCOPE) รุ่น USB S02.....	39
รูปที่ 3.5 เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SCANNING ELECTRON MICROSCOPE SME) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV.....	31
รูปที่ 3.6 เตาเผาเถ้าอุณหภูมิสูง (MUFFER FURNACE) ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T.....	41
รูปที่ 3.7 ฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาเถ้า.....	41
รูปที่ 3.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS SPECTROPHOTROMETER) รุ่น SPECTRONC 601.....	42
รูปที่ 3.9 เครื่องสลัดน้ำออกจากผ้า (AUTO SPINNER).....	45
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดสี (HUNTER LAB) รุ่น MINISCAN XE PLUS.....	46
รูปที่ 3.11 แสดงค่า L* A* และ B* COLOR.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายวัสดุดูดซับชีวภาพ.....	50
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า....	50
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่.....	41
กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.4 ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ.....	52
รูปที่ 4.5 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วน.....	44
วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.6 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วน.....	44
วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.03 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.7 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วน.....	45
วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อมออกจาก.....	45
สารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยด่างในการขจัดสีย้อมออก.....	46
จากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสีย้อมออก.....	46
จากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที	
รูปที่ 4.11 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง.....	48
สภาพเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-FRIST ORDER	
รูปที่ 4.12 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลง.....	49
สภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-FRIST ORDER	
รูปที่ 4.13 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลง.....	49
สภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-FRIST ORDER	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4.14 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง.....50
สภาพเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-SECOND ORDER
- รูปที่ 4.15 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลง.....51
สภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-SECOND ORDER
- รูปที่ 4.16 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม DIRECT ORANGE 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลง.....51
สภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ PSEUDO-SECOND ORDER
- รูปที่ 4.17 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่าง.....54
กระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01g /ml
- รูปที่ 4.18 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่าง.....55
กระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml
- รูปที่ 4.19 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่าง.....55
กระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml
- รูปที่ 4.20 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....55
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml
- รูปที่ 4.21 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....56
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml
- รูปที่ 4.22 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....56
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml
- รูปที่ 4.23 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....56
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml
- รูปที่ 4.24 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....57
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml
- รูปที่ 4.25 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับใน.....57
ระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml

รูปที่ 4.26 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ (ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที).....	69
รูปที่ 4.30 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	60
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.31 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	60
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.32 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	60
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml.ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.33 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	61
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.34 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	61
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.35 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	61
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.36 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	62
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.37 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	62
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.38 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	62
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่า	
รูปที่ 4.39 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	63
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.40 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	63
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.41 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ.....	63
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.42 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	64
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.43 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	64
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.44 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ.....	64
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.45 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	65
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.46 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	65
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	
รูปที่ 4.47 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ.....	65
สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ.....	27
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและฟางข้าวบaler, ฟางข้าวอัด.....	22
ฟางข้าวสาลี	
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการวิจัยการนำมาใช้ในการดูดซับสีข้อมอก.....	24
จากน้ำเสีย	
ตารางที่ 3.1 สมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	44
ตารางที่ 4.1 ปริมาณเส้นใยที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที.....	53
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับในการขจัดสีออกจากสารละลายสีข้อมที่ระยะเวลา.....	47
ในการดูดซับ 80 นาที	
ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าคงที่(k).....	53
ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการคำนวณ และการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับที่ได้จากค่าคำนวณ	
จากสมการ PSEUDO-FIRST ORDER และสมการ PSEUDO-SECOND ORDER	
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่าง.....	53
กระบวนการย้อมโดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันที่ 0-120 นาที	
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการ.....	67
การปกติและผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมย้อมสีผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันในครัวเรือน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีปริมาณน้ำเสียที่เล็กลงเล็กน้อยแต่เนื่องจากตั้งอยู่กระจายทั่วประเทศจึงทำให้การปนเปื้อนของสีย้อมมีวงกว้าง [1]สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้ยากต่อการกำจัดออกเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารโรมาติกหลายชนิดซึ่งทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [2]นอกจากนี้สีย้อมผ้ายังมีส่วนผสมของโลหะซึ่งก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีการถ่ายเทลงสู่สิ่งแวดล้อมอาจมีการสะสมทั้งในพืชและสัตว์ซึ่งส่งผลต่อระบบนิเวศได้[3]โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดใหญ่มักใช้กระบวนการทางเคมีกายภาพได้แก่ flocculation, electro-flotation, precipitation, electro-kinetic coagulation, ion exchange, membrane filtration, electrochemical destruction, irradiation และ ozonation ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงและไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก [4] มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาความสามารถในการใช้วัสดุทางธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมและโลหะบางชนิดออกจากสารละลายสีย้อมหรือจากน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม [5]เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารดูดซับ รวมทั้งมีปริมาณมากและมีราคาถูก สำหรับในประเทศไทยฟางข้าวนับเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณสูงมาก [6]จึงน่าจะเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าแต่ข้อจำกัดในการนำฟางข้าวมาใช้เป็นสารดูดซับสีย้อมในน้ำเสียคือ ฟางข้าวมีลิกนินและซิลิกาเป็นองค์ประกอบซึ่งที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างเซลลูโลสทำให้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนถูกอุดตันประสิทธิภาพในการดูดซับสีจึงลดลง

ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กการย้อมสีผ้าทำได้โดยการผสมสีย้อมและสารช่วยย้อมลงในน้ำตามอัตราส่วนของสูตรสีพร้อมทั้งให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิใกล้น้ำเดือด แขนผ้าที่ต้องการย้อมลงในสารละลายนาน 60 นาที หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนและปล่อยให้สารละลายเย็นลง ก่อนจะนำผ้าที่ผ่านการย้อมไปล้างทำความสะอาด ผ้าที่นำมาย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดในช่วงที่มีการให้ความร้อนสีส่วนเกินที่ไม่ถูกดูดซับเข้าไปภายในเส้นใยจะอยู่ในส่วนของสารละลายและบางส่วนเกาะติดบริเวณผิวของเส้นใยผ้าซึ่งสีส่วนนี้จะหลุดออกจากเส้นใยได้ง่ายเมื่อสัมผัสน้ำหรือผ่านการซัก (สัตก) การเติมฟางข้าวในขณะที่เริ่มมีการลดอุณหภูมิของโครงสร้างเซลลูโลสของฟางข้าวมีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และมีแนวโน้มที่จะดูดซับสีที่เหลือในสารละลายและสีส่วนเกินที่ติดบริเวณผิวเส้นใยผ้าได้ดี ซึ่งนอกจากจะเป็นการขจัดสีย้อมหรือสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสี

ย้อมแล้ว การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการนี้ยังเป็นการลดระยะเวลาและขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียรวมถึง
 ยังอาจส่งผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมได้แก่ คุณภาพสี และการตกสีของผ้าเป็นต้นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวดูดซับสีย้อมส่วนเกินและสาร
 ประเภทโลหะออกจากสารละลายและผิวของเส้นใยผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า โดยศึกษาถึง
 การตัดแปลงสภาพฟางข้าวโดยใช้กรด หรือเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของฟางข้าวและ
 ศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมอันได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสีและการ
 ตกสี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวโดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง
 ลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพและฟางข้าวหลังผ่านการนำมาตัดแปลง
 สภาพด้วยเบสและกรด

2. เพื่อศึกษาการนำวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการ
 ย้อมสีผ้าฝ้าย โดยศึกษาประสิทธิภาพกรด ในการขจัดมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อม
 จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในวัสดุดูดซับ ศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสี
 ย้อม และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมได้แก่ลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสี และ
 ความคงทนของสีต่อน้ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การทดลองศึกษาจากกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้ายแท้ที่ผ่านการฟอกขาว
2. สีที่ใช้ในการทดสอบเป็นสีสังเคราะห์ชนิดไตรเร็กซ์
3. ฟางข้าวที่ใช้เป็นตัวดูดซับในการทดลองเป็นส่วนของลำต้นข้าว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดคุณค่า
2. ลดการปนเปื้อนของสีย้อมและโลหะที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม
3. เป็นแนวทางใหม่ในการบำบัดน้ำเสียในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย
 ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
 ขนาดเล็ก
4. สามารถลดการตกสีในผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพในการการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการย้อมสีผ้าโดยใช้ฟางข้าวและฟางข้าวตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการทำวิจัย ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับสีย้อม ขั้นตอนการผลิตสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าและวิธีการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติในการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย หลักการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ ตัวอย่างงานวิจัยที่นำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย การพิจารณาความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ การตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับเพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ดูดซับมากยิ่งขึ้น และตัวอย่างงานวิจัยในด้านการตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับ โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของการรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีโครงสร้างใหญ่ และเป็นกระบวนการที่ในแต่ละขั้นตอนมีผู้ผลิตจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตขนาดกลางและขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค โดยเริ่มจากการผลิตเส้นใยจากธรรมชาติ คือการปั่นด้ายและเส้นใยสังเคราะห์กระบวนการต่อมาคือการทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อมพิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ จากขั้นตอนดังกล่าวทำให้อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยมีโรงงานผลิตเส้นใย เส้นด้าย ทอผ้า ถักผ้าและเครื่องนุ่งห่มทั้งหมด 4,139 โรงงาน มีการจ้างงาน 1,034,790 คน ปริมาณการผลิต 2,844.5 พันตัน มูลค่าการส่งออกรวม 206,182.90 ล้านบาท และมีมูลค่าการนำเข้ารวม 90,430.10 ล้านบาท และรายได้หลักจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นได้มาจากอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม โดยตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรปและประเทศญี่ปุ่น โดยสหรัฐอเมริกาเป็นตลาดส่งออกสิ่งทอสูงสุดของประเทศไทย[7]

กระบวนการผลิตสิ่งทอในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนจากข้อมูลภาคสนามในการสำรวจกระบวนการผลิตผ้าทอมือจากกลุ่มชุมชน ของอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน[8] มีขั้นตอนในการผลิตผ้าทอมือได้แก่ ขั้นตอนการจัดเตรียมเส้นไหม การย้อมสีเส้นใย การทอผ้า และขั้นตอนสุดท้ายการตัดเย็บตามลำดับ กระบวนการผลิตผ้าทอมือในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนมีหลากหลายชนิดได้แก่ กระบวนการผลิตผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้า กำมะหยี่ และพรม เป็นต้น โดยวิธีการผลิตผ้าแต่ละชนิดจะมีกรรมวิธีในการทอแตกต่างกันไป และต้องอาศัยความชำนาญในการทอผ้าเป็นพิเศษเพื่อให้ได้ผ้าทอที่มีความสวยงาม กระบวนการผลิตผ้าฝ้ายในชุมชนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การปั่นเส้นใย

ชาวบ้านจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า “การขึ้นทูก” การขึ้นทูกจะมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่ การขึ้นทูกเส้นยืนและการขึ้นทูกเส้นพุ่ง เพื่อให้เส้นใยนั้นจับตัวกันเป็นระเบียบคล้ายกับการม้วนเก็บเส้นเชือก เพื่อให้สะดวกในการนำไปย้อมในขั้นตอนต่อไป

2.1.2 การย้อมสีผ้า

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่จะต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งาน ด้วยวิธีการย้อม (Dying) จะให้สีพื้น ผ้าผืน หรือเส้นด้ายที่มีลักษณะแตกต่างกันไป หลักการย้อมสี คือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลายเป็นสารละลาย (Dispersion) ไปทำทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อม เช่นเส้นใยผ้า ฝ้าย ฯลฯ แล้วทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมไม่เพียงแต่จะเกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่จะสามารถซึมให้เกิดสีตลอด (Unifrom) บนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่จะย้อม[9] ในการย้อมสีผ้าสีที่ใช้จะเป็นสีเคมีสังเคราะห์และสีย้อมจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งชาวบ้านนิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่า ในขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยฝ้ายด้วยสีย้อมเคมีจะเริ่มจากการต้มผ้าในภาชนะรอกจนกระทั่งน้ำเดือดแล้วเติมสีย้อมลงไป เมื่อสีละลายดีแล้วนำเส้นใยไปใส่ลงไปในถังเส้นใยไปมาเพื่อให้สามารถย้อมสีเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอและป้องกันไม่ให้มีรอยต่างบนเส้นใยในระหว่างนั้นเติมสารช่วยย้อมได้แก่ สารส้ม เกลือ หรือจุนสีลงไป เพื่อให้สีติดผ้าได้ดีขึ้นและผ้ามีสีสดขึ้น ปล่อยให้เส้นใยให้ต้มอยู่ในภาชนะ หลังจากนั้นนำเส้นใยไปล้างในน้ำสะอาด จนกระทั่งไม่มีสีย้อมละลายละลายออกจากเส้นใย

2.1.3 การต่อเส้น

ขั้นตอนนี้ชาวบ้านจะนำเส้นใยฝ้ายที่ย้อมสีเสร็จแล้วมาทำการต่อเส้นใยเพื่อเพิ่มความยาวของเส้นใยฝ้ายตามที่ต้องการ

2.1.4 การทอและการตัดเย็บ

ในขั้นตอนนี้ชาวบ้านจะนำเส้นใยฝ้ายมาทอเป็นผืนผ้าจากนั้นจะนำไปตัดเย็บเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ได้แก่ กางเกง กระโปรง เสื้อ ผ้าพันคอ ผ้าขาม้า เป็นต้น

นอกจากกระบวนการย้อมแล้ว สีย้อมยังอีกสิ่งหนึ่งที่มีสำคัญสำหรับการย้อมสีผ้า เนื่องจากสีย้อมแต่ละประเภทมีโครงสร้าง องค์ประกอบ และสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกประเภทของสีย้อมให้เหมาะสมกับชนิดของเส้นด้ายที่ต้องการย้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการย้อมโดยรายละเอียดของสีย้อมผ้าจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2 สีย้อม

การย้อมผ้าเป็นงานศิลป์ที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมมนุษย์มาอย่างยาวนานในสมัยโบราณมนุษย์ตกแต่งผ้าจากวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ เช่น การใช้ใบไม้ ดอกไม้ หรือกิ่งไม้ ยึดติดกับผ้าด้วยไขขาว หรือเลือด อีกวิธีหนึ่งคือการถั่วสตุที่มีสีต่างๆ ลงบนผ้า ซึ่งมีข้อเสียคือไม่ทนต่อการซักล้าง และการสวมใส่จนกระทั่งมนุษย์สามารถค้นพบวิธีการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติโดยการนำผลไม้ ใบไม้ เปลือกไม้ ไปตำให้ละเอียดแล้วนำมาต้มรวมกับผ้า ทำให้เส้นใยผ้าเปลี่ยนสี และทนต่อการซักล้างมากขึ้น แม้มนุษย์จะรู้จักวิธีย้อมสีผ้าจากธรรมชาติตั้งแต่หลายพันปีก่อน แต่เพิ่งรู้จักการใช้สีย้อมผ้าสังเคราะห์เมื่อปี ค.ศ. 1856 โดยนายวิลเลียม เพอร์กิน (William Perkin) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษพบวิธีสังเคราะห์สีม่วงโดยบังเอิญ ส่งผลให้ในเวลาต่อมานักวิทยาศาสตร์สามารถค้นพบวิธีสังเคราะห์สีใหม่ๆ นับร้อยสี งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาในส่วนของสีสังเคราะห์เนื่องจากเป็นสีที่สะดวกต่อการนำไปใช้ มีความคงทนต่อการซัก และนิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน [10]

2.2.1 สีย้อมผ้าสังเคราะห์

สีย้อม (dyestuffs) หมายถึง สารให้สีที่สามารถจับติดวัสดุด้วยตนเองหรือด้วยการชักนำโดยปฏิกิริยาในกระบวนการย้อมหรือกระบวนการพิมพ์[11]

สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้มนุษย์มองเห็นได้ เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรโซ (nitroso group) กลุ่มไนโตร (nitro group) กลุ่มเอโซ (azo group) กลุ่มเอธิลีน (ethylene group) กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbonyl-nitrogen group) กลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย้อมมีโทนสีแตกต่างกันไป [12]นอกจากสีย้อมทั่วไปจะมีกลุ่มอะตอมโครมาฟอร์แล้วยังมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่งคือ ออกโซโครม (oxochromes) ได้แก่ CH , $-\text{NH}_2$, $-\text{NR}_2$, $-\text{SO}_3$ และ $-\text{COOH}$ เป็นต้น เพื่อให้สีย้อมสามารถทำปฏิกิริยายึดเกาะกับเส้นใยได้ [13]

สีย้อมสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมผ่านการสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เบนซีนและไซลีน ซึ่งเป็นสารคาร์บอนไม่อิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับกระบวนการไนเตรชันแอมมิเนชัน เพื่อที่จะเปลี่ยนสภาพให้เป็นสารตัวกลาง และจากสารตัวกลางที่เตรียมได้นี้ จะเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่างๆ โดยประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของสีย้อม คือการให้สีแก่วัสดุสิ่งทอ[13] สีย้อมเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ สีย้อมที่ผลิตขึ้นมาหลายชนิด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การนำสีย้อมมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมตัวของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่าการรวมตัวของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสภาวะที่โมเลกุลของสียอมจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดติดกันแน่น[14] อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใยได้คือพันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์.แรงไอออนิก และพันธะโคเลนต์

2.2.1.1 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)

พันธะไฮโดรเจนเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิล มายึดติดกับอะตอมที่มีค่า electronegativity สูง เช่นอะตอมออกซิเจนและไนโตรเจนตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของพันธะไฮโดรเจนคือการยึดติดของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ ซึ่งทำให้น้ำมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงกว่าที่คาดไว้ เส้นใยและสีบางชนิดมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมากเช่นเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยโปรตีนจึงทำให้ดูดติดสีได้มาก ส่วนเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น เส้นใยอะซิเตด ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลลดจำนวนไปมากกว่าครึ่งทำให้การดูดติดสีได้น้อยลง[14]

2.2.1.2 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's Forces)

แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ อาจเรียกว่าแรงลอนดอน(London forces) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นแรงดึงดูดอ่อนๆ ที่ทำให้โมเลกุลของสีและเส้นใยเข้ามายึดติดกันได้เอง เมื่อโมเลกุลของสีและเส้นใยเข้ามาอยู่ในระยะที่ใกล้กันมาก กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่สัมผัส และขนาดของโมเลกุล ดังนั้นถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่ กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้มากด้วยแต่แรงนี้เกิดขึ้นเพียงระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น[14]

2.2.1.3 แรงไอออนิก (Ionic Forces)

แรงไอออนิกเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างสีย้อมกับเส้นใย โดยความแตกต่างของประจุทางไฟฟ้าของเส้นใยและสีย้อม เส้นใยบางชนิดเช่น เส้นใยเซลลูโลสเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุเป็นลบ และสีย้อมเมื่อละลายน้ำจะเป็นประจุลบ การดูดซับจึงไม่เกิดขึ้น จำเป็นต้องลดหรือเปลี่ยนประจุบนเส้นใยก่อนที่สีย้อมจะเข้ามาใกล้พอที่แรงดึงดูดจะทำหน้าที่ได้ การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในน้ำย้อม จะช่วยลดประจุที่ผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลส และการเติมกรดก็จะช่วยลดประจุของเส้นใยโปรตีนและไนลอนได้[14]

ถ้าใช้แรงทางไฟฟ้าสถิตเพียงชนิดเดียวในการย้อมไนลอนหรือขนสัตว์โดยใช้ acid dyes และ acrylic ย้อมให้สม่ำเสมอ (ระบบ cation dye) คาดว่าความสัมพันธ์อาจเกิดจากปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับที่สมดุลกับจำนวน "site" ในเส้นใย เช่นความสัมพันธ์ของ acid dyes ที่มีมวลโมเลกุลต่ำบนขนสัตว์ และไนลอน หรือ cationic dyes บน acrylic อย่างไรก็ตามสีย้อมจะถูกดูดซับได้ในปริมาณที่มากกว่าปริมาณสีย้อมที่ติดที่เส้นใยได้จริงๆ เรียกว่า Overdyeing อาจปรับแนวมาใช้พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ก็ได้ แรงดึงดูดของเส้นใยชนิดนี้เริ่มตั้งแต่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ในสีย้อมมีแนวโน้มที่จะออกจากสารละลายน้ำรวมตัวกับกลุ่มที่คล้ายกันในโมเลกุลเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond)

สีย้อมที่ถูกทำให้ติดกับเส้นใยโดยพันธะโควาเลนต์ จะแข็งแรงกว่าแรงอื่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และแตกออกยาก พันธะโควาเลนต์ระหว่างสีย้อมและเส้นใยเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็น nucleophilic addition การย้อมพวกเซลลูโลสทั่วไปจะมีสัมพรรคภาพ (affinity) ต่ำเช่น สีย้อมที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ และเป็นพวกไม่มีขั้ว (non-polarization) สำหรับสีย้อมที่ใช้กับขนสัตว์ระบบโครโมเจน(chromogen) จะครอบครองบาง affinity ต่อเส้นใยเพื่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตสำหรับสีย้อมและเส้นใยและแรงอื่นๆก็สามารถเกิดขึ้นได้[14]

โดยทั่วไปความจางลงของสีเมื่อเปียกน้ำจะเกิดจากพันธะโควาเลนต์ระหว่างเส้นใยและสีย้อม เนื่องจากพันธะนี้จะไวต่อปฏิกิริยา acid hydrolysis ดังนั้นความต้านทานการจางลงของสีจะลดลงเนื่องจากน้ำ หรือเหงื่อ ความจางลงของ reactive dye ที่ย้อมบนเส้นใยเซลลูโลส เนื่องจากคลอรีนและไฮเปอร์ออกไซด์โดยทั่วไปจะต่ำการดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไปบางครั้งอาจจะเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกันไปแรงดึงดูดทางเคมีที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์สมบัติของสีย้อม

ในสีย้อมแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพสารละลายหรือสารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) และศักยภาพรีดอกซ์ สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสมบัติของสีนั้น ดังนี้ [14]

- ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่งๆขึ้นอยู่กับอนุมูลของเส้นใย และสีย้อม
- ความสามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่งๆ
- จลนพลศาสตร์
- สมบัติการเคลื่อนตัว และความสม่ำเสมอของสี
- ความทนต่อแสง
- ความทนต่อความชื้น
- ความทนต่อความร้อน และอื่นๆ

ดังนั้นแล้วในการนำสีย้อมผ้าสังเคราะห์ไปใช้จึงต้องคำนึงถึง ความเหมาะสมและสมบัติของสีแต่ละชนิด ซึ่งในการจำแนกสีย้อมผ้า (Dye Classification) มีหลายระบบด้วยกัน[15] เช่น จำแนกตามแหล่งกำเนิด ตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้าง หรือการใช้งานว่าเหมาะสมต่อการนำไปย้อมเส้นด้ายชนิดใด ระบบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้ดัชนีสี (color index) ที่แบ่งตามการใช้งานดังนี้

- สีแอซิด (Acid Dyes)
- สีแอโซอิก (Azoic Dyes)
- สีเบสิก (Basic Dyes)

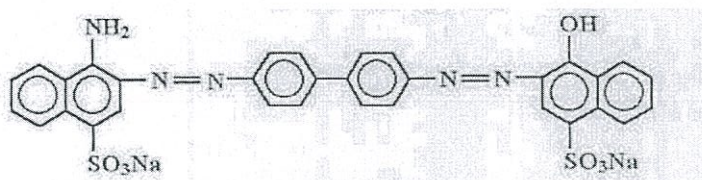
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีไคเร็กซ์ (Direct Dyes)
- สีดีสเพอส (Disperse Dyes)
- สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)
- สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)
- สีแวต (Vat Dyes)

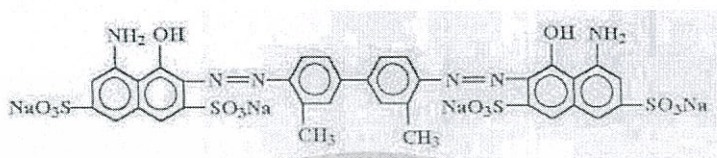
งานวิจัยนี้สนใจในด้านการย้อมสีผ้าฝ้ายเนื่องจากเป็นเส้นใยที่นิยมนำไปผลิตเป็นสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยสีย้อมผ้าฝ้ายที่นิยมใช้กันมากคือ สีแวต สีรีแอคทีฟ และสีไคเร็กซ์ สำหรับสีแวตนั้นมีความทนทานต่อการซักดีเยี่ยม นิยมใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการคุณภาพในด้านความคงทนค่อนข้างสูงเป็นพิเศษ แต่เป็นสีย้อมที่มีราคาแพง มีกรรมวิธีการย้อมที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องใช้ความระมัดระวังมากกว่าสีรีแอคทีฟ และสีไคเร็กซ์ ส่วนสีรีแอคทีฟและสีไคเร็กซ์นั้น หากเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกันจะพบว่าในด้านคุณภาพ สีรีแอคทีฟดีกว่าสีไคเร็กซ์แต่ถ้าพิจารณาในด้านของราคากรรมวิธีการย้อม พลังงานและปริมาณสารช่วยย้อมที่ใช้แล้วสีไคเร็กซ์จะดีกว่า และในขณะนี้สีไคเร็กซ์ได้มีพัฒนาขึ้นมาก มีความทนทานต่อแสงแดดมากกว่าสีรีแอคทีฟและบางชนิดก็ทนต่อความร้อนสูงสามารถย้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดได้รวมทั้งมีขั้นตอนในการย้อมที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาถูก ดังนั้นสีไคเร็กซ์จึงถูกนำมาใช้ในการย้อมสีสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนมาก สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สี Direct orange 39 เนื่องจากเป็นสีที่มีการซื้อขายสูงในประเทศไทย ในที่นี้จะกล่าวถึงสีที่ใช้ในงานวิจัยคือสีไคเร็กซ์โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2 สีไคเร็กซ์ (direct dyes)

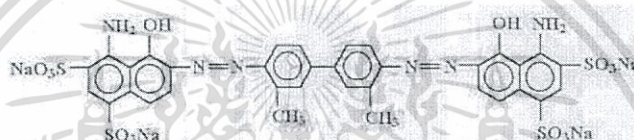
สีไคเร็กซ์ (direct dyes) หมายถึง สีย้อมซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อนุโมลสีที่มีประจุลบสามารถจับติดกับเส้นใยจำพวกเซลลูโลสได้โดยตรง ตามปกติใช้ย้อมในน้ำย้อมที่เป็นเกลืออิเล็กโทรไลต์[11] สีไคเร็กซ์มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก dis- tris- หรือ polyazo มีหมู่ที่ละลายน้ำได้เป็นพวก Sulfonic acid carboxylic หรือ hydroxyl ละลายน้ำได้ดีมากและแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย มักใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เป็นสีที่ไม่คงทนต่อการซัก เนื่องจากการดึงดูดของสีไคเร็กซ์กับเส้นใยเซลลูโลสนั้นเกิดจากแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) และแรงแวนเดอร์วาล (van der waals forces) ซึ่งแรงดึงดูดเหล่านี้ไม่แข็งแรง ประกอบกับคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ของสีไคเร็กซ์ จึงมีแนวโน้มที่สีจะหลุดออกมาจากภายในเส้นใยได้ง่าย ผ้าที่ย้อมด้วยสีชนิดนี้จึงซีดจางง่าย ในการใช้สีชนิดนี้ย้อมทำได้ง่ายคือเพียงแค่มีการให้ความร้อนและมีสารช่วยย้อมเพียงชนิดเดียวคือเกลือ เช่น เกลือแกง (NaCl) หรือเกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) [15] ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสีย้อมผ้าไคเร็กซ์แสดงดังรูปที่ 2.1



Direct Red 10



Direct Blue 14



Direct Blue 58

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กต์[15]

ประเภทของสีไดเร็กต์สามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือการแบ่งตามกรรมวิธีการย้อม และแบ่งตามคุณสมบัติในการย้อม

2.2.2.1 สีไดเร็กต์แบ่งตามวิธีในการย้อม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม[15]

1.สีที่ย้อมโดยวิธี exhaustion เป็นสีที่ย้อมโดยใช้เครื่องย้อมสีเพียงอย่างเดียวหรือชิ้นเดียว โดยการต้ม แช่ หรือทำให้สีดูดซึมเข้าไปในวัสดุสิ่งทอจนเสร็จสิ้นการย้อม โดยสมบูรณ์ในครั้งเดียว ซึ่งรวมถึงการซักล้างทำความสะอาดวัสดุสิ่งทอที่ย้อมโดยเครื่องย้อมชิ้นเดียวกันนี้การย้อมแบบนี้ไม่เหมาะกับการย้อมสีวัสดุสิ่งทอที่มีปริมาณมากเพราะเป็นการยากที่จะทำให้คุณภาพสม่ำเสมอ

2.สีย้อมโดยวิธี pad-stem เป็นสีที่ใช้วิธีย้อมแบบต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรหลายประเภทประกอบกันจึงจะดำเนินการย้อมได้สมบูรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการย้อม มีเครื่องจุ่มอัดสีเครื่องอบไอน้ำ เครื่องซักล้าง และเครื่องอบแห้งเหมาะที่จะใช้ย้อมผ้าสีอ่อนสดใสในปริมาณมาก และมีช่วงเวลาที่อบไอน้ำเพียง 1-2 นาที ซึ่งการอบไอน้ำนี้จะเป็นการผ่นสีลงไปด้วย ถ้าเป็นการย้อมสีเข้มช่วงเวลาสั้นๆ เพียง 1-2 นาที ไม่เพียงพอที่จะผ่นสีที่มีความหนาแน่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สีที่ย้อมโดยวิธี pad-jig เป็นสีที่ใช้วิธีย้อมกึ่งต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไปประกอบกัน จึงจะดำเนินการย้อมในชั้นตอนต่างๆ ได้สำเร็จสมบูรณ์ โดยรูปแบบการย้อมจะเป็นลักษณะเปิดหน้ากว้าง ชั้นตอนแรกใช้เครื่องจุ่มอัดน้ำสีโดยให้ผ้าผ่านลง ขุนน้ำสีในอ่างแล้วส่งผ่านลูกกลิ้งยาง เพื่อบีบน้ำส่วนเกินออกไปจากนั้นจึงม้วนผ้าเข้าแกนม้วนแล้วนำไปพนักสีโดนใช้เครื่องจิกเกอร์และทำความสะอาด โดยใช้เครื่องจิกเกอร์ต่อไปได้เลย

4. สีย้อมโดยวิธี pad-roll เป็นสีเป็นสีที่มีลักษณะการย้อมเช่นเดียวกันกับวิธีย้อมแบบ pad-jig โดยขั้นตอนแรกของการย้อมจะใช้เครื่องจุ่มอัดน้ำสี เมื่อผ้าผ่านน้ำสีและลูกกลิ้งแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ตู้อบด้วยระบบไอน้ำ หรือระบบอินฟราเรดก่อนที่จะม้วนผ้าเข้าแกน และนำเครื่องอบไอน้ำขนาดใหญ่เพื่อผนึกสีอุณหภูมิของไอน้ำประมาณ 105 องศาเซลเซียส โดยให้แกนม้วนผ้าหมุนไปช้าๆ ซึ่งจะใช้เวลาในการพนักสีประมาณ 2-4 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับชนิดของสีเสร็จแล้วจึงนำไปทำความสะอาด

2.2.2.2 สีไดเรกต์แบ่งตามคุณสมบัติในการย้อม แบ่งเป็น 3 กลุ่ม[15]

1 class A เป็นกลุ่มสีที่มีความสม่ำเสมอในการย้อมดี หรือมีคุณสมบัติในการเคลื่อนตัวสูง ช่วงตอนต้นอาจเกิดความสม่ำเสมอขึ้นได้ แต่เมื่อย้อมครบตามระยะเวลาสีจะสม่ำเสมอ

2 Class B เป็นกลุ่มสีที่มีคุณสมบัติในการย้อมไม่ค่อยสม่ำเสมอ หรือมีคุณสมบัติในการเคลื่อนตัวไม่ดี แต่สามารถทำให้สม่ำเสมอได้โดยใช้เกลือควบคุม คือในระยะเวลาในการย้อมควรย้อมให้ติดสีดีเสียก่อนที่อุณหภูมิสูง แล้วจึงเติมเกลือลงไป ถ้าเกิดความไม่สม่ำเสมอในช่วงแรกแล้วยากต่อการแก้ไขให้สีย้อมสม่ำเสมอได้

3 Class C เป็นกลุ่มสีที่มีคุณสมบัติในการย้อมไม่สม่ำเสมอ หรือมีคุณสมบัติในการเคลื่อนตัวไม่ดี สีกลุ่มนี้จะมีปฏิกิริยาไวต่อเกลือมาก เพราะฉะนั้นก่อนเติมเกลือจึงควรย้อมให้ติดสีก่อนที่อุณหภูมิสูง ถ้าใช้เกลือเพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะควบคุมการย้อมได้ จะต้องควบคุมอุณหภูมิด้วยสีไดเรกต์ (Direct Dyes)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สีไดเรกต์สำหรับการทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายใน class A เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมกระบวนการย้อม โดยกระบวนการย้อมที่ใช้ในการทดลอง ได้รับคำแนะนำในส่วนของการใช้สีจากบริษัทผู้นำเข้าสีย้อมผ้าสังเคราะห์

เนื่องจากกระบวนการย้อมสีผ้าก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีสูงและอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักซึ่งหากมีการถ่ายเทลงสู่สิ่งแวดล้อมย่อมส่งผลกระทบต่อ พืช สัตว์ มนุษย์และระบบนิเวศได้ น้ำเสียเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการบำบัด หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้า และวิธีการที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสำหรับการใช้ในการเปรียบเทียบกับวิธีการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติซึ่งเป็นวิธี การที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้าและวิธีการในการบำบัดน้ำเสีย

2.3.1 น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้า

ธงชัย พรรณสวัสดิ์[16]กล่าวว่าสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมหรือพิมพ์ผ้าเกิดจากสีย้อม (dyes) ที่ใช้ไม่หมดในกระบวนการย้อมหรือพิมพ์ผ้าหรือนอกจากสีย้อมแล้วก็ยังมีการใช้สารเคมีที่ช่วยในการย้อม (auxiliaries) ซึ่งทำให้โมเลกุลของสีย้อม และโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น สารที่ทำให้หน้าหายกระด้าง น้ำยาป้องกันสติกซึ่งช่วยให้สีคงทน โดยใช้ในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนย้อม และสารช่วยติดซึ่งอาจอยู่ในรูปเหล็ก หรือพอลิเมอร์เข้าไปเคลือบเส้นใย สีย้อมที่เหลือจากการย้อมหรือพิมพ์ผ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีสีออกมาในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นอกจากนี้สีย้อมบางส่วนอาจจะหลุดออกมาในขณะที่ทำการซักล้างหรือทำการปรุงแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมแล้วอีกด้วย สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานฟอกมักจะ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างขนาดใหญ่และซับซ้อนและมักจะเป็นสารประกอบที่มีพิษ เมื่อถูกระบายลงสู่ลำรางสาธารณะแล้วนอกจากจะทำให้ความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็นยังจะไปทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำได้ทั้งโดยตรงและทางอ้อม อนุภาคของสีย้อมบางชนิดจะไปขัดขวางการแผ่กระจายของแสงทำให้สมดุลของระบบนิเวศเปลี่ยนไปโดยทั่วไปสีย้อมเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่ำ แต่สีย้อมบางชนิดอาจเปลี่ยนแปลงเป็นสารมีพิษได้ สีย้อมที่มีโครงสร้างแบบอะโซ ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหมู่อะโซจะถูกทำลายโดยสารรีดิวซ์ ฟันอะโซจะแตกตัวออกได้เป็นสารอะโรมาติกอะมีน ซึ่งเป็นสารตัวกลางและเป็นสารก่อมะเร็ง แต่สารพิษนี้สามารถออกซิไดส์ต่อไปได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือทางจุก ด้วยการสูดดมสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศ โดยการสัมผัสทางผิวหนัง และโดยการปะปนเข้าไปกับอาหาร

