



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของฟางข้าวในระหว่างการย้อมผ้า

A study on the capacity of rice straw to absorb color form dyeing process

ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ
นางสาวสุพรรณษา มีถาวร

RCH
๗๓๑๓
๒๕๕๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 140096
วันเดือนปี. 11 S.A. 2558

b. 12๗34238
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสรุปผลงานวิจัย

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของฟางข้าวในระหว่างการย้อมผ้า.....

(ภาษาอังกฤษ) A study on the capacity of rice straw to absorb color form dyeing process.....

รายนามคณะผู้วิจัย

1. ดร.ประสันต์ ชุ่มใจหาญ..... (หัวหน้าโครงการ)

.....สังกัด:หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

.....โทร. 5009 Email : kcprasan@kmitl.ac.th

2. นางสาวสุพรรณษา มีถาวร..... (ผู้ร่วมโครงการ)

.....สังกัด:หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

.....โทร. 5009 Email : supunsa_meethawon@hotmail.com

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2556 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระยะเวลา 1 ปี เริ่มต้นเดือน 1 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง 30 เดือน กันยายน พ.ศ. 2555

สรุปผลงานวิจัยที่แบบย่อ

การปนเปื้อนของสีย้อมผ้าที่เกิดจากอุตสาหกรรมการย้อมสีในระดับครัวเรือนลงสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดใหญ่มักใช้กระบวนการทางเคมีกายภาพ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงและไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาความสามารถในการใช้วัสดุทางธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยเฉพาะฟางข้าวเป็นสารดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารดูดซับรวมทั้งมีปริมาณมากและมีราคาถูก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวดูดซับสีย้อมส่วนเกินออกจากสารละลายและผิวของเส้นใยผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า

จากการทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้สี direct orange 39 ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ สัดส่วนของน้ำหนักฟางข้าวต่อปริมาณสารละลายสีย้อม 1,3,5 กรัม/100 มิลลิลิตร และระยะเวลาในการดูดซับที่ 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80, 100 และ 120 นาที พบว่าเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นปริมาณแก้วในฟางข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีแนวโน้มที่จะคงที่ที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่งโดยการเพิ่มสัดส่วนของฟางข้าวต่อปริมาตรของสารละลายทำให้ฟางข้าวมีปริมาณแก้ว/กรัมของน้ำหนักฟางข้าวแห้งลดลง การเพิ่มขึ้นของปริมาณแก้วเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการลดลงของความเข้มข้นสีในสารละลายสีย้อมโดยสารละลายสีย้อมมีความเข้มข้นสีลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ การวัดคุณภาพสี และความคงทนสีต่อน้ำของผ้าที่ผ่านการย้อม พบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที) และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันในทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติ แต่ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ
ใดๆมีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้า และการตกสีของผ้าลงสู่ฝ้าน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้ฟางข้าวเป็น
วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ.....สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการย้อมสีผ้าในระดับอุตสาหกรรม
ครัวเรือนเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นสีในเบื้องต้นก่อนการถ่ายทอดสู่สิ่งแวดล้อมโดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ลด
ระยะเวลาและขั้นตอนในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้ารวมถึง ช่วยลด
การตกสีของผ้าได้.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมสีผ้าเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ตั้งอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย การปนเปื้อนของน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าลงสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองนี้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct orange 39 โดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วย NaOH และ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วย H₂SO₄ เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อ ปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01, 0.03 และ 0.05 g/ml และที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ปริมาณเก่าที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับและประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อม ออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะเวลา 80 นาที ที่ทุกสัดส่วนของวัสดุดูดซับ ซึ่งที่สัดส่วน วัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสสามารถดูดซับเก่าไว้ในวัสดุดูดซับได้สูงที่สุดถึง 517.50 mg และมีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย 88.67% รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการ ตัดแปลงสภาพด้วยกรด และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ โดยมีปริมาณเก่าที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับ 172.67 mg และ 91.66 mg ตามลำดับมีประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย 59.53% และ 46.49% ตามลำดับ การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าพบว่าในด้านคุณภาพสีผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีค่าสีไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ เมื่อพิจารณาจาก ลักษณะทางกายภาพพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมและจากการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำพบว่าผ้าย้อม โดยกระบวนการปกติมีการตกสีมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

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 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

คณะผู้ทำงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสำหรับทุนสนับสนุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2556 ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกระบวนการแปรรูปธัญพืชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ จารุพัชร อาชวะสมิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้แนวคิด คำแนะนำและให้ความรู้ทางด้านการย้อมสีผ้าตลอดการดำเนินงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| หัวข้อ | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ | I |
| ABSTRACT | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูป | V |
| สารบัญตาราง | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอ | 3 |
| 2.2 สีย้อม | 4 |
| 2.3 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้าและวิธีการในการบำบัดน้ำเสีย | 9 |
| 2.4 การขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ | 12 |
| 2.5 ความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ | 17 |
| 2.6 การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับสีและโลหะหนักใน สารละลาย | 19 |
| 2.7 การดัดแปลงสภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ | 21 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล | |
| 3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ | 24 |
| 3.2 การทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม | 26 |
| 3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง | 27 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ | |
| 4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ | 36 |
| 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับ ชีวภาพ | 28 |
| 4.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม | 43 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 51 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 52 |
| เอกสารอ้างอิง | 53 |

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กซ์ | 8 |
| รูปที่ 2.2 การเคลื่อนตัวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ในกระบวนการดูดซับ | 14 |
| รูปที่ 2.3 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต | 16 |
| รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า | 18 |
| รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายที่กลับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า กลับ(รูป A) กลับที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH (รูป B) | 22 |
| รูปที่ 3.1 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก (ซ้าย) และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(ขวา) | 25 |
| รูปที่ 3.2 สี direct orange 39(ซ้าย) และสูตรโครงสร้างทางเคมี (ขวา) | 26 |
| รูปที่ 3.3 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ | 27 |
| รูปที่ 3.4 กล้องดิจิตอลไมโครสโคป(Digital Microscope) รุ่น USB S02 | 28 |
| รูปที่ 3.5 เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope SME) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV | 28 |
| รูปที่ 3.6 เตาเผาถ้ำอุณหภูมิสูง (Muffle furnace)ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T | 29 |
| รูปที่ 3.7 ฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาถ้ำ | 30 |
| รูปที่ 3.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(UV-vis spectrophotometer) รุ่น spectronc 601 | 30 |
| รูปที่ 3.9 เครื่องสลัดน้ำออกจากผ้า(Auto spinner) | 32 |
| รูปที่ 3.10 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น Miniscan XE plus | 33 |
| รูปที่ 3.11 แสดงค่า L* a*และ b* Color | 33 |
| รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายวัสดุดูดซับชีวภาพ(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด | 37 |
| รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด | 37 |
| รูปที่ 4.3ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด | 37 |
| รูปที่ 4.4 ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ | 38 |
| รูปที่ 4.5 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด | 40 |