นอกจากนี้สีย้อมผ้าบางชนิดมีส่วนมีสารโลหะเป็นส่วนผสม เพื่อเพิ่มความสดใสของสีสิ่งทอ โลหะเหล่านี้ได้แก่ ทองแดง อาร์เซนิก แคดเมียม โครเมียม โคบอลต์ ตะกั่ว ปรัตถ สังกะสี และส่วนใหญ่มักจะติดอยู่กับเนื้อผ้า สีบางตัว เช่นสีโลหะ (metal complex dyes) ซึ่งมีโลหะหนักติดอยู่บนเนื้อผ้าค่อนข้างมากและมีโลหะหนักหลุดหลงเหลือออกมาได้ถึงร้อยละ 5 ถึง 15 % โลหะหนักเป็นธาตุที่เป็นพิษต่อระบบชีวภาพ ตามนิยามแล้วโลหะหนักคือสารที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 และ 5 และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งบนตารางธาตุ (periodic table) กลุ่มธาตุที่เป็นโลหะหนักจะได้แก่ ธาตุที่มีอะตอมมีคัมเบอร์ระหว่าง 22-23 และระหว่าง 40-52 รวมทั้งธาตุในกลุ่มแลนทาไนด์ (lanthanide series) และกลุ่มแอกติไนด์ (actinide series) และสารมีผลต่อระบบชีวเคมีของพืชและสัตว์[17] โดยทั่วไปร่างกายสามารถสะสมโลหะหนักไว้ได้ปริมาณหนึ่งโดยไม่เป็นอันตราย ซึ่งในสีย้อมผ้าจะมีสารโลหะหนักเป็นองค์ประกอบด้วยและหากอยู่ในน้ำทิ้งในปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ หรือพืชน้ำ และในที่สุดจะเข้ามาอยู่ในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งมีผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรงดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการต่างๆ

2.3.2 วิธีการในการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายมีหลายวิธี โดยวิธีการต่างๆที่นิยมใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง มีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

การตกตะกอนเป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักจะใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว(Lime) สารส้ม(Alum) เฟอร์รัสซัลเฟต และเฟอร์รัสคลอไรด์ หรือเฟอร์ริกซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีอยู่ในรูปเกลืออลูมินาที่ไม่ละลายน้ำ หรือเป็นการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนโมเลกุลของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนสีจมลงในน้ำทิ้ง หลังจากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนจะปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้จะสามารถกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในมาตรฐานที่ได้ตกลงและอนุญาต แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลสีเล็ก เช่น สีประเภทสีเอซิก สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีประเภทนี้โดยใช้สารส้มไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น ใช้ Polyelectrolyte ในปริมาณที่มากเกินไป[18]

2.3.2.2 การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่โมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีโมเลกุลประมาณ 400 โมเลกุล ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสี จะมีโมเลกุลต่ำกว่า 400 หรือสูงกว่า 1,200 โมเลกุล ฉะนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสม เพื่อจะทำให้การดูดซับได้ผลที่สมบูรณ์ วิธีการปรับขนาดโมเลกุลก็คือ การไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว และเพื่อให้ประสิทธิภาพในการไฮโดรไลซิสสูง โดยจะต้องทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายอยู่ในช่วง 10-11 จึงจำเป็นต้องใช้ปูนขาวในปริมาณที่มากเป็นผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้งสูง ซึ่งจะต้องปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้งให้เป็นกลางก่อนที่จะปล่อยทิ้ง[18]

2.3.2.3 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozone Treatment)

โมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไปมีหมู่โครโมฟอร์ (Chromophore) ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เป็นพวก วงแหวน (Polycyclic) กับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น จะต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่นำมาใช้เมื่อไม่นานมานี้ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนเนชัน (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลของสีด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation) โมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยสารไนโตรเจน(Nitrogen) คลอรีน(Chlorine) หรือซัลเฟอร์(Sulphur) จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม ข้อดีคือ สามารถใช้กับน้ำทิ้งที่มีปริมาณมากและสามารถลดค่า COD ของน้ำที่บำบัดได้ข้อเสียของเทคนิคนี้คือ ต้นทุนของอุปกรณ์สูง[18]

2.3.2.4 คลอรีนชัน

คลอรีนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งเอเจนต์ ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูง ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของก๊าซโซลีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์[18]

2.3.2.5 การใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี

วิธีไฟฟ้าเคมีหรืออิเล็กโทรเคมีคัล เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งแต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เดิมทีการบำบัดด้วยวิธีนี้ถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำทิ้ง[18]

2.3.2.6 Membrane Technology

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น(Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี และยังสามารถนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ เทคนิคนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทย่อยดังนี้

1. Microfiltration-เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสีประเภทดิสเพอร์ส ที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทซัลเฟอร์ สีแสด และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย (cotton) และวิสคอส (Viscoes) สีย้อมประเภทสตีลเพอร์ส เมื่อผ่านกระบวนการ Microfiltration ต้องผ่านการบำบัดก่อนที่จะทิ้งไปโดยจำเป็นต้องมีการกำจัดผง การทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี และการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้ง

2. Reverse Osmosis-เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดไอออนของสีย้อมและโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นเยื่อแผ่น Reverse Osmosis ที่บรรจุน้ำกร่อย(Brackish water) และขั้นตอนที่สองจะเป็นเยื่อแผ่น Reverse ที่บรรจุน้ำทะเล(sea water) ซึ่งในขั้นตอนแรกจะกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้น

ของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังขั้นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้าย ไม่สามารถใช้กระบวนการ Reverse Osmosis ได้

3. Dynamic Membrane เป็นกระบวนการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ โดยใช้ตัวรองรับ(Support) เช่น เหล็กสแตนเลส, วัสดุคาร์บอนหรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนาโดยการใช้ Hydrous zirconium(IV)oxide เพื่อปรับปรุงขนาดรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่านั้น

4. Nanofiltration เป็นกระบวนการกำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยผ้า เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟจะต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์(Electro) ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์(NaCl), โซเดียมซัลเฟต(Na_2SO_4) กระบวนการ Nanofiltration จะสามารถใช้แยกสารอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก[18]

โดยทั่วไปแล้ววิธีการกำจัดสีโดยใช้เยื่อแผ่น (Membrane) นี้จะเป็นการทำให้โมเลกุลของสีย้อมรวมกันอย่างหนาแน่นบนด้านหนึ่งของเยื่อแผ่น ในขณะที่น้ำจะสามารถผ่านทะลุเยื่อแผ่นไปได้ ซึ่งจะสามารถแยกโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ได้ไม่เพียงเฉพาะโมเลกุลของสีย้อมเท่านั้น เทคนิคนี้สามารถใช้บำบัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณมากได้รวดเร็ว แต่ต้นทุนของอุปกรณ์มีราคาสูง และถ้าความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งมีปริมาณมากจะมีการตกค้างของสีในน้ำทิ้ง ดังนั้นเทคโนโลยีด้านเยื่อแผ่นจึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก

กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นตอนต่างๆ จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป การจะเลือกวิธีการกำจัดวิธีใดนั้นก็ขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละวิธี จากกระบวนการกำจัดสีที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงแต่มีข้อเสียคือมีต้นทุนที่สูง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการกำจัดสีวิธีใหม่ๆ มากมายเกิดขึ้นมีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ เช่น การใช้วัสดุดูดซับ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้น สมบัติในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับมาตรฐานที่อนุญาต แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีสูงหรือมีสารอื่นเจือปน แต่ต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งหลักการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติได้อธิบายถึงในหัวข้อถัดไป

2.4 การขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ

เพื่อให้มีความเข้าใจการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ จึงทำการรวบรวมข้อมูลในด้านนิยามของการดูดซับ ประเภทของสารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ กลไกในการดูดซับ อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับ ลักษณะของการดูดซับ สมดุลการดูดซับ จลนพลศาสตร์การดูดซับ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 นิยามของการดูดซับ

การดูดซับเป็นการสะสมสารหรือวัสดุที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลวรวมถึงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายไปอยู่บนผิวของของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface Precipitation Process) หรือกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization Process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารหรือวัสดุในสารละลาย ตัวทำละลาย หรือพื้นที่ผิวของของแข็งลดลงไปนั้นเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือกระบวนการอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้ว โดยทั่วไปจะใช้คำว่า “Sorption” การดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของตัวถูกละลาย (Adsorbate) ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวไปยังวัสดุดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกละลายบนผิวของวัสดุดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดเนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ชนิดคือ ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายและสัมพันธภาพ (Affinity) ของตัวถูกละลายที่มีต่อวัสดุดูดซับ [19]

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือแก๊ส โดยใช้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าวสัมผัสกับวัสดุดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง วัสดุดูดซับชนิดหนึ่งๆ มีความสามารถดูดซับองค์ประกอบต่างๆ ในสารละลายได้แตกต่างกันจึงสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ออกจากกันได้ การจะแยกองค์ประกอบใดออกจากสารละลายนั้นต้องเลือกชนิดวัสดุดูดซับให้เหมาะสม ซึ่งประเภทของวัสดุดูดซับจะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังหัวข้อถัดไป

2.4.2 ประเภทของสารดูดซับ [20]

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

2.4.2.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอคติเวตเตดลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรตอกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การไขประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2.4.2.2 ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรตอกรัม การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับมีข้อจำกัดเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีต้นทุนในการขจัดตัวถูกละลายออกจากถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สูง

2.4.2.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน, resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรตอกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซีลี้อย โคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช่แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช่แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) ถั่วแกลบดำ เป็นต้น

2.4.2.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลลูลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือ ราสายพันธุ์ต่างๆและสาหร่าย

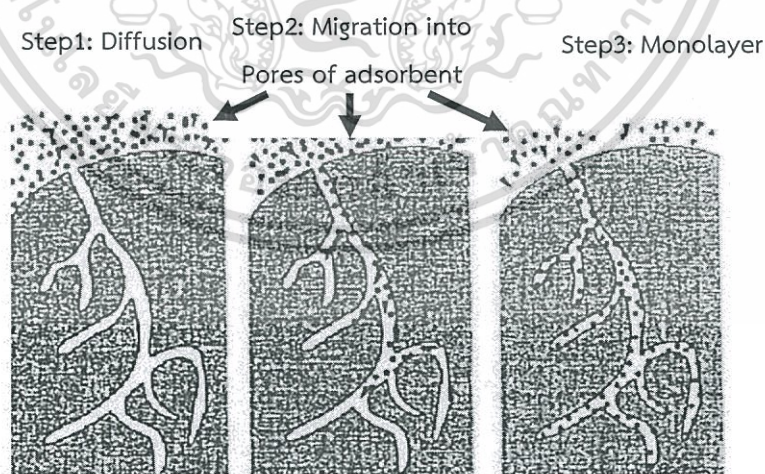
2.4.3 กลไกการดูดซับ[20]

การเคลื่อนตัวของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีกลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.4.3.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

2.4.3.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

2.4.3.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ในกระบวนการดูดซับ[20]

2.4.4 ลักษณะการดูดซับ

ลักษณะการดูดซับมี 2 ลักษณะ คือ

2.4.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับกับองค์ประกอบที่ถูกดูดซับซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้น องค์ประกอบจะยึดติดแน่นบนผิวของสารดูดซับ ถ้าสารดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านสู่ช่องว่างภายในของสารดูดซับได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ และจะให้ความร้อนออกมาเพียงเล็กน้อยแต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น เมื่อลดความดันของระบบหรือเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับลดลง ทำให้สารถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากสารดูดซับ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการคายซับ (Desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (Reversible) การดูดซับนี้สารดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี [19]

2.4.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับ สร้างสารประกอบระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ ทำให้ปริมาณของสารดูดซับลดลง ซึ่งจะไม่ขึ้นกับค่าความดันมากนัก และดูดซับสารถูกดูดซับไว้ได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ เนื่องจากการดูดซับเกิดจากปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิว จึงเกิดได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้น แต่การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้บนพื้นผิวทั้งหมด และการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับได้ (Reversible) ปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิปกติองค์ประกอบบางชนิดจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะสามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้ [19]

2.4.5 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption Force)

ในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ (Physical Force) และแรงทางเคมี (Chemical Force) แรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's Force) เช่น Partitioning รวมทั้งแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) บริเวณผิวรอบนอกของสารประกอบ เช่น Iron exchange ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ในช่วงสั้นๆ รวมถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand Exchange) พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

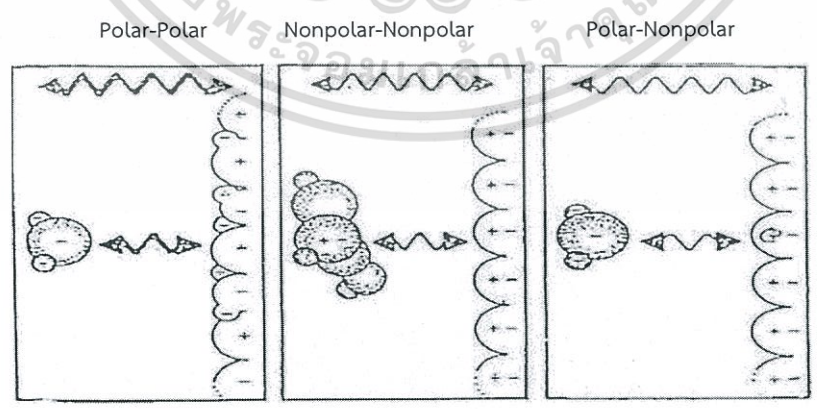
2.4.5.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waal's Force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระ หรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ(Desorption) จะกระทำได้ง่ายซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับได้ง่าย[20]

2.4.5.2 แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force)

แรงทางไฟฟ้าสถิต เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเข้าด้วยกัน หรือระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่างๆเกิดจาก 3 กรณีดังนี้

1. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (Orientation Effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม
2. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (Dispersion Effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลที่ไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามา ก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อน เช่นอินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว
- 3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (Induction Effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ซึ่งทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.3 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต[21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.3 แรงทางเคมี

แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่างๆ เช่น คอลลอยด์ดินนั้นเนื่องมาจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชัน ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชัน (functional Group) ที่ผิวของสารดูดซับได้ แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอน หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางฟิสิกส์

2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี[20]

2.4.6 สมดุลการดูดซับ

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปนในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้นเริ่มต้น C_0 ก่อนเริ่มต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นในขณะที่เดียวกันโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายซับออกมา พบว่าอัตราการคายซับจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับเมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ณ สภาวะสมดุลการดูดซับจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้ภายในวัสดุดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายออกมามีปริมาณคงที่



ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 mol/L ในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

K_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = K_1[C](1 - q) \quad (2.2)$$

r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายหรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

K_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

(1 - q) เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 mol/L ในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

K_2 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_2 = k_2(q) \quad (2.4)$$

r_2 แทนอัตราการคายซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

K_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

ณ สภาวะสมดุล

$$r_1 = r_2$$

$$K_1[C](1 - q) = K_2(q)$$

$$\frac{(q)}{(1 - q)} = \frac{K_1}{K_2}[C] = K[C]$$

$$q = \frac{K[C]}{1 + K[C]}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ

ที่สภาวะสมดุลซึ่งประกอบด้วยทั้งกระบวนการดูดและกระบวนการคาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ สภาวะสมดุลนี้

$$K = \frac{q}{C} \quad (2.6)$$

K เป็นค่าคงที่อัตราสมดุล

q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับหน่วยเป็น ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเช่น mol/kg mol/g mg/kg

C เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น mol/l

ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่า

(ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ) = (ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ)

$$qw = v(C_o - C) \quad (2.7)$$

q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับหน่วยเป็นปริมาณ ตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเช่น mol/kg mol/g mg/kg

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น kg

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่หน่วยเป็น cm^3 หรือ l

C เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น mol/l

C_o เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่อยู่ในสารละลายเริ่มต้น หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น mol/l

2.4.7 จลนพลศาสตร์การดูดซับ (Kinetics of Adsorption)

เป็นการศึกษากลไกการดูดซับจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่อหนึ่ง หน่วยเวลาหรือเรียกว่าอัตราการดูดซับ (rate of reaction) ณ เวลาต่างๆ ก่อนการดูดซับเข้าสู่สภาวะ สมดุล ด้วยการหาอันดับของปฏิกิริยา (order of reaction) การหาขั้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ (rate determining step) และค่าคงที่ของอัตราการดูดซับ เพื่อศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของ สารตั้งต้น สำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบประยุกต์ใช้ตัวดูดซับให้มีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการ ใช้งานในระบบต่างๆ เช่น batch reaction fix reaction และ fluidized beds เป็นต้น [20]

2.4.7.1 อัตราการดูดซับ

อัตราการดูดซับ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่อหน่วยเวลา อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่ช้าที่สุดและเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งเป็นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาวัสดุดูดซับ (Bulk Solution Transport) ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้ๆ กับอนุภาคของตัวดูดซับ (Boundary Layer) การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ (Diffusion) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว[19]

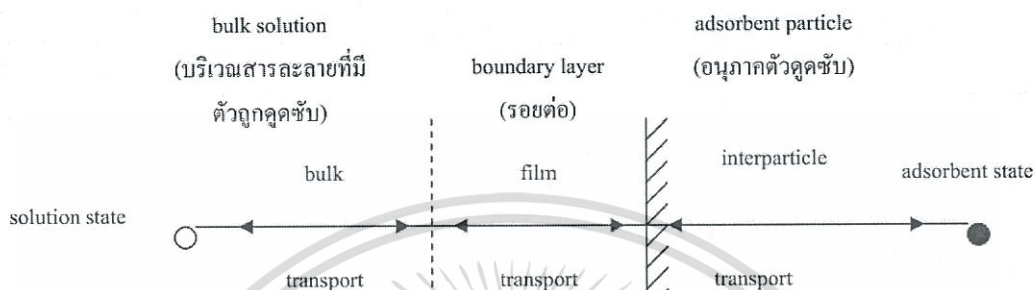
2. ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของวัสดุดูดซับ (Film Diffusion) ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบางๆ ของสารละลายที่อยู่หนึ่งที่ถูกรอบๆ อนุภาคของวัสดุดูดซับ โดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้น อยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของวัสดุดูดซับ หรือการปั่นป่วนของสารละลาย โดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆ จะลดลงเมื่ออัตราการไหลและความปั่นป่วนสูงขึ้น[22]

3. ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในวัสดุดูดซับ (Pore Diffusion) ภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆ รอบอนุภาคของวัสดุดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของวัสดุดูดซับ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้ (Intraparticle Transport) อาจเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูพรุนในตัวดูดซับ หรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของวัสดุดูดซับ (Surface Diffusion)[22]

4. ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของวัสดุดูดซับ การสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับ (Adsorption Bond) ระหว่างวัสดุดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้น ขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับแบบกายภาพ (Physical Adsorption) ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ไต่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยาในการกำจัดโมเลกุลต่างๆ ออกจากสารละลาย แต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี (Chemical Adsorption) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้า ซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอน ต่างๆ ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่างๆ ออกจากสารละลาย [23]

การดูดซับของสารถูกดูดซับบนพื้นผิววัสดุดูดซับจากฟางข้าวประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน ดังที่กล่าวมาข้างต้น คือขั้นตอนการเคลื่อนที่ของสารละลายเข้าหาวัสดุดูดซับ (Bulk Transport) ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film Diffusion) ขั้นตอนการแพร่ภายในรูพรุน (Pore Diffusion) และ

ขั้นตอนการดูดซับ (Adsorption) โดยทั่วไปถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ ขั้นตอนแรกและขั้นตอนสุดท้ายจะเกิดขึ้นเร็วมาก และถ้าในระบบการดูดซับมีความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มก็เกิดขึ้นเร็ว แต่เมื่อใดก็ตามที่การดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมี ขั้นตอนการดูดซับจะเกิดขึ้นช้ากว่าขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ[24]

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจาก 2 สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นิยมกันอย่างแพร่หลายคือ สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งและสอง (Pseudo First Order และ Pseudo Second Order) ซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่ใช้อธิบายการดูดซับที่ผิวของวัสดุดูดซับ

2.4.7.2 สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง (Pseudo First Order)

จากสมมุติฐานการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิววัสดุดูดซับ เป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic Interaction) ระหว่างผิววัสดุดูดซับกับโมเลกุลตัวถูกดูดซับและการดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมี สามารถคำนวณหาอัตราเร็วในการดูดซับได้โดยใช้สมการจลนพลศาสตร์การดูดซับที่เรียกว่า สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง (Pseudo First Order) ของลาเกอร์เกรน (Lagergren) [25] จากปฏิกิริยาการดูดซับดังนี้



โดยที่ A คือ ตัวถูกดูดซับ(Adsorbate) และ S คือวัสดุดูดซับ (Adsorbent)

A^*S คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbed Compound) สามารถเขียนสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่งได้ดังนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.9)$$

โดยที่ k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง (นาที⁻¹)

q_t คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_e คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

2.4.7.3 สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (Pseudo Second Order)

สมการจลนพลศาสตร์สำหรับอธิบายการดูดซับบนผิววัสดุดูดซับที่นิยมอีกสมการหนึ่งคือสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง บนสมมุติฐาน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์ เป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าและเป็นการดูดซับทางเคมีที่มีผลมาจากตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา (Active Site) [25]จากปฏิกิริยาการดูดซับ



โดยที่ A คือ ตัวถูกดูดซับ(Adsorbate) และ S คือวัสดุดูดซับ (Adsorbent)

A^*S คือ สารประกอบที่เกิดจากการดูดซับ (Adsorbed Compound) สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสองสามารถเขียนอัตราเร็วการดูดซับได้ดังนี้

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.9)$$

โดยที่ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (กรัมต่อมิลลิกรัม นาที)

q_t คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_e คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

2.4.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเกิดจากหลายปัจจัยได้แก่

2.4.8.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน-พื้นที่ผิว เป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นเพราะถ้าขนาดของสารดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับได้ความสามารถในการดูดซับก็ต่ำลง

2. ขนาดของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับ-ในกรณีที่เป็นตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าวัสดุดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นในการนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัสดุ

3. เคมีที่ผิวหน้า-หมู่ฟังก์ชันนัล (functional group) เฉพาะที่อยู่บนผิววัสดุดูดซับจะมีสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และมีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นกรด ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นหมู่คาร์บอนิก ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น

2.4.8.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ

1. ความสามารถในการละลาย-ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นการชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลาย และตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2. น้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุล-เมื่อเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล และขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ และจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้นการดูดซับก็จะมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

3. ความมีขั้วของโมเลกุล-ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

4. ความสัมพันธ์ของขนาดโมเลกุล-ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับขนาดของรูพรุน ถ้าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าขนาดของสารที่ถูกดูดซับ โมเลกุลก็ไม่สามารถเข้าไปในรูพรุน การดูดซับโดยรูพรุนจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้[26]

2.4.8.3 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film Diffusion) หรือการแพร่ผ่านรูพรุน (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาตัวดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8.4 อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใดคือถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น[20]

2.4.8.5 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรด ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น และเมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้นมีผลทำให้มี OH^- บนพื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น แต่ถ้าสารละลายมี pH สูงกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ และไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง[20]

2.5 ความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ

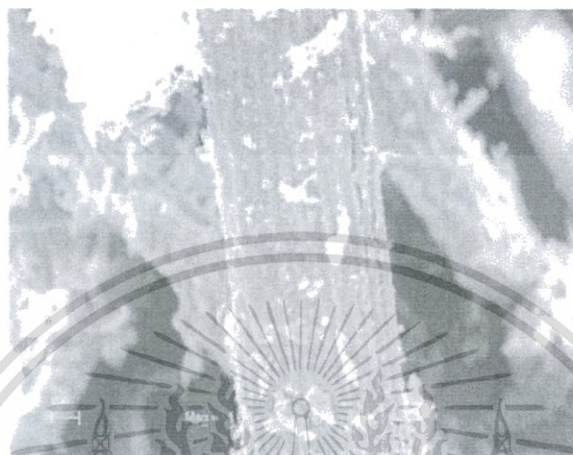
การพิจารณานำฟางข้าวมาใช้เป็นวัสดุดูดซับพิจารณาจากความสำคัญในด้านของปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดนี้รวมไปถึงราคาที่จะกลายเป็นต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียในที่สุด นอกจากนี้ยังพิจารณาในส่วนขอโครงสร้างอันเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 ความสำคัญของฟางข้าว

ประเทศไทยมีการผลิตข้าวเพื่อการบริโภคและส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก จากรายงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [27]พบว่า ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ถึงปีละ 16 ล้านตันต่อปี ทำให้มีผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวและสีข้าวเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ รำข้าว และปลายข้าว เป็นต้น จากการรายงานของ Sundhagul และ Attasampunna [28]พบว่าประเทศไทยมีผลพลอยได้จากการผลิตข้าวดังนี้คือ แกลบ 11 ล้านตัน รำข้าว 1.6 ล้านตัน และฟางข้าว 117 ล้านตันต่อปี ซึ่งฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาข้าวบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง คลุมแปลงผักและใช้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่โดยส่วนใหญ่ชาวบ้านจะใช้วิธีการเผาเพื่อกำจัดออกจากพื้นที่ก่อนจะลงมือทำนาในรอบต่อไปซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะจากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้และและส่งผลให้หน้าดินเสื่อมสภาพ ดังนั้นการนำฟางข้าวซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าแล้วยังเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้อีกวิธีหนึ่งด้วย

2.5.2 การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JMS-5400 Scanning Electron Microscope, SEM) ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่าดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า[29]

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวพบว่าฟางข้าวมีองค์ประกอบโดยหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แพนคติน และมีปริมาณ residual ash สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบของฟางข้าวและฟางจากข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ตและข้าวบาเลย์ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าฟางข้าวมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงกว่าฟางข้าวสาลี, ฟางข้าวโอ๊ตและฟางข้าวบาเลย์ และฟางข้าวในส่วนของปล้องข้อจะมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกข้าว ฟางข้าวและรำข้าวตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ[29]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและฟางข้าวบาเลย์, ฟางข้าวโอ๊ต, ฟางข้าว สาลี

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

เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของฟางข้าวจากภาพถ่าย Microstructure พบว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย crude protein hemicellulose , และ cellulose ซึ่งทำให้มีลักษณะเหมาะสมสำหรับยึดจับกับไอออนของโลหะหนัก มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการกำจัดสีและโลหะหนักในน้ำ ทั้ง ฟางข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อกำจัดสีย้อมและโลหะหนักออกจากน้ำย้อมสีผ้าได้

2.6 การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับสีและโลหะหนักใน สารละลาย

วัสดุดูดซับ(Adsorbent) นิยมใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือวัสดุต่างๆที่มีอยู่ในท้องถิ่น ซึ่งหาได้ง่ายมีตามครัวเรือนและไม่ได้ใช้ประโยชน์ วัสดุดูดซับแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามพฤติกรรมการดูดซับคือ กลุ่มแร่ธาตุธรรมชาติวัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระไฮดรอลเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายของอะตอมซิลิกา การดูดซับไอออนของตัวดูดซับเกิดจากการที่มีการแตกตัวของพันธะเคมีภายในโครงสร้างทำให้เกิดประจุค้ำข้างขึ้นโดยมีประจุค้ำข้างเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดึงดูดประจุบวกที่มีอยู่ในสภาพมีโมเลกุลน้ำล้อมไว้ที่ผิวของมันไว้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต กลุ่มที่สองคือกลุ่มที่ได้จากพืชประเภทพืชมวน วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูพรุนกลุ่มเล็กมากกระจายอยู่ทั่วไป ตามพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของวัสดุเป็นชั้น(Layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถใช้ในการดูดซับได้ความสารสีในการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน ถ้าปริมาณคาร์บอนสูงจะถูกดูดซับได้ดี เช่น แกลบเผา ถ่าน และถ่านกัมมันต์ [30]

กระบวนการดูดซับโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารดูดซับ มีกลไกการดูดซับต่างๆ ได้แก่ Physical adsorption, complexation, ion exchange และ surface microprecipitation ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ในการขจัดสีได้แก่ จากการศึกษาทดลองของ Ozacar และ Sengil[31] ซึ่งใช้ซีลี้อยเป็นสารดูดซับพบว่า ซีลี้อยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ ประกอบด้วยฟังก์ชันกรุป ที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่ฟีนอลิก และหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้น สารเซลลูโลสที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โนซีเลื่อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงมีคุณสมบัติเป็นสารดูดติดผิวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับโลหะหนักและสีย้อม

Malik [32] ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์ประเภทอะโซโดยใช้ซีเลื่อยของต้นมะฮอกกานี ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับ พบว่า ถ่านจากซีเลื่อยสามารถกำจัดสีย้อมชนิดนี้ได้โดยประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม คือที่ pH 3 และสมการการดูดซับที่เหมาะสมเป็นแบบ Langmuir isotherm ซึ่งจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Garg และคณะ [33] ที่ศึกษาการนำเอาซีเลื่อยจากต้นกุหลาบอินเดีย มาใช้ในการกำจัดสีย้อม methylene blue พบว่า ซีเลื่อยสามารถกำจัดสีย้อมได้สูงสุดภายในเวลา 30 นาทีตั้งแต่เริ่มการทดลอง โดยความสามารถในการกำจัดสีย้อมขึ้นกับ ปริมาณสารดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม แต่ค่าความเป็นกรดต่างจะไม่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมชนิดนี้เท่าไรนัก ดังนั้นจะเห็นว่า การนำซีเลื่อยจากไม้ชนิดต่างๆ มาเป็นสารดูดซับสีย้อม จะทำให้ได้สารดูดซับที่มีราคาประหยัด และสามารถกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียได้ด้วย

มีหลายประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย แกลบจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีผู้สนใจนำมาวิจัยในด้านการใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม เช่น งานวิจัยของ Yusra และ Haq[34] ในการใช้ฟางข้าวดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์ เรด 31 และสีไคเร็กซ์ออร์เรนจ์ 26 โดยศึกษาปัจจัยในด้านความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น 5 ระดับ คือ 25 50 75 100 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม (dose) 5 ระดับ คือ 0.06 0.07 0.08 0.09 และ 0.1 กรัมต่อลิตร และ pH 5 ระดับ คือ pH เท่ากับ 2 3 4 5 และ 6 โดยควบคุมระยะเวลาในการดูดซับที่ 3 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิในการดูดซับที่ 30 องศาเซลเซียส และใช้ขนาดของวัสดุดูดซับ 0.255 มิลลิเมตร พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 31 สูงสุด คือที่ระดับ pH 2 ซึ่งสามารถดูดซับสีได้ 57.88 mg/g และความสามารถในการดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์ออร์เรนจ์ 26 สูงสุด คือที่ระดับ pH 3 ซึ่งสามารถดูดซับสีได้ 36.14 mg/g ที่ระดับความเข้มข้นของสีย้อม 125 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้น Yusra และ Haq[35] ยังได้ทำการศึกษาในส่วนของจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ โดยทดลอง ใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสีไคเร็กซ์ เรด 31 และสีไคเร็กซ์ออร์เรนจ์ 26 ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 5-300 นาที โดยการใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ pseudo-first-order และ pseudo-second-order ซึ่งพบว่า สมการ pseudo-second-order สอดคล้องสามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่า

นอกจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมายังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกหลายชนิดที่ถูกนำมาทดลองใช้เป็นวัสดุในการดูดซับสีย้อม Mohamad และคณะ [36] ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้าน การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการวิจัยการนำมาใช้ในการดูดซับสีย้อมออกจากน้ำเสีย[39]

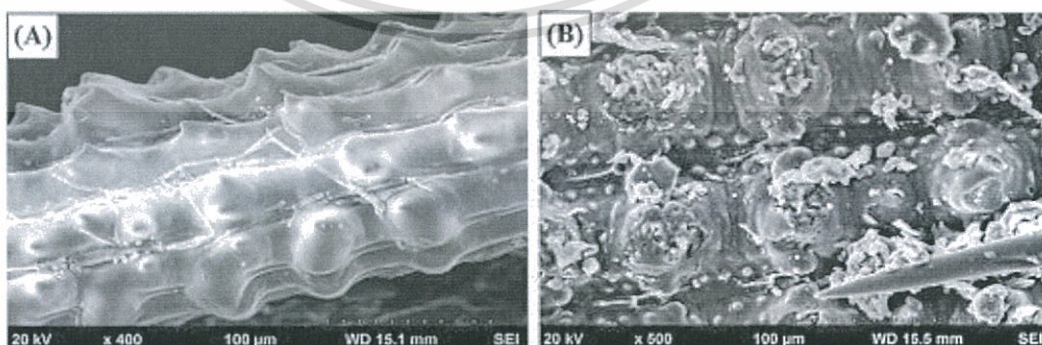
Adsorbents	Dyes
Sugar beet pulp	Gemazol turquoise blue-G
Powdered peanut hull	Sunset yellow, Amaranth and Fast green
Rice husk ash	Indigo Carmine
Chemically modified peanut hull	Methylene blue, Brilliant cresyl blue, Neutral red, Sunset yellow and Fast green
Peanut hull	Methylene blue, Brilliant cresyl blue, Neutral red
Coir pith activated carbon	Reactive orange 12, Reactive red 2 and Reactive blue 4
Coir pith activated carbon	Congo red
Coir pith carbon	Methylene blue
ZnCl ₂ activated coir pith carbon	Acid brilliant blue, Acid violet, Methylene blue and Rhodamine B
Coir pith	Acid violet
Rice husks activated carbon	Malachite green
Rice husk-based porous carbon	Malachite green
Rice husk	Congo red
Tea waste	Methylene blue
Coniferous pinus bark powder	Crystal violet
Orange peel activated carbon	Direct N Blue-106
Neem sawdust	Malachite green
Guava seed carbon	Acid blue 80
Peanut hull	Reactive Black 5
Loofa activated carbon	Reactive orange
Apricot stone activated carbon	Astrazon yellow (7GL)
Almond shells	Direct red 80
Lemon peel	Malachite green
Bagasse fly ash	Methyl violet
<i>Polygonum orientale</i>	Malachite green
Linn activated carbon	

2.7 การดัดแปลงสภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบางชนิดมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในบางครั้งวัสดุดูดซับเหล่านี้มีข้อจำกัดคือมีสารเคลือบเช่น ลิกนิน และ สารประกอบระหว่างซิลิกากับเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการดัดแปลงสภาพวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ เช่น การทำให้อยู่ในรูปของ เถ้า [37]หรือถ่านกัมมันต์[38] แต่วิธีการเหล่านี้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากสีของถ่านที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการเอกสตรัคชันเป็นเอกสตรัคชันที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสตรัคชันทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อมได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาในส่วนของ การดัดแปลงสภาพทางเคมี ซึ่งเป็นวิธีการที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสารเคมีที่นำมาใช้จะสามารถขจัดในส่วนของสารเคลือบผิว หรือทำลายโครงสร้างบางส่วนของวัสดุดูดซับทางการเกษตรทำให้มีโครงสร้างรูพรุนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น งานวิจัยการดัดแปลงสภาพของแกลบด้วยกรดซิตริก โดยทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแกลบและแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซิตริกมีความสามารถในการดูดซับกรดซิตริกได้เพิ่มขึ้นถึง 13 มิลลิกรัม/น้ำหนักฟางข้าวแห้ง(กรัม) และในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับโดยใช้สมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ pseudo-first-order มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R^2) ของฟางข้าวและฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซิตริกอยู่ที่ 0.99 และ 0.97 [39]

ในการทดลองของ sagnik และคณะ [40]ทำการทดลองดัดแปลงสภาพของแกลบด้วย NaOH เพื่อขจัดสีย้อม Crystal Violet ออกจากสารละลายสีย้อมที่เตรียมขึ้น พบว่าในการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแกลบต่อปริมาตรสารละลายตั้งแต่ 0.5-5.0 กรัมต่อลิตร และเปลี่ยนแปลงระดับ pH ตั้งแต่ 2-10 พบว่าความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแกลบต่อสารละลายตั้งแต่ 0.5-1.0 กรัมต่อลิตร และมีความสามารถในการขจัดสีย้อม Crystal Violet ได้ดีที่สุดที่ pH 7 แกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH มีความสามารถในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายได้ดีกว่าแกลบธรรมดา ซึ่งหากเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแกลบโดยธรรมชาติกับแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH มีลักษณะโครงสร้างรูปกรวยบนพื้นผิวถูกทำลายจนแผ่แตกออก จึงเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้สูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น และการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับโดยใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ pseudo-first-order และ pseudo-second-order พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบสมการ pseudo-second-order ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมี



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายแกลบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า แกลบ(รูป A) แกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH (รูป B) [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนำแกลบมาสภาพผิวด้วยวิธีทางเคมีจากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิในการดูดซับ 30°C $\text{pH} = 7$ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้า 150 ppm พบว่าแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 wt% และแกลบที่ปรับสภาพด้วยนอร์มัล -3- คลอโร -2- ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 60 wt% (CHMAC) สามารถดูดซับสีเบสิก และสีรีแอคทีฟได้เท่ากับ 97.16% และ 71.87% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ซึ่งมีราคาสูง สามารถดูดซับสีเบสิกได้ 97.59% แต่ไม่สามารถดูดซับสีรีแอคทีฟได้ ผลการศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ พบว่าแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 wt% กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ 1 วัน สามารถดูดซับสีเบสิกได้ดีที่สุด และแกลบที่ปรับสภาพด้วย CHMAC ความเข้มข้น 60 wt% กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ 4 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีรีแอคทีฟได้ดีที่สุด โดยเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มจาก 30°C เป็น 70°C ความสามารถในการดูดซับสีเบสิก และสีรีแอคทีฟจะเพิ่มจาก 71.87% เป็น 94.47% [20]

งานวิจัยของ samah และคณะ [41] ทำการดัดแปลงสภาพของแกลบโดยใช้อินทรีย์ได้แก่กรดซัลฟริกและกรดอินทรีย์ได้แก่ HCl , H_2SO_4 และ HNO_3 เพื่อทดลองขจัดฟีนอลในสารละลาย (ฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตสีย้อมหลายชนิด) พบว่าแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟริกมีประสิทธิภาพในการขจัดต่ำกว่าแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดอินทรีย์ โดยแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย H_2SO_4 , HCl , HNO_3 และกรดซัลฟริก มีประสิทธิภาพในการขจัดสีอยู่ระหว่าง 40.21-59.54%, 32.11-43.87%, 31.33-40.66% และ 22.42-35.41% ตามลำดับ เมื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับพบว่า เป็นไปตามแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ pseudo-second-order การทดลองดูดซับสีย้อมโดยผัดบขวา ทำการเตรียมตัวดูดซับ 4 ชนิด คือ ตัวดูดซับที่ไม่ปรับสภาพ ตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 15% NaOH 20% และ NaOH 25% ตัวดูดซับเมื่อถูกปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH จะเกิดการพองตัว และทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้น โดยตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 20% มีการพองตัวมากที่สุดในขณะที่ตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 15% มีการพองตัวใกล้เคียงกับตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 25% และตัวดูดซับที่ไม่ปรับสภาพไม่มีการพองตัวจากการศึกษาตัวดูดซับทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสีไดเร็กทจากน้ำสีสังเคราะห์ และเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจริงจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ซึ่งตัวดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 20% ที่สภาวะตั้งนี้ค่า pH 5 ปริมาณตัวดูดซับ 4 กรัมต่อลิตร เวลาในการบั่นกวน 240 นาที และเวลาในการสัมผัส 90 นาที สามารถกำจัดสีได้ 76.80 % และลดค่า BOD ได้ 6.07% [9]

การปนเปื้อนของสีย้อมลงสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมมีวิธีการหลายวิธีในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรมแต่เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุดูดซับสีออกจากน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้และเหมาะสมอุตสาหกรรมขนาดเล็กเนื่องจากมีต้นทุนในการดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ ง่ายต่อการดำเนินการ ฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกประกอบ รวมทั้งเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ เป็นวัสดุดูดซับขจัดสีย้อมส่วนเกินออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า โดยจากการศึกษางานวิจัยในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมพบว่า อุณหภูมิ pH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลาย และการตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับ ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้ ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมชนิดไดเร็กซ์ เนื่องจากเป็นสีที่นิยมใช้ย้อมผ้ากันมากในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน ในระหว่างกระบวนการย้อมเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการดูดซับรวมทั้งเป็นการลดขั้นตอนและระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสีย และทำการ ทดลองที่ pH โดยธรรมชาติของสีที่ใช้ และระดับความเข้มข้นสีตามคำแนะนำของบริษัทผู้นำเข้าสี เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม โดยทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของฟางข้าวต่อ ปริมาตรของสารละลาย และทำการตัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วย NaOH และ H_2SO_4 เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการดูดซับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวเพื่อการกำจัดสี้อมชนิด direct orange 39 ออกจากสารละลายสี้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้าย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการวิจัย การเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวด้วยวิธีที่แตกต่างกันจึงได้นำเสนอในบทนี้ จากนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นในการขจัดสีออกจากสารละลายสี้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้า และผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านกระบวนการย้อมได้มีการอธิบายในบทนี้เช่นกัน ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวแสดงเป็นหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

การนำฟางข้าวมาใช้เป็นวัสดุดูดซับชีวภาพจำเป็นต้องมีการขั้นตอนในการเตรียมเพื่อให้ฟางข้าวมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับสี้อมในระหว่างกระบวนการย้อม จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับทางชีวภาพโดยปรับปรุงสภาพโดยใช้สารละลายกรดและเบส โดยการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้วัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการเตรียมโดยการแช่ในสารละลายกรดหรือเบสก่อนการนำไปใช้ ดังนั้นในการเตรียม วัสดุดูดซับจากฟางข้าวจะทำการเปรียบเทียบระหว่าง วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพด้วยกรด และวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.1 การเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้า ดังนั้นการศึกษาได้เริ่มจากการใช้ฟางข้าวเฉพาะในส่วนของลำต้นสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับเนื่องจากขนาดใหญ่เพียงพอที่สามารถแยกวัสดุดูดซับออกจากชิ้นผ้าที่นำมาย้อมได้ง่าย การนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอาจมีการปนเปื้อนของดิน ดังนั้นก่อนการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับจึงต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมโดยนำฟางข้าวส่วนลำต้น ผ่านการลดขนาดด้วยการตัดให้มีขนาด 2 ± 0.1 เซนติเมตรจากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH ของน้ำล้างประมาณ 6.5 - 7.0 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส

ในการดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มจากการเตรียมสารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 3 โมลาร์โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 120 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรเขย่าจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมในหัวข้อ 3.1.1 ปริมาณ 100 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร ลงไปแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 3.1 หลังจากนั้นกรองส่วนของฟางออกจากสารละลาย นำฟางที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่า pH ในน้ำล้างมีค่า ประมาณ 6.0 – 7.0 จึงนำฟางข้าวที่ผ่านการล้างนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อรอการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับ

3.1.3 วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด

ในการดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยกรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มจากการเตรียมสารละลายสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้น 3 โมลาร์โดยการปิเปตสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น จากกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98%, 1.84 kg/L) ปริมาตร 169.8 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ที่มีน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ นำฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมในหัวข้อ 3.1.1 ปริมาณ 100 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ลงไปแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 3.1 หลังจากนั้นกรองส่วนของฟางออกจากสารละลาย แล้วนำฟางที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งวัดค่า pH ในน้ำล้างมีค่าประมาณ 6.0 – 7.0 จึงนำฟางข้าวที่ผ่านการล้างนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อรอการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับ



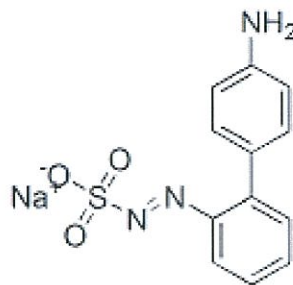
รูปที่ 3.1 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก (ซ้าย) และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(ขวา)

วัสดุดูดซับที่ผ่านการเตรียมขึ้นทั้ง 3 ชนิดนี้ถูกนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมเพื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพ ในการดูดซับ โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังหัวข้อถัดไป นอกจากนี้การปรับปรุงสภาพวัสดุดูดซับด้วยสารละลายกรดหรือเบสนี้ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุอันจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการดูดซับต่อไป ดังนั้นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับที่ผ่านการเตรียมขึ้นนี้จะสามารถอธิบายถึงอิทธิพลของการตัดแปลงสภาพต่อประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมได้ โดยขั้นตอนในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับได้มีการอธิบายในหัวข้อ 3.3.1

3.2 การทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

ในการศึกษาการใช้วัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม ปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาณของสารละลาย (dose) และระยะเวลาในการดูดซับเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นในการทดลองได้ทำการย้อมสีผ้าโดยเปลี่ยนแปลงวัสดุดูดซับ 3 ชนิด คือ วัสดุดูดซับจากฟางข้าว วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณวัสดุดูดซับแตกต่างกัน 3 ระดับ คือที่ 1 3 และ 5 กรัม และที่ระยะเวลาในการดูดซับ 10 ระดับ คือที่ 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80, 100 และ 120 นาทีโดยสีที่ใช้ในการทดสอบคือสี direct orange 39 ซึ่งได้รับจากบริษัทฟิลิธส์ อินเทอร์เน็ตกรุ๊ปโดยมีลักษณะสีและสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สี direct orange 39(ซ้าย) และสูตรโครงสร้างทางเคมี (ขวา)

ขั้นตอนในการย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมดังนี้

1) เตรียมผ้าฝ้ายที่ใช้ในการย้อมสีโดยการตัดผ้าฝ้ายดิบที่ผ่านการฟอกขาวออกเป็นชิ้น ให้แต่ละชิ้นมีขนาด 4×10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม/ชิ้น

2) ทำการเตรียมสารละลายย้อมมาตรฐานโดยใช้สัดส่วนผงสี 0.8 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2 %w/v จากนั้นปิเปตสารละลายย้อมมาตรฐานปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 10 ใบ

3) นำบีกเกอร์ทั้งหมดมาแช่ไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ให้ความร้อนจนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.3

4) ใส่ผ้าฝ้ายที่เตรียมไว้ลงในบีกเกอร์บีกเกอร์ละ 3 ผืน คนให้จมอยู่ใต้สารละลาย ทั้งไว้เป็นเวลา 60 นาทีโดยรักษาระดับอุณหภูมิในการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการย้อม



รูปที่ 3.3 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อย้อมสีผ้าฝ้ายจนครบตามระยะเวลาในการย้อม นำปีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ แล้วนำวัสดุดูดซับใส่ลงในปีกเกอร์ทันที

6) ศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับโดยกรองวัสดุดูดซับออกที่เวลา 0,5,10,15,30,45, 60,80,100 และ 120 นาที

เพื่อให้ทราบถึงศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมของวัสดุดูดซับ และผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม ตัวอย่างที่ได้จากการทดลองได้แก่ วัสดุดูดซับที่ผ่านการใช้ทดลอง สารละลายสีย้อม และผ้าที่ผ่านการย้อมสีได้ถูกนำไปทดลองในขั้นตอนของวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ 2) การศึกษาความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ และ 3) การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ

ลักษณะทางกายภาพมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับ การเตรียมวัสดุดูดซับด้วยการแช่ในสารละลายกรดหรือเบสจะทำให้ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการนำวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด คือ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดผ่านการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า (รูปที่ 3.4) และการถ่ายภาพกำลังขยายสูงแบบอิเล็กตรอน ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ในรูปที่ 3.5) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ



รูปที่ 3.4 กล้องดิจิทัลออปติคอลไมโครสโคป(Digital Microscope) รุ่น USB S02



รูปที่ 3.5 เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope SME) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV

3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพสามารถศึกษาได้จาก 2 ส่วน คือส่วนแรกศึกษาจากสีที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับโดยตรวจสอบได้จากการตรวจสอบมวลสารประเภทโลหะที่ถูกดูดซับไว้ภายในวัสดุดูดซับโดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเก่าในวัสดุดูดซับ สำหรับส่วนที่สองคือการศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม โดยรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่าของวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่กรองออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80, 100 และ 120 นาที ถูกนำไปทำให้แห้งโดยอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกมาเก็บไว้ไว้ในโถดูดความชื้น และเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการนำไปวิเคราะห์เป็นลำดับถัดไป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในสีย้อมผ้ามีส่วนประกอบของโลหะหนักเพื่อช่วยให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสีสดใส ดังนั้นแล้วหากวัสดุดูดซับมีการดูดซับมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมสามารถตรวจสอบได้จากการการเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่าของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ รายงานค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์หาปริมาณเก่าในตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้

1. นำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองใช้เป็นสารดูดซับอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการนำไปวิเคราะห์

2. นำถ้วยกระเบื้องเปล่าอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

3. ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 2 กรัม นำไปทำการเผาบนเตาจนหมดควัน

4. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้วไปเผาต่อในเตาเผาเก่าอุณหภูมิสูง (รูปที่ 3.6) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงเหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันมิให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นอย่างกะทันหันซึ่งอาจทำให้ถ้วยกระเบื้องแตกได้

5. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาเก่า มาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งจนเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งลักษณะของฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาเก่าแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 เตาเผาเถ้าอุณหภูมิสูง (Muffer furnace)ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T



รูปที่ 3.7 ฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาเถ้า

6.คำนวณหาปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

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

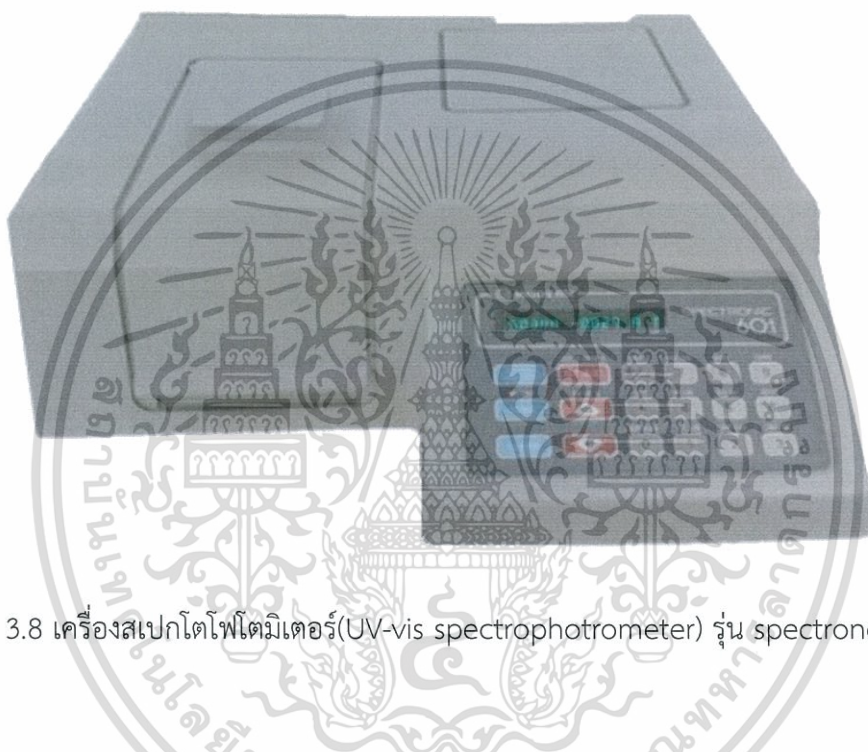
W_1 คือ น้ำหนักถ้วย(กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักน้ำหนักเถ้าของตัวอย่าง(กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 การศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม

การศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการกรองวัสดุดูดซับออกแตกต่างกันคือที่เวลา 0,5,10,15,30,45,60,80,100 และ120 นาที ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (รูปที่ 3.8) เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขจัดสีออกจากสารละลายและปริมาณการดูดซับสีย้อมต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสงและการคำนวณดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(UV-vis spectrophotometer) รุ่น spectronic 601

1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

กราฟมาตรฐานเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีและค่าการดูดกลืนแสงของสีที่ทำการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีและค่าการดูดกลืนแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เพื่อนำไปใช้คำนวณหาความเข้มข้นสี โดยการเตรียมกราฟมาตรฐานมีขั้นตอนดังนี้

1.1 ทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน (blank) และสารละลายสีที่ความเข้มข้น 0.001, 0.002, 0.003, 0.004 และ 0.005%w/v ตามลำดับ

1.2 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ขั้นตอนในการใช้เครื่องแสดงในภาคผนวก)

1.3 นำค่าที่ได้จากการวัดมาเขียนกราฟมาตรฐานและสร้างสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 การคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับ (%) โดยใช้สูตร

$$\text{Dye removal}(\%) = \left[\frac{C_0 - C}{C_0} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C = ความเข้มข้นของสารละลายสีที่เวลาใดๆ

3 การคำนวณปริมาณการดูดซับจำเพาะ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะที่ระยะเวลาใดๆคำนวณจาก

$$\text{Amount adsorbed } (q_t) = \frac{(C_0 - C_t)V}{w} \quad (3.3)$$

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C_t = ความเข้มข้นของสีที่ย้อมที่เวลาใดๆ

V = ปริมาตรของสารละลายสีที่ย้อม

W = น้ำหนักของวัสดุดูดซับ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุลของการดูดซับคำนวณจาก

$$\text{Amount adsorbed } (q_e) = \frac{(C_0 - C_e)V}{w} \quad (3.4)$$

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของสีที่ย้อมที่สมดุล

V = ปริมาตรของสารละลายสีที่ย้อม

W = น้ำหนักของวัสดุดูดซับ

โดยผลจากการศึกษาระยะเวลาของการดูดซับกับปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ สามารถนำมาสร้างจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption kinetics) เพื่อใช้ในการทำนายอัตราการดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับและระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขึ้นเป็นวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption kinetics)

ในการสร้างจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption kinetics) รูปแบบของสมการที่นิยมมีด้วยกัน 2 สมการ คือ pseudo first-order และ pseudo second-order ดังแสดงในตารางที่ 3.1

สำหรับในการประเมินความเหมาะสมของข้อมูลการทดลอง (fitting) และความแม่นยำของสมการแบบจำลองที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ประเมินจากค่า Δq_e (%) ซึ่งหาได้จากสมการด้านล่าง

$$\Delta q_e(\%) = 100 \sqrt{\frac{\sum[(q_{e,\text{exp}} - q_{e,\text{cal}})/q_{e,\text{exp}}]^2}{(N-1)}} \quad (3.5)$$

N = จำนวนของจุดข้อมูล

$q_{e,\text{exp}}$ = ปริมาณการดูดซับที่จุดสมดุลที่ได้จากการทดลอง (mg.g^{-1})

$q_{e,\text{cal}}$ = ปริมาณการดูดซับที่จุดสมดุลที่ได้จากการคำนวณ (mg.g^{-1})

ตารางที่ 3.1 สมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Kinetic model	สมการ	Parameter
Pseudo-first-order	$\frac{dq_t}{dt} = k_{s1}(q_e - q_t)$	q_e (mg.g^{-1}): equilibrium adsorption capacity q_t (mg.g^{-1}): amount of adsorbed at time t k_{s1} (min^{-1}): Pseudo-first-order rate constant t (min): time
Pseudo-second-order	$\frac{dq_t}{dt} = k_{s2}(q_e - q_t)^2$	k_{s2} ($\text{g.mg}^{-1} \text{s}^{-1}$): Pseudo-second-order rate constant

ในการทดลองศึกษาความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ เนื่องจากการทดลองนี้ได้กระทำในขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการย้อมสีผ้า (ยังไม่ได้นำผ้าออกจากสารละลาย) ดังนั้นแล้วระหว่างการใส่วัสดุดูดซับชีวภาพอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม ดังนั้นแล้วการศึกษาในหัวข้อ 3.3.3 เป็นการทดสอบคุณภาพของที่ผ่านการย้อมจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นลำดับถัดไป

3.3.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

การย้อมสีผ้าเป็นการทำให้ผ้าดูดซับสีโดยการใช้ความร้อนทำให้เส้นใยเซลลูโลสของผ้าฝ้ายเกิดการคลายตัวและสามารถดูดซับสีไว้ภายในเส้นใยได้ แต่คาดว่ายังคงมีอนุภาคของสีที่ย้อมคงเหลือในสารละลายและติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยซึ่งสีในส่วนนี้จะมีผลต่อคุณภาพการตกสีของผ้า การเติมฟางข้าวลงไปเป็นสารดูดซับนอกจากจะมีการดูดซับสีออกจากสารละลายแล้วยังมีการดูดซับสีออกจากพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลส หรือจากภายในเส้นใยซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการตกสีของผ้าได้ ดังนั้น การศึกษาและการทดสอบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในด้านคุณภาพสี ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ผ่านการย้อม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าเมื่อเมื่อทดสอบความคงทนสีต่อน้ำ และการตกสีของผ้าลงสู่ผ้าขาว

ผ้าที่ผ่านการย้อมออกจากสารละลายสีย้อม ทำให้หมดด้วยเครื่อง spinner (รูปที่ 3.9) รายละเอียดของเครื่องแสดงในภาคผนวก ข โดยใช้มอเตอร์ควบคุมความเร็วรอบในการหมุนที่ 800 rpm ใช้ระยะเวลาในการหมุนเพื่อให้ผ้าหมด 30 วินาที นำผ้าออกผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อรอการนำไปวัดค่าคุณภาพสี ศึกษาลักษณะทางกายภาพ ความคงทนของสีต่อน้ำและการตกสีของผ้าเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 3.9 เครื่องสลัดน้ำออกจากผ้า(Auto spinner)

3.3.3.1 การวัดค่าสีของผ้าที่ผ่านการย้อม

คุณภาพสีของสิ่งทอเป็นสิ่งสำคัญ การประเมินค่าสีและค่าความแตกต่างของสีโดยรวมของสีด้วยเครื่องวัดสี (รูปที่ 3.10) ในการวัดค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของสีเพื่อเปรียบเทียบสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ โดยใช้ค่า L^*, a^*, b^*

สภาวะที่ใช้เครื่องวัดสีกำหนดโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ชนิด Illuminant D65 ซึ่งเป็นแสงที่ใช้ในการดูสีและที่ใกล้เคียงกับแสงจากดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวัน (day light) มากที่สุดและใช้มุมมองที่ 10 องศา ซึ่งให้ความสัมพันธ์กับการมองของสายตามากที่สุด



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น Miniscan XE plus

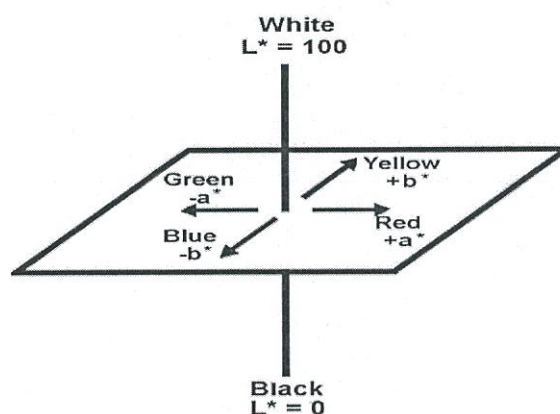
ในการวัดชิ้นตัวอย่างได้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ครั้ง แต่ละครั้งเรียงลำดับจากบน ด้านล่าง และกึ่งกลางชิ้นตัวอย่าง โดยใช้กระดาษแข็งสีขาวเป็นแผ่นรองพื้น (substrate) รองด้านหลังของชิ้นตัวอย่างขณะวัดสี

ค่า L^* วัดความมืดและความสว่างของสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยค่า 0 หมายถึงความเป็นสีดำ (มืด) ค่า 100 หมายถึงความเป็นสีขาว (สว่าง)

ค่า a^* วัดความเป็นสีแดง เมื่อมีค่าเป็นบวก วัดความเป็นสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบและความเป็นสีเทาเมื่อมีค่าเป็นศูนย์

ค่า b^* วัดความเป็นสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก วัดความเป็นสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบและความเป็นสีเทาเมื่อมีค่าเป็นศูนย์ (แสดงในรูปที่ 3.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงค่า L^* a^* และ b^* Color

3.3.3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

ลักษณะทางกายภาพสามารถบ่งบอกได้ถึงคุณสมบัติในการกระจายตัวของอนุภาคสีบนเส้นใยเซลลูโลสโดยการ ศึกษาลักษณะทางกายภาพทำโดยนำผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ผ่านการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า และนำเข้าเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope SME) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เพื่อเปรียบเทียบการกระจายของอนุภาคสีบนผิวของเส้นใยผ้าที่ผ่านการใช้วัสดุดูดซับ และไม่ผ่านการใช้วัสดุดูดซับ

3.3.3.3 การวัดค่าความคงทนของสีต่อน้ำ

การวัดค่าความคงทนของสีต่อน้ำบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ผ่านการแช่ในน้ำตามวิธีในการทดสอบของ มอก 175 โดยหากผ้ามีการเปลี่ยนแปลงสีมากแสดงว่าผ้าชิ้นนั้นมีความคงทนของสีบนผ้าต่ำโดยขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

1 การเตรียมตัวอย่างก่อนทดสอบ วางตัวอย่างขนาดกว้าง 40 ± 2 มิลลิเมตร ยาว 100 ± 2 มิลลิเมตร ตรงกลางระหว่างผ้าประกบประเภทเส้นใยชนิดเดียว 2 ชั้น แต่ละชั้นขนาดกว้าง 40 ± 2 มิลลิเมตร และยาว 100 ± 2 มิลลิเมตร เช่นกันและเย็บติดที่ด้านสั้นเพียงด้านเดียวด้วยด้ายสีขาวแบบไม่มีสารเรืองแสง

.2 ซ้ำขั้นตอนทดสอบ (ตัวอย่างและแผ่นประกบที่เตรียมในข้อ 1) โดยให้หน่วยเป็นกรัม

.3 วางชั้นทดสอบหนึ่งชั้นที่เตรียมแล้วลงบนจารที่มีก้นแบนเรียบและเทน้ำลงบนชั้นทดสอบด้วยอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุ 50:1 ให้ชั้นทดสอบเปียกจนทั่วแล้วแช่ชั้นทดสอบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที กดและขยับชั้นทดสอบเป็นครั้งคราวเพื่อให้ชั้นทดสอบเปียกโดยทั่วถึง จากนั้นเทน้ำทิ้งและใช้แท่งแก้วบีบน้ำที่มากเกินออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ชั่งขึ้นทดสอบอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าขึ้นทดสอบหนักเพิ่มขึ้น 2 ถึง 2.5 เท่าจากที่ได้ชั่ง
 5 วางขึ้นทดสอบระหว่างแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซิน 2 แผ่น นำแผ่นกระจก
 หรือแผ่นอะคริลิกเรซินทั้งหมด 21 แผ่น ที่มีหรือไม่มีขึ้นทดสอบอยู่ วางใส่อุปกรณ์ทดสอบ ที่ผ่านการ
 ให้ความร้อนไว้ตามอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ อุปกรณ์ทดสอบทำจากโครงเหล็กกล้าไร้สนิม มีตุ้มน้ำหนัก
 (weight-piece) ประมาณ 5 กิโลกรัม และฐานของตุ้มน้ำหนักขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร
 นำมาวาง ได้แนบพอดี กับแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซินขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร
 และหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยมีขึ้นทดสอบขนาดกว้าง 40 ± 2 มิลลิเมตร ยาว 100 ± 2 มิลลิเมตร วางอยู่
 ระหว่างแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซินแล้วให้แรงกด 12.5 กิโลพาสคัลเมื่อนำตุ้มน้ำหนักออก
 อุปกรณ์ต้องคงแรงกด 12.5 กิโลพาสคัล บนขึ้นทดสอบได้ ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบหนึ่งชุดมีแผ่นกระจก
 หรือแผ่นอะคริลิกเรซิน 21 แผ่น อุปกรณ์ทดสอบหนึ่งชุด สามารถใช้ทดสอบได้ 10 ขึ้น หากมีขึ้น
 ทดสอบเกิน 10 ขึ้น ให้ใช้ชุดทดสอบใหม่และทำการทดสอบพร้อมกัน

6 ใส่อุปกรณ์ที่มีขึ้นทดสอบอยู่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4
 ชั่วโมงโดยให้ขึ้นทดสอบอยู่ในแนวตั้ง

7 นำขึ้นทดสอบออกจากตู้อบ คลี่ตัวอย่างออกจากผ้าประกบ แล้วผึ่งให้แห้งโดยการ
 แขนงที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยให้ขึ้นทดสอบและแผ่นประกบติดกันในแนวด้ายเย็บ
 เท่านั้น

8 ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสีโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่าง
 ก่อนการทดสอบรายงานผลจากระดับการเปลี่ยนสีของตัวอย่างและการเปื้อนของผ้าประกบ โดยเทียบกับ
 ผ้าประกบก่อนการทดสอบ โดยใช้เกรสเกลในการวิเคราะห์

9 รายงานผลจากระดับการเปลี่ยนสีของตัวอย่างและระดับการเปื้อนสีของแผ่นประกบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อม โดยพิจารณาถึงผลของการเตรียมฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับโดยใช้สารละลายกรด และสารละลายเบสในการเตรียม ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพที่ได้เตรียมขึ้น 2) การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม และ 3) การศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อมโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ

การศึกษาลักษณะทางกายภาพช่วยอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากผลของการเตรียมฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับด้วยสารละลายกรดและสารละลายเบสในการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบสและฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายกรดแสดงในรูปที่ 4.1(ก)-4.1(ค)พิจารณาจากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.1(ก)ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยต่างในรูปที่ 4.1(ข)มีลักษณะการพองตัวสูงเส้นใยเซลลูโลสบางส่วนฉีกขาดออกจกันเป็นชิ้นเล็กๆสำหรับฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.1(ค)มีลักษณะใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพแต่มีขนาดพองตัวมากกว่าเล็กน้อย

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องไมโครสโคปแบบดิจิทัล(Digital Microscope) ที่กำลังขยาย 500 เท่าแสดงในรูปที่ 4.2(ก)-4.2(ค)พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.2(ก) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นเป็นมันเงาซึ่งลักษณะที่เป็นมันเงานี้เป็นส่วนของสารเคลือบผิว ได้แก่ ลิกนินและเยื่อหุ้มที่เกิดจากสารประกอบระหว่างซิลิกอนกับเฮมิเซลลูโลส [40] ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสในรูปที่ 4.2(ข) มีลักษณะพื้นผิวหยาบไม่เป็นมันเงาและมีรอยแตกโดยทั่วไปบนพื้นผิว ลักษณะเช่นนี้เกิดจากสารละลายเบสจัดองค์ประกอบประเภทลิกนินและซิลิกอนซึ่งเป็นสารเคลือบผิวออกจากผิวของฟางข้าวทำให้ผิวของฟางข้าวหยาบขึ้นและขาดความเป็นมันเงา[40] ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.2(ค) มีความเป็นมันเงาน้อยกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพและมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการแช่ฟางข้าวในสารละลายกรดช่วยขจัดสิ่งสกปรกและสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนเนต และซิลิกาออกจากผิวของฟางข้าว[39]จึงไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.3(ก)-4.3(ค)พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวตามปกติที่สังเกตเห็นในรูปที่ 4.3(ก)มีลักษณะเป็นปุ่มกรวยเรียงตัวยื่นออกจากพื้นผิว ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบสดังแสดงในรูปที่ 4.3(ข)การแช่ฟางข้าวในสารละลายเบสเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกร้าวของปุ่มรูปกรวยที่ยื่นออกมาจากพื้นผิวนอกจากนี้ยังมีลักษณะหยาบกร้านและรอยแตกตามแนวแกนของพื้นผิวซึ่งอาจเป็นผลจากการที่วัตถุดิบ(โดยหลักได้แก่ เฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกขจัดออกไป) ในรูปที่ 4.3(ค)แสดงลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวโดยปกติแล้วฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีลักษณะหยาบกร้านมากกว่ามีรอยแตกร้าวบนพื้นผิวและสังเกตเห็นปุ่มกรวยบนพื้นผิวชัดเจนกว่าลักษณะปุ่มกรวยบนผิวแตกออกเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารละลายกรดขจัดสารเคลือบผิวออกไปแต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสจะเห็นว่าฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสมีการแตกของปุ่มกรวยบนพื้นผิวมากกว่า

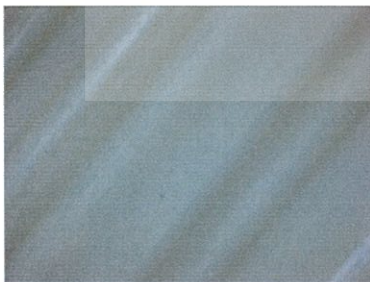


(ก)

(ข)

(ค)

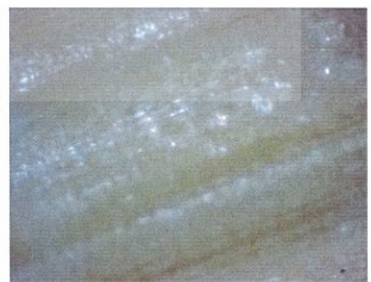
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายวัสดุดูดซับชีวภาพ(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด



(ก)



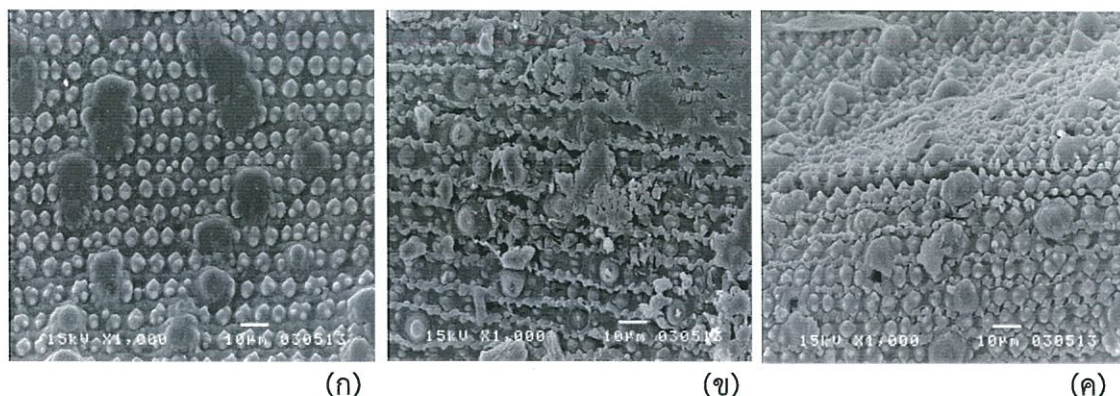
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด

พื้นที่ผิวสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับซึ่งในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการศึกษาผลในการตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับต่อประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม

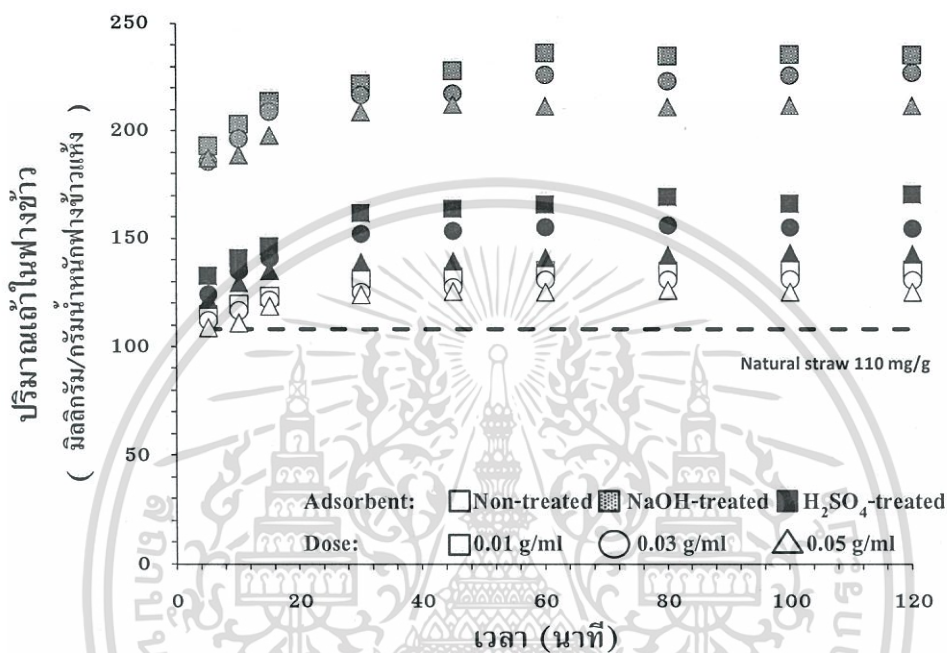
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับ ชีวภาพ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพได้ ทำการศึกษาใน 2 ส่วน คือส่วนแรกศึกษาการตรวจสอบมวลสารประเภทโลหะที่ถูกดูดซับไว้ภายใน วัสดุดูดซับชีวภาพ เนื่องจากสีย้อมผ้ามีการผสมมวลสารประเภทโลหะหนักเป็นส่วนประกอบเพื่อให้สี ย้อมมีคุณสมบัติในการทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสีสดใส[4] ดังนั้นหากวัสดุดูดซับชีวภาพมีการดูดซับ มวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมจะสามารถสังเกตได้จากการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลง ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับและการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม

4.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับชีวภาพ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับแสดงถึงการถ่ายเทมวลสารประเภทโลหะจาก สารละลายไปสู่วัสดุดูดซับ โดยเฉลี่ยฟางข้าว(เฉพาะลำต้น) มีสัดส่วนของปริมาณเถ้าเฉลี่ย 110 มิลลิกรัม/น้ำหนักฟางแห้ง(กรัม) ซึ่งจากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในฟางข้าวที่ผ่านการ เตรียมและนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า พบว่ามีปริมาณเถ้าสูงกว่า ฟางข้าวโดยปกติซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับมีการดูดซับมวลสารประเภทโลหะไว้จึงทำให้มีปริมาณ เถ้าเพิ่มสูงขึ้น จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับ มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลาในการดูดซับเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าในฟางข้าวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการจับไอออนของโลหะมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับไอออนของโลหะมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง[42]



รูปที่ 4.4 ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลของปริมาณวัสดุดูดซับพบว่าวัสดุดูดซับที่มีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม โดยการใช้วัสดุดูดซับสัดส่วน 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร วัสดุดูดซับที่มีปริมาณเถ้าสูงที่สุดรองลงมาคือที่ 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แม้ว่าการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับในขณะที่ปริมาตรของสารละลายคงที่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซับออกจากสารละลายสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับทำให้ค่าปริมาณเถ้าต่อกรัมของวัสดุดูดซับมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับมีค่าลดลง[42]

การดัดแปลงสภาพของฟางข้าวก่อนการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีผลต่อปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับ โดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดรองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับจากตารางที่ 4.1 พบว่าที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที (ระยะเวลาหลังจากปริมาณเถ้าที่ถูกดูด

ซึบเข้าสู่สมดุลของการดูดซึบการคำนวณเวลาเข้าสู่สมดุลแสดงในภาคผนวก ข) ปริมาณเถ้าซึ่งถูกดูดซึบโดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีปริมาณสูงที่สุด(517.50 mg) รองลงมาคือปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซึบโดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด(172.67 mg) และปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซึบโดยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (91.66 mg) เนื่องจากการแช่ฟางข้าวในสารละลายกรดหรือสารละลายเบสช่วยลดปริมาณซิลิกาและลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ขัดขวางการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นสารดูดซึบ โดยลิกนินจะมีลักษณะคล้ายซีเมนต์ ที่ฉาบและอุดระหว่างเส้นใยของไฟเบอร์ และซิลิกาเมื่อมีอยู่บริเวณผิวร่วมกับโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในรูปสารประกอบที่เรียกว่า silicon-cellulose membrane [40] เมื่อซิลิกาและลิกนินถูกขจัดออกหรือลดปริมาณลงจึงสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซึบไอออนของโลหะออกจากสารละลายได้มากขึ้น จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซึบจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีลักษณะเป็นมันเงาซึ่งเป็นส่วนของสารเคลือบผิวที่ขัดขวางการดูดซึบโมเลกุลของสีย้อม ฟางข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดมีลักษณะพื้นผิวหยาบความเป็นมันเงาลดลงซึ่งแสดงถึงสารเคลือบผิวบางส่วนได้ถูกขจัดออกไปทำให้ดูดซึบปริมาณเถ้าได้เพิ่มขึ้น สำหรับฟางข้าวที่แช่ในสารละลายเบสมีลักษณะขื่นของฟางข้าวแตกออกจากกันเป็นชิ้นส่วนเล็กๆพื้นผิวหยาบขาดความมันเงา และลักษณะโครงสร้างรูปกรวยบนพื้นผิวถูกสารละลายด่างเหนียวนำไปแตกออก จึงทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซึบเพิ่มมากขึ้นมาก ส่งผลให้มีปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซึบไว้สูงที่สุด

ตารางที่ 4.1 ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซึบไว้ในวัสดุดูดซึบที่ระยะเวลาในการดูดซึบ 80 นาที

วัสดุดูดซึบ	ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซึบไว้ภายในวัสดุดูดซึบ (mg)		
	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
Non-treated straw	27.36	69.31	91.66
NaOH-treated straw	127.33	346.73	517.50
H ₂ SO ₄ -treated straw	61.46	145.33	172.67

เมื่อฟางข้าวมีการดูดซึบมวลสารบางชนิดออกจากสารละลายสีย้อมจึงทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสีลดลง ในการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมแสดงในหัวข้อถัดไป

4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพ

จากการศึกษาความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมพบว่าเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นสารละลายสีย้อมมีแนวโน้มสีดจางลงตามรูปที่ 4.5-4.7 เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของสัดส่วนของน้ำหนักวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อมจะเห็นได้ว่า ที่สัดส่วนของน้ำหนักรวสดูดซับต่อน้ำหนักสารละลายสีย้อมที่ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร สารละลายสีย้อมมีสีดจางลงมากที่สุด (รูปที่ 4.7) รองลงมาคือที่ 0.03 กรัม/มิลลิลิตร(รูปที่ 4.6)และ 0.01 กรัม/มิลลิลิตร(รูปที่ 4.5) ตามลำดับ และการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับทำให้สารละลายสีย้อมที่มีสีดจางลงมากที่สุดในรูป (ข)รองลงมาคือการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในรูป (ค) และการใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในรูป(ก) ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม ซึ่งแสดงในหน้าถัดไป



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.5 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด



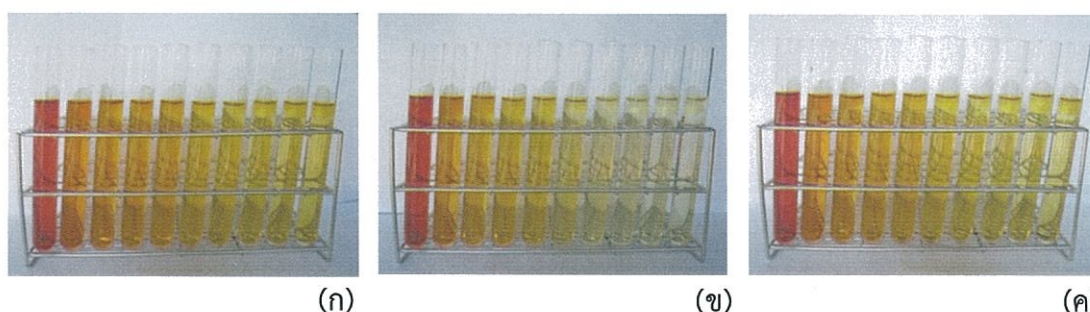
(ก)

(ข)

(ค)

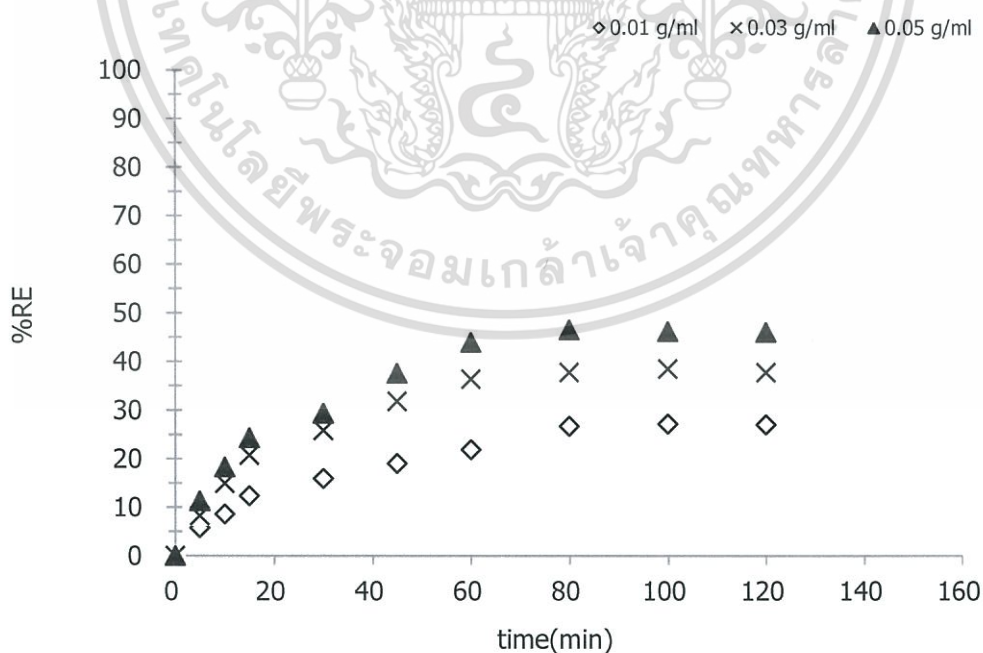
รูปที่ 4.6 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.03 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



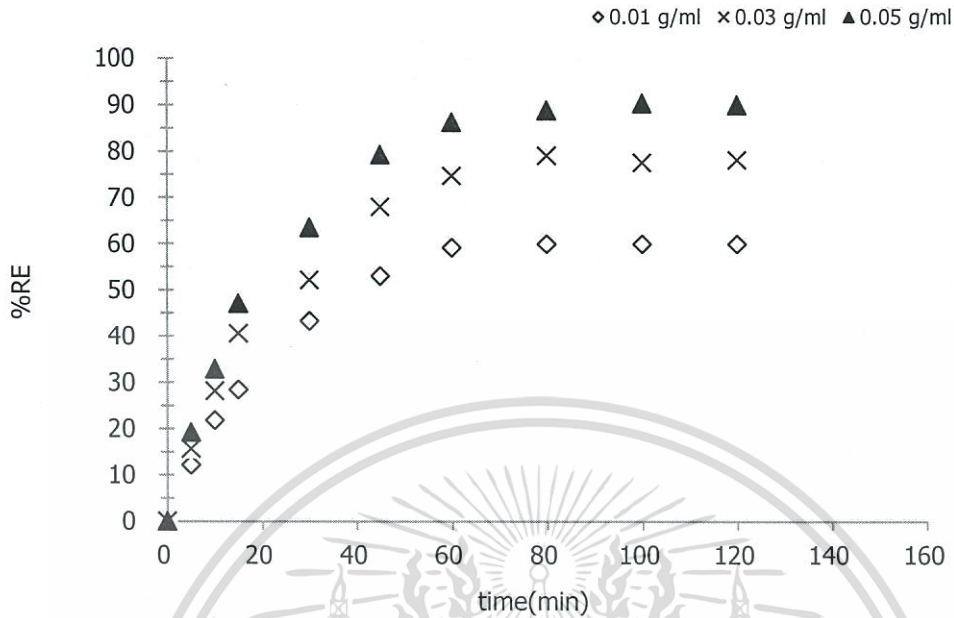
รูปที่ 4.7 สีของสารละลายสีย้อมหลังจากการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด

การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมdirect orange 39ออกจากสารละลายมีความสำคัญในแง่ของการขจัดสีที่จะปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้ ผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพเปรียบเทียบโดยการคำนวณประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยคำนึงถึงอิทธิพลของระยะเวลาในการดูดซับและสัดส่วนของปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายแสดงในรูปที่ 4.8-4.10

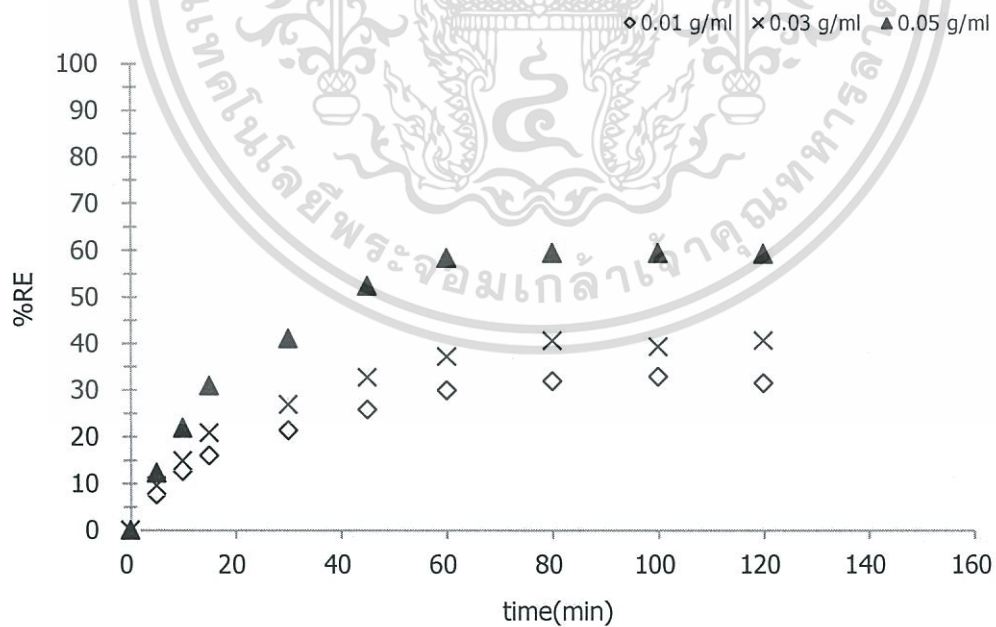


รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยต่างในการขจัดสี้อมออก จากสารละลายสี้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสี้อมออก จากสารละลายสี้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าเกือบคงที่เมื่อใช้เวลาในการแช่วัสดุดูดซับนานกว่า 60 นาที การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุดูดซับกับอนุภาคสีย้อมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลในการเตรียมวัสดุดูดซับ 3 ประเภทคือ การใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่ระดับสัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อน้ำหนักสารละลายแตกต่างกันในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที (ระยะเวลาที่การดูดซับเข้าสู่สมดุลผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกที่ ค) พบว่าที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายได้สูงที่สุดถึง 88.67% รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซึ่งมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย 59.53% และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย 46.49 % ตามลำดับ เนื่องจากผลของสารละลายกรดและเบสในการขจัดสารเคลือบผิวออกจากฟางข้าว โดยการแช่ฟางข้าวในสารละลายเบสส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เหนียวน้ำให้เกิดการแตกออกของโครงสร้างรูพรุนบนผิวของฟางข้าวได้มากกว่าการแช่ในสารละลายกรดจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายดีที่สุด

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที

วัสดุดูดซับ	ประสิทธิภาพในการขจัด (%)		
	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
non-treated straw	26.72	37.78	46.49
NaOH-treated streaw	59.87	78.94	88.67
H ₂ SO ₄ -treated straw	31.86	40.59	59.53

4.2.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

จลนพลศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมประสิทธิภาพของการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ในการดูดซับช่วยอธิบายกลไกในการดูดซับสีย้อมบนวัสดุดูดซับสำหรับการดูดซับโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด การศึกษาอัตราเร็วของการดูดซับสีย้อมจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

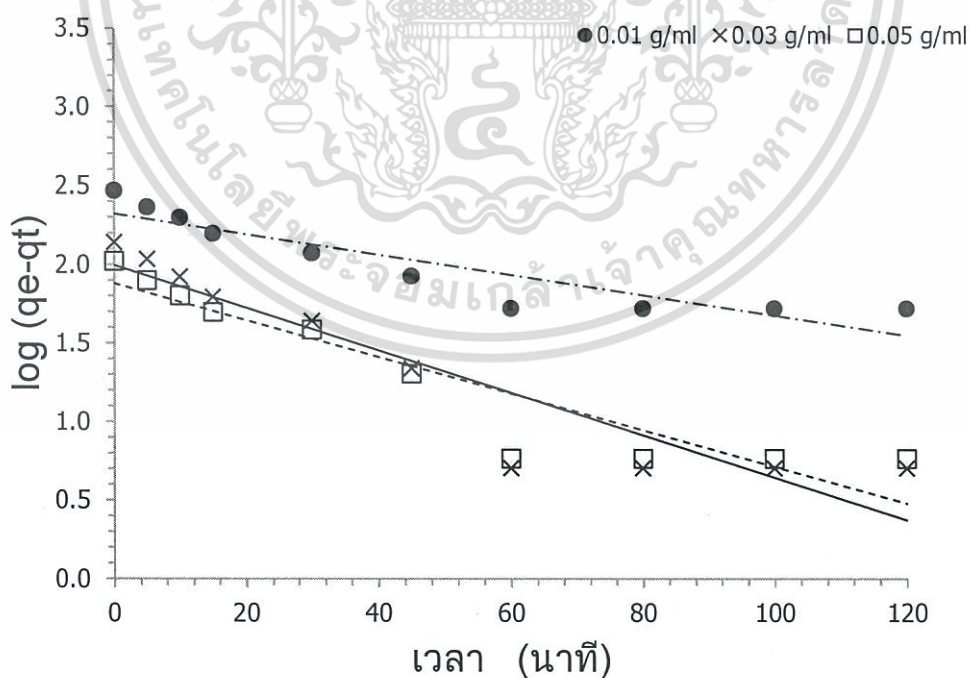
สารละลายสีย้อมใช้แบบจำลอง Pseudo-first order และ Pseudo-second order ซึ่งเป็นสมการจลนพลศาสตร์ที่มีขั้นตอนการดูดซับเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราปฏิกิริยาโดยสมการของ pseudo-first order แสดงดังสมการที่ 4.1

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (4.1)$$

อินทิเกรตสมการที่ 4.1 ขอบเขต $t = 0, q_t = 0$ ถึง $t = t, q_t = q_t$ หลังจากนั้นจัดให้ได้เส้นตรงของสมการ Pseudo-first order ดังสมการที่ 4.2

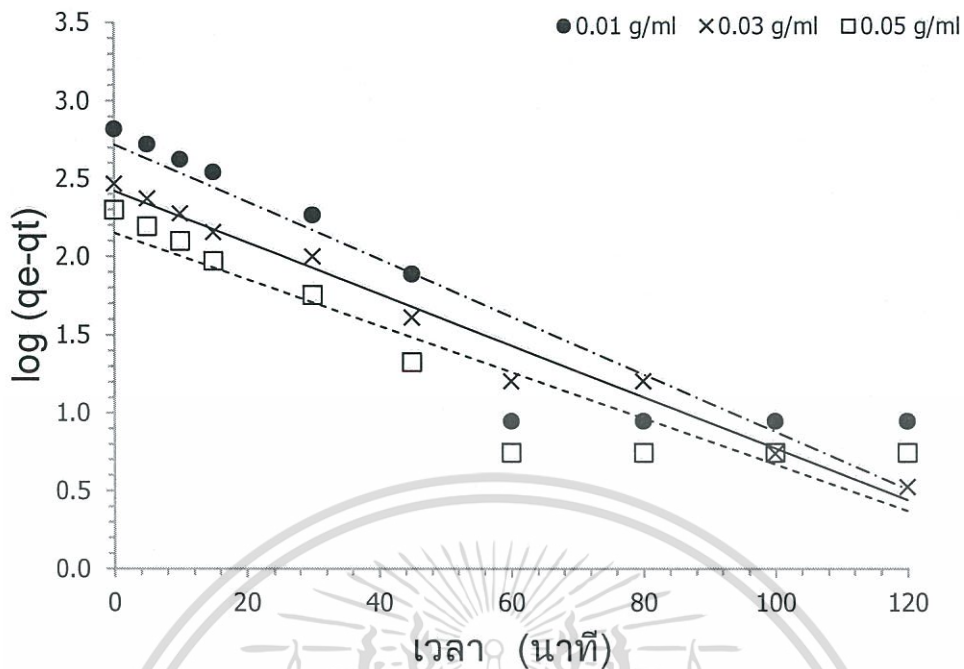
$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (4.2)$$

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษา การใช้วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และผลของสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาณของสารละลายสีย้อม เขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t ได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 ค่าคงที่อัตราเร็วของ Pseudo first-order (k_1) หาได้จากความชันของเส้นตรง และ q_e (cal) หาได้จากจุดตัดของเส้นตรง (ตัวอย่างวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวกที่ ง) ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.3

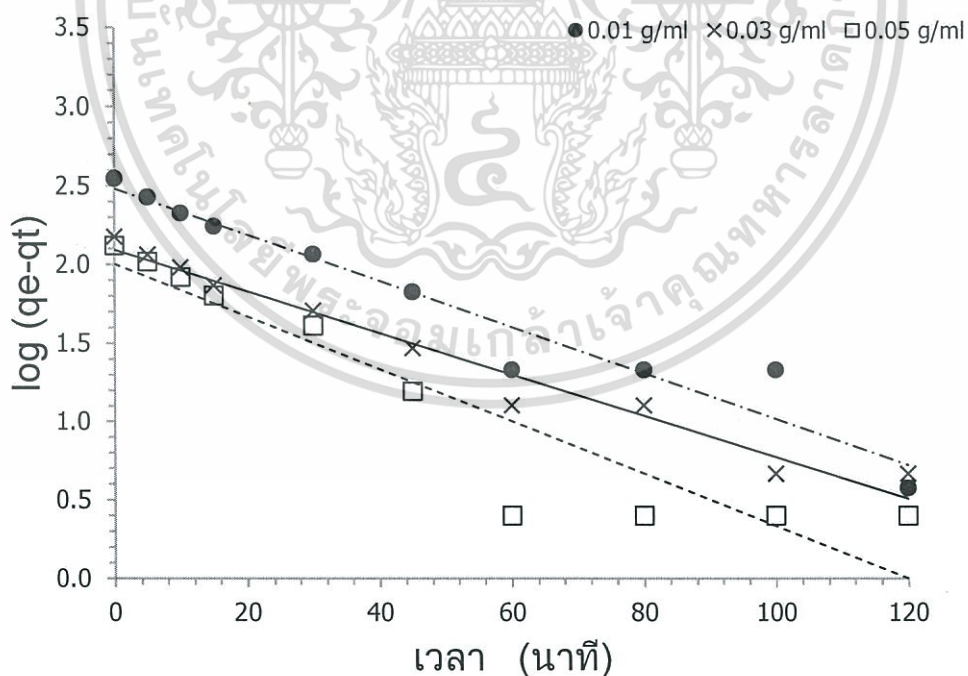


รูปที่ 4.11 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-first order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-frist order



รูปที่ 4.13 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-frist order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Pseudo second order แสดงดังสมการที่ 4.3

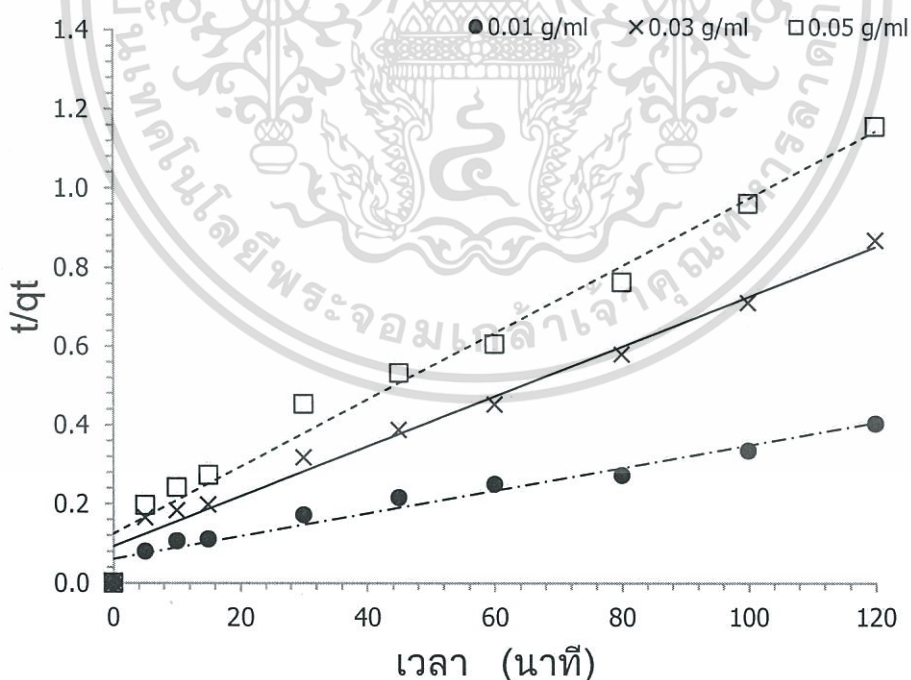
$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4.3)$$

อินทิเกรตสมการที่ 4.3 ขอบเขต $t = 0, q_t = 0$ ถึง $t = t, q_t = q_t$ จัดรูปจะได้สมการเส้นตรงของ Pseudo second-order แสดงในสมการที่ (4.4)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{s2}q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4.4)$$

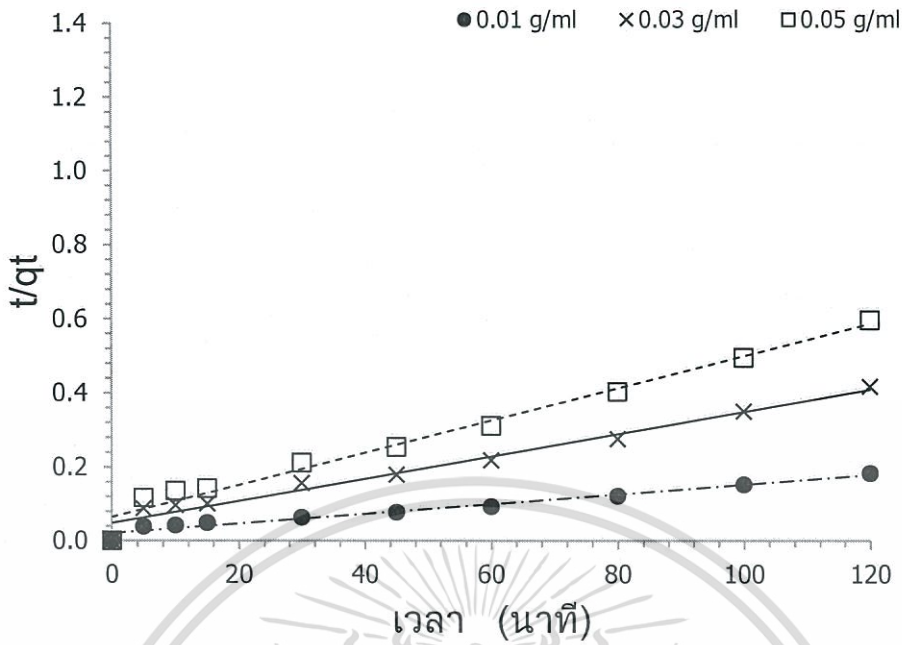
เมื่อ k_2 คือค่าคงที่ของอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับที่สอง (กรัมต่อกรัม-นาที)

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษา การใช้วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด และผลของสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อมมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง t/q_t กับ t จะได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.14-4.16 ตามลำดับซึ่งมีค่าความชันเป็น $1/q_e$ และจุดตัดแกนตั้งสามารถหาค่าคงที่ k_2 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

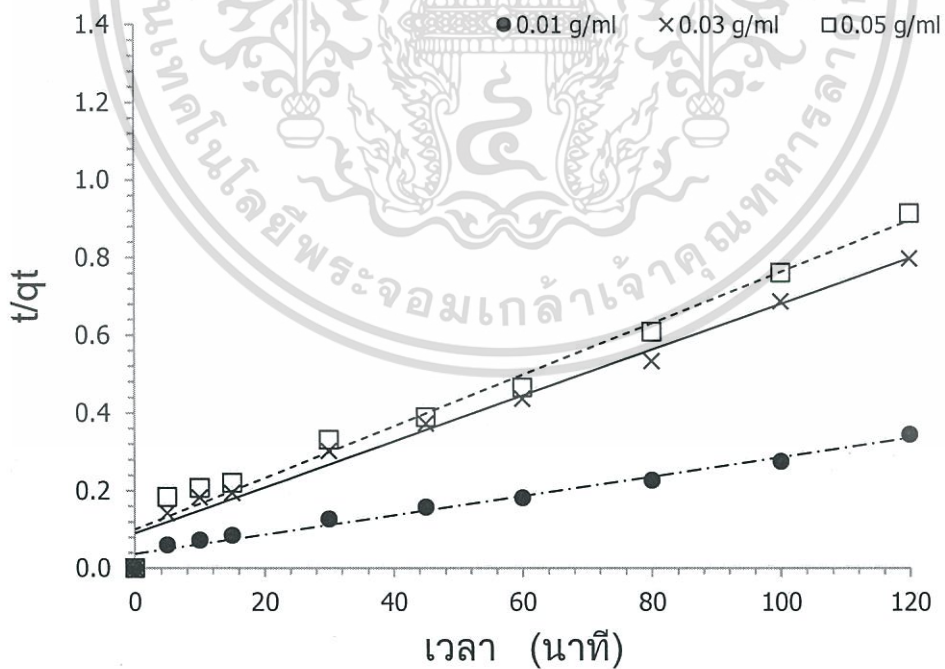


รูปที่ 4.14 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-second order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-second order



รูปที่ 4.16 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ จากสมการ Pseudo-second order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องของสมการจลนพลศาสตร์พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) และค่าความถูกต้องของปริมาณการดูดซับที่สมดุลที่คำนวณได้ ($\% \Delta q_e$) ผลการทดลองพบว่าสมการจลนพลศาสตร์ของ Pseudo-second Order มีความเป็นเส้นตรงมากกว่าสมการ Pseudo-first Order ในขณะเดียวกัน ผลการคำนวณค่าปริมาณการดูดซับสีย้อม direct orange 39 ของสมการ Pseudo-second Order มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าสมการ Pseudo-first Order นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) ที่ได้จากสมการ Pseudo-second Order มีความสอดคล้องกับจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct orange 39 มากกว่าสมการ Pseudo-first Order ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดูดซับสีย้อม direct orange 39 เป็นไปตามสมการ Pseudo-second Order มากกว่า และเป็นสิ่งที่ช่วยยืนยันว่าลักษณะในการดูดซับภายใต้สภาวะที่ได้ทำการศึกษาเป็นกระบวนการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)[25]

ในการศึกษาการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพทั้งในส่วนของการดูดซับมวลสารประเภทโลหะและในส่วนของสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมรวมไปถึงการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ แต่สิ่งสำคัญที่ในการนำวัสดุดูดซับชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในระหว่างกระบวนการย้อมคือต้องคำนึงถึงคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมซึ่งผลการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าคงที่(k) ค่าปริมาณการดูดซับที่ได้จากการคำนวณ และการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับที่ได้จากการคำนวณ จากสมการ Pseudo-first order และสมการ Pseudo-second order

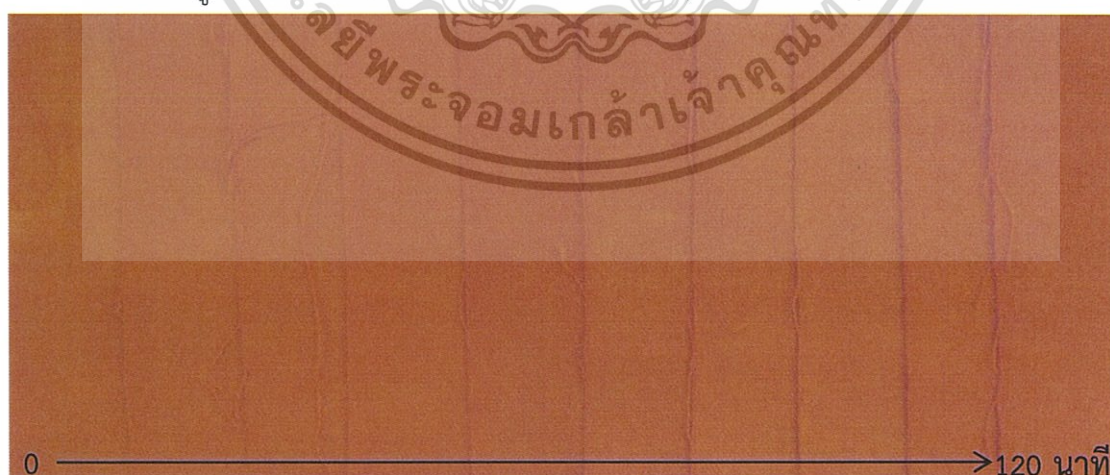
Adsorbent	dose (g.ml ⁻¹)	q _{e,exp} (mg/g)	Pseudo-first order				Pseudo-second order			
			q _{e,cal} (mg/g)	K _{s1} x 10 ⁻² min ⁻¹	r ²	%Δ q _e	q _{e,cal} (mg/g)	K _{s2} x 10 ⁻⁴ min ⁻¹	r ²	%Δ q _e
non-treated	0.01	293.08	208.99	1.48	0.84	28.69	346.02	1.39	0.96	18.06
	0.03	137.95	99.29	3.12	0.87	28.02	157.48	4.42	0.98	14.16
	0.05	104.65	75.61	2.69	0.96	27.75	117.65	5.84	0.98	12.42
NaOH-treated	0.01	660.38	524.55	4.24	0.87	20.57	763.36	0.84	0.98	15.59
	0.03	292.24	263.23	3.80	0.98	9.93	333.33	1.89	0.97	14.06
	0.05	198.74	229.89	3.42	0.87	15.67	229.89	2.96	0.98	15.67
H ₂ SO ₄ -treated	0.01	352.20	303.47	3.38	0.95	13.84	401.61	1.68	0.98	14.03
	0.03	150.10	123.53	3.04	0.97	17.70	169.20	3.89	0.98	12.72
	0.05	131.32	100.33	3.84	0.95	23.60	150.60	4.42	0.98	14.68