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 4.6 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.03 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด | 40 |
| รูปที่ 4.7 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด | 40 |
| รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อมออกจาก สารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที | 41 |
| รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยด่างในการขจัดสีย้อมออกจาก สารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที | 41 |
| รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสีย้อมออกจาก สารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที | 42 |
| รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่าง กระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/mlที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที | 43 |
| รูปที่ 4.12 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ (ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที) ที่กำลังขยาย 500 เท่า (ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา) | 45 |
| รูปที่ 4.13 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา) | 46 |
| รูปที่ 4.14 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา) | 46 |
| รูปที่ 4.15 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา) | 46 |

| ตารางที่ | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ | 19 |
| ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและ ฟางข้าวบaler, ฟางข้าวอัด, ฟางข้าว สาลี | 19 |
| ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการวิจัยการนำมาใช้ในการดูดซับ สีย้อมออกจากน้ำเสีย | 21 |
| ตารางที่ 4.1 ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที | 39 |
| ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลา ในการดูดซับ 80 นาที | 42 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าสีในระบบ $L^*a^*b^*$ ของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยความเข้มข้นต่างๆ และผ้าที่ใช้ตัวดูดซับที่ผ่านการตัดแปลงด้วยวิธีการต่างๆกัน | 44 |
| ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม | 48 |



1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมย้อมสีผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันในครัวเรือน ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีปริมาณน้ำเสียที่เล็กลงเล็กน้อยแต่เนื่องจากตั้งอยู่กระจายทั่วประเทศจึงทำให้การปนเปื้อนของสีย้อมมีวงกว้าง[1] สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้ยากต่อการกำจัดออกเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารอโรมาติกหลายชนิดซึ่งทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน[2] นอกจากนี้สีย้อมผ้ายังมีส่วนผสมของโลหะซึ่งก่อให้เกิดอันตรายเมื่อมีการถ่ายทอดสู่สิ่งแวดล้อมอาจมีการสะสมทั้งในพืชและสัตว์ซึ่งอันส่งผลต่อระบบนิเวศได้[3] โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดใหญ่มักใช้กระบวนการทางเคมีกายภาพได้แก่ flocculation, electro-flotation, precipitation, electro-kinetic coagulation, ion exchange, membrane filtration, electrochemical destruction, irradiation และ ozonation ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงและไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก[4] มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาความสามารถในการใช้วัสดุทางธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมและโลหะบางชนิดออกจากสารละลายสีย้อมหรือจากน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม[5] เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นสารดูดซับรวมทั้งมีปริมาณมากและมีราคาถูก สำหรับในประเทศไทยฟางข้าวนับเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณสูงมาก[6] จึงน่าจะเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าแต่ข้อจำกัดในการนำฟางข้าวมาใช้เป็นสารดูดซับสีย้อมในน้ำเสียคือ ฟางข้าวมีลิกนินและซิวลิกันเป็นองค์ประกอบซึ่งที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างเซลลูโลสทำให้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนถูกอุดตันประสิทธิภาพในการดูดซับสีจึงลดลง

ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กการย้อมสีผ้าทำได้โดยการผสมสีย้อมและสารช่วยย้อมลงในน้ำตามอัตราส่วนของสูตรสีพร้อมทั้งให้ความร้อนจนสารละลายมีอุณหภูมิใกล้น้ำเดือด แขนงที่ต้องการย้อมลงในสารละลายนาน 60 นาที หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนและปล่อยให้สารละลายเย็นลง ก่อนจะนำผ้าที่ผ่านการย้อมไปล้างทำความสะอาด ผ้าที่นำมาย้อมจะมีความสามารถในการดูดซับสีสูงสุดในช่วงที่มีการให้ความร้อนสีส่วนเกินที่ไม่ถูกดูดซับเข้าไปภายในเส้นใยจะอยู่ในส่วนของสารละลายและบางส่วนเกาะติดบริเวณผิวของเส้นใยผ้าซึ่งสีส่วนนี้จะหลุดออกจากเส้นใยได้ง่ายเมื่อสัมผัสน้ำหรือผ่านการซัก (สีตก) การเติมฟางข้าวในขณะที่เริ่มมีการลดอุณหภูมิลงโครงสร้างเซลลูโลสของฟางข้าวมีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และมีแนวโน้มที่จะดูดซับสีที่เหลือในสารละลายและสีส่วนเกินที่ติดบริเวณผิวเส้นใยผ้าได้ดี ซึ่งนอกจากจะเป็นการขจัดสีย้อมหรือสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมแล้ว การบำบัดน้ำเสียด้วย

วิธีการนี้ยังเป็นการลดระยะเวลาและขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียรวมถึงยังอาจส่งผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมได้แก่ คุณภาพสี และการตกสีของผ้าเป็นต้นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวดูดซับสีย้อมส่วนเกินและสารประเภทโลหะออกจากสารละลายและผิวของเส้นใยผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า โดยศึกษาถึงการดัดแปลงสภาพฟางข้าวโดยใช้กรด หรือเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของฟางข้าวและศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมอันได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสีและการตกสี เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวโดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพและฟางข้าวหลังผ่านการนำมาดัดแปลงสภาพด้วยเบสและกรด
2. เพื่อศึกษาการนำวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้าย
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมได้แก่ลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสี และความคงทนของสีต่อน้ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การทดลองศึกษาจากกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้ายแท้ที่ผ่านการฟอกขาว
2. สีที่ใช้ในการทดสอบเป็นสีสังเคราะห์ชนิดไตรเร็กซ์
3. ฟางข้าวที่ใช้เป็นตัวดูดซับในการทดลองเป็นส่วนของลำต้นข้าว

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดคุณค่า
2. ลดการปนเปื้อนของสีย้อมและโลหะที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม
3. เป็นแนวทางใหม่ในการบำบัดน้ำเสียในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายลดขั้นตอนและระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก
4. สามารถลดการตกสีในผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพในการการย้อม

บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการย้อมสีผ้าโดยใช้ฟางข้าวและฟางข้าวตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการทำวิจัย ได้แก่ความรู้เกี่ยวกับสีย้อม ขั้นตอนการผลิตสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าและวิธีการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติในการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย หลักการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ ตัวอย่างงานวิจัยที่นำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ในขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสีย การพิจารณาความเหมาะสมของฟางข้าวในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ การตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับเพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ดูดซับมากยิ่งขึ้น และตัวอย่างงานวิจัยในด้านการตัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับ โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของการรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีโครงสร้างใหญ่ และเป็นกระบวนการที่ในแต่ละขั้นตอนมีผู้ผลิตจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตขนาดกลางและขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค โดยเริ่มจากการผลิตเส้นใยจากธรรมชาติ คือการปั่นด้ายและเส้นใยสังเคราะห์กระบวนการต่อมาคือการทอผ้า ถักผ้า พอกย้อมพิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ จากขั้นตอนดังกล่าวทำให้อุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยมีโรงงานผลิตเส้นใย เส้นด้าย ทอผ้า ถักผ้า และเครื่องนุ่งห่มทั้งหมด 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 และขั้นตอนสุดท้ายการตัดเย็บ ตามลำดับ กระบวนการผลิตผ้าทอมือในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนมีหลากหลายชนิดได้แก่ กระบวนการผลิตผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้า กำมะหยี่ และพรม เป็นต้น โดยวิธีการผลิตผ้าแต่ละชนิดจะมีกรรมวิธีในการทอแตกต่างกันไป และต้องอาศัยความชำนาญในการทอผ้าเป็นพิเศษเพื่อให้ได้ผ้าทอที่มีความสวยงาม กระบวนการผลิตผ้าฝ้ายในชุมชนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1.1 การปั่นเส้นใย - ชาวบ้านจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า “การขึ้นหูก” การขึ้นหูกจะมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่ การขึ้นหูกเส้นยืนและการขึ้นหูกเส้นพุ่ง เพื่อให้เส้นใยนั้นจับตัวกันเป็นระเบียบคล้ายกับการม้วนเก็บเส้นเชือก เพื่อให้สะดวกในการนำไปย้อมในขั้นตอนต่อไป

2.1.2 การย้อมสีผ้า - วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่จะต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งาน ด้วยวิธีการย้อม (Dying) จะให้สีพื้น ผ้าผืน หรือเส้นด้ายที่มีลักษณะแตกต่างกันไป หลักการย้อมสี คือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลายเป็นสารละลาย (Dispersion) ไปทำทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อม เช่นเส้นใย ผ้า ฝ้าย ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมไม่เพียงแต่จะเกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่จะสามารถซึมให้เกิดสีตลอด (Unifrom) บนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่จะย้อม[9] ในการย้อมสีผ้าสีที่ใช้จะเป็นสีเคมีสังเคราะห์และสีย้อมจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งชาวบ้านนิยมใช้สีสังเคราะห์มากกว่า ในขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยฝ้ายด้วยสีย้อมเคมีจะเริ่มจากการต้มผ้าในภาชนะร่อนกระทั่งน้ำเดือดแล้วเติมสีย้อมลงไป เมื่อสีละลายดีแล้วนำเส้นใยไปใส่ลงไปในถังเส้นใยไปมาเพื่อให้สามารถย้อมสีเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอและป้องกันไม่ให้เกิดรอยต่างบนเส้นใย ในระหว่างนั้นเติมสารช่วยย้อมได้แก่ 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 อีกวิธีหนึ่งคือการย้อมสีที่มีสีต่างๆ ลงบนผ้า ซึ่งมีข้อเสียคือไม่ทนต่อการซักล้าง และการสวมใส่ จนกระทั่งมนุษย์สามารถค้นพบวิธีการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติโดยการนำผลไม้ ใบไม้ เปลือกไม้ ไปทำให้ละเอียดแล้วนำมาต้มรวมกับผ้า ทำให้เส้นใยผ้าเปลี่ยนสี และทนต่อการซักล้างมากขึ้น แม้มนุษย์จะรู้จักวิธีย้อมสีผ้าจากธรรมชาติตั้งแต่หลายพันปีก่อน แต่เพิ่งรู้จักการใช้สีย้อมผ้าสังเคราะห์เมื่อปี ค.ศ. 1856 โดยนายวิลเลียม เพอร์กิน (William Perkin) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษพบวิธีสังเคราะห์สีม่วงโดยบังเอิญ ส่งผลให้ในเวลาต่อมา นักวิทยาศาสตร์สามารถค้นพบวิธีสังเคราะห์สีใหม่ๆ นับร้อยสี งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาในส่วนของสีสังเคราะห์เนื่องจากเป็นสีที่สะดวกต่อการนำไปใช้ มีความคงทนต่อการซัก และนิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน [10]

2.2.1 สีย้อมผ้าสังเคราะห์ - สีย้อม (dyestuffs) หมายถึง สารให้สีที่สามารถจับติดวัสดุด้วยตนเองหรือด้วยการชักนำโดยปฏิกิริยาในกระบวนการย้อมหรือกระบวนการพิมพ์[11] สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้มนุษย์มองเห็นได้ เกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophores) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7กลุ่ม คือกลุ่มไนโตรโซ(nitroso group) กลุ่มไนโตร (nitro group) กลุ่มเอโซ (azo group) กลุ่มเอธิลีน(ethylene group) กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group) กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbonyl-nitrogen group) กลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) กลุ่มอะตอมต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่

สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก โดยการดูดกลืนแถบสีขาวยาวบางแถบแสงและปล่อยออกมาบางแถบแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีย่อยมีโทนสีแตกต่างกันไป[12]นอกจากสีย่อยทั่วไปจะมีกลุ่มอะตอมโครมาฟอร์มแล้วยังมีกลุ่มอะตอมอีกชนิดหนึ่งคือ ออกโซโครม (oxochromes) ได้แก่ CH, -NH₂, -NR₂, -SO₃ และ -COOH เป็นต้น เพื่อให้สีย่อยสามารถทำปฏิกิริยายึดเกาะกับเส้นใยได้ [13]

สีย่อยสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมผ่านการสกัดแล้วจะได้สารไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เบนซีนและไซลีน ซึ่งเป็นสารคาร์บอนไม่อิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไนเตรชันแอมมิเนชัน เพื่อที่จะเปลี่ยนสภาพให้เป็นสารตัวกลาง และจากสารตัวกลางที่เตรียมได้นี้ จะเปลี่ยนเป็นสีย่อยด้วยเทคนิคต่างๆ โดยประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของสีย่อย คือการให้สีแก่วัสดุสิ่งทอ [13] สีย่อยเป็นสารที่ละลายน้ำได้ หรือสามารถทำให้ละลายน้ำได้ ดูดติดเส้นใยได้ สีย่อยที่ผลิตขึ้นมาหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใย และกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป การนำสีย่อยมาใช้ให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของสีกับเส้นใย ซึ่งต้องมีมากกว่ากรรมวิธีของสีกับน้ำ โดยจะต้องทำให้เกิดสถานะที่โมเลกุลของสีย่อยจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้เกิดการดูดติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดติดกันแน่น [14] อิทธิพลที่ทำให้เกิดการดูดติดกับเส้นใยได้คือพันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงแออนิก และพันธะโคเลนต์

2.2.1.1 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) - พันธะไฮโดรเจนเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิล มายึดติดกับอะตอมที่มีค่า electronegativity สูง เช่นอะตอมออกซิเจนและไนโตรเจน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของพันธะไฮโดรเจนคือการยึดติดของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ ซึ่งทำให้น้ำมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงกว่าที่คาดไว้ เส้นใยและสีบางชนิดมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมากเช่น เส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยโปรตีนจึงทำให้ดูดติดสีได้มาก ส่วนเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น เส้นใยอะซิเตดซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลลดจำนวนไปมากกว่าครึ่งทำให้การดูดติดสีได้น้อยลง[14]

2.2.1.2 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's Forces) - แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ อาจเรียกว่าแรงลอนดอน(London forces) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นแรงดึงดูดอ่อนๆ ที่ทำให้โมเลกุลของสีและเส้นใยเข้ามายึดติดกันตัวเอง เมื่อโมเลกุลของสีและเส้นใยเข้ามาอยู่ในระยะที่ใกล้กันมาก กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่สัมผัส และขนาดของโมเลกุล ดังนั้นถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่ กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้มากด้วยแต่แรงนี้เกิดขึ้นเพียงระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น[14]