4.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

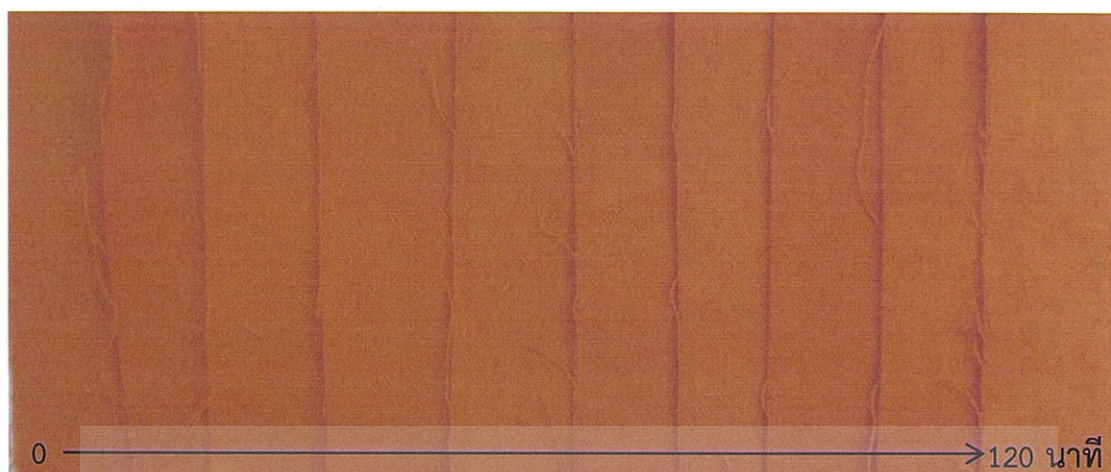
ในการศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า ทำโดยการศึกษาด้านคุณภาพสีลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำโดยจำลองการใช้งานจริงของผู้บริโภคคือการแช่ผ้าในน้ำ โดยดูคุณภาพปริมาณสีที่ตกออกจากผ้าและคุณภาพสีของผ้าที่เปลี่ยนไปซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 การวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อม

คุณภาพสีของผ้าเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของการย้อม ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมแสดงในรูปที่ 4.17 - 4.19 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายต่างเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมแสดงในรูปที่ 4.20 - 4.22 และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายกรดเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมแสดงในรูปที่ 4.23 - 4.25 เมื่อเปรียบเทียบสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันกับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)พบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมมีลักษณะสีไม่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลจากการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีในหน่วย L^* , a^* และ b^* แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติคือที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที มีค่า L^* เท่ากับ 50.43-50.59 a^* เท่ากับ 37.93-38.57 และ b^* เท่ากับ 50.69-50.93 ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติ(แสดงในภาคผนวก จ) พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบส และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายกรด เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันตั้งแต่ 5-120 นาที มีค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ



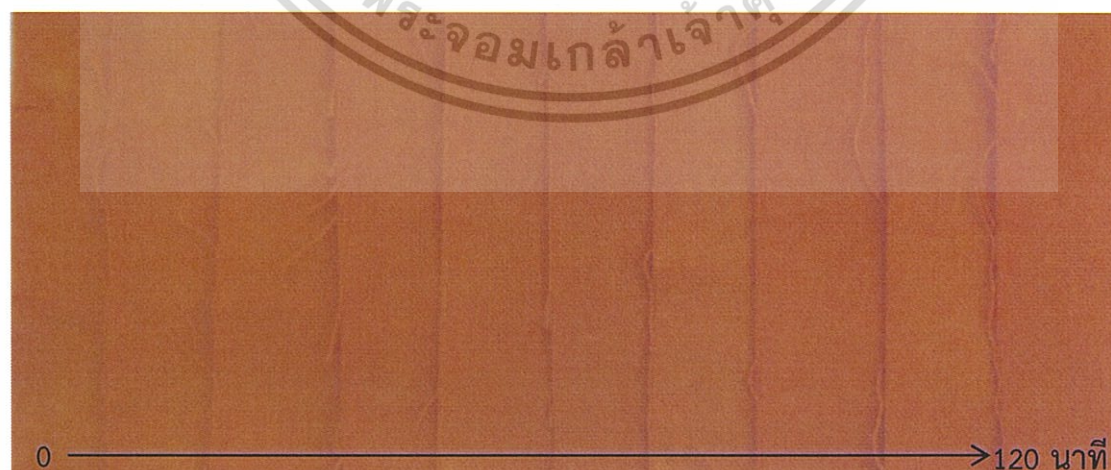
รูปที่ 4.17 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที



รูปที่ 4.18 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

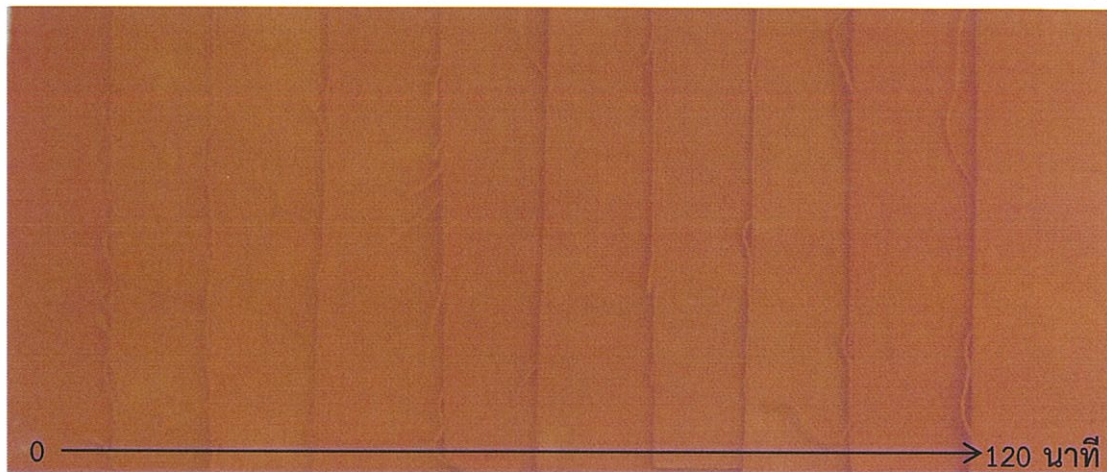


รูปที่ 4.19 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

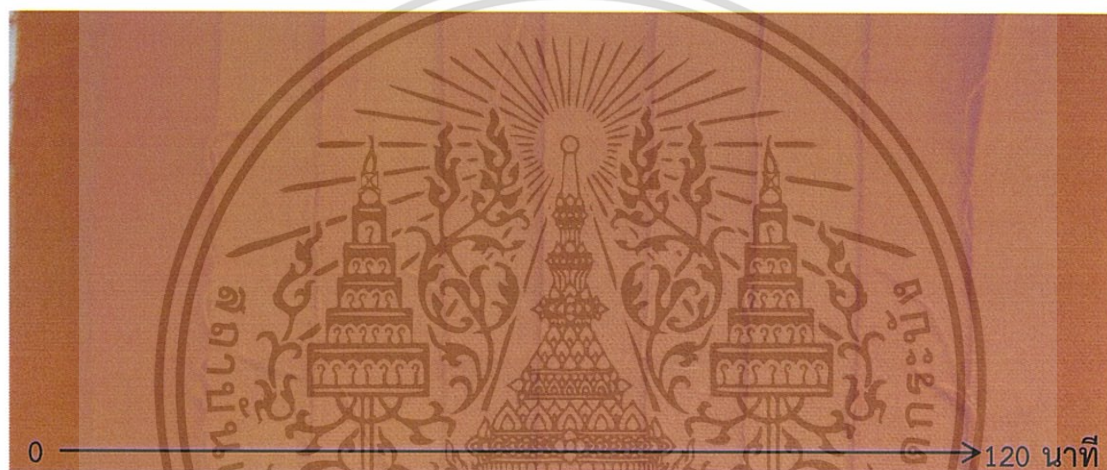


รูปที่ 4.20 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

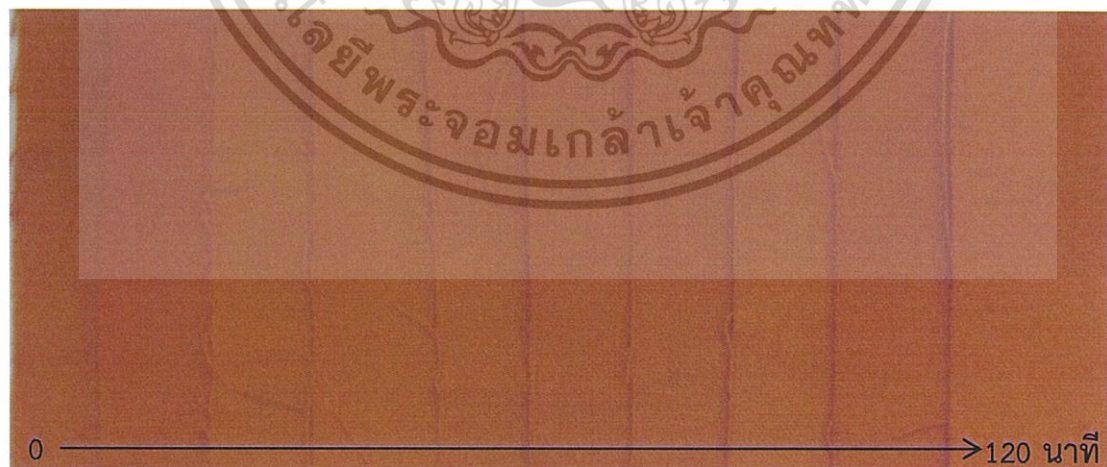
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

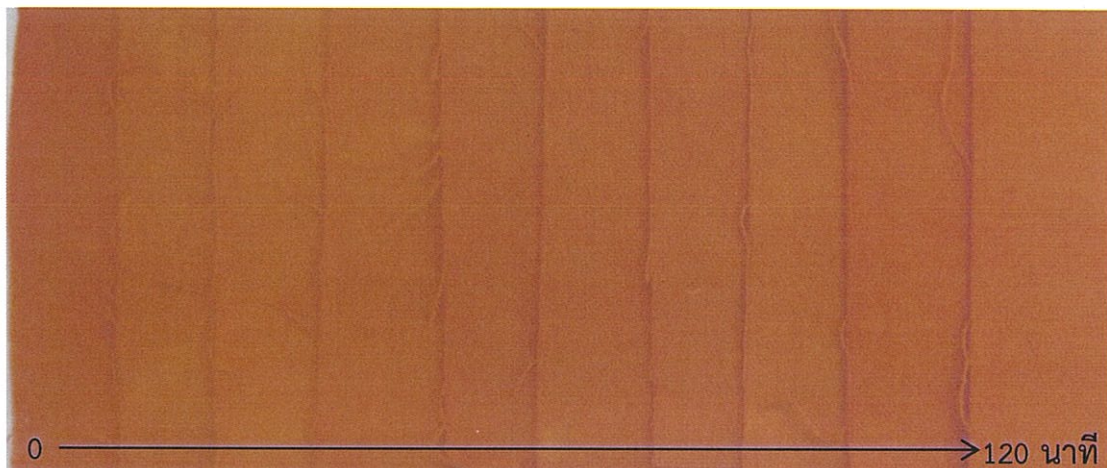


รูปที่ 4.22 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

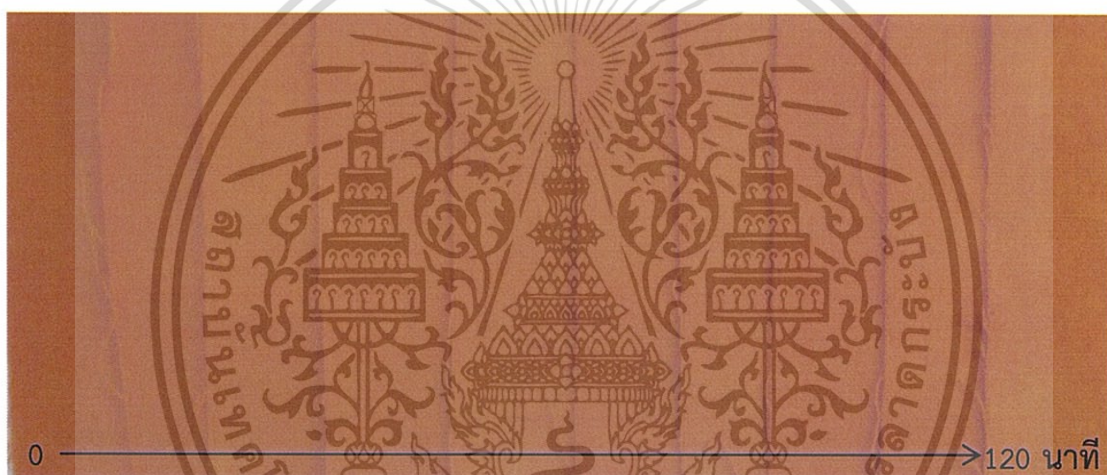


รูปที่ 4.23 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที



รูปที่ 4.25 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

จากการศึกษาคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมนั้นไม่มีผลต่อคุณภาพสีของผ้า แต่อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมนั้นอาจมีผลในการดูดซับสีส่วนเกินที่ติดอยู่บนผิวของเส้นใยผ้าซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้จากการวัดคุณภาพสี ดังนั้นในลำดับถัดไปจึงทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

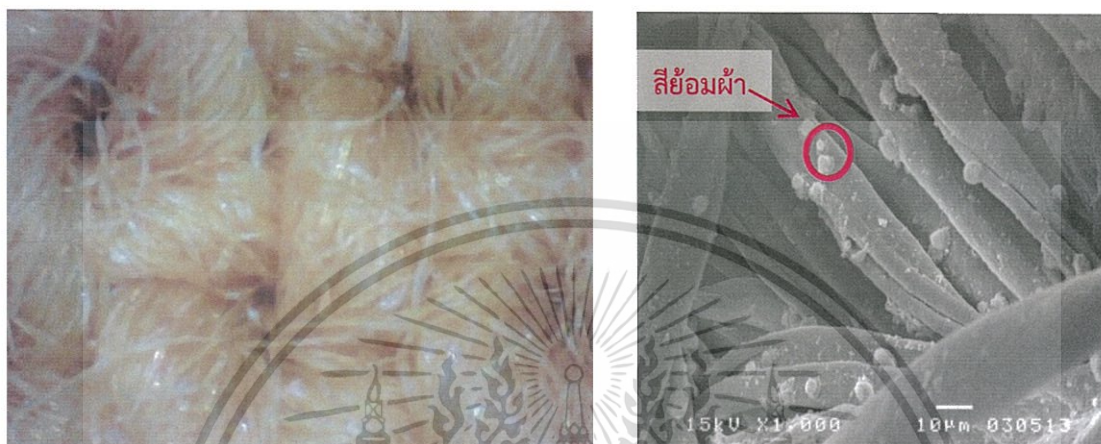
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมโดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันที่ 0-120 นาที

Adsorbent	time	Dose								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Non-treated	0	50.66	38.40	59.78	50.65	38.17	59.83	50.73	38.32	59.87
	5	50.51	38.26	59.89	50.46	38.33	59.61	50.48	38.54	59.73
	10	50.70	38.35	59.78	50.62	38.36	59.92	50.55	38.42	59.91
	15	50.52	38.15	59.74	50.57	38.39	59.72	50.52	38.05	59.82
	30	50.48	38.03	59.60	50.63	38.40	59.63	50.65	38.06	59.82
	45	50.58	38.27	59.76	50.57	38.46	59.92	50.49	38.05	59.73
	60	50.48	38.23	59.68	50.42	38.11	59.74	50.44	38.58	59.76
	80	50.47	38.38	59.79	50.56	38.40	59.66	50.53	38.28	60.01
	100	50.38	38.16	59.88	50.65	37.95	59.44	50.55	38.34	59.69
	120	50.36	38.09	59.80	50.57	38.61	59.69	50.58	38.08	59.51
NaOH-treated	0	50.56	37.96	59.70	50.35	38.25	59.98	50.59	38.03	59.50
	5	50.46	38.21	59.65	50.44	38.41	59.74	50.50	38.10	59.61
	10	50.54	38.13	59.53	50.55	38.54	59.49	50.47	38.28	59.57
	15	50.52	38.22	59.54	50.54	38.14	59.82	50.46	38.37	59.87
	30	50.55	37.97	59.90	50.40	38.38	59.80	50.53	38.36	59.82
	45	50.71	38.20	59.75	50.52	38.55	59.74	50.50	38.10	59.82
	60	50.35	38.58	59.59	50.49	38.40	59.65	50.40	38.35	59.80
	80	50.42	38.11	59.61	50.51	38.27	59.59	50.49	38.38	59.69
	100	50.38	38.33	59.86	50.53	38.55	59.55	50.52	37.95	59.77
	120	50.42	38.36	59.45	50.44	38.53	59.65	50.43	38.45	59.78
H ₂ SO ₄ -treated	0	50.43	38.26	59.70	50.56	38.38	59.93	50.47	38.57	59.69
	5	50.42	38.33	59.85	50.62	38.19	59.75	50.44	38.33	59.86
	10	50.66	38.29	59.78	50.35	38.21	59.85	50.35	38.32	59.76
	15	50.49	38.48	59.92	50.35	38.41	59.69	50.49	38.35	59.79
	30	50.60	37.94	59.63	50.26	38.52	59.74	50.59	38.33	59.62
	45	50.59	38.13	59.76	50.39	38.21	59.94	50.52	38.16	59.91
	60	50.58	38.17	59.73	50.57	38.37	59.71	50.45	38.40	59.65
	80	50.49	38.27	59.62	50.58	37.89	59.78	50.48	38.01	59.68
	100	50.39	38.15	59.88	50.38	38.51	59.69	50.39	38.31	59.68
	120	50.42	38.21	59.83	50.49	38.41	59.79	50.42	38.50	59.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

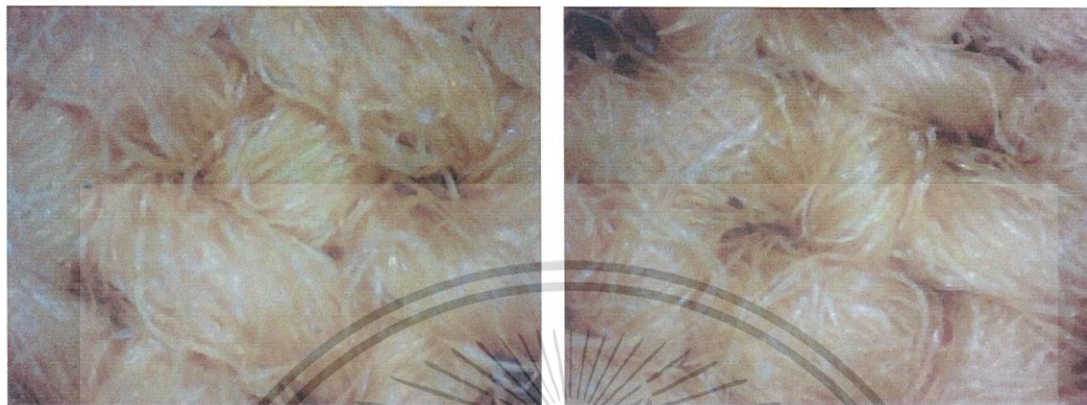
จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ (ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที) ด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่าแสดงในภาพที่ 26(ซ้าย) และการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่าแสดงในภาพที่ 26(ขวา)



รูปที่ 4.26 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ (ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)ที่กำลังขยาย 500 เท่า (ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา)

จะเห็นว่าที่กำลังขยาย 500 เท่า ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีลักษณะเป็นเส้นใยสีส้มเรียงกันเป็นมัด เส้นใยแต่ละมัดเรียงตัวกันเป็นสายขัดสานกันตามลักษณะทั่วไปของการทอผ้าซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม โดยภาพถ่ายของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสและฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/ปริมาตรสารละลายสีย้อม (มิลลิลิตร) ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที ด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงในรูปที่ 4.27 – 4.35 แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า สังเกตเห็นว่าเส้นใยของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ ในรูปที่ 4.26(ขวา) มีอนุภาคของสีติดที่ผิวของเส้นใยเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมในทุกสัดส่วนสัดส่วนที่ได้ทำการทดลอง คือที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01, 0.03, 0.05 กรัม/ (มิลลิลิตร) ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที ดังในรูปที่ 4.36-4.44 แทบไม่สังเกตเห็นอนุภาคของสีบนเส้นใย โดยสังเกตเห็นอนุภาคสีเล็กน้อยบนผิวของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลาย 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ในรูปที่ 4.39 และ 4.45(ซ้าย) อาจเนื่องมาจากในระหว่างที่มีการให้ความร้อนขณะย้อมสีผ้า เส้นใยของผ้าฝ้ายมีการขยายตัวทำให้มีการดูดซับสีย้อมไว้ภายในเส้นใยมาก

ด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล การเติมวัสดุดูดซับลงไปภายหลังจากขั้นตอนการให้ความร้อนทำให้วัสดุดูดซับชีวภาพดูดซับเฉพาะในส่วนของอนุภาคสีที่ติดอยู่ที่บริเวณผิวของเส้นใยซึ่งเป็นอนุภาคในส่วนที่มีแรงยึดเหนี่ยวอยู่กับเส้นใยน้อย จึงทำให้ง่ายต่อการถูกดูดซับโดยวัสดุดูดซับชีวภาพ [20]

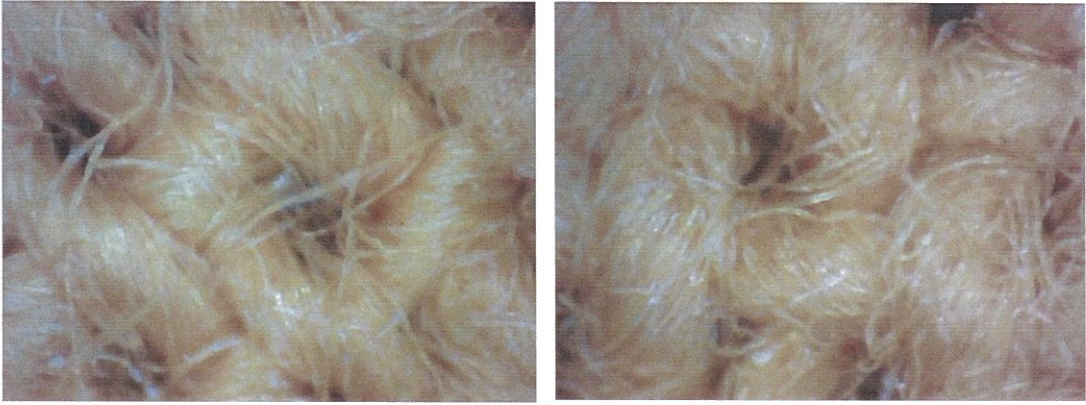


รูปที่ 4.30 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)



รูปที่ 4.31 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที (ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

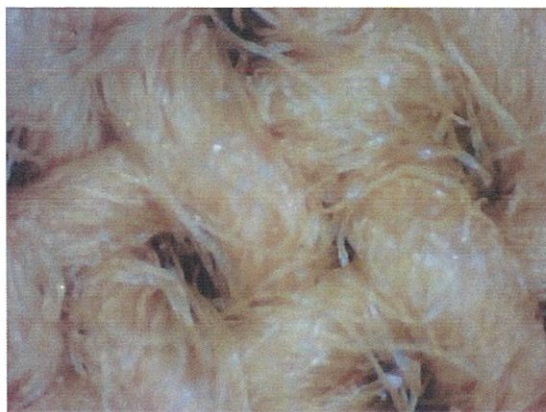


รูปที่ 4.33 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

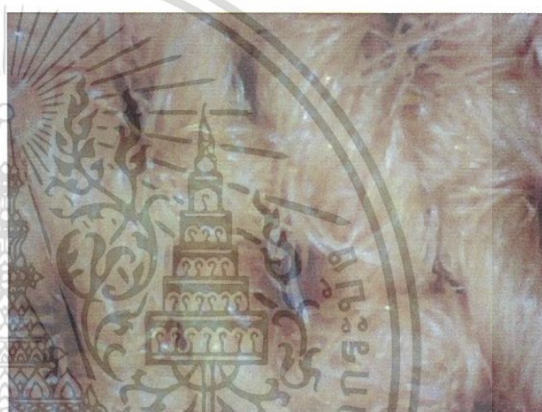
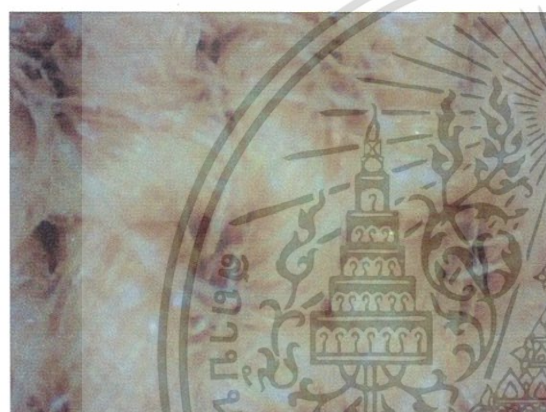


รูปที่ 4.34 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

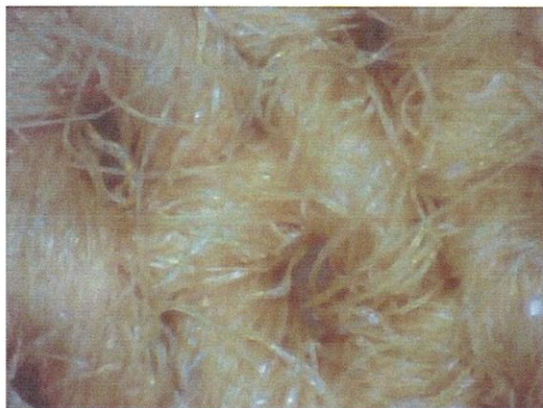


รูปที่ 4.36 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)



รูปที่ 4.37 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

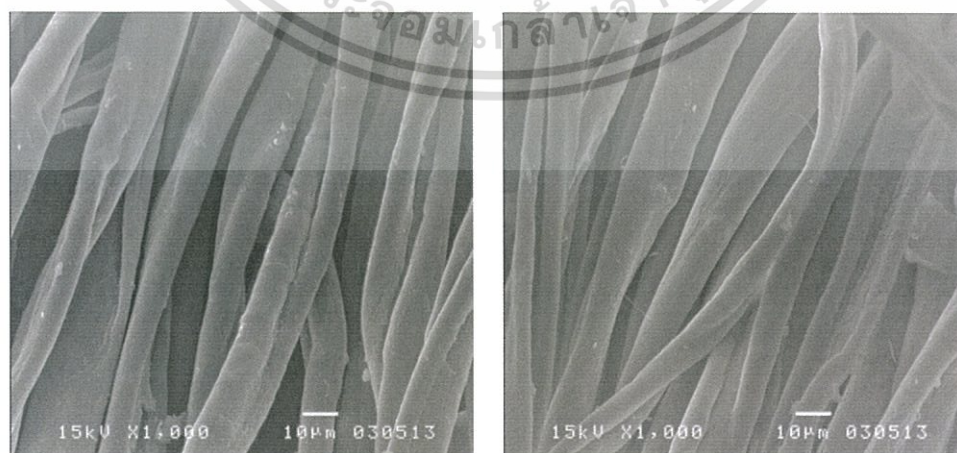
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 500 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)



รูปที่ 4.39 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)



รูปที่ 4.40 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

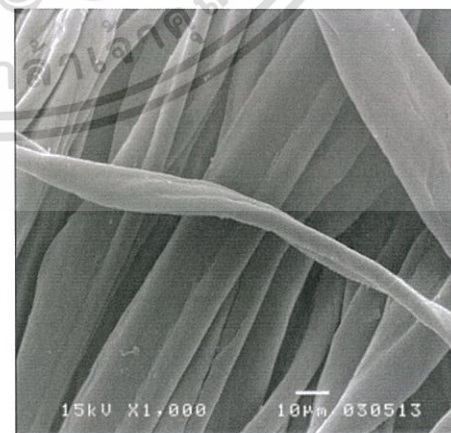
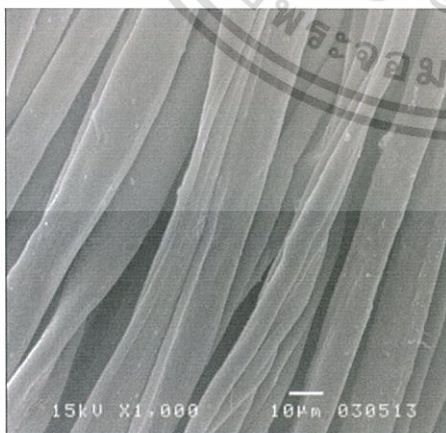
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

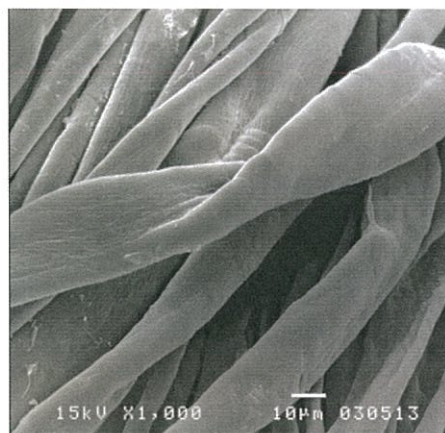


รูปที่ 4.42 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

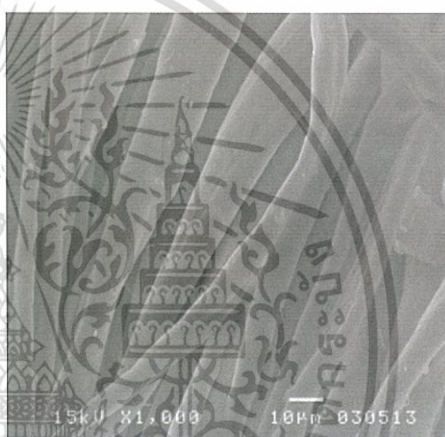
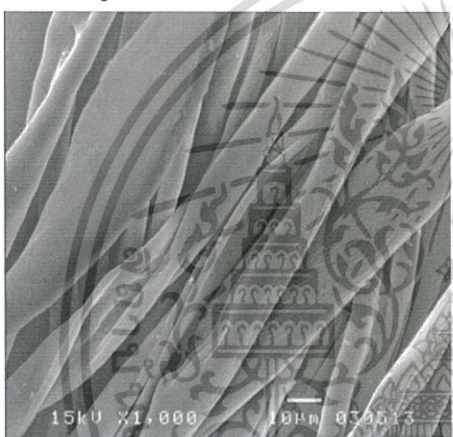


รูปที่ 4.43 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

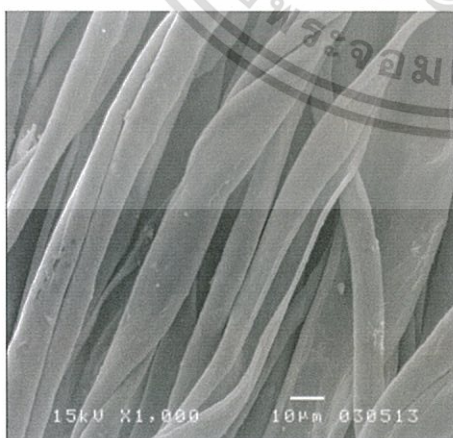
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

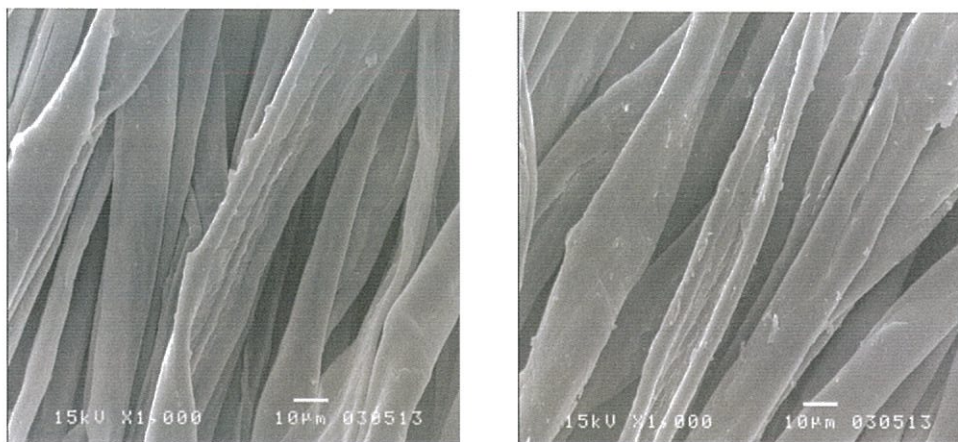


รูปที่ 4.45 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)



รูปที่ 4.46 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ที่กำลังขยาย 1000 เท่าระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที(ด้านซ้าย) ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที(ด้านขวา)

จากภาพถ่ายอิเล็กตรอนของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีผลทำให้อนุภาคสีที่ติดบนเส้นใยมีปริมาณลดลง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อคุณภาพการตกสีของผ้าได้ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการศึกษาคุณภาพการตกสีของผ้า

4.3.3 การศึกษาความคงทนของสีต่อน้ำ

การศึกษาศสมบัติในการคงทนของสีต่อน้ำเป็นการจำลองลักษณะการใช้งานผ้าซึ่งต้องสัมผัสกับน้ำโดยการแช่ชิ้นผ้าที่ต้องการทดสอบลงในน้ำ ทำการศึกษาในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ผ่านการย้อมเมื่อนำไปแช่ในน้ำและการตกติดของสีที่ละลายออกจากชิ้นผ้าลงสู่ผ้าขาวชนิดต่างๆ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าหลังทำการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำอยู่ที่ระดับ 4 คือสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และสำหรับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 10-120 นาที มีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ระดับ 4-5 คือสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ฟางข้าวทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดมีผลทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยเมื่อนำไปแช่ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงของสีผ้าสอดคล้องกับการตกติดสีบนผ้าขาวโดยผ้าที่ย้อมโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับชีวภาพมีการตกสีลงสู่ผ้าอะซิเตทขาว ในระดับ 3-4 (สีตกติดเล็กน้อย-พอสังเกตเห็นได้) มีการตกสีลงสู่ผ้าฝ้ายขาวในระดับ 1-2 (สีตกติดค่อนข้างมาก-ตกติดมาก) มีการตกสีลงสู่ผ้าไนลอนในระดับ 2-3 (สีตกติดพอสังเกตเห็น-ตกติดค่อนข้างมาก) และมีการตกสีลงสู่ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าอะซิติกและผ้าขนสัตว์ในระดับ 3 (สีตกติดพอสังเกตเห็น) สำหรับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยวัสดุดูดซับชีวภาพทั้ง 3 ชนิด โดยรวมมีระดับการตกติดสีบนผ้าอะซิเตทขาว ในระดับ 4 (สีตกติดเล็กน้อย) มีการตกสีลงสู่ผ้าฝ้ายขาวในระดับ 2 (สีตกติดค่อนข้างมาก) และมีการตกสีลงสู่ผ้าไนลอนไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าอะซิติกและผ้าขนสัตว์ในระดับ 3 (สีตกติดพอสังเกตเห็นได้) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมมีการตกติดสีลงสู่ผ้าขาวลดลงอาจเนื่องมาจากวัสดุดูดซับชีวภาพได้ดูดซับสีที่ติดบริเวณผิวออกจากผ้าในระหว่างการย้อมทำให้ผ้ามีการตกสีลดลงสอดคล้องกับการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่าซึ่งพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคของสีเกาะติดบนผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมอย่างเห็นได้ชัด

จากการทดสอบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสี และการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ การใช้วัสดุดูดซับชีวภาพส่งผลให้ผ้ามีการตกสีลดลง มีอนุภาคของสีเกาะติดบนผิวของเส้นใยลดลงและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมดังนั้นวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ขจัดสี และมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าและทำให้ผ้ามีคุณภาพการตกสีลดลง

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติและผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม

วัสดุ ดูดซับ	สัดส่วน วัสดุ ดูดซับ g/ml	เวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	ระดับสี เปลี่ยน จาก เดิม*	ระดับสีตกติดผ้าขาว**					
				acetate	cotton	nylon	polyester	acrylic	wool
control	0.00	0	4	3	1-2	2-3	3	3	3
Non- treated	0.01	10	4-5	3-4	1-2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
Non- treated	0.03	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
Non- treated	0.05	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ ดูดซับ	สัดส่วน วัสดุ ดูดซับ g/ml	เวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	ระดับสี เปลี่ยน จาก เดิม*	ระดับสีตกติดผ้าขาว**					
				acetate	cotton	nylon	polyester	acrylic	wool
NaOH- treated	0.01	10	4-5	3-4	1-2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
NaOH- treated	0.01	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
NaOH- treated	0.01	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
H ₂ SO ₄ - treated	0.01	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
H ₂ SO ₄ - treated	0.03	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3
H ₂ SO ₄ - treated	0.05	10	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		30	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		60	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		80	4-5	3-4	2	3	3	3	3
		120	4-5	3-4	2	3	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*สีเปลี่ยนจากเดิม

ระดับ 5	หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี
ระดับ 4	หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
ระดับ 3	หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตเห็นได้
ระดับ 2	หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก
ระดับ 1	หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงมาก

**สีตกติด

ระดับ 5	หมายถึง ไม่มีการตกติดของสี
ระดับ 4	หมายถึง สีตกติดเล็กน้อย
ระดับ 3	หมายถึง สีตกติดพอสังเกตเห็นได้
ระดับ 2	หมายถึง สีตกติดค่อนข้างมาก
ระดับ 1	หมายถึง สีตกติดมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุคลุมซบในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า เพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมและปรับปรุงคุณภาพผ้าที่ผ่านการย้อม โดยศึกษาวัสดุคลุมซบได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนของวัสดุคลุมซบต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร และระยะเวลาในการคลุมซบตั้งแต่ 0-120 นาที ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุคลุมซบชีวภาพที่เตรียมขึ้น ศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย และศึกษาผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมจากผลการทดลองพบว่า

ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า มีลักษณะพื้นผิวเป็นมันเงา เมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย 1000 เท่าจะพบโครงสร้างพื้นผิวเป็นรูปกรวยเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสบางส่วนมีลักษณะเส้นใยฉีกออกจากกันทำให้กลายเป็นชิ้นขนาดเล็ก ที่กำลังขยาย 500 เท่าพบว่าพื้นผิวขาดความมันเงารวมทั้งพบรอยเส้นใยฉีกออกจากกันในบางส่วนและที่กำลังขยาย 1000 เท่าพบว่าโครงสร้างรูปกรวยถูกทำลายจนมีลักษณะแตกแผ่ออก สำหรับฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีลักษณะพองตัวกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเล็กน้อย ที่กำลังขยาย 500 เท่าสังเกตเห็นว่าพื้นผิวมีความมันเงาน้อยกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพและเมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย 1000 เท่าพบว่าสามารถสังเกตเห็นปุ่มรูปกรวยได้ชัดเจนขึ้นรวมถึงมีบางส่วนที่ถูกทำลายแตกแผ่ออก

การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย ได้ทำการศึกษาการขจัดมวลสารประเภทโลหะ และสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม รวมถึงศึกษาจลนพลศาสตร์ของการคลุมซบสีย้อมจากผลการทดลองศึกษาการขจัดมวลสารประเภทโลหะโดยการวิเคราะห์ปริมาณเงินในวัสดุคลุมซบพบว่าเมื่อระยะเวลาในการคลุมซบเพิ่มขึ้นวัสดุคลุมซบมีปริมาณเงินเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เมื่อพิจารณาผลของสัดส่วนวัสดุคลุมซบต่อปริมาตรสารละลายสีย้อมพบว่า เมื่อสัดส่วนของวัสดุคลุมซบต่อสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นปริมาณเงินในวัสดุคลุมซบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและจากการเปรียบเทียบปริมาณเงินในวัสดุคลุมซบแต่ละชนิดพบว่าฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีปริมาณเงินที่ถูกคลุมซบไว้สูงที่สุดรองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพตามลำดับ การทดลองขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมพบว่าเมื่อระยะเวลาในการคลุมซบเพิ่มขึ้นสารละลายสีย้อมมีสีซีดจางลง โดยสีของสารละลายสีย้อมที่ใช้สัดส่วนของวัสดุคลุมซบต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร มีสีซีดมากที่สุดรองลงมาคือที่ 0.03 และ 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สารละลายสีย้อมที่ผ่านการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสมีสีซีดจางที่สุทธรองลงมา คือสารละลายสีย้อมที่ผ่านการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพตามลำดับ สอดคล้องกับการคำนวณร้อยละ การขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม(%RE) โดยค่าร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสี ย้อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับและมีแนวโน้มคงที่หลังจากเวลา 60 นาที เมื่อสัดส่วน ของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจาก สารละลายเพิ่มมากขึ้น โดยที่การใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับมีค่าร้อยละ ของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสูงที่สุดรองลงมาคือการใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับและการใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพตามลำดับ และในการศึกษา จลนพลศาสตร์ของการดูดซับพบว่าการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพนี้มีรูปแบบการดูดซับสอดคล้องกับสมการ จลนพลศาสตร์ Pseudo-second order มากกว่า สมการ Pseudo-first order

การศึกษาผลกระทบของการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมต่อคุณภาพของผ้า ทำการศึกษาทางด้านคุณภาพสี ลักษณะทางกายภาพ และทดสอบความคงทนสีต่อน้ำซึ่งพบว่า คุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมพบว่าลักษณะสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ(ที่ ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการ ย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน มีลักษณะไม่แตกต่างกันซึ่งผล จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติและผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับ แตกต่างกัน มีค่า L^* , a^* , และ b^* ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ ผ้าที่ผ่านการย้อมพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยกระบวนการปกติ(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)และ ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที) ที่กำลังขยาย 500 เท่า ลักษณะเส้นใยของผ้าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคของสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยเป็นจำนวน มาก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมในทุกสัดส่วนสัดส่วน ที่ได้ทำการทดลอง แทบไม่สังเกตเห็นอนุภาคของสีบนเส้นใย โดยสังเกตเห็นอนุภาคสีเล็กน้อยบนผิว ของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลง สภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของ สารละลาย 0.01กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาทีผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ แสดงให้เห็นว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติหลังจากการนำไปแช่ในน้ำมีการ เปลี่ยนแปลงสีของผ้ามากกว่ารวมถึงมีสีตกลงสู่ผ้าอะซิเตท ผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนขาวได้มากกว่า ผ้าที่ ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของ สารละลายและระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดลองใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการย้อมในระดับครัวเรือนเนื่องจากการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่สำหรับการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้ต้นทุนสูงและมีความยากลำบากในการดำเนินการติดตั้ง

2) ในการดัดแปลงสภาพฟางข้าวอาจมีการประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยการแช่ฟางข้าวในซีเมนต์ ปูนขาว หรือกรดธรรมชาติเพื่อดัดแปลงสภาพ

3) งานวิจัยนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นในการศึกษาประสิทธิภาพของฟางข้าว และการดัดแปลงสภาพในการกำจัดสีย้อม มวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมในการพัฒนาประสิทธิภาพของการดูดซับในลำดับถัดไปอาจพิจารณาถึงการลดขนาดของอนุภาควัสดุดูดซับและการบรรจุในถุงโพลีเอสเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการแยกออกจากผ้าภายหลังการใช้

4) งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับมวลสารประเภทโลหะโดยการวิเคราะห์ปริมาณแล้ว ซึ่งสารประเภทโลหะนี้ยังไม่ทราบว่าเป็นโลหะชนิดใดซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5) ฟางที่ผ่านการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับควรมีการนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เนื่องจากมีส่วนประกอบที่ก่อให้เกิดอันตรายอันได้แก่สีย้อมและโลหะที่ถูกดูดซับไว้ซึ่งอาจนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

6) อาจมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆเช่น กากอ้อย เปลือกข้าวโพด ชี้อื่นๆ ฯลฯ หรือในส่วนของต้นข้าวเอง เช่น แกลบและใบ ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเช่นเดียวกับลำต้นข้าวซึ่งอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วินัย สมบูรณ์. 2546. การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์โดยผงผักตบชวา. ปรินญา ดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] Fu, Y., Viraraghavan, T., 2001. Fungal decolorization of dye wastewater: a review. *Bioresour. Technol.* 79, 251–262.
- [3] เปล่งศักดิ์ ภู่อจร. 2546. การใช้เรซินผักตบชวาบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ ปรินญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [4] Mall, I.D., Srivastava, V.C., Agarwal, N.K., and Mishra, I.M., 2005. Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon-kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 264, 17–28
- [5] Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., and Idris, A., 2011. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination* 280, 1–13
- [6] Sundhagul, M. and Attasampunna, P., 2002. Bioconversion of Carbohydrate Residues in <http://www.unu.edu.unupress.unupbooks.80362e.80362E0.html>
- [7] เสาวรภัย กุสุมา ณ ออยุธยา. 2547. การส่งออกสิ่งทอของไทย. *นักบริหาร.* 24(1):29-32
- [8] กลุ่มเทคโนโลยีสิ่งทอ. 2544. *คัลเลอร์เวย์*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 34, หน้า 14-16
- [9] จินตนา จุลอุล. (2550). การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์จากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [10] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และธราพงษ์ ศรีคงแก้ว 2552. รายงานการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์ . ผลของปีตาไซโคลเด็กซ์ตรินที่เชื่อมติดกับสีย้อมและมีโคนาโซลในเตรทต่อสิ่งทอ” ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีย้อม:ไคเร็กซ์ มอก. 739-2530
- [12] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงย้อมผ้า. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [13] กาวี ศรีกุลกิจ. 2545. หลักการย้อมสีสิ่งทอ. ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] สราวุธ ศรีคุณ 2550. การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านดัดที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [15] ลิลี่ โกศัยยานนท์. 2541. คู่มือวิชาการสิ่งทอไทย. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร
- [16] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525. คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 253
- [17] มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม
- [18] สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ,2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอกย้อม, หน้า(2-15)-(4-15)
- [19] Sanuel, D.F. and Osman, M.A., 1987, Adsorption Processes for Water Treatment, Butterworths Publisher, USA., 14-20
- [20] นครินทร์ แพรชาย. 2549. การกำจัดสีย้อมจากน้ำล้างสีย้อมผ้าโยการใช้แลกเปลี่ยนที่ปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [21] Danald, L.S., 1999. Soil Physical Chemistry, 2nd.ed., CRC Press, USA, 47-87
- [22] ประพัฒน์ ทัพกาญจนะ. 2548. การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [23] พรรณดา จาบทอง. 2547. จลนพลศาสตร์การดูดซับของสารละลายสององค์ประกอบในน้ำซึ่งประกอบด้วยฟีนอล เรด 31 และ/หรือ แบล็ค 5 ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ทำจากยางรถยนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [24] McKay, G., Blair, H.S. and Gardner, J., 1983, The adsorption of dye in chitin intraparticle diffusion process. Journal of applied polymer science, 28:1767-1778
- [25] Ho Y. S. and McKay G. 1999. Pseudo-second order model for sorption process. Process Biochemistry. 34:451-465
- [26] Sundstom, D. W., & Klei, H. B. 1979. Wastewater treatment. New Jersey:Prentice-hall
- [27] อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] Sundhagul, M. and Attasampunna, P., 2002. Bioconversion of Carbohydrate Residues in Thailand, September, 17, from <http://www.unu.edu.unupress.unupbooks.80362e.80362E0.html>
- [29] Fei Yao, Qinglin Wu, Yong Lei and Yanjun Xu. 2008. Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *industrial crops and products* 28:63–72
- [30] จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์. 2549. ประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวเผาในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเสื้อกบบ้านแพง จ.มหาสารคาม. วิทยาสตรบัณฑิต. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- [31] Ozacar, M., and I.A. Sengil. (2005). Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust. *Bioresour. Technol.* 96:791-795
- [32] Malik, P.K. (2004). Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetic. *Hazard Maferial.* 113:81-88
- [33] Garg, V.K., M. Amita., R. Kumar, and R. Gupta. 2004. Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. *Pigment Cell Res.* (63):243-250
- [34] Yusra S. and Haq N. B., 2011. Biosorption of direct red-31 and direct orange-26 dyes by rice husk: application of factorial design analysis. *Chemical engineering research and Design.* 79:2566-2574
- [35] Yusra S. and Haq N. B., 2011. Kinetic and thermodynamic modeling for the removal of Direct red-31 dyes from aqueous solution by rice husk. *Desalination.* 272:313-322
- [36] Mohamad A. M. S., Dalia K. M., Wan A. W. A. K., and Azni I., 2011. Cation and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. *Desalination* 280:1-13
- [37] Debasish S., and Amitava B., 2010. Adsorptive Mass Transport of Dye on Rice Husk Ash Water Resource and Protection. 2:424-431
- [38] รุ่งนภา สุขสว่าง. 2550. การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา
- [39] Ola A., Ahmed E.N., Amany E.S., Azza khaled. (2005) Use of rice for adsorption of direct dyes from aqueous solution: A case study of direct.

- [40] Sagnik C., Shamik C., and Papita D. S., 2011. Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk. Carbohydrate polymer. 86:1533-1541
- [41] Samah B. D., Hilmi M., Maizatul S. S., 2012. Effect of organic and inorganic acid Pretreatment on Structural Properties of rice husk and adsorption mechanism of phenol. International Journal of Chemical and Environmental Engineering, 3:3
- [42] พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์ และ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. การดูดซับสี้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



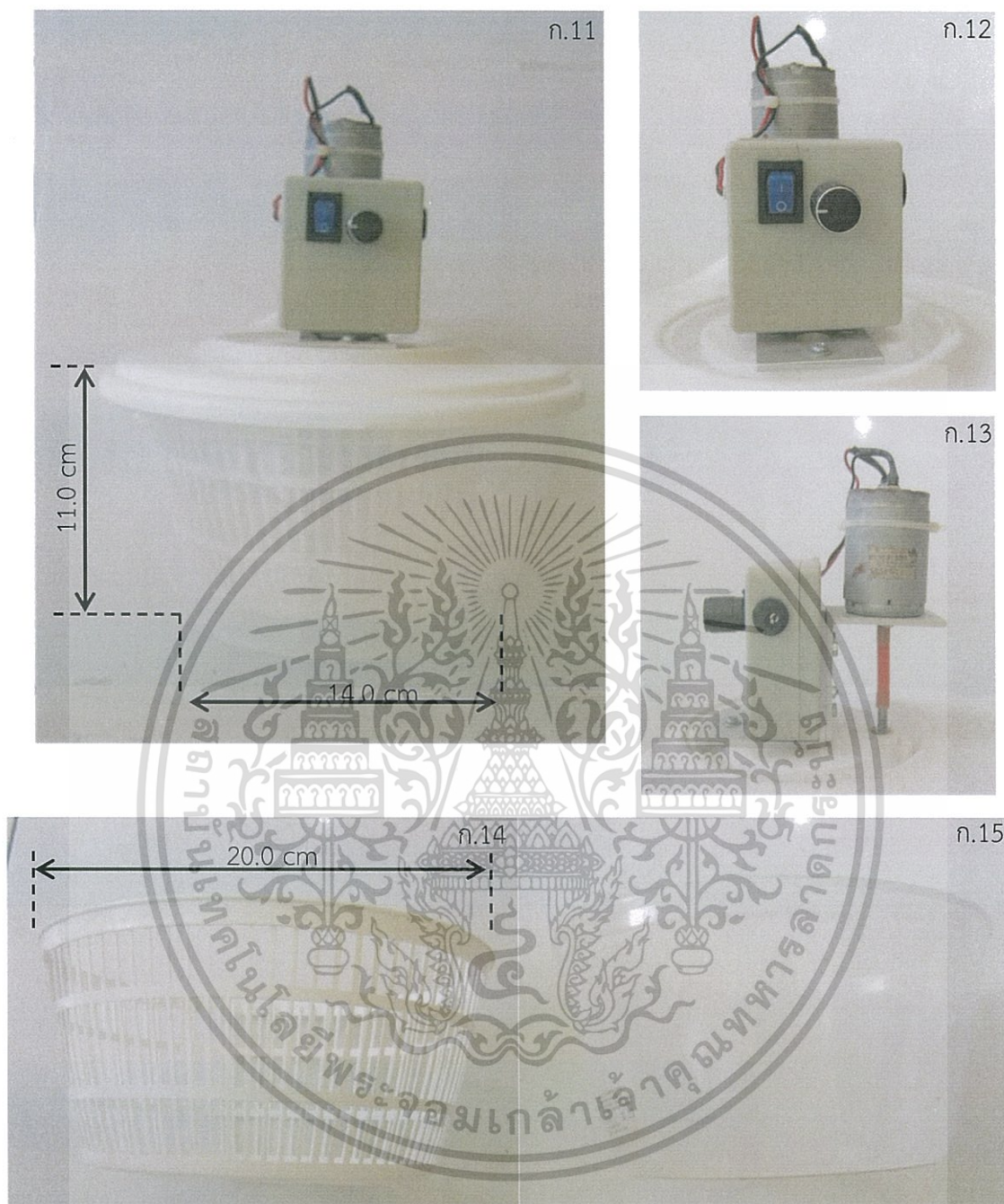
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของเครื่องสลัดน้ำออกจากผ้า (Auto spinner)

ก.11 เครื่องสลัดน้ำออกจากผ้า (Auto spinner)

ก.12 สวิตช์ เปิด-ปิด

ก.13 มอเตอร์ควบคุมความเร็วในการหมุน

ก.14 ตะแกรงพลาสติก

ก.15 ภาชนะพลาสติกสำหรับรองรับน้ำที่ออกจากผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ หลังนำไปใช้ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01,0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลาในการดูดซับ	ปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ (g/g)								
	Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
5	0.114	0.109	0.109	0.194	0.186	0.185	0.133	0.120	0.122
	0.117	0.111	0.108	0.194	0.187	0.185	0.134	0.130	0.120
	0.114	0.116	0.109	0.192	0.185	0.192	0.131	0.122	0.123
10	0.119	0.117	0.110	0.204	0.198	0.187	0.141	0.135	0.130
	0.120	0.118	0.113	0.203	0.196	0.192	0.142	0.139	0.127
	0.121	0.115	0.110	0.203	0.195	0.188	0.140	0.131	0.131
15	0.123	0.121	0.122	0.213	0.209	0.202	0.144	0.138	0.135
	0.121	0.122	0.115	0.215	0.209	0.191	0.150	0.142	0.135
	0.126	0.122	0.119	0.214	0.209	0.202	0.145	0.144	0.135
30	0.131	0.123	0.126	0.223	0.217	0.210	0.164	0.154	0.140
	0.131	0.127	0.120	0.222	0.217	0.208	0.164	0.153	0.139
	0.133	0.126	0.126	0.222	0.217	0.209	0.157	0.150	0.139
45	0.133	0.128	0.125	0.229	0.217	0.212	0.166	0.156	0.138
	0.132	0.126	0.126	0.227	0.214	0.206	0.169	0.152	0.142
	0.132	0.128	0.126	0.228	0.222	0.220	0.156	0.153	0.138
60	0.136	0.130	0.126	0.237	0.222	0.213	0.164	0.158	0.142
	0.135	0.131	0.125	0.236	0.229	0.214	0.167	0.152	0.141
	0.135	0.131	0.125	0.237	0.227	0.207	0.166	0.157	0.141
80	0.135	0.131	0.126	0.235	0.223	0.212	0.174	0.152	0.141
	0.136	0.130	0.126	0.238	0.228	0.209	0.171	0.158	0.143
	0.135	0.131	0.126	0.233	0.218	0.213	0.163	0.158	0.143
100	0.136	0.131	0.125	0.237	0.224	0.209	0.162	0.160	0.143
	0.136	0.131	0.125	0.235	0.228	0.217	0.164	0.151	0.143
	0.135	0.131	0.125	0.235	0.226	0.209	0.172	0.155	0.144
120	0.136	0.131	0.125	0.233	0.227	0.211	0.172	0.149	0.145
	0.136	0.131	0.125	0.236	0.227	0.211	0.170	0.159	0.144
	0.135	0.131	0.125	0.237	0.227	0.213	0.169	0.156	0.140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ที่สัดส่วนวัสดุตุดซึบ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการตุดซึบ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.44	0.05	32920.21**
Error	18.00	2.98×10^{-5}	1.65×10^{-6}	
Total	26.00	0.44		

ตาราง ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ที่สัดส่วนวัสดุตุดซึบ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการตุดซึบ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.41	0.05	26177.03**
Error	18.00	3.51×10^{-5}	1.95×10^{-6}	
Total	26.00	0.41		

ตาราง ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ที่สัดส่วนวัสดุตุดซึบ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการตุดซึบ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.38	0.48	17806.50**
Error	18.00	4.84×10^{-6}	2.69×10^{-6}	
Total	26.00	0.38		

ตาราง ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ที่สัดส่วนวัสดุตุดซึบ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการตุดซึบ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	1.29	0.16	111324.26**
Error	18.00	2.62×10^{-6}	1.45×10^{-7}	
Total	26.00	1.29		

ตาราง ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ที่สัดส่วนวัสดุตุดซึบ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการตุดซึบ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	1.2	0.15	23001.27**
Error	18.00	1.17×10^{-5}	6.52×10^{-7}	
Total	26.00	1.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	1.09	0.14	8350.91**
Error	18.00	2.94×10^{-4}	1.63×10^{-5}	
Total	26.00	1.09		

ตาราง ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.65	0.08	5155.10**
Error	18.00	2.83×10^{-4}	1.57×10^{-4}	
Total	26.00	0.65		

ตาราง ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.57	0.07	4764.81**
Error	18.00	2.69×10^{-4}	1.49×10^{-5}	
Total	26.00	0.57		

ตาราง ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	8.00	0.49	0.06	26420.84**
Error	18.00	4.18×10^{-5}	2.32×10^{-5}	
Total	26.00	0.49		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันวัสดุดูดซับมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง ข.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาทีก)	เปรียบเทียบ กับที่ ระยะเวลา (นาทีก)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	LSD	ข้อ สรุป
5	10	0.0047	0.0022	*	0.0046	0.0024	*	0.0022	0.0028	NS
	15	0.0084	0.0022	*	0.0094	0.0024	*	0.0099	0.0028	*
	30	0.0167	0.0022	*	0.0131	0.0024	*	0.0152	0.0028	*
	45	0.0175	0.0022	*	0.0153	0.0024	*	0.0166	0.0028	*
	60	0.0203	0.0022	*	0.0187	0.0024	*	0.0163	0.0028	*
	80	0.0202	0.0022	*	0.0187	0.0024	*	0.0172	0.0028	*
	100	0.0205	0.0022	*	0.0190	0.0024	*	0.0165	0.0028	*
	120	0.0206	0.0022	*	0.0186	0.0024	*	0.0163	0.0028	*
10	15	0.0037	0.0022	*	0.0048	0.0024	*	0.0077	0.0028	*
	30	0.0120	0.0022	*	0.0085	0.0024	*	0.0130	0.0028	*
	45	0.0128	0.0022	*	0.0107	0.0024	*	0.0145	0.0028	*
	60	0.0156	0.0022	*	0.0141	0.0024	*	0.0141	0.0028	*
	80	0.0155	0.0022	*	0.0141	0.0024	*	0.0150	0.0028	*
	100	0.0158	0.0022	*	0.0144	0.0024	*	0.0143	0.0028	*
	120	0.0159	0.0022	*	0.0140	0.0024	*	0.0141	0.0028	*
15	30	0.0083	0.0022	*	0.0036	0.0024	*	0.0053	0.0028	*
	45	0.0091	0.0022	*	0.0059	0.0024	*	0.0068	0.0028	*
	60	0.0119	0.0022	*	0.0093	0.0024	*	0.0065	0.0028	*
	80	0.0118	0.0022	*	0.0093	0.0024	*	0.0074	0.0028	*
	100	0.0121	0.0022	*	0.0095	0.0024	*	0.0066	0.0028	*
	120	0.0122	0.0022	*	0.0091	0.0024	*	0.0064	0.0028	*
30	45	0.0008	0.0022	*	0.0022	0.0024	*	0.0015	0.0028	NS
	60	0.0036	0.0022	*	0.0056	0.0024	*	0.0012	0.0028	NS
	80	0.0035	0.0022	*	0.0057	0.0024	*	0.0021	0.0028	NS
	100	0.0038	0.0022	*	0.0059	0.0024	*	0.0013	0.0028	NS
	120	0.0039	0.0022	*	0.0055	0.0024	*	0.0011	0.0028	NS
45	60	0.0028	0.0022	*	0.0034	0.0024	*	0.0003	0.0028	NS
	80	0.0027	0.0022	*	0.0034	0.0024	*	0.0006	0.0028	NS
	100	0.0030	0.0022	*	0.0037	0.0024	*	0.0002	0.0028	NS
	120	0.0031	0.0022	*	0.0033	0.0024	*	0.0004	0.0028	NS
60	80	0.0001	0.0022	NS	0.0000	0.0024	NS	0.0009	0.0028	NS
	100	0.0002	0.0022	NS	0.0003	0.0024	NS	0.0001	0.0028	NS
	120	0.0003	0.0022	NS	0.0002	0.0024	NS	0.0000	0.0028	NS
80	100	0.0003	0.0022	NS	0.0003	0.0024	NS	0.0007	0.0028	NS
	120	0.0004	0.0022	NS	0.0002	0.0024	NS	0.0009	0.0028	NS
100	120	0.0001	0.0022	NS	0.0004	0.0024	NS	0.0002	0.0028	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่พรีตีเมนต์ ข้อมูลปริมาณแก้วของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาท)	เปรียบเทียบกับที่ ระยะเวลา (นาท)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายที่ย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
5	10	0.0100	0.0021	*	0.0107	0.0044	*	0.0015	0.0069	NS
	15	0.0207	0.0021	*	0.0234	0.0044	*	0.0105	0.0069	*
	30	0.0288	0.0021	*	0.0311	0.0044	*	0.0215	0.0069	*
	45	0.0350	0.0021	*	0.0318	0.0044	*	0.0250	0.0069	*
	60	0.0432	0.0021	*	0.0405	0.0044	*	0.0241	0.0069	*
	80	0.0418	0.0021	*	0.0375	0.0044	*	0.0238	0.0069	*
	100	0.0425	0.0021	*	0.0401	0.0044	*	0.0244	0.0069	*
	120	0.0422	0.0021	*	0.0413	0.0044	*	0.0242	0.0069	*
10	15	0.0107	0.0021	*	0.0127	0.0044	*	0.0091	0.0069	*
	30	0.0188	0.0021	*	0.0204	0.0044	*	0.0200	0.0069	*
	45	0.0249	0.0021	*	0.0211	0.0044	*	0.0235	0.0069	*
	60	0.0332	0.0021	*	0.0298	0.0044	*	0.0226	0.0069	*
	80	0.0318	0.0021	*	0.0268	0.0044	*	0.0223	0.0069	*
	100	0.0325	0.0021	*	0.0294	0.0044	*	0.0229	0.0069	*
	120	0.0322	0.0021	*	0.0306	0.0044	*	0.0228	0.0069	*
	15	30	0.0081	0.0021	*	0.0077	0.0044	*	0.0109	0.0069
45		0.0142	0.0021	*	0.0084	0.0044	*	0.0144	0.0069	*
60		0.0225	0.0021	*	0.0171	0.0044	*	0.0136	0.0069	*
80		0.0211	0.0021	*	0.0142	0.0044	*	0.0132	0.0069	*
100		0.0218	0.0021	*	0.0168	0.0044	*	0.0138	0.0069	*
120		0.0215	0.0021	*	0.0180	0.0044	*	0.0137	0.0069	*
30	45	0.0061	0.0021	*	0.0007	0.0044	NS	0.0035	0.0069	NS
	60	0.0144	0.0021	*	0.0094	0.0044	*	0.0026	0.0069	NS
	80	0.0130	0.0021	*	0.0064	0.0044	*	0.0023	0.0069	NS
	100	0.0136	0.0021	*	0.0090	0.0044	*	0.0029	0.0069	NS
	120	0.0134	0.0021	*	0.0102	0.0044	*	0.0028	0.0069	NS
45	60	0.0083	0.0021	*	0.0087	0.0044	*	0.0009	0.0069	NS
	80	0.0069	0.0021	*	0.0057	0.0044	*	0.0012	0.0069	NS
	100	0.0075	0.0021	*	0.0083	0.0044	*	0.0006	0.0069	NS
	120	0.0072	0.0021	*	0.0095	0.0044	*	0.0007	0.0069	NS
60	80	0.0014	0.0021	NS	0.0030	0.0044	NS	0.0004	0.0069	NS
	100	0.0007	0.0021	NS	0.0004	0.0044	NS	0.0002	0.0069	NS
	120	0.0010	0.0021	NS	0.0008	0.0044	NS	0.0001	0.0069	NS
80	100	0.0006	0.0021	NS	0.0026	0.0044	NS	0.0006	0.0069	NS
	120	0.0004	0.0021	NS	0.0038	0.0044	NS	0.0005	0.0069	NS
100	120	0.0003	0.0021	NS	0.0012	0.0044	NS	0.0001	0.0069	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.13 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่พรีตเมนต์ ข้อมูลปริมาณเถ้าของฟางข้าวที่ผ่านการ
ตัดแปลงสภาพด้วยกรด

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาทีก)	เปรียบเทียบ กับที่ ระยะเวลา (นาทีก)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาณสารละลายสีย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
5	10	0.0082	0.0068	*	0.0109	0.0066	*	0.0078	0.0026	*
	15	0.0137	0.0068	*	0.0168	0.0066	*	0.0134	0.0026	*
	30	0.0292	0.0068	*	0.0281	0.0066	*	0.0173	0.0026	*
	45	0.0312	0.0068	*	0.0295	0.0066	*	0.0178	0.0026	*
	60	0.0332	0.0068	*	0.0312	0.0066	*	0.0193	0.0026	*
	80	0.0367	0.0068	*	0.0320	0.0066	*	0.0205	0.0026	*
	100	0.0335	0.0068	*	0.0311	0.0066	*	0.0216	0.0026	*
	120	0.0378	0.0068	*	0.0305	0.0066	*	0.0210	0.0026	*
10	15	0.0054	0.0068	NS	0.0059	0.0066	NS	0.0056	0.0026	*
	30	0.0209	0.0068	*	0.0172	0.0066	*	0.0095	0.0026	*
	45	0.0230	0.0068	*	0.0186	0.0066	*	0.0100	0.0026	*
	60	0.0250	0.0068	*	0.0203	0.0066	*	0.0116	0.0026	*
	80	0.0284	0.0068	*	0.0211	0.0066	*	0.0128	0.0026	*
	100	0.0253	0.0068	*	0.0202	0.0066	*	0.0139	0.0026	*
	120	0.0296	0.0068	*	0.0196	0.0066	*	0.0132	0.0026	*
15	30	0.0155	0.0068	*	0.0113	0.0066	*	0.0039	0.0026	*
	45	0.0176	0.0068	*	0.0126	0.0066	*	0.0044	0.0026	*
	60	0.0196	0.0068	*	0.0143	0.0066	*	0.0060	0.0026	*
	80	0.0230	0.0068	*	0.0152	0.0066	*	0.0072	0.0026	*
	100	0.0198	0.0068	*	0.0143	0.0066	*	0.0083	0.0026	*
	120	0.0241	0.0068	*	0.0137	0.0066	*	0.0076	0.0026	*
30	45	0.0021	0.0068	NS	0.0013	0.0066	NS	0.0005	0.0026	NS
	60	0.0041	0.0068	NS	0.0030	0.0066	NS	0.0021	0.0026	NS
	80	0.0075	0.0068	*	0.0039	0.0066	NS	0.0033	0.0026	*
	100	0.0043	0.0068	NS	0.0029	0.0066	NS	0.0044	0.0026	*
	120	0.0086	0.0068	*	0.0023	0.0066	NS	0.0037	0.0026	*
45	60	0.0020	0.0068	NS	0.0017	0.0066	NS	0.0015	0.0026	NS
	80	0.0054	0.0068	NS	0.0026	0.0066	NS	0.0027	0.0026	*
	100	0.0023	0.0068	NS	0.0016	0.0066	NS	0.0038	0.0026	*
	120	0.0066	0.0068	NS	0.0010	0.0066	NS	0.0032	0.0026	*
60	80	0.0034	0.0068	NS	0.0009	0.0066	NS	0.0012	0.0026	NS
	100	0.0003	0.0068	NS	0.0001	0.0066	NS	0.0023	0.0026	NS
	120	0.0046	0.0068	NS	0.0007	0.0066	NS	0.0016	0.0026	NS
80	100	0.0032	0.0068	NS	0.0010	0.0066	NS	0.0011	0.0026	NS
	120	0.0011	0.0068	NS	0.0016	0.0066	NS	0.0004	0.0026	NS
100	120	0.0043	0.0068	NS	0.0006	0.0066	NS	0.0007	0.0026	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๑.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้าในฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดหลังจากนำไปทดลอง เป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาณสารละลายสีย้อม 0.01,0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

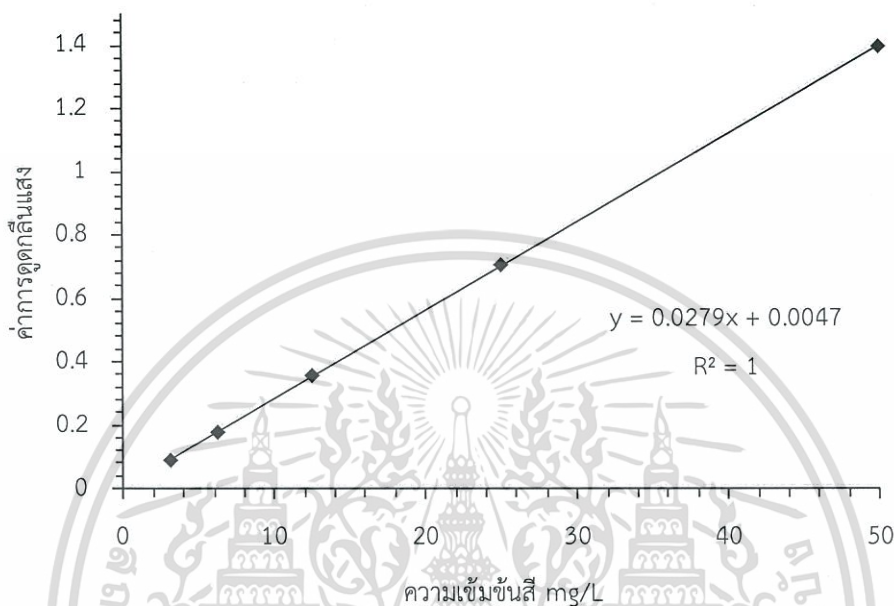
ระยะเวลาในการดูดซับ(นาที)	ปริมาณเถ้าในวัสดุดูดซับ (mg/g)											
	Non-treated				NaOH-treated				H ₂ SO ₄ -treated			
	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
5	114.94 ^a ±0.002	112.16 ^a ±0.003	108.91 ^a ±0.001	193.28 ^a ±0.001	185.84 ^a ±0.001	187.53 ^{ab} ±0.004	132.59 ^a ±0.001	124.18 ^a ±0.005	121.79 ^a ±0.001	124.18 ^a ±0.005	121.79 ^a ±0.001	121.79 ^a ±0.001
10	119.67 ^b ±0.001	116.77 ^b ±0.001	111.10 ^b ±0.001	203.30 ^b ±0.000	196.54 ^b ±0.002	189.00 ^b ±0.002	140.81 ^{bc} ±0.001	135.08 ^{bc} ±0.004	129.55 ^b ±0.002	135.08 ^{bc} ±0.004	129.55 ^b ±0.002	129.55 ^b ±0.002
15	123.34 ^c ±0.003	121.59 ^c ±0.001	118.76 ^c ±0.003	214.00 ^c ±0.001	209.20 ^c ±0.000	198.07 ^c ±0.006	146.25 ^c ±0.003	141.01 ^c ±0.003	135.15 ^c ±0.001	141.01 ^c ±0.003	135.15 ^c ±0.001	135.15 ^c ±0.001
30	131.64 ^{de} ±0.001	125.24 ^{de} ±0.001	124.07 ^d ±0.003	222.12 ^d ±0.001	216.92 ^{de} ±0.000	209.09 ^d ±0.001	161.76 ^{de} ±0.004	152.32 ^d ±0.002	139.05 ^{de} ±0.001	152.32 ^d ±0.002	139.05 ^{de} ±0.001	139.05 ^{de} ±0.001
45	132.46 ^e ±0.001	127.47 ^e ±0.001	125.56 ^d ±0.000	228.24 ^e ±0.001	217.63 ^e ±0.004	212.50 ^d ±0.007	163.83 ^{ef} ±0.007	153.65 ^d ±0.002	139.59 ^{ef} ±0.003	153.65 ^d ±0.002	139.59 ^{ef} ±0.003	139.59 ^{ef} ±0.003
60	135.25 ^f ±0.001	130.88 ^f ±0.001	125.24 ^d ±0.000	236.51 ^f ±0.001	226.31 ^e ±0.003	211.64 ^d ±0.004	165.82 ^{ef} ±0.002	155.34 ^d ±0.003	141.11 ^{ef} ±0.003	155.34 ^d ±0.003	141.11 ^{ef} ±0.003	141.11 ^{ef} ±0.003
80	135.15 ^f ±0.003	130.89 ^f ±0.001	126.12 ^d ±0.003	235.11 ^f ±0.001	223.36 ^f ±0.000	211.28 ^d ±0.006	169.24 ^{ef} ±0.003	156.23 ^d ±0.003	142.32 ^s ±0.000	156.23 ^d ±0.003	142.32 ^s ±0.000	142.32 ^s ±0.000
100	135.48 ^f ±0.000	131.14 ^f ±0.001	125.37 ^d ±0.001	235.76 ^f ±0.001	225.96 ^f ±0.002	211.89 ^d ±0.005	166.09 ^{ef} ±0.005	155.26 ^d ±0.005	143.43 ^s ±0.001	155.26 ^d ±0.005	143.43 ^s ±0.001	143.43 ^s ±0.001
120	135.57 ^f ±0.000	130.72 ^f ±0.001	125.20 ^d ±0.001	235.47 ^f ±0.002	227.15 ^f ±0.000	211.77 ^d ±0.001	170.39 ^{ef} ±0.002	154.66 ^d ±0.005	142.75 ^s ±0.002	154.66 ^d ±0.005	142.75 ^s ±0.002	142.75 ^s ±0.002