2.2.1.3 แรงแออนิก (Ionic Forces) - แรงแออนิกเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างสีย่อยกับเส้นใย โดยความแตกต่างของประจุทางไฟฟ้าของเส้นใยและสีย่อย เส้นใยบางชนิดเช่น เส้นใยเซลลูโลสเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุเป็นลบ และสีย่อยเมื่อละลายน้ำจะเป็นประจุลบ การดูดซับจึงไม่เกิดขึ้น จำเป็นต้องลดหรือเปลี่ยนประจุบนเส้นใยก่อนที่สีย่อยจะเข้ามาใกล้พอที่แรงดึงดูดจะทำหน้าที่ได้ การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในน้ำย้อม จะช่วยลดประจุที่ผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลส และการเติมกรดก็จะช่วยลดประจุของเส้นใยโปรตีนและไนลอนได้[14]

ถ้าใช้แรงทางไฟฟ้าสถิตเพียงชนิดเดียวในการย้อมไนลอนหรือขนสัตว์โดยใช้ acid dyes และ acrylic ย้อมให้สม่ำเสมอ (ระบบ cation dye) คาดว่าความสัมพันธ์อาจเกิดจากปริมาณสีย่อยที่ถูกดูดซับที่สมดุลกับจำนวน "site" ในเส้นใย เช่นความสัมพันธ์ของ acid dyes ที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆบนขนสัตว์ และไนลอน หรือ cationic

dyes บน acrylic อย่างไรก็ตามสีย้อมจะถูกดูดซับได้ในปริมาณที่มากกว่าปริมาณสีย้อมที่ติดที่เส้นใยได้จริงๆ เรียกว่า Overdyeing อาจปรับแนวมาใช้พันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ก็ได้ แรงดึงดูดของเส้นใยชนิดนี้ เริ่มตั้งแต่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ในสีย้อมมีแนวโน้มที่จะออกจากสารละลายน้ำรวมตัวกับกลุ่มที่คล้ายกันในโมเลกุล เส้นใย

2.2.1.4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) - ย้อมที่ถูกทำให้ติดกับเส้นใยโดยพันธะโควาเลนต์ จะแข็งแรงกว่าแรงอื่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และแตกออกยาก พันธะโควาเลนต์ระหว่างสีย้อมและเส้นใยเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็น nucleophilic addition การย้อมพวกเซลลูโลสทั่วไปจะมีสัมพรรคภาพ (affinity) ต่ำเช่น สีย้อมที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ และเป็นพวกไม่มีขั้ว (non-polarization) สำหรับสีย้อมที่ใช้กับขนสัตว์ระบบโครโมเจน(chromogen) จะครอบครองบาง affinity ต่อเส้นใยเพื่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตสำหรับสีย้อมและเส้นใยและแรงอื่นๆก็สามารถเกิดขึ้นได้[14]

โดยทั่วไปความจางลงของสีเมื่อเปียกน้ำจะเกิดจากพันธะโควาเลนต์ระหว่างเส้นใยและสีย้อม เนื่องจากพันธะนี้จะไวต่อปฏิกิริยา acid hydrolysis ดังนั้นความต้านทานการจางลงของสีจะลดลงเนื่องจากน้ำ หรือเหตุจากความจางลงของ reactive dye ที่ย้อมบนเส้นใยเซลลูโลส เนื่องจากคลอรีนและไฮเปอร์ออกไซด์โดยทั่วไปจะต่ำ การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกันไป แรงดึงดูดทางเคมีที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์สมบัติของสีย้อม

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

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

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

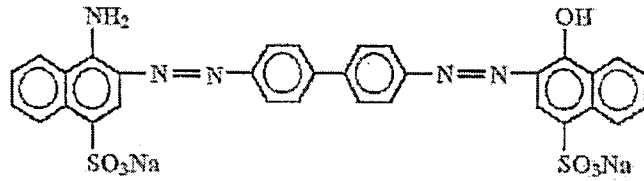
- สีแอซิด (Acid Dyes)
- สีแอโซอิก (Azoic Dyes)
- สีเบสิก (Basic Dyes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

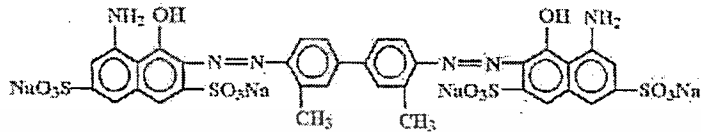
- สีไ้ไ้เร้กั้ (Direct Dyes)
- สีดีสเพอส (Disperse Dyes)
- สีรีแอกทีฟ (Reactive Dyes)
- สีซัลเฟอร์ (Sulphur Dyes)
- สีแวม (Vat Dyes)

งานวิจัยนี้สนใจในด้านการย้อมสีผ้าฝ้ายเนื่องจากเป็นเส้นใยที่นิยมนำไปผลิตเป็นสิ่งทอในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยสีย้อมฝ้ายที่นิยมใช้กันมากคือ สีแวม สีรีแอกทีฟ และสีไ้ไ้เร้กั้ สำหรับสีแวมนั้นมีความทนทานต่อการซักดีเยี่ยม นิยมใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการคุณภาพในด้านความคงทนค่อนข้างสูงเป็นพิเศษ แต่เป็นสีย้อมที่มีราคาแพง มีกรรมวิธีการย้อมที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องใช้ความระมัดระวังมากกว่าสีรีแอกทีฟ และสีไ้ไ้เร้กั้ ส่วนสีรีแอกทีฟและสีไ้ไ้เร้กั้ นั้น หากเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกันจะพบว่าในด้านคุณภาพ สีรีแอกทีฟดีกว่าสีไ้ไ้เร้กั้ แต่ถ้าพิจารณาในด้านของราคา กรรมวิธีการย้อม พลังงานและปริมาณสารช่วยย้อมที่ใช้แล้วสีไ้ไ้เร้กั้จะดีกว่า และในขณะนั้สีไ้ไ้เร้กั้ได้มีพัฒนาขั้้นมาก มีความทนทานต่อแสงแดดมากกว่าสีรีแอกทีฟและบางชนิดก็ทนต่อความร้อนสูงสามารถย้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดได้รวมทั้งมีขั้้นตอนในการย้อมที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาถูก ดั้งนั้สีไ้ไ้เร้กั้จึงถูกนำมาใช้ในการย้อมสีสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนมาก สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สี Direct orange 39 เนื่องจากเป็นสีที่มีการซื้อขายสูงประเทศไทย ในที่นี้จะกล่าวถึงสีที่ใช้ในงานวิจัยคือสีไ้ไ้เร้กั้โดยมีรายละเอียดดั้งนั้

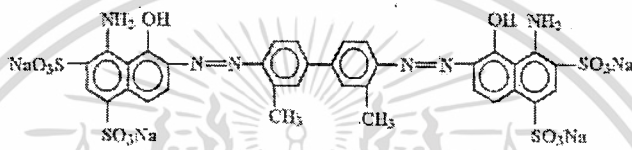
2.2.2 สีไ้ไ้เร้กั้ (direct dyes) - หมายถึง สีย้อมซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ออนุโมลสีที่มีประจุลบสามารถจับติดกับเส้นใยจำพวกเซลลูโลสได้โดยตรง ตามปกติใช้ย้อมในน้ำย้อมที่เป็นเกลืออิล็กโทรไลต์[11] สีไ้ไ้เร้กั้มีโครงสร้างทางเคมีเป็นพวก dis- tris- หรือ polyazo มีหมู่ที่ละลายน้ำได้เป็นพวก Sulfonic acid carboxylic หรือ hydroxyl ละลายน้ำได้ดีมากและแสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย มักใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เป็นสีที่ไม่คงทนต่อการซัก เนื่องจากการดึงดูดของสีไ้ไ้เร้กั้กับเส้นใยเซลลูโลสนั้นเกิดจากแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) และแรงแวนเดอร์วาล (van der waals forces) ซึ่งแรงดึงดูดเหล่านี้ไม่แข็งแรง ประกอบกับคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ของสีไ้ไ้เร้กั้ จึงมีแนวโน้มที่สีจะหลุดออกมาจากภายในเส้นใยได้ง่าย ผ้าที่ย้อมด้วยสีชนิดนี้จึงซีดจางง่าย ในการใช้สีชนิดนี้ย้อมทำได้ง่ายคือเพียงแค่มักมีการให้ความร้อนและมีสารช่วยย้อมเพียงชนิดเดียวคือเกลือ เช่น เกลือแกง (NaCl) หรือเกลือโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) [15] ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสีย้อมผ้าไ้ไ้เร้กั้แสดงดั้งรูปที่ 2.1 ซึ่งประเภทของสีไ้ไ้เร้กั้สามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือการแบ่งตามกรรมวิธีการย้อม และแบ่งตามคุณสมบัติในการย้อม



Direct Red 10



Direct Blue 14



Direct Blue 58

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสียไตรเร็กท์[15]

2.2.2.1 สียไตรเร็กท์แบ่งตามวิธีในการย้อม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม[15] ได้แก่

1. สียที่ย้อมโดยวิธี exhaustion เป็นสียที่ย้อมโดยใช้เครื่องย้อมสีเพียงอย่างเดียวหรือขึ้นเดียว โดยการต้ม แช่ว หรือทำให้สีดูดซึมเข้าไปในวัสดุสิ่งทอจนเสร็จสิ้นการย้อม โดยสมบูรณ์ในครั้งเดียว ซึ่งรวมถึงการซักล้างทำความสะอาดวัสดุสิ่งทอที่ย้อมโดยเครื่องย้อมขึ้นเดียวกันนี้การย้อมแบบนี้ไม่เหมาะกับการย้อมสีวัสดุสิ่งทอที่มีปริมาณมากเพราะเป็นการยากที่จะทำให้คุณภาพสม่ำเสมอ

2. สียย้อมโดยวิธี pad-stem เป็นสียที่ใช้วิธีย้อมแบบต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรหลายประเภทประกอบกันจึงจะดำเนินการย้อมได้สมบูรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการย้อม มีเครื่องจุ่มอัดสีเครื่องอบไอน้ำ เครื่องซักล้าง และเครื่องอบแห้งเหมาะที่จะใช้ย้อมผ้าสีอ่อนสดใสในปริมาณมากและมีช่วงเวลาที่อบไอน้ำเพียง 1-2 นาที ซึ่งการอบไอน้ำนี้จะเป็นการผ่นสีลงไปด้วย ถ้าเป็นการย้อมสีเข้มช่วงเวลาสั้นๆ เพียง 1-2 นาที ไม่เพียงพอที่จะผ่นสีที่มีความทนทานได้

3. สียที่ย้อมโดยวิธี pad-jig เป็นสียที่ใช้วิธีย้อมกึ่งต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรตั้งแต่ 2 ขึ้นขึ้นไปประกอบกัน จึงจะดำเนินการย้อมในขั้นตอนต่างๆ ได้สำเร็จสมบูรณ์ โดยรูปแบบการย้อมจะเป็นลักษณะเปิดหน้ากว้าง ขั้นตอนแรกใช้เครื่องจุ่มอัดน้ำสีโดยให้ผ้าผ่านลง ขุนน้ำสีในอ่างแล้วส่งผ่านลูกกลิ้งยาง เพื่อบีบน้ำส่วนเกินออกไปจากนั้นจึงม้วนผ้าเข้าแกนม้วนแล้วนำไปผ่นสีโดนใช้เครื่องจิกเกอร์และทำความสะอาด โดยใช้เครื่องจิกเกอร์ต่อไปได้เลย

4. สีย้อมโดยวิธี pad-roll เป็นสีเป็นสีที่มีลักษณะการย้อมเช่นเดียวกันกับวิธีย้อมแบบ pad-jig โดยขั้นตอนแรกของการย้อมจะใช้เครื่องจุ่มอัดน้ำสี เมื่อผ้าผ่านน้ำสีและลูกกลิ้งแล้วจะถูกส่งเข้าตู้อบด้วยระบบไอน้ำ หรือระบบอินฟราเรดก่อนที่จะม้วนผ้าเข้าแกน และนำเครื่องอบไอน้ำขนาดใหญ่เพื่อผดสีอุณหภูมิของไอน้ำประมาณ 105 องศาเซลเซียส โดยให้แกนม้วนผ้าหมุนไปช้าๆ ซึ่งจะใช้เวลาในการผดสีประมาณ 2-4 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับชนิดของสีเสร็จแล้วจึงนำไปทำความสะอาด

2.2.2.2 สีไคเร็กซ์แบ่งตามคุณสมบัติในการย้อม แบ่งเป็น 3 กลุ่ม[15] คือ

1 class A เป็นกลุ่มสีที่มีความสม่ำเสมอในการย้อมดี หรือมีคุณสมบัติในการเคลื่อนตัวสูง ช่วงตอนต้นอาจเกิดความสม่ำเสมอขึ้นได้ แต่เมื่อย้อมครบตามระยะเวลาสีจะสม่ำเสมอ

2 Class B เป็นกลุ่มสีที่มีคุณสมบัติในการย้อมไม่ค่อยสม่ำเสมอ หรือมีคุณสมบัติในการเคลื่อนตัวไม่ดี แต่สามารถทำให้สม่ำเสมอได้โดยใช้เกลือควบคุม คือในระยะเวลาในการย้อมควรย้อมให้ติดสีดีเสียก่อนที่อุณหภูมิสูง แล้วจึงเติมเกลือลงไป ถ้าเกิดความไม่สม่ำเสมอในช่วงแรกแล้วยากต่อการแก้ไขให้สีสม่ำเสมอได้

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

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สีไคเร็กซ์สำหรับการทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายใน class A เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมกระบวนการย้อม โดยกระบวนการย้อมที่ใช้ในการทดลอง ได้รับคำแนะนำในส่วนของการใช้สีจากบริษัทผู้นำเข้าสีย้อมผ้าสังเคราะห์

เนื่องจากกระบวนการย้อมสีผ้าก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีสูงและอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งหากมีการถ่ายเทลงสู่สิ่งแวดล้อมย่อมส่งผลกระทบต่อ พืช สัตว์ มนุษย์และระบบนิเวศได้ น้ำเสียเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการบำบัด หัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้า และวิธีการที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียสำหรับการเปรียบเทียบกับวิธีการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.3 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้าและวิธีการในการบำบัดน้ำเสีย