*สำหรับในคอลัมน์ที่เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม คำนวณได้จากกราฟมาตรฐานของสีย้อม direct orange 39 ดังรูปที่ ค.1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสี โดยผลการวัดความเข้มข้นสีแสดงในตารางที่ ค.1 และผลการคำนวณค่าเป็นระดับความเข้มข้นสีแสดงในตารางที่ ค.2



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของสีย้อมไตรเรทท์ออเรนจ์ 39

ตัวอย่าง การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมหลังการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับที่สกัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที ในการทดลองครั้งที่ 1 (ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม)

เมื่อ ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.313 และสารละลายสีย้อมมีการเจือจาง 10 เท่าก่อนการนำไปวัดค่า จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

$$Y = 0.0279x + 0.0047$$

แทนค่า

$$0.313 = 0.0279x + 0.0047$$

$$x = \frac{0.313 - 0.0047}{0.0279}$$

$$X = 10.804$$

ดังนั้นสารละลายสีย้อมมีความเข้มข้น $(10.80 \times 10) = 108.04$ มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมหลังการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ ต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

ระยะเวลา ในการดูด ซับ(นาที)	การ ทดลอง ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง								
		Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
		0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
0	1	0.313	0.325	0.320	0.324	0.320	0.318	0.309	0.323	0.324
	2	0.331	0.314	0.332	0.307	0.311	0.326	0.328	0.322	0.317
	3	0.308	0.312	0.323	0.326	0.332	0.327	0.322	0.317	0.316
5	1	0.298	0.297	0.290	0.284	0.273	0.268	0.295	0.293	0.286
	2	0.300	0.292	0.295	0.281	0.275	0.270	0.299	0.294	0.283
	3	0.304	0.290	0.289	0.286	0.277	0.262	0.298	0.291	0.280
10	1	0.290	0.277	0.266	0.256	0.239	0.223	0.281	0.273	0.258
	2	0.295	0.275	0.271	0.258	0.238	0.229	0.284	0.279	0.256
	3	0.292	0.269	0.274	0.252	0.238	0.226	0.283	0.279	0.251
15	1	0.281	0.257	0.250	0.236	0.202	0.181	0.273	0.257	0.232
	2	0.283	0.258	0.253	0.239	0.200	0.186	0.271	0.260	0.229
	3	0.280	0.255	0.254	0.233	0.203	0.185	0.274	0.261	0.225
30	1	0.268	0.245	0.234	0.191	0.165	0.132	0.258	0.240	0.195
	2	0.274	0.241	0.242	0.192	0.168	0.138	0.256	0.244	0.199
	3	0.271	0.240	0.236	0.195	0.170	0.135	0.257	0.241	0.203
45	1	0.260	0.225	0.210	0.167	0.129	0.101	0.240	0.224	0.164
	2	0.262	0.227	0.217	0.164	0.113	0.079	0.247	0.224	0.162
	3	0.264	0.222	0.212	0.162	0.121	0.085	0.245	0.226	0.171
60	1	0.252	0.211	0.195	0.145	0.101	0.070	0.231	0.215	0.149
	2	0.256	0.212	0.194	0.146	0.100	0.068	0.233	0.209	0.147
	3	0.253	0.211	0.193	0.148	0.103	0.065	0.232	0.210	0.149
80	1	0.240	0.210	0.192	0.144	0.087	0.064	0.224	0.204	0.146
	2	0.240	0.207	0.189	0.145	0.093	0.053	0.228	0.202	0.144
	3	0.239	0.205	0.178	0.143	0.086	0.064	0.227	0.198	0.145
100	1	0.237	0.210	0.185	0.143	0.087	0.054	0.222	0.208	0.145
	2	0.238	0.202	0.192	0.144	0.099	0.054	0.226	0.207	0.146
	3	0.240	0.204	0.185	0.145	0.093	0.059	0.222	0.200	0.144
120	1	0.237	0.208	0.191	0.143	0.084	0.063	0.226	0.200	0.146
	2	0.239	0.205	0.189	0.144	0.094	0.055	0.227	0.208	0.145
	3	0.240	0.209	0.183	0.145	0.096	0.052	0.229	0.195	0.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมหลังการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับระหว่างการย้อมที่สัดส่วนของ วัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

ระยะเวลา ในการดูด ซับ(นาที)	การ ทดลอง ครั้งที่	ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม(mg/L)								
		Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
		0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
0	1	108.04	112.57	110.68	112.19	110.68	109.92	106.53	111.81	112.19
	2	114.83	108.42	115.21	105.77	107.28	112.94	113.70	111.43	109.55
	3	106.15	107.66	111.81	112.94	115.21	113.32	111.43	109.55	109.17
5	1	102.38	102.00	99.36	97.09	92.94	91.06	101.25	100.49	97.85
	2	103.13	100.11	101.25	95.96	93.70	91.81	102.75	100.87	96.72
	3	104.64	99.36	98.98	97.85	94.45	88.79	102.38	99.74	95.58
10	1	99.36	94.45	90.30	86.53	80.11	74.08	95.96	92.94	87.28
	2	101.25	93.70	92.19	87.28	79.74	76.34	97.09	95.21	86.53
	3	100.11	91.43	93.32	85.02	79.74	75.21	96.72	95.21	84.64
15	1	95.96	86.91	84.26	78.98	66.15	58.23	92.94	86.91	77.47
	2	96.72	87.28	85.40	80.11	65.40	60.11	92.19	88.04	76.34
	3	95.58	86.15	85.77	77.85	66.53	59.74	93.32	88.42	74.83
30	1	91.06	82.38	78.23	62.00	52.19	39.74	87.28	80.49	63.51
	2	93.32	80.87	81.25	62.38	53.32	42.00	86.53	82.00	65.02
	3	92.19	80.49	78.98	63.51	54.08	40.87	86.91	80.87	66.53
45	1	88.04	74.83	69.17	52.94	38.60	28.04	80.49	74.45	51.81
	2	88.79	75.58	71.81	51.81	32.57	19.74	83.13	74.45	51.06
	3	89.55	73.70	69.92	51.06	35.58	22.00	82.38	75.21	54.45
60	1	85.02	69.55	63.51	44.64	28.04	16.34	77.09	71.06	46.15
	2	86.53	69.92	63.13	45.02	27.66	15.58	77.85	68.79	45.40
	3	85.40	69.55	62.75	45.77	28.79	14.45	77.47	69.17	46.15
80	1	80.49	69.17	62.38	44.26	22.75	14.08	74.45	66.91	45.02
	2	80.49	68.04	61.25	44.64	25.02	9.92	75.96	66.15	44.26
	3	80.11	67.28	57.09	43.89	22.38	14.08	75.58	64.64	44.64
100	1	79.36	69.17	59.74	43.89	22.75	10.30	73.70	68.42	44.64
	2	79.74	66.15	62.38	44.26	27.28	10.30	75.21	68.04	45.02
	3	80.49	66.91	59.74	44.64	25.02	12.19	73.70	65.40	44.26
120	1	79.36	68.42	62.00	43.89	21.62	13.70	75.21	65.40	45.02
	2	80.11	67.28	61.25	44.26	25.40	10.68	75.58	68.42	44.64
	3	80.49	68.79	58.98	44.64	26.15	9.55	76.34	63.51	44.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	246352.85	27372.54	10297.70**
Error	20	53.16	2.66	
Total	29	246406.01		

ตาราง ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	200642.08	22293.56	12693.77**
Error	20	35.13	1.76	
Total	29	200677.21		

ตาราง ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	187291.67	20810.19	7718.64**
Error	20	53.92	2.70	
Total	29	187345.59		

ตาราง ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	144380.68	16042.30	7527.20**
Error	20	42.62	2.13	
Total	29	144423.30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	111667.30	12407.48	3089.77**
Error	20	80.31	4.02	
Total	29	111747.62		

ตาราง ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	95106.19	10567.35	2619.15**
Error	20	80.69	4.03	
Total	29	95186.89		

ตาราง ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	225584.59	25064.95	13505.27**
Error	20	37.12	1.86	
Total	29	225621.71		

ตาราง ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	200730.58	22303.40	13463.52**
Error	20	33.13	1.66	
Total	29	200763.71		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม วัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
Treatment	9	144492.29	16054.70	11826.31**
Error	20	27.15	1.36	
Total	29	144519.44		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมหลังการย้อม โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสและฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml พบว่าที่ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกันวัสดุดูดซับมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.11 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลความเข้มข้นสารละลายสี่ย้อมหลังผ่าน การย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาท)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาท)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสี่ย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
0	5	6.29	2.78	*	9.06	2.26	*	12.70	2.80	*
	10	9.43	2.78	*	16.35	2.26	*	20.63	2.80	*
	15	13.58	2.78	*	22.77	2.26	*	27.42	2.80	*
	30	17.48	2.78	*	28.30	2.26	*	33.08	2.80	*
	45	20.88	2.78	*	34.84	2.26	*	42.26	2.80	*
	60	24.03	2.78	*	39.87	2.26	*	49.43	2.80	*
	80	29.31	2.78	*	41.38	2.26	*	52.33	2.80	*
	100	29.81	2.78	*	42.14	2.26	*	51.95	2.80	*
	120	29.69	2.78	*	41.38	2.26	*	51.82	2.80	*
5	10	3.14	2.78	*	7.30	2.26	*	7.92	2.80	*
	15	7.30	2.78	*	13.71	2.26	*	14.72	2.80	*
	30	11.19	2.78	*	19.25	2.26	*	20.38	2.80	*
	45	14.59	2.78	*	25.79	2.26	*	29.56	2.80	*
	60	17.74	2.78	*	30.82	2.26	*	36.73	2.80	*
	80	23.02	2.78	*	32.33	2.26	*	39.62	2.80	*
	100	23.52	2.78	*	33.08	2.26	*	39.25	2.80	*
	120	23.40	2.78	*	32.33	2.26	*	39.12	2.80	*
10	15	4.15	2.78	*	6.42	2.26	*	6.79	2.80	*
	30	8.05	2.78	*	11.95	2.26	*	12.45	2.80	*
	45	11.45	2.78	*	18.49	2.26	*	21.64	2.80	*
	60	14.59	2.78	*	23.52	2.26	*	28.81	2.80	*
	80	19.87	2.78	*	25.03	2.26	*	31.70	2.80	*
	100	20.38	2.78	*	25.79	2.26	*	31.32	2.80	*
	120	20.25	2.78	*	25.03	2.26	*	31.19	2.80	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาท)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาท)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
15	30	3.90	2.78	*	5.53	2.26	*	5.66	2.80	*
	45	7.30	2.78	*	12.08	2.26	*	14.84	2.80	*
	60	10.44	2.78	*	17.11	2.26	*	22.01	2.80	*
	80	15.72	2.78	*	18.62	2.26	*	24.91	2.80	*
	100	16.23	2.78	*	19.37	2.26	*	24.53	2.80	*
	120	16.10	2.78	*	18.62	2.26	*	24.40	2.80	*
30	45	3.40	2.78	*	6.54	2.26	*	9.18	2.80	*
	60	6.54	2.78	*	11.57	2.26	*	16.35	2.80	*
	80	11.82	2.78	*	13.08	2.26	*	19.25	2.80	*
	100	12.33	2.78	*	13.84	2.26	*	18.87	2.80	*
	120	12.20	2.78	*	13.08	2.26	*	18.74	2.80	*
45	60	3.14	2.78	*	5.03	2.26	*	7.17	2.80	*
	80	8.43	2.78	*	6.54	2.26	*	10.06	2.80	*
	100	8.93	2.78	*	7.30	2.26	*	9.69	2.80	*
	120	8.81	2.78	*	6.54	2.26	*	9.56	2.80	*
60	80	5.28	2.78	*	1.51	2.26	NS	2.89	2.80	*
	100	5.79	2.78	*	2.26	2.26	*	2.52	2.80	NS
	120	5.66	2.78	*	1.51	2.26	NS	2.39	2.80	NS
80	100	0.50	2.78	NS	0.75	2.26	NS	0.38	2.80	NS
	120	0.38	2.78	NS	0.00	2.26	NS	0.50	2.80	NS
100	120	0.13	2.78	NS	0.75	2.26	NS	0.13	2.80	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.12 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทรีตเมนต์ ข้อมูลความเข้มข้นสารละลายสีย้อมหลังผ่าน การย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดูดซับ

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาท)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาท)	สัดส่วนวัสดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
0	5	13.33	2.49	*	17.36	3.41	*	21.51	3.42	*
	10	24.03	2.49	*	31.19	3.41	*	36.86	3.42	*
	15	31.32	2.49	*	45.03	3.41	*	52.70	3.42	*
	30	47.67	2.49	*	57.86	3.41	*	71.19	3.42	*
	45	58.36	2.49	*	75.47	3.41	*	88.81	3.42	*
	60	65.16	2.49	*	82.89	3.41	*	96.60	3.42	*
	80	66.04	2.49	*	87.67	3.41	*	99.37	3.42	*
	100	66.04	2.49	*	86.04	3.41	*	101.13	3.42	*
	120	66.04	2.49	*	86.67	3.41	*	100.75	3.42	*
5	10	10.69	2.49	*	13.84	3.41	*	15.35	3.42	*
	15	17.99	2.49	*	27.67	3.41	*	31.19	3.42	*
	30	34.34	2.49	*	40.50	3.41	*	49.69	3.42	*
	45	45.03	2.49	*	58.11	3.41	*	67.30	3.42	*
	60	51.82	2.49	*	65.53	3.41	*	75.09	3.42	*
	80	52.70	2.49	*	70.31	3.41	*	77.86	3.42	*
	100	52.70	2.49	*	68.68	3.41	*	79.62	3.42	*
	120	52.70	2.49	*	69.31	3.41	*	79.25	3.42	*
10	15	7.30	2.49	*	13.84	3.41	*	15.85	3.42	*
	30	23.65	2.49	*	26.67	3.41	*	34.34	3.42	*
	45	34.34	2.49	*	44.28	3.41	*	51.95	3.42	*
	60	41.13	2.49	*	51.70	3.41	*	59.75	3.42	*
	80	42.01	2.49	*	56.48	3.41	*	62.52	3.42	*
	100	42.01	2.49	*	54.84	3.41	*	64.28	3.42	*
	120	42.01	2.49	*	55.47	3.41	*	63.90	3.42	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาที)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีขี้ม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
15.00	30	16.35	2.49	*	12.83	3.41	*	18.49	3.42	*
	45	27.04	2.49	*	30.44	3.41	*	36.10	3.42	*
	60	33.84	2.49	*	37.86	3.41	*	43.90	3.42	*
	80	34.72	2.49	*	42.64	3.41	*	46.67	3.42	*
	100	34.72	2.49	*	41.01	3.41	*	48.43	3.42	*
	120	34.72	2.49	*	41.64	3.41	*	48.05	3.42	*
30	45	10.69	2.49	*	17.61	3.41	*	17.61	3.42	*
	60	17.48	2.49	*	25.03	3.41	*	25.41	3.42	*
	80	18.36	2.49	*	29.81	3.41	*	28.18	3.42	*
	100	18.36	2.49	*	28.18	3.41	*	29.94	3.42	*
	120	18.36	2.49	*	28.81	3.41	*	29.56	3.42	*
45	60	6.79	2.49	*	7.42	3.41	*	7.80	3.42	*
	80	7.67	2.49	*	12.20	3.41	*	10.57	3.42	*
	100	7.67	2.49	*	10.57	3.41	*	12.33	3.42	*
	120	7.67	2.49	*	11.19	3.41	*	11.95	3.42	*
60	80	0.88	2.49	NS	4.78	3.41	*	2.77	3.42	NS
	100	0.88	2.49	NS	3.14	3.41	NS	4.53	3.42	*
	120	0.88	2.49	NS	3.77	3.41	*	4.15	3.42	*
80	100	0.00	2.49	NS	1.64	3.41	NS	1.76	3.42	NS
	120	0.00	2.49	NS	1.01	3.41	NS	1.38	3.42	NS
100	120	0.00	2.49	NS	0.63	3.41	NS	0.38	3.42	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.13 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ทริตเมนต์ ข้อมูลความเข้มข้นสารละลายสี่ย้อมหลังผ่าน การย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาทีก)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาทีก)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสี่ย้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
0	5	8.43	2.32	*	10.57	2.19	*	13.58	1.98	*
	10	13.96	2.32	*	16.48	2.19	*	24.15	1.98	*
	15	17.74	2.32	*	23.14	2.19	*	34.09	1.98	*
	30	23.65	2.32	*	29.81	2.19	*	45.28	1.98	*
	45	28.55	2.32	*	36.23	2.19	*	57.86	1.98	*
	60	33.08	2.32	*	41.26	2.19	*	64.40	1.98	*
	80	35.22	2.32	*	45.03	2.19	*	65.66	1.98	*
	100	36.35	2.32	*	43.65	2.19	*	65.66	1.98	*
5	10	5.53	2.32	*	5.91	2.19	*	10.57	1.98	*
	15	9.31	2.32	*	12.58	2.19	*	20.50	1.98	*
	30	15.22	2.32	*	19.25	2.19	*	31.70	1.98	*
	45	20.13	2.32	*	25.66	2.19	*	44.28	1.98	*
	60	24.65	2.32	*	30.69	2.19	*	50.82	1.98	*
	80	26.79	2.32	*	34.47	2.19	*	52.08	1.98	*
	100	27.92	2.32	*	33.08	2.19	*	52.08	1.98	*
	120	26.42	2.32	*	34.59	2.19	*	51.95	1.98	*
10	15	3.77	2.32	*	6.67	2.19	*	9.94	1.98	*
	30	9.69	2.32	*	13.33	2.19	*	21.13	1.98	*
	45	14.59	2.32	*	19.75	2.19	*	33.71	1.98	*
	60	19.12	2.32	*	24.78	2.19	*	40.25	1.98	*
	80	21.26	2.32	*	28.55	2.19	*	41.51	1.98	*
	100	22.39	2.32	*	27.17	2.19	*	41.51	1.98	*
	120	20.88	2.32	*	28.68	2.19	*	41.38	1.98	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	เปรียบ เทียบกับ ที่ระยะ เวลา(นาที)	สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีข้อม								
		0.01 g/ml			0.03 g/ml			0.05 g/ml		
		ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป	ค่าความ ต่าง	ค่า LSD	ข้อ สรุป
15	30	5.91	2.32	*	6.67	2.19	*	11.19	1.98	*
	45	10.82	2.32	*	13.08	2.19	*	23.77	1.98	*
	60	15.35	2.32	*	18.11	2.19	*	30.31	1.98	*
	80	17.48	2.32	*	21.89	2.19	*	31.57	1.98	*
	100	18.62	2.32	*	20.50	2.19	*	31.57	1.98	*
	120	17.11	2.32	*	22.01	2.19	*	31.45	1.98	*
30	45	4.91	2.32	*	6.42	2.19	*	12.58	1.98	*
	60	9.43	2.32	*	11.45	2.19	*	19.12	1.98	*
	80	11.57	2.32	*	15.22	2.19	*	20.38	1.98	*
	100	12.70	2.32	*	13.84	2.19	*	20.38	1.98	*
	120	11.19	2.32	*	15.35	2.19	*	20.25	1.98	*
45	60	4.53	2.32	*	5.03	2.19	*	6.54	1.98	*
	80	6.67	2.32	*	8.81	2.19	*	7.80	1.98	*
	100	7.80	2.32	*	7.42	2.19	*	7.80	1.98	*
	120	6.29	2.32	*	8.93	2.19	*	7.67	1.98	*
60	80	2.14	2.32	NS	3.77	2.19	*	1.26	1.98	NS
	100	3.27	2.32	*	2.39	2.19	*	1.26	1.98	NS
	120	1.76	2.32	NS	3.90	2.19	*	1.13	1.98	NS
80	100	1.13	2.32	NS	1.38	2.19	NS	0.00	1.98	NS
	120	0.38	2.32	NS	0.13	2.19	NS	0.13	1.98	NS
100	120	1.51	2.32	NS	1.51	2.19	NS	0.13	1.98	NS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.14 ความเข้มข้นของสารละลายย้อมหลังผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยการนำใบทดลองเป็นสารดูดซับ ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายย้อม 0.01,0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร
ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

ระยะเวลาในการดูดซับ(นาที)	ความเข้มข้นของสารละลายย้อม (mg/L)											
	Non-treated				NaOH-treated				H ₂ SO ₄ -treated			
	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
5	109.67 ^a ±1.15	109.55 ^a ±1.36	112.57 ^a ±1.21	110.30 ^a ±0.95	111.06 ^a ±0.75	112.06 ^a ±1.57	110.55 ^a ±0.79	110.93 ^a ±0.58	110.30 ^a ±1.13	110.55 ^a ±0.79	110.93 ^a ±0.58	110.30 ^a ±1.13
10	103.38 ^b ±0.95	100.49 ^b ±1.57	99.86 ^b ±1.53	96.97 ^b ±1.15	93.70 ^b ±0.22	90.55 ^b ±1.13	102.13 ^b ±0.58	100.36 ^b ±1.31	96.72 ^b ±1.36	102.13 ^b ±0.58	100.36 ^b ±1.31	96.72 ^b ±1.36
15	100.24 ^c ±0.58	93.19 ^c ±0.58	91.94 ^c ±0.79	86.28 ^c ±1.13	79.86 ^c ±0.58	75.21 ^c ±1.00	96.59 ^c ±0.58	94.45 ^c ±0.79	86.15 ^c ±1.33	96.59 ^c ±0.58	94.45 ^c ±0.79	86.15 ^c ±1.33
30	96.09 ^d ±1.13	86.78 ^d ±1.00	85.14 ^d ±1.57	78.98 ^d ±0.79	66.03 ^d ±0.95	59.36 ^d ±1.13	92.82 ^d ±0.38	87.79 ^d ±0.79	76.21 ^d ±1.51	92.82 ^d ±0.38	87.79 ^d ±0.79	76.21 ^d ±1.51
45	92.19 ^e ±0.75	81.25 ^e ±0.95	79.48 ^e ±1.36	62.63 ^e ±0.95	53.19 ^e ±3.02	40.87 ^e ±4.29	86.91 ^e ±1.36	81.12 ^e ±0.44	65.02 ^e ±1.78	86.91 ^e ±1.36	81.12 ^e ±0.44	65.02 ^e ±1.78
60	88.79 ^f ±0.79	74.70 ^f ±0.22	70.30 ^f ±0.38	51.94 ^f ±0.58	35.58 ^f ±0.58	23.26 ^f ±0.95	82.00 ^f ±0.38	74.70 ^f ±1.21	52.44 ^f ±0.44	82.00 ^f ±0.38	74.70 ^f ±1.21	52.44 ^f ±0.44
80	85.65 ^g ±0.22	69.67 ^g ±0.95	63.13 ^g ±2.78	45.14 ^f ±0.38	28.16 ^g ±1.43	15.46 ^g ±2.40	77.47 ^g ±0.79	69.67 ^g ±1.15	45.90 ^f ±0.38	77.47 ^g ±0.79	69.67 ^g ±1.15	45.90 ^f ±0.38
100	80.36 ^g ±0.58	68.16 ^g ±1.57	60.24 ^g ±1.53	44.26 ^f ±0.38	23.38 ^g ±2.26	12.69 ^g ±1.09	75.33 ^g ±0.87	65.90 ^g ±1.64	44.64 ^f ±0.38	75.33 ^g ±0.87	65.90 ^g ±1.64	44.64 ^f ±0.38
120	79.86 ^g ±0.58	67.41 ^g ±0.79	60.62 ^g ±1.57	44.26 ^f ±0.38	25.02 ^g ±2.43	10.93 ^g ±2.15	74.20 ^g ±0.58	67.28 ^g ±2.47	44.64 ^f ±0.22	74.20 ^g ±0.58	67.28 ^g ±2.47	44.64 ^f ±0.22

*สำหรับในคอลัมน์ที่เดียวกันตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์ Pseudo first order

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t)$$

ขั้นตอนการอินทิเกรตสมการที่ขอบเขต $t = 0, q_t = 0$ ถึง $t = t, q_t = q_t$

$$-\frac{1}{(q_e - q_t)} dq_t = K_1 dt$$

$$-\int_{q_e}^{q_e - q_t} \frac{1}{(q_e - q_t)} d(q_e - q_t) = K_1 dt$$

$$-[\ln(q_e - q_t) - \ln(q_e)] = K_1 t$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - K_1 t$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - \ln e^{K_1 t}$$

ปรับเป็นสมการ log

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \log e^{K_1 t}$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \log 10^{(\log e)K_1 t}$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \log(e)K_1 t$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - 0.4343K_1 t$$

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{K_1 t}{2.303}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแบบจำลองจลนพลศาสตร์ Pseudo first order

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2$$

ขั้นตอนการอินทิเกรตสมการที่ขอบเขต $t = 0, q_t = 0$ ถึง $t = t, q_t = q_t$

$$-\frac{1}{(q_e - q_t)^2} dq_t = K_2 dt$$

$$-\int_{q_e}^{q_e - q_t} \frac{1}{(q_e - q_t)^2} d(q_e - q_t) = K_2 dt$$

$$-\left[\frac{1}{q_e - q_t} - \frac{1}{q_e} \right] = K_2 t$$

$$-\left[\frac{q_e - q_t - q_e}{q_e(q_e - q_t)} \right] = -K_2 t$$

$$q_t = K_2 t (q_e^2 - q_e q_t)$$

$$q_t(1 + K_2 q_e t) = K_2 q_e^2 t$$

$$q_t = \frac{q_e^2 K_2 t}{1 + q_e K_2 t}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1 + q_e K_2 t}{q_e^2 K_2}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

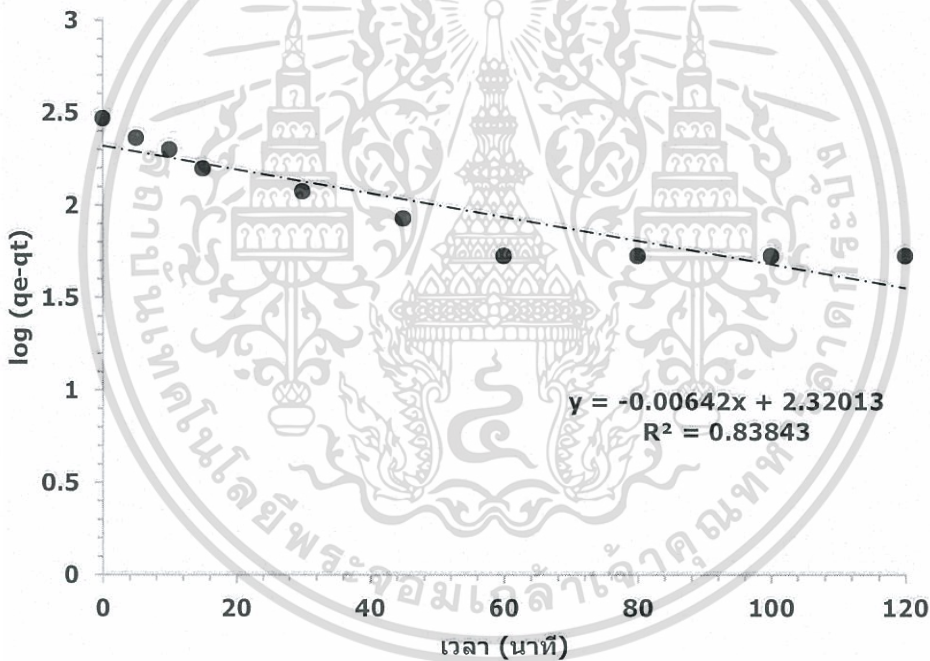
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.วิธีการคำนวณค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง (pseudo-first order) k_1 และค่าการดูดซับที่สมดุล (q_e) สมการค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\log (q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1 t}{2.303} \dots\dots\dots(ง.1)$$

- โดยที่ k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับหนึ่ง (นาที)
- q_e คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- q_e คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- t คือ เวลาในการดูดซับ (นาที)

เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับ t จะได้ความชันของกราฟเท่ากับ $-k_1/2.303$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log (q_e)$



รูปที่ ง.1 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct red 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับที่สกัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 g/ml จากสมการ Pseudo-first order

จากรูปที่ ง.1 จะเห็นได้ว่าความชันของกราฟเท่ากับ -0.0064 จุดตัดแกน y เท่ากับ 2.0787

$$\begin{aligned} K_1 &= -\text{Slope} \times 2.303 \\ &= -(-0.0064) \times 2.303 \\ &= 1.47 \times 10^{-2} \quad \text{min}^{-1} \end{aligned}$$

และ

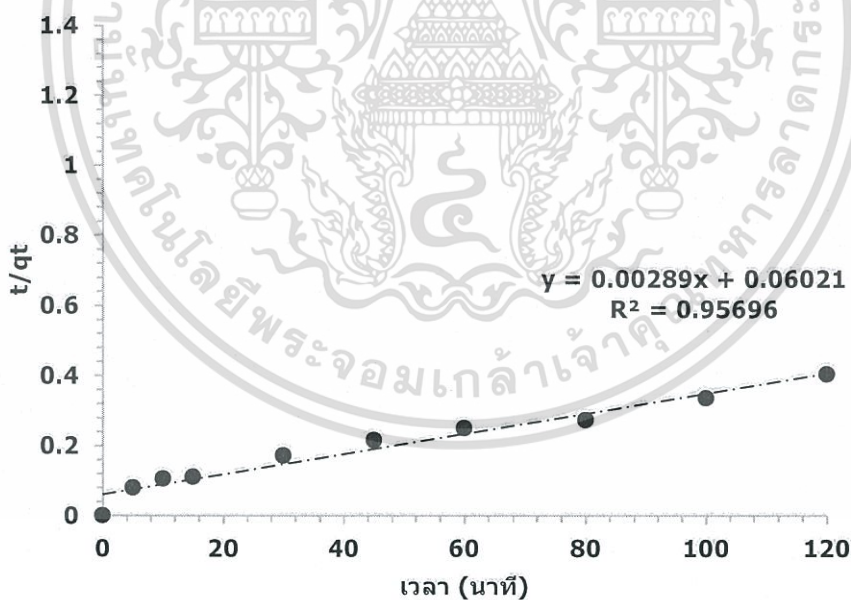
$$\begin{aligned}
 q_e &= 10^{\text{intercept}} \\
 &= 10^{2.32013} \\
 &= 208.99 \quad \text{mg/g}
 \end{aligned}$$

2.วิธีการคำนวณค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (pseudo-first order) k_2 และค่าการดูดซับที่สมดุล (q_e) สมการค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสอง ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \dots\dots\dots (ง.2)$$

- โดยที่ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (นาที)
- q_t คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- q_e คือ ค่าการดูดซับของตัวดูดซับ ณ สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- t คือ เวลาในการดูดซับ (นาที)

เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t จะได้ความชันของกราฟเท่ากับ $1/q_e$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/k_2 q_e^2$



รูปที่ ง.2 จลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม direct red 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับที่สกัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 g/ml จากสมการ Pseudo-second order

จากรูปที่ ง.2 จะเห็นได้ว่าความชันของกราฟเท่ากับ 0.00289 จุดตัดแกน y เท่ากับ 0.06021

$$\begin{aligned} q_e &= 1/\text{slope} \\ &= 1/0.00289 \\ &= 3.46 \times 10^2 \quad \text{min}^{-1} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} K_2 &= \frac{1}{(\text{intercept})(q_e)^2} \\ &= \frac{1}{(0.06021)(346)^2} \\ &= 1.39 \times 10^{-4} \quad \text{mg/g} \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

ข้อมูลการวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการ
ย้อม และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการวัดสี

ตาราง จ.1 ค่าการวัดสีผ้า(L*)ที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อ ปริมาตรสารละลายย้อม 0.01 0.03 และ0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	การ ทดลอง ซ้ำที่	ค่า L*								
		Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
		0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
0	1	50.51	50.67	50.35	50.47	50.66	50.28	50.59	50.44	50.52
	2	50.76	50.34	50.78	50.69	50.29	50.65	50.47	50.32	50.55
	3	50.49	50.29	50.57	50.30	50.43	50.49	50.59	50.64	50.62
5	1	50.40	50.18	50.34	50.69	50.24	50.54	50.62	50.47	50.56
	2	50.47	50.62	50.69	50.29	50.47	50.48	50.39	50.60	50.84
	3	50.61	50.52	50.36	50.48	50.66	50.51	50.70	50.27	50.47
10	1	50.48	50.76	50.58	50.51	50.61	50.63	50.41	50.30	50.59
	2	50.50	50.41	50.67	50.64	50.68	50.43	50.37	50.49	50.45
	3	50.42	50.48	50.38	50.52	50.56	50.37	50.54	50.27	50.30
15	1	50.17	50.44	50.55	50.25	50.56	50.38	50.71	50.42	50.48
	2	50.45	50.27	50.46	50.74	50.39	50.54	50.66	50.53	50.36
	3	50.77	50.92	50.55	50.56	50.76	50.63	50.47	50.52	50.57
30	1	50.58	50.29	50.68	50.69	50.55	50.49	50.66	50.64	50.45
	2	50.41	50.34	50.47	50.45	50.71	50.61	50.30	50.78	50.61
	3	50.61	50.57	50.55	50.33	50.63	50.33	50.49	50.37	50.28
45	1	50.30	50.57	50.66	50.46	50.58	50.75	50.38	50.92	50.31
	2	50.45	50.50	50.91	50.55	50.61	50.47	50.59	50.18	50.60
	3	50.75	50.49	50.28	50.46	50.52	50.52	50.57	50.48	50.26
60	1	50.45	50.49	50.32	50.22	50.43	50.19	50.47	50.80	50.77
	2	50.18	50.29	50.48	50.46	50.31	50.25	50.37	50.32	50.57
	3	50.56	50.68	50.56	50.65	50.51	51.01	50.34	50.22	50.36
80	1	50.35	50.62	50.46	50.44	50.70	50.64	50.32	50.56	50.58
	2	50.56	50.80	50.36	50.41	50.45	50.48	50.40	50.60	50.55
	3	50.56	50.11	50.26	50.75	50.53	50.29	50.45	50.43	50.62
100	1	50.58	50.66	50.51	50.52	50.86	50.29	50.67	50.46	50.23
	2	50.68	50.67	50.19	50.59	50.60	50.61	50.37	50.15	50.49
	3	50.30	50.26	50.44	50.53	50.48	50.25	50.63	50.56	50.43
120	1	50.18	50.49	50.20	50.84	50.44	50.48	50.29	50.55	50.70
	2	50.31	50.38	50.44	50.28	50.71	50.61	50.46	50.32	50.51
	3	50.79	50.46	50.45	50.62	50.55	50.29	50.36	50.38	50.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.2 ค่าการวัดสีผ้า(a*)ที่ผ่านการย้อมโดยใช้สตุคุดซ์บในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของสตุคุดซ์บต่อ ปริมาตรสารละลายย้อม 0.01 0.03 และ0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดุดซ์บ 0-120 นาที