2.3.1 น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้า - อังชัย พรธนะสวัสดิ์[16] กล่าวว่าสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมหรือพิมพ์ผ้าเกิดจากสีย้อม (dyes) ที่ใช้ไม่หมดในกระบวนการย้อมหรือพิมพ์ผ้าหรือนอกจากสีย้อมแล้วก็ยังมีการใช้สารเคมีที่ช่วยในการย้อม (auxiliaries) ซึ่งทำให้โมเลกุลของสีย้อม และโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น สารที่ทำให้น้ำหายกระด้าง น้ำยาป้องกันสีตกซึ่งช่วยให้สีคงทนโดยใช้อยู่ในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนย้อม และสารช่วยติดซึ่งอาจอยู่ในรูปเกลือ หรือพอลิเมอร์เข้าไปเคลือบเส้นใย สีย้อมที่เหลือจากการย้อมหรือพิมพ์ผ้าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีสีออกมาในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นอกจากนี้สีย้อมบางส่วนอาจจะหลุดออกมาในขณะที่ทำการซักล้างหรือทำการปรุงแต่งวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมแล้วอีกด้วย สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานฟอกย้อมมักจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างขนาดใหญ่และซับซ้อนและมักจะเป็นสารประกอบที่มีพิษ เมื่อถูกระบายลงสู่ลำรางสาธารณะแล้วนอกจากจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้สึกรำรังเกียจต่อผู้พบเห็นยังจะไปทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำได้ทั้งโดยตรงและทางอ้อม อนุภาคของสีย้อมบางชนิดจะไปขัดขวางการแผ่กระจายของแสงทำให้สมดุลของระบบนิเวศเปลี่ยนไป โดยทั่วไปสีย้อมเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่ำ แต่สีย้อมบางชนิดอาจเปลี่ยนแปลงเป็นสารมีพิษได้ สีย้อมที่มีโครงสร้างแบบอะโซ ซึ่งในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหมู่อะโซจะถูกทำลายโดยสารรีดิวซ์ พันธะอะโซจะแตกตัวออกได้เป็นสารอะโรมาติกอะมีน ซึ่งเป็นสารตัวกลางและเป็นสารก่อมะเร็ง แต่สารพิษนี้สามารถออกซิไดส์ต่อไปได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือทางจุก ด้วยการสูดดมสีที่ฟุ้งกระจายในอากาศ โดยการสัมผัสทางผิวหนัง และโดยการปะปนเข้าไปกับอาหาร

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

2.3.2 วิธีการในการบำบัดน้ำเสีย - วิธีการในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้ามีหลายวิธี โดยวิธีการต่างๆที่นิยมใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง มีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) - การตกตะกอนเป็นกระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักจะใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ก่อนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว(Lime) สารส้ม(Alum) เฟอร์รัสซัลเฟต และเฟอร์ริกคลอไรด์ หรือเฟอร์ริกซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีอยู่ในรูปเกลืออลูมินาที่ไม่ละลายน้ำ หรือเป็นการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนโมเลกุลของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนสีจมลงในน้ำทิ้ง หลังจากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนจะปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้จะสามารถกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในมาตรฐานที่ได้ตกลงและอนุญาต แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม ถ้าสีย้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีเอสสิก สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีประเภทนี้โดยใช้สารส้มไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอน เช่น ใช้ Polyelectrolyte ในปริมาณที่มากเกินไป[18]

2.3.2.2 การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal) - การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่โมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับต้องมีโมเลกุลประมาณ 400 โมเลกุล ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสี จะมีโมเลกุลต่ำกว่า 400 หรือสูงกว่า 1,200 โมเลกุล ฉะนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์จะมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสม 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) เป็นการออกซิไดซ์พันธะคู่ที่เป็นพันธะเคมีของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลของสีด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำทิ้งอย่างรวดเร็ว เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ในโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยสารไนโตรเจน (Nitrogen) คลอรีน (Chlorine) หรือซัลเฟอร์ (Sulphur) จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิมข้อดีคือ สามารถใช้น้ำทิ้งที่มีปริมาณมาก และสามารถลดค่า COD ของน้ำที่บำบัดได้ข้อเสียของเทคนิคนี้คือ ต้นทุนของอุปกรณ์สูง [18]

2.3.2.4 คลอรีเนชัน - คลอรีเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งเอเจนต์ ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูง ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของก๊าซโซลีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์ [18]

2.3.2.5 การใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี - วิธีไฟฟ้าเคมีหรืออิเล็กโทรเคมีคัล เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่งแต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เดิมทีการบำบัดด้วยวิธีนี้ถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำทิ้ง [18]

2.3.2.6 Membrane Technology - กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสีและยังสามารถนำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ เทคนิคนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทย่อยดังนี้

1. Microfiltration - เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสีประเภทดิสเพอร์ส ที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทโพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทซัลเฟอร์ สีแวต และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย (cotton) และวิสคอส (Viscoes) สีย้อมประเภทสตีคสเพอร์ส เมื่อผ่านกระบวนการ Microfiltration ต้องผ่านการบำบัดก่อนที่จะ

ทิ้งไปโดยจำเป็นต้องมีการกำจัดผง การทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี และการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้ง

2.Reverse Osmosis-เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดไอออนของสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นเยื่อแผ่น Reverse Osmosis ที่บรรจุน้ำกร่อย(Brackish water) และขั้นตอนที่สองจะเป็นเยื่อแผ่น Reverse ที่บรรจุน้ำทะเล(seawater) ซึ่งในขั้นตอนแรกจะกำจัดได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังขั้นที่สอง และสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 94 สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้าย ไม่สามารถใช้กระบวนการ Reverse Osmosis ได้

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

4.Nanofiltration เป็นกระบวนการกำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอกทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยผ้า เนื่องจากการย้อมสีรีแอกทีฟจะต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์(Electro) ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์(NaCl), โซเดียมซัลเฟต(Na₂SO₄) กระบวนการ Nanofiltration จะสามารถใช้แยกสารอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก [18]

โดยทั่วไปแล้ววิธีการกำจัดสีย้อมโดยใช้เยื่อแผ่น (Membrane) นี้จะเป็นการทำให้โมเลกุลของสีย้อมรวมกันอย่างหนาแน่นบนด้านหนึ่งของเยื่อแผ่น ในขณะที่น้ำจะสามารถผ่านทะลุเยื่อแผ่นไปได้ ซึ่งจะสามารถแยกโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ได้ไม่เพียงเฉพาะโมเลกุลของสีย้อมเท่านั้น เทคนิคนี้สามารถใช้บำบัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณมากได้รวดเร็ว แต่ต้นทุนของอุปกรณ์มีราคาสูง และถ้าความเข้มข้นของสีในน้ำทิ้งที่มีปริมาณมากจะมีการตกค้างของสีในน้ำทิ้ง ดังนั้นเทคโนโลยีด้านเยื่อแผ่นจึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก

กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งในขั้นตอนต่างๆ จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป การจะเลือกวิธีการกำจัดวิธีใดนั้นก็ขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละวิธี จากกระบวนการกำจัดที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงแต่มีข้อเสียคือมีต้นทุนที่สูง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการกำจัดวิธีใหม่ๆ มากมายเกิดขึ้นมีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ เช่น การใช้วัสดุดูดซับ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้น สมบัติในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับมาตรฐานที่อนุญาต แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีสูงหรือมีสารอินทรีย์ปน แต่ต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งหลักการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติได้อธิบายถึงในหัวข้อถัดไป

2.4 การขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยการใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ

เพื่อให้มีความเข้าใจการขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียโดยวัสดุดูดซับชีวภาพ จึงทำการรวบรวมข้อมูลในค่านิยมของการดูดซับ ประเภทของสารดูดซับที่นิยมนำมาใช้ กลไกในการดูดซับ อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับ ลักษณะของการดูดซับ สมดุลการดูดซับ จลนพลศาสตร์การดูดซับ รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 นิยามของการดูดซับ - การดูดซับเป็นการสะสมสารหรือวัสดุที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลว รวมถึงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายไปอยู่บนผิวของของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface Precipitation Process) หรือกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization Process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารหรือวัสดุในสารละลาย ตัวทำละลาย หรือพื้นที่ผิวของของแข็งลดลงไปนั้นเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือกระบวนการอื่นๆที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้วโดยทั่วไปจะใช้คำว่า “Sorption” การดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของตัวถูกละลาย (Adsorbate) ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวไปยังวัสดุดูดซับ (Adsorbate) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกละลายบนผิวของวัสดุดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดเนื่องจากปัจจัยหลัก 2 ชนิดคือ ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายและสัมพันธภาพ (Affinity) ของตัวถูกละลายที่มีต่อวัสดุดูดซับ [19]

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือแก๊ส โดยใช้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าวสัมผัสกับวัสดุดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง วัสดุดูดซับชนิดหนึ่งๆ มีความสามารถดูดซับองค์ประกอบต่างๆ ในสารละลายได้แตกต่างกันจึงสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ออกจากกันได้ การจะแยกองค์ประกอบใดออกจากสารละลายนั้น ต้องเลือกชนิดวัสดุดูดซับให้เหมาะสม ซึ่งประเภทของวัสดุดูดซับจะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังหัวข้อถัดไป

2.4.2 ประเภทของสารดูดซับ [20] - สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

2.4.2.1 *ประเภทสารอนินทรีย์* เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอคติเวตเตดลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2.4.2.2 *ถ่านกัมมันต์* เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับมีข้อจำกัดเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีต้นทุนในการขจัดตัวถูกละลายออกจากถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สูง

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

2.4.2.4 *วัสดุชีวภาพ (biomaterials)* ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชี้อัลไคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) แอกลบดำ เป็นต้น

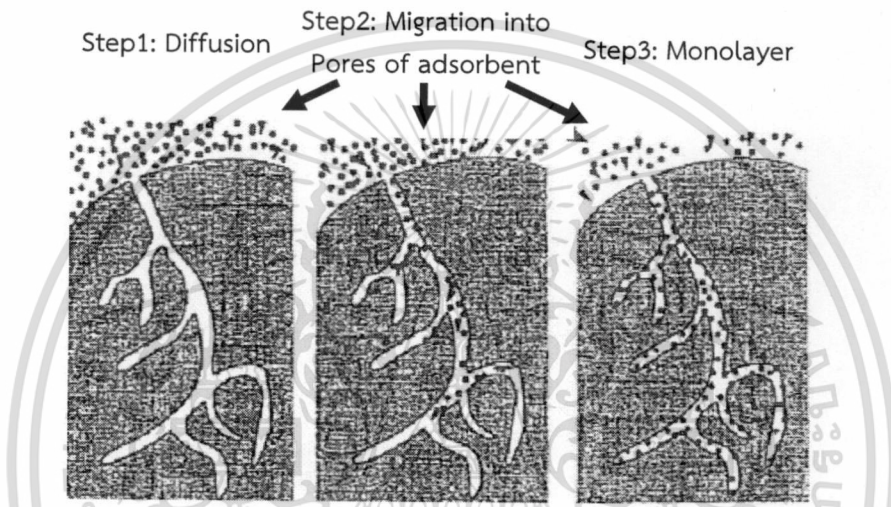
2.4.2.5 *สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent)* ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือ ราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

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 ปฏิกริยาพื้นผิว (surface reaction) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นครุค้ำจึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้อย



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 ถ้าสารดูดซับมีความพรุนสูงของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านช่องว่างภายในของสารดูดซับได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ และจะให้ความร้อนออกมาเพียงเล็กน้อยแต่มากกว่าความร้อนของการควบแน่น เมื่อลดความดันของระบบหรือเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับลดลง ทำให้สารถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากสารดูดซับ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการคายซับ (Desorption) ซึ่งเป็นวิธีการนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (Reversible) การดูดซับนี้สารดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี[19]

2.4.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) - การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับ สร้างสารประกอบระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ ทำให้ปริมาณของสารดูดซับลดลงซึ่งจะไม่ขึ้นกับค่าความดันมากนัก และดูดซับสารถูกดูดซับไว้ได้ในปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารดูดซับ เนื่องจากการดูดซับเกิดจากปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิว จึงเกิดได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้น แต่การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้บนพื้นผิวทั้งหมด และการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับได้ (Reversible) ปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิปกติ องค์ประกอบบางชนิดจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี 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 ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจาก ปฏิสัมพันธ์(Interaction) ในช่วงสั้นๆรวมถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์(ligand Exchange) พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding) และพันธะไฮโดรเจน(Hydrogen Bonding) [21]

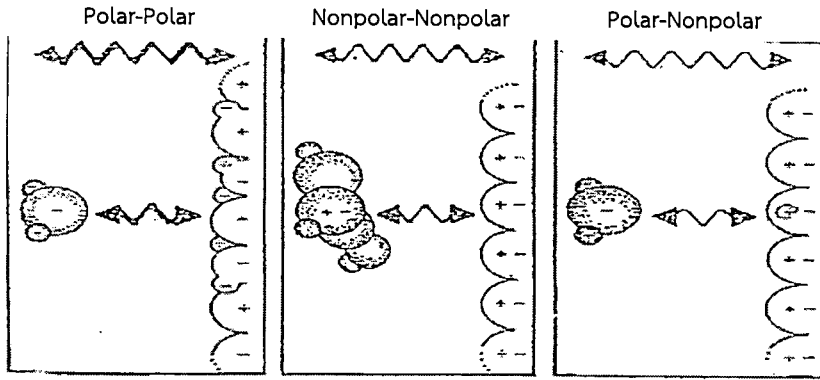
2.4.5.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waal's Force) - อะตอมที่อยู่อย่างอิสระ หรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้น และสามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ(Desorption) จะกระทำได้ง่ายซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับได้ง่าย[20]

2.4.5.2 แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) - แรงทางไฟฟ้าสถิต เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเข้าด้วยกัน หรือระหว่างสารที่ไม่มีขั้วกับสารที่มีขั้ว ซึ่งเป็นการเกาะจับของโมเลกุลชนิดต่างๆเกิดจาก 3 กรณีดังนี้

1. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วเกิดจากการจัดเรียงโมเลกุล (Orientation Effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

2. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากผลของการกระจาย (Dispersion Effect) ซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมา และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามา ก็จะทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อน เช่น อินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ (Induction Effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ซึ่งทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน



รูปที่ 2.3 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์[21]

2.4.5.3 **แรงทางเคมี** - แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่างๆ เช่น คอลลอยด์ดินเหนียวเนื่องจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชัน ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชัน (functional Group) ที่ผิวของสารดูดซับได้ แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

1. เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอน หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแรงกว่าแรงทางฟิสิกส์
2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ (Irreversible) เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี[20]