เวลา ในการ ดุดซ์บ (นาที)	การ ทดลอง ซ้ำที่	ค่า a*								
		Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
		0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
0	1	38.11	39.01	37.50	38.68	38.42	37.84	38.26	38.65	37.91
	2	38.59	37.68	38.10	38.36	37.86	38.71	37.83	38.44	38.40
	3	37.39	38.07	38.27	37.91	38.23	38.65	38.37	38.62	38.83
5	1	38.35	38.17	38.41	38.11	38.72	38.62	38.24	38.35	38.01
	2	38.00	38.75	37.79	38.76	37.94	38.35	38.06	38.66	38.41
	3	37.96	38.29	38.44	38.74	38.32	37.81	38.16	37.99	38.16
10	1	37.95	38.09	37.60	38.40	38.30	38.66	37.84	38.33	38.46
	2	38.48	39.06	38.75	38.40	38.29	38.12	38.86	38.47	38.05
	3	38.41	38.46	38.05	38.45	38.49	38.29	38.52	38.16	38.12
15	1	38.50	37.56	38.72	37.99	38.40	38.45	38.36	38.12	38.05
	2	38.02	38.46	38.28	38.02	38.42	37.70	38.52	38.63	38.40
	3	38.60	38.41	37.66	38.13	38.34	38.29	38.12	38.29	38.80
30	1	38.40	38.46	37.75	38.31	38.22	38.18	38.45	38.13	38.25
	2	38.36	38.68	37.97	37.84	38.62	37.99	37.71	38.64	38.69
	3	38.31	38.00	38.72	38.02	38.36	37.92	38.56	38.21	38.62
45	1	38.05	38.12	38.34	38.21	37.72	38.51	38.30	37.64	37.60
	2	38.11	38.59	38.33	37.51	38.77	38.50	38.35	38.39	38.34
	3	38.14	38.94	38.18	38.42	38.88	37.80	38.27	38.43	38.69
60	1	38.46	38.24	38.38	38.54	38.22	38.25	37.89	38.28	38.60
	2	38.24	38.84	38.41	38.69	37.32	38.05	38.44	38.40	37.99
	3	38.36	38.11	37.93	38.04	38.77	38.40	37.90	38.52	38.52
80	1	38.39	37.39	37.87	38.31	38.75	38.50	38.55	38.12	38.22
	2	38.59	38.90	37.84	38.54	38.87	38.72	38.57	37.71	38.55
	3	38.15	38.52	38.94	37.99	37.57	37.94	38.02	38.15	38.35
100	1	38.22	38.38	37.94	38.12	37.95	37.69	38.30	38.97	38.97
	2	38.67	38.45	38.92	38.74	38.22	37.91	38.51	37.85	38.37
	3	38.43	38.84	38.61	38.16	37.68	38.89	38.44	38.12	38.21
120	1	38.15	38.19	38.37	37.66	38.68	38.01	38.36	38.45	38.45
	2	39.08	38.24	38.10	38.55	38.26	37.72	38.43	38.69	38.39
	3	38.12	39.15	38.12	38.04	38.40	38.53	38.21	38.38	38.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.3 ค่าการวัดสีผ้า(b*)ที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อ ปริมาตรสารละลายย้อม 0.01 0.03 และ0.05 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เวลา ในการ ดูดซับ (นาที)	การ ทดลอง ซ้ำที่	ค่า b*								
		Non-treated			NaOH-treated			H ₂ SO ₄ -treated		
		0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml	0.01 g/ml	0.03 g/ml	0.05 g/ml
0	1	59.67	59.80	59.61	59.84	59.87	59.68	59.56	59.83	59.87
	2	59.72	59.84	59.86	60.08	59.58	59.84	59.65	59.70	59.75
	3	59.75	59.77	59.62	59.70	60.04	59.81	59.50	59.54	60.16
5	1	59.76	59.63	59.93	60.07	59.72	60.27	59.65	59.95	59.80
	2	59.31	59.68	59.48	59.54	59.59	60.03	59.84	59.73	59.70
	3	59.77	59.91	59.55	59.59	59.52	59.36	59.72	59.91	59.77
10	1	59.33	59.65	59.75	59.77	59.76	59.59	59.74	59.55	60.00
	2	59.43	59.71	59.75	59.75	59.98	59.55	59.82	59.73	59.74
	3	59.95	59.81	59.66	60.22	60.01	60.19	59.52	60.00	59.83
15	1	59.43	59.91	59.65	59.53	59.73	59.87	59.81	59.72	59.80
	2	60.31	59.95	59.75	60.11	59.76	59.77	59.63	59.81	59.66
	3	59.87	59.60	59.66	59.83	59.68	59.59	59.73	59.84	59.60
30	1	59.91	59.50	59.81	60.05	59.33	59.74	59.78	59.59	59.58
	2	59.84	59.96	60.03	60.12	59.62	59.42	60.33	59.67	59.80
	3	59.69	59.94	59.65	59.29	59.94	59.64	59.54	59.59	59.84
45	1	59.49	59.64	59.96	59.99	59.66	59.92	59.52	59.58	59.82
	2	60.02	59.90	59.49	59.90	59.96	59.60	59.35	60.41	59.82
	3	59.94	59.69	59.87	59.29	60.14	59.75	59.81	59.74	59.82
60	1	59.81	59.75	59.70	59.78	59.70	59.76	59.89	59.47	59.77
	2	59.84	59.58	59.32	59.60	59.49	59.62	59.43	59.74	59.56
	3	59.76	59.61	59.81	59.89	60.02	59.66	59.43	59.75	59.81
80	1	59.66	59.66	59.64	59.77	59.92	59.82	59.78	59.27	59.91
	2	59.67	59.78	59.60	59.81	59.46	59.78	59.98	59.82	59.94
	3	59.73	59.32	59.74	59.89	59.60	59.78	59.61	59.63	59.48
100	1	59.83	59.82	59.69	59.91	59.73	60.22	59.99	60.32	59.59
	2	59.48	59.73	59.51	59.83	59.60	59.50	59.95	59.46	59.87
	3	60.01	59.67	59.59	59.32	59.70	59.91	59.70	59.27	59.61
120	1	59.98	59.77	59.47	59.69	59.77	60.01	59.76	59.80	59.87
	2	59.77	59.47	59.45	59.81	59.44	59.90	60.05	59.67	59.82
	3	59.61	59.71	60.38	59.63	59.85	59.49	59.77	59.76	59.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลการวัดค่าสี(L*) ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
treatment	89	1.339	0.015	0.459 ^{NS}
A	2	0.056	0.028	0.855 ^{NS}
B	9	0.144	0.016	0.489 ^{NS}
C	2	0.007	0.004	0.113 ^{NS}
AB	18	0.464	0.026	0.786 ^{NS}
AC	18	0.139	0.035	1.061 ^{NS}
BC	4	0.448	0.025	0.758 ^{NS}
ABC	36	0.081	0.002	0.069 ^{NS}
Error	180	5.90	0.03	
Total	269	7.24		

- * A คือชนิดของวัสดุดูดซับ
 B คือระยะเวลาในการดูดซับ
 C คือสัดส่วนของวัสดุดูดซับ

จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี factorial CRD พบว่า ชนิดของวัสดุดูดซับซึ่งนำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับตั้งแต่ 0-120 นาที รวมถึงสัดส่วนของวัสดุดูดซับที่ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ไม่มีผลทางสถิติต่อค่าสี(L*) ของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลการวัดค่าสี(a*) ผ่าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
treatment	89	6.124	0.069	0.483 ^{NS}
A	2	0.159	0.080	0.559 ^{NS}
B	9	0.313	0.035	0.244 ^{NS}
C	2	0.313	0.156	1.099 ^{NS}
AB	18	2.119	0.118	0.827 ^{NS}
AC	18	0.880	0.220	1.544 ^{NS}
BC	4	1.576	0.088	0.615 ^{NS}
ABC	36	0.764	0.021	0.149 ^{NS}
Error	180	25.64	0.14	
Total	269	31.76		

- * A คือชนิดของวัสดุดูดซับ
 B คือระยะเวลาในการดูดซับ
 C คือสัดส่วนของวัสดุดูดซับ

จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี factorial CRD พบว่า ชนิดของวัสดุดูดซับซึ่งนำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับตั้งแต่ 0-120 นาที รวมถึงสัดส่วนของวัสดุดูดซับที่ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ไม่มีผลทางสถิติต่อค่าสี(a*) ของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลการวัดค่าสี(b*) ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

SOV	df	SS	MS	F-Value
treatment	89	2.327	0.026	0.518 ^{NS}
A	2	0.079	0.039	0.783 ^{NS}
B	9	0.211	0.023	0.466 ^{NS}
C	2	0.024	0.012	0.235 ^{NS}
AB	18	0.725	0.040	0.799 ^{NS}
AC	18	0.191	0.048	0.945 ^{NS}
BC	4	0.797	0.044	0.878 ^{NS}
ABC	36	0.300	0.008	0.165 ^{NS}
Error	180	9.08	0.05	
Total	269	11.40		

- * A คือชนิดของวัสดุดูดซับ
B คือระยะเวลาในการดูดซับ
C คือสัดส่วนของวัสดุดูดซับ

จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี factorial CRD พบว่า ชนิดของวัสดุดูดซับซึ่งนำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับตั้งแต่ 0-120 นาที รวมถึงสัดส่วนของวัสดุดูดซับที่ 0.01 0.03 และ 0.05 g/ml ไม่มีผลทางสถิติต่อค่าสี(b*) ของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุลนางสาวสุพรรณษา มีถาวร

วัน เดือน ปีเกิด 16 ตุลาคม 2530

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 53 หมู่ 13 ตำบลบางปลา อำเภอบางเลน
จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73130

ประวัติการศึกษา จบการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ปีการศึกษา 2552

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2552 งานวิจัยการพัฒนาลักษณะปรากฏและคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบกุ้ง

พ.ศ.2553 ทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมการผลิต บริษัทคิวพี ไทยแลนด์ จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

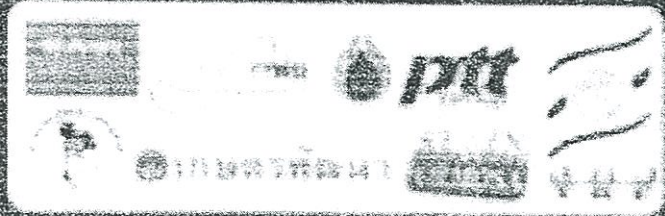
TSAE 2013

การประชุมวิชาการ
สมาคมวิศวกรระบบเกษตรแห่งประเทศไทย
ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6
The 14th TSAE National Conference and
the 6th TSAE International Conference
(TSAE 2013)

โรงแรมพลาซ่าแกรนด์ แอพลิเคสเวลท์
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
1-4 เมษายน 2556



สนับสนุนโดย
กรมส่งเสริมการเกษตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TPT-08

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการย้อมสีผ้าที่ใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับชีวภาพ
และผลกระทบของการดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้า

สุพรา มีถาวร และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: ประสันต์ ชุ่มใจหาญ E-mail: kcprasan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่กระจายทั่วภูมิภาคของประเทศ ทำให้มีการปนเปื้อนของสีสังเคราะห์และโลหะหนักถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในวงกว้าง การใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นตัวดูดซับเพื่อให้มวลสารประเภทโลหะหนักถ่ายเทกลับเข้าสู่ตัวดูดซับจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมการย้อมผ้าทอมือพื้นเมือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก้วและศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย การทดลองนี้ได้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct red 80 ที่ระดับความเข้มข้นสีต่อฟาง (dose) เท่ากับ 0.0690:1.39 และ 0.277 กรัม (สี) ต่อกรัม (ฟางน้ำหนักแห้ง) แล้วทำการวัดปริมาณแก้วในฟาง, ในสารละลาย และในผ้าหลังการดูดซับ จากการทดลองพบว่าที่ทุกระดับความเข้มข้นสีต่อฟางมีการถ่ายเทมวลจากสารละลายสีย้อมไปยังฟางอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและมีอัตราการถ่ายเทมวลลดลงจนเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที โดยที่มวลแก้วในผ้ามีระดับคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้ค่า $L^* a^* b^*$ ที่แสดงว่าสีของผ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: ฟางข้าว, การดูดซับ, การย้อมผ้า



TFE-31	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อคุณภาพข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ	565
TOT-02	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบบางขวาง	570
TOT-03	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบรูปตัว-W	577
TOT-04	อิทธิพลของมุมปะทะของครีบบางขวางต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลภายในเตาเผาฟลูอิดไคเซด	583
TOT-05	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องแผ่นขนานโดยใช้ครีบบหยัก	590
TPT-01	ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการขัดขาว	596
TPT-03	การทดสอบประสิทธิภาพของบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงรมลำไยสดจำลองในเขตภาคเหนือตอนบน	599
TPT-04	เครื่องต้นแบบเพื่อตรวจวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) โดยวิธีวัดค่าความหนืด	605
TPT-05	ผลของการจุ่มด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ต่อคุณภาพของลองกองพร้อมบริโภค	608
TPT-06	ผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อโครงสร้างเซลล์เนื้อเยื่อลำไยแช่แข็ง	615
TPT-07	การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวออกด้วยวิธีการขัดขาว	621
TPT-08	การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการย้อมสีผ้าที่ใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับสีชีวภาพ และผลกระทบของการดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้า	626
TPT-09	การปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มบริโอคได้จากโคโคซานโดยวิธีการทางกายภาพ	632
TPT-12	การวิเคราะห์การเกิดตัววงข้าว (มอด) ในข้าวด้วย NIRS.	637
TPT-13	การใช้คลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มและหัววัดไฟเบอร์ออปติกทำนายค่าความชื้นยาสมุนไพรชนิดผง (งันหนัสีลา)	644
TPT-14	การจำแนกความสุก - แก่ของทุเรียนพันธุ์ "หมอนทอง" แบบไม่ทำลาย ด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลี่ยน	650
TPT-17	การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคเอกซเรย์โพลาไรซ์	655
TPT-18	การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว	662
TPT-19	การจำแนกมิ่งคุณที่เกิดอาการเนื้อแฉ่ำโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณ จากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ	668
TPT-21	การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพในการตรวจสอบ ความแตกต่างทางสรีรวิทยาของชิง	674
TPT-22	ผลของความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 84-8	681
TSWE-01	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพอากาศต่อปริมาณน้ำท่าผืนดิน (กรณีศึกษากลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่)	691
TSWE-02	การเพิ่มประสิทธิภาพของการปลูกไม้ผลบนที่ลาดชันโดยใช้ระบบการให้น้ำแบบหยด ร่วมกับสารดูดความชื้นโพลีเมอร์	695
TSWE-04	การเปรียบเทียบการออกแบบระบบชลประทานชนิดฝอยสำหรับภูมิทัศน์ด้วยโปรแกรม EAGLE POINT 2009, LAND F/X 2009 และ RAINCAD V.5	703
TSWE-05	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RESSIM ช่วยในการบริหารงานอ่างเก็บน้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำพระเพลิง	709
TSWE-08	การทดสอบและประเมินผลการให้น้ำหยดสำหรับไร้อ้อยนอกเขตชลประทานในภาคกลาง	715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการย้อมสีผ้าที่ใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับสีชีวภาพ และผลกระทบของการดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้า

*สุพราสา มีถาวร¹ และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ¹

¹นักสัตววิทยาการสัตวแพทย์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: ประสันต์ ชุ่มใจหาญ E-mail:kcprasan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมสีผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่กระจายทั่วภูมิภาคของประเทศ ทำให้มีการปนเปื้อนของสีสังเคราะห์และโลหะหนักถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในวงกว้าง การใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นตัวดูดซับเพื่อให้มวลสารประเภทโลหะหนักถ่ายเทกลับเข้าสู่ตัวดูดซับจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมการย้อมสีผ้าทอมือพื้นเมือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่าและศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย การทดลองนี้ได้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct red 80 ที่ระดับความเข้มข้นสีต่อฟาง(dose) เท่ากับ 0.0690, 139 และ 0.277กรัม(สี)ต่อกรัม(ฟางน้ำหนักแห้ง) แล้วทำการวัดปริมาณเก่าในฟาง, ในสารละลาย และในผ้าหลังการดูดซับ จากการทดลองพบว่าที่ทุกระดับความเข้มข้นสีต่อฟางมีการถ่ายเทมวลสารละลายสีย้อมไปยังฟางอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและมีอัตราการถ่ายเทมวลลดลงจนเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที โดยที่มวลเก่าในผ้ามีระดับคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้ค่า Δa^* Δb^* ที่แสดงว่าสีของผ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: ฟางข้าว; การดูดซับ; การย้อมสี

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ตั้งอยู่กระจายทั่วภูมิภาคของประเทศส่งผลให้มีการปนเปื้อนของสีสังเคราะห์ที่ใช้ในการย้อมสีผ้าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม[1] ของเสียจากอุตสาหกรรมนี้จึงเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ หากไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้น้ำที่มีความเข้มข้นของสีสูงขัดขวางการส่องผ่านของแสง ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ[2] สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้อาจต่อการขจัดออกเนื่องจากมีองค์ประกอบของสาร อนุมูลอิสระหลายชนิดที่ทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน[3] นอกจากนี้ในสีสังเคราะห์ยังมีส่วนประกอบที่เป็นโลหะหนักที่ช่วยให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสีสดใส[4] โดยที่โลหะหนักดังกล่าวเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายและยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย[5]

โดยทั่วไปมีวิธีการหลากหลายที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ การใช้สารเคมีในการตกตะกอน การใช้สารคาร์บอนในการดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน และกระบวนการแยกสารโดยใช้เมมเบรน ซึ่งวิธีการ

เหล่านี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดี แต่มีต้นทุนสูงและยากลำบากในการดำเนินการติดตั้ง[6] อีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีคือการใช้ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง[7] แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสียนี้อาจมีค่าใช้จ่ายสูงในการล้างเพื่อกำจัดตัวดูดซับออกจากถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และไม่สามารถใช้ได้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีต่ำได้[8]

ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยที่ทำการทดสอบใช้สารดูดซับที่มีราคาถูกเพื่อขจัดสีออกจากน้ำเสียซึ่งมุ่งเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารดูดซับ[9-12] ฟางข้าวถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่น่าพิจารณาถึงทั้งในแง่ของการเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตข้าวซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย และเมืองประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และซิลิกา ซึ่งเหมาะสมต่อการดักจับไอออนของโลหะหนัก โดยที่ปริมาณโลหะหนักที่ดูดซับโดยฟางข้าวสามารถวัดค่าโดยการหาปริมาณเก่า

ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กการย้อมสีผ้าทำโดยแช่ผ้าที่ต้องการย้อมลงในสารละลายที่ได้จากการผสมสีย้อมและสารช่วยย้อมลงในน้ำตามอัตราส่วนของสูตรสีที่กำหนด

พร้อมกับการให้ความร้อนกับสารละลายระหว่างการย้อม หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนและปล่อยให้สารละลายเย็นลง ก่อนจะนำผ้าที่ผ่านการย้อมไปล้างทำความสะอาด ผ้าที่นำมา ย้อมมีความสามารถในการดูดซับสีสูงในช่วงที่มีการให้ความ ร้อนจนกระทั่งย้อมตัว สำหรับสีส่วนเกินที่ไม่ถูกดูดซับยังคงอยู่ ในส่วนของสารละลาย ดังนั้นการเติมฟางข้าวลงไป ในระหว่างที่เริ่มหยุดให้ความร้อนจึงมีความเป็นไปได้ที่ฟางข้าว จะดูดซับสีส่วนเกินออกจากสารละลาย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษา การดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการ เปลี่ยนแปลงปริมาณเก่า และ 2) ศึกษาผลกระทบของการใช้ ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

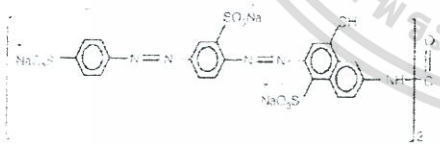
2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบไป ด้วย สี ฟางข้าว และผ้าฝ้าย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สีที่ใช้เป็นสีย้อมผ้าชนิดไดเรกต์ที่ direct red 80 โดยมี เกลือแกง (NaCl) เป็นสารช่วยย้อม และมีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 1

ผ้าฝ้ายที่ใช้ในการทดลองเป็นผ้าที่ผ่านการฟอกขาว และถูกตัดเป็นชิ้นขนาดชิ้นละ 2X2 ตารางนิ้ว (น้ำหนักชิ้นละ ประมาณ 1 กรัม)

สำหรับฟางข้าวที่ใช้ถูกตัดให้มีขนาดความยาว 2 เซนติเมตร และเลือกเฉพาะส่วนลำต้น (ไม่รวมข้อปล้อง) แล้ว ล้างทำความสะอาดจนมีค่า pH ของน้ำล้างเท่ากับ 7 หลังจากนั้นนำฟางข้าวมาอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาใน ถุงพลาสติกป้องกันความชื้น เพื่อรอการนำไปทดลอง



รูปที่ 1 : สูตรโครงสร้างสี direct red 80 [13]

2.2 วิธีการทดลอง

ทำการย้อมสีผ้าโดยเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นสี ต่อฟาง (dose) ในหน่วย กรัมของสี ต่อ กรัมของน้ำหนักฟาง ข้าวแห้ง จำนวน 3 ระดับคือ 0.069, 0.139 และ 0.277 และ ใส่สารช่วยย้อม (เกลือแกง, NaCl) หลังจากนั้นผ้าฝ้ายจำนวน 1 ชิ้น ใส่ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายสีย้อมปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้นสีที่กำหนด แล้วนำตัวอย่างไป

ให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำบีก เอร์ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ เติมหางข้าวลงในแต่ละบีก เอร์ตามจำนวน dose ที่กำหนด หลังจากนั้นทำการแยกผ้า ออกจากสารละลาย และทำการกรองสารละลายเพื่อแยกฟาง ข้าวออกจากสารละลายที่ระยะเวลาในการแช่ 10 ระดับ คือ 0 5 10 15 30 45 60 80 100 และ 120 นาที โดยการ ทดลองทั้งสิ้นมีจำนวน 3 ซ้ำ

2.3 การศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณา จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่า

นำตัวอย่างฟางข้าว ผ้า และสารละลายสีย้อมที่ ระยะเวลาในการแช่ฟางข้าวที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์หา ปริมาณเก่าโดยนำตัวอย่างมาเผาในถ้วยกระเบื้องด้วยเตาเผา เถ้ารุ่น JSMF-45T ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง [14] หลังจากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณเก่าในวัสดุต่างๆ ตามสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณเก่า} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุหลังเผา (g)}}{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนเผา (g)}}$$

2.4 การศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูด ซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวเป็นสารดูด ซับที่เวลาต่างๆกัน มาวัดสีด้วยเครื่อง Hunter lab รุ่น Miniscan XE plus ในหน่วย L* a* b* ตามระบบ CIELAB แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสีที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้ฟางข้าว เป็นสารดูดซับ

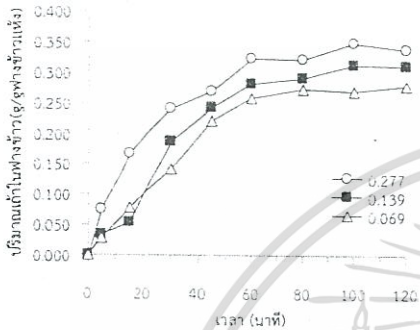
3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ผลการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) ผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่า และ 2) ผลการศึกษาผลกระทบ ของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดย พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเก่า

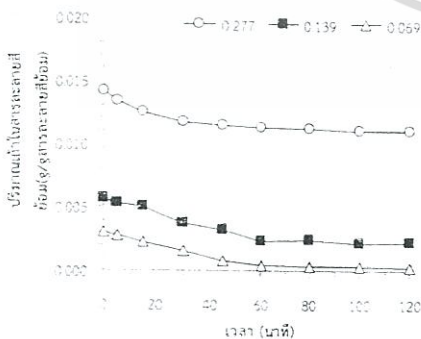
จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการ ดูดซับ สัดส่วนของปริมาณเก่าที่ถูกฟางข้าวดูดซับเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเก่าของ ฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที ซึ่ง สอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเก่าในฟางข้าว อย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการจับ

ไอออนของโลหะมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับไอออนของโลหะมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง [15] และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณ dose ของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเงินในฟางสูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสีที่มากขึ้นส่งผลให้เพิ่มแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดเนื่องจากปริมาณสีสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณของสียอมบนตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสีสามารถถูกดูดซับได้มากขึ้น [16]



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินในฟางข้าวที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

ในรูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินที่คงเหลือในสารละลายสียอมมีแนวโน้มลดลง จนมีค่าคงที่ที่เวลาหนึ่งๆ ของแต่ละระดับของ dose ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณเงินที่ลดลงเกิดจากฟางข้าวดูดซับสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสียอม เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของ dose ต่อปริมาณเงินที่คงเหลือในสารละลายสียอมพบว่ามีความสูงที่สุดที่ระดับ dose มาก และมีค่าลดลงเมื่อ dose ต่ำ ลักษณะของรูปแบบในการกำจัดสีออกจากสารละลายเป็นไปในลักษณะที่ความสามารถในการกำจัดสีออกเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า dose มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการลดสัดส่วนของสีต่อน้ำหนักฟางข้าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับโมเลกุลสีเพิ่มมากขึ้น [17]

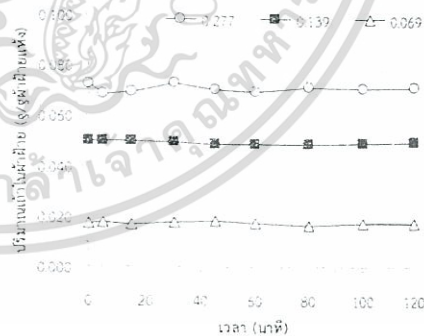


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินในสารละลายสียอมที่ระยะเวลาใน

การดูดซับใดๆ

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าฟางมีความสามารถในการดูดซับที่ไม่เท่ากัน (วัดจากปริมาณเงิน) ซึ่งแสดงถึงผลการทดลองไม่ได้หมายถึงจุดอิ่มตัวในการดูดซับของฟาง แต่บ่งบอกถึงความสมดุลของการถ่ายเทมวลสารในระบบ กล่าวคือ อัตราการถ่ายเทมวลในระบบเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ (ความเข้มข้นของเงินในสารละลายสี มีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นของเงินในฟาง)

พิจารณาปริมาณเงินในผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่ฟางข้าวเวลาต่างๆกันพบว่าเมื่อเพิ่มค่า dose ส่งผลให้ปริมาณเงินในผ้าฝ้ายเพิ่มมากขึ้นที่ทุกระยะเวลาในการแช่ และในแต่ละ dose เมื่อเวลาในการแช่ยาวนานขึ้นส่งผลให้ปริมาณเงินในผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเวลาในการแช่ยาวนานขึ้นไม่มีผลทำให้ปริมาณเงินในผ้าฝ้ายมีการเปลี่ยนแปลง (แสดงในรูปที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างที่มีการให้ความร้อนขณะย้อมสีผ้า เส้นใยของผ้าฝ้ายมีการขยายตัวทำให้มีการดูดซับสี และมวลสารประเภทโลหะได้มากด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังนั้นในระหว่างที่มีการลดอุณหภูมิและเติมฟางข้าวลงไปเพื่อทำการดูดซับสีส่วนเกินหรือโลหะที่ปนเปื้อนในสารละลาย จึงไม่ส่งผลทำให้สีและโลหะที่ติดอยู่กับผ้าฝ้ายถูกชะล้างออกไปเนื่องจากอนุภาคของสี และโลหะที่อยู่ยึดติดกับผ้าฝ้ายด้วยแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ ส่วนสีและโลหะหนักในสารละลายที่เป็นอนุภาคที่ลอยอยู่อิสระไม่มีแรงยึดเหนี่ยวใดๆ จับวัสดุอื่น จึงทำให้ง่ายต่อการถูกดูดซับโดยฟางข้าว [18]



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินในผ้าฝ้ายที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

3.2 ผลการศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

สีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยไม่มีการเติมฟางข้าว (หรือที่เวลาในการแช่ฟางข้าวเท่ากับ 0 นาที) มีค่าสีในหน่วย



L* a* b* ที่ระดับ dose เท่ากับ 0.277 0.139 และ 0.069 มีค่าเท่ากับ 37.58 50.25 27.00, 45.49 49.34 20.65 และ 41.37 49.99 25.65 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งได้ด้วยค่าแปล่าออกเป็น 3 เจดสี (เจดสีเข้ม เจดสีกลาง และเจดสีอ่อน) เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ฟางข้าว ส่งผลให้ค่าสีในทุก dose มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับค่าสีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยไม่มีการเติมฟาง ดังนั้นสรุปได้ว่าการเติมฟางข้าว

เพื่อเป็นสารดูดซับในการขจัดสีย้อมหรือสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมในขั้นตอนการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในเจดสีอ่อน เจดสีกลาง และเจดสีเข้ม

ตารางที่ 1 สีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยระดับความเข้มข้นสีแตกต่างกันและใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมใน Scale Cie Lao

เวลาในการแช่ฟางข้าว (นาท)	ระดับความเข้มข้นสี								
	0.277 สี(กรัม)/ฟาง(กรัม)			0.139 สี(กรัม)/ฟาง(กรัม)			0.069 สี(กรัม)/ฟาง(กรัม)		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	37.58 ^a	50.25 ^b	27.00 ^c	45.49 ^a	49.34 ^b	20.65 ^c	41.37 ^a	49.90 ^b	25.65 ^c
5	36.89 ^a	50.39 ^b	28.74 ^c	45.76 ^a	49.36 ^b	20.54 ^c	42.11 ^a	49.79 ^b	25.19 ^c
10	37.44 ^a	50.42 ^b	28.73 ^c	45.73 ^a	49.62 ^b	21.17 ^c	41.44 ^a	49.78 ^b	25.67 ^c
15	37.43 ^a	50.11 ^b	28.62 ^c	45.21 ^a	49.60 ^b	21.34 ^c	41.69 ^a	49.85 ^b	26.04 ^c
30	37.13 ^a	50.14 ^b	28.47 ^c	45.34 ^a	49.50 ^b	21.01 ^c	41.91 ^a	50.08 ^b	25.97 ^c
45	37.59 ^a	50.30 ^b	28.74 ^c	45.73 ^a	49.43 ^b	21.32 ^c	42.15 ^a	49.96 ^b	25.98 ^c
60	37.54 ^a	50.40 ^b	28.44 ^c	45.73 ^a	49.58 ^b	21.06 ^c	41.72 ^a	50.00 ^b	25.39 ^c
80	37.22 ^a	50.18 ^b	28.34 ^c	45.31 ^a	49.57 ^b	21.20 ^c	41.47 ^a	49.87 ^b	25.18 ^c
100	37.33 ^a	50.12 ^b	28.74 ^c	45.30 ^a	49.62 ^b	21.38 ^c	41.85 ^a	50.08 ^b	25.18 ^c
120	36.94 ^a	50.23 ^b	28.65 ^c	45.27 ^a	49.40 ^b	21.40 ^c	41.92 ^a	49.78 ^b	25.28 ^c

*ตัวอักษรยกที่เหมือนกันแสดงความไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

4. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก้วในสารละลายสีย้อม ผ้าฝ้าย และฟางข้าวพบว่าสัดส่วนของปริมาณแก้วที่ฟางข้าวดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับสัดส่วนของปริมาณแก้วในสารละลายตลอดระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ ซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงถึงความเข้มข้นไปได้ที่จะมีการถ่ายเทมวลสารประเภทโลหะจากสารละลายไปยังฟางข้าว สำหรับสัดส่วนของปริมาณแก้วที่ผ้าฝ้ายดูดซับมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการแช่ฟางข้าว

ค่าสีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะมีการใช้ฟางข้าวในการดูดซับสี และโลหะหนักระหว่างกระบวนการลดอุณหภูมิ

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเช่นฟางในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ จารุพัชร อาชวะสมิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้ทางการย้อมสีผ้า

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกระบวนการแปรรูปัญพีชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยเหลืองานวิจัยสนับสนุน และให้ออกาสจนสามารถทำโครงการนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วินัย สมบูรณ์. 2546. การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์โดยผงผักตบชวา. ปริญญาตรีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์และอุรา ทิพราช. 2549. ประสิทธิภาพของเกลือแอมโมเนียมและกลูตาไมด์ในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเสื้อกักบ้านแพง จ.มหาสารคาม. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม



- [3] Fu, Y., Viraraghavan, T., 2001. Fungal decolorization of dye wastewater: a review. *Bioresour. Technol.* 79, 251–262.
- [4] ลินลี โกศัยยานนท์. คู่มือวิศวกรรมสิ่งทอ. โครงการพัฒนาตำราความรู้พื้นฐานในวิทยาศาสตร์สิ่งทอ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [5] Mercedes V., Sandra S., María V., 2012. Hydroxyapatite foams for the immobilization of heavy metals: From waters to the human body. *Inorganica Chimica Acta*, Volume 393, 1 December 2012, Pages 24-35
- [6] Tarley C. R. T. and Arruda M. A. Z. 2004. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere* (54): 987–995
- [7] Low, K.S., Lee, C.K., Tan, B.F., 2000. Quaternized wood as sorbent for reactive dyes. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 87, 233–245:
- [8] Namasivayam, C., Prabha, D., Kumutha, M., 1998. Removal of direct red and acid brilliant blue by adsorption onto banana pith. *Bioresour. Technol.* 64, 77–79.
- [9] Tan C., Li G., Lu O.X., Chen Z., 2010. Biosorption of Basic Orange using dried *A. fillicutoides*. *Ecological Engineering* 36, 1333–1340
- [10] Bulut, Y., Aydn, H., 2006. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination* 194, 259–267.
- [11] Laasri, L., Elamrani, M.K., Cherkaoui, O., 2007. Removal of two cationic dyes from a textile effluent by filtration-adsorption on wood sawdust. *Environ. Sci. Pollut. Resour.* 14, 237–240.
- [12] Aksu, Z., Tezer, S., 2005. Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochem.* 40, 1347–1361.
- [13] Saleem, M., Tahira, P., Riaz, Q., 2007. Sorption of acid violet 17 and direct red 80 dyes on cotton fiber from aqueous solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* 292, 246–250
- [14] A.O.A.C. 2000. Official method analysis association of official analytical chemid. EUA
- [15] Ola, A., Ahmed, E. N., Amany E. S., Azza, K., 2005. Use of rice husk for adsorption of direct dyes form aqueous solution a case study of direct f.scarlet. *Egyptian journal of aquatic research.* VOL. 31, 1110-0354