2.4.6 **ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ** - ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเกิดจากหลายปัจจัยได้แก่

2.4.6.1 **ธรรมชาติของตัวดูดซับ** - มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน-พื้นที่ผิว เป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นเพราะถ้าขนาดของสารดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับได้ความสามารถในการดูดซับก็ต่ำลง
2. ขนาดของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับ-ในกรณีที่เป็นตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าวัสดุดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นในการนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นกับขนาดของวัสดุ
3. เคมีที่ผิวหน้า-หมู่ฟังก์ชันนัล (functional group) เฉพาะที่อยู่บนผิววัสดุดูดซับ จะมีสมบัติที่มีผลกับกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์ และมีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นกรด ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง แต่ถ้ามีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นหมู่คาร์บอนิกความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 ธรรมชาติของตัวดูดซับ - มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

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[23]

2.4.6.3 ความดันป่วน - อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม(Film Diffusion) หรือ การแพร่ผ่านรูพรุน (Pore Diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความดันป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความดันป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาตัวดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความดันป่วนสูง ทำให้น้ำสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.4.6.4 อุณหภูมิ - ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใดคือถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพอุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น[20]

2.4.6.5 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 นอกจากนี้ยังพิจารณาในส่วนของการสร้างอันเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 ความสำคัญของฟางข้าว - ประเทศไทยมีการผลิตข้าวเพื่อการบริโภคและส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก จากรายงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [24]พบว่า ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ถึงปีละ 16 ล้านตันต่อปี ทำให้มีผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวและสีข้าวเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ รำข้าว และปลายข้าว เป็นต้น จากการรายงานของ Sundhagul และ Attasampunna [25]พบว่าประเทศไทยมีผลพลอยได้จากการผลิตข้าวดังนี้คือ แกลบ 11 ล้านตัน รำข้าว 1.6 ล้านตัน และฟางข้าว 117 ล้านตันต่อปี ซึ่งฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาข้าวบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง คลุมแปลงผักและใช้ในการทำปุ๋ยหมัก แต่โดยส่วนใหญ่ชาวนาจะใช้วิธีการเผาเพื่อกำจัดออกจากพื้นที่ก่อนจะลงมือทำนาในรอบต่อไปซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะจากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้และและส่งผลให้หน้าดินเสื่อมสภาพ ดังนั้นการนำฟางข้าวซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ นอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าแล้วยังเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ อีกวิธีหนึ่งด้วย

2.5.2 การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว - ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JMS-5400 Scanning Electron Microscope, SEM) ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า ดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ



รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของฟางข้าวเมื่อถ่ายด้วยกล้อง SEM ที่ 10 KV ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า[26]

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวพบว่าฟางข้าวมีองค์ประกอบโดยหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แพคติน และมีปริมาณ residual ash สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบของฟางข้าวและฟางจากข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต และข้าวบาเล่ห์ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าฟางข้าวมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงกว่าฟางข้าวสาลี, ฟางข้าวโอ๊ต และฟางข้าวบาเล่ห์ และฟางข้าวในส่วนของปล้องข้อจะมีปริมาณซิลิกาออกไซด์สูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกข้าว ฟางข้าวและรำข้าวตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งลิงก์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวในส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับไม้และพืชชนิดอื่นๆ[26]

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

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆของฟางข้าวและฟางข้าวบาเล่ท์, ฟางข้าวไ้ด, 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 |

เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวจากภาพถ่าย Microstructure พบว่าฟางข้าวมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย crude protein hemicellulose , และ cellulose ซึ่งทำให้มีลักษณะเหมาะสมสำหรับยึดจับกับไอออนของโลหะหนัก มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการกำจัดสีและโลหะหนักในน้ำทิ้ง ฟางข้าวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เพื่อกำจัดสีย้อมและโลหะหนักออกจากน้ำย้อมสีผ้าได้

2.6 การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นสารดูดซับสีและโลหะหนักใน สารละลาย

วัสดุดูดซับ(Adsorbent) นิยมใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือวัสดุต่างๆที่มีอยู่ในท้องถิ่น ซึ่งหาได้ง่ายมีตามครัวเรือนและไม่ได้ใช้ประโยชน์ วัสดุดูดซับแบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามพฤติกรรมการดูดซับคือ กลุ่มแร่ธาตุธรรมชาติ วัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระไฮดรอลเชื่อมต่อกับแผ่นอลูมินาออกไซด์เตตระไฮดรอล การดูดซับไอออนของตัวดูดซับเกิดจากการที่มีการแตกตัวของพันธะเคมีภายในโครงสร้างทำให้เกิดประจุตกค้างขึ้นโดยมีประจุตกค้างเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดึงดูดประจุบวกที่มีอยู่ในสภาพมีโมเลกุลน้ำล้อมไว้ที่ผิวของมันไว้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต กลุ่มที่สองคือกลุ่มที่ได้จากพืชประเภทรพูน วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูพรุนกลุ่มเล็กมากกระจายกระจายอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของวัสดุเป็นชั้น(Layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถใช้ในการดูดซับได้ความสารในการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน ถ้าปริมาณคาร์บอนสูงจะถูกดูดซับได้ดี เช่น แกลบ เผ่า ถ่าน และถ่านกัมมันต์ [27]

กระบวนการดูดซับโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารดูดซับ มีกลไกการดูดซับต่างๆ ได้แก่ Physicaladsorption, complexation, ion exchange และ surface microprecipitation ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ในการขจัดสีได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองของ Ozacar และ Sengil[28] ซึ่งใช้ซีลี้อยเป็นสารดูดซับพบว่า ซีลี้อยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ ประกอบด้วยฟังก์ชันกรุป ที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่ฟีนอลิก และหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้น สารเซลลูโลสที่มีอยู่ในซีลี้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงมีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับดีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับโลหะหนักและสีย้อม

Malik [29] ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อมไคโรเร็กซ์ประเภทอะโซโดยใช้ซีลี้อยของต้นมะฮอกกานี ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ใช้ในการดูดซับ พบว่า ถ่านจากซีลี้อยสามารถกำจัดสีย้อมชนิดนี้ได้ โดยประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม คือที่ pH 3 และสมการการดูดซับที่เหมาะสมเป็นแบบ Langmuir isotherm ซึ่งจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Garg และคณะ [30] ที่ศึกษาการนำเอาซีลี้อยจากต้นกุหลาบอินเดียมาใช้ในการกำจัดสีย้อม methylene blue พบว่า ซีลี้อยสามารถกำจัดสีย้อมได้สูงสุดภายในเวลา 30 นาทีตั้งแต่เริ่มการทดลอง โดยความสามารถในการกำจัดสีย้อมขึ้นกับ ปริมาณสารดูดซับ ความเข้มข้นของสีย้อม แต่ค่าความเป็นกรดต่างจะไม่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมชนิดนี้เท่าไรนัก ดังนั้นจะเห็นว่าการนำซีลี้อยจากไม้ชนิดต่างๆมาเป็นสารดูดซับสีย้อม จะทำให้ได้สารดูดซับที่มีราคาประหยัด และสามารถกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียได้ด้วย

มีหลายประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย แกลบจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีผู้สนใจนำมาวิจัยในด้านการใช้เป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม เช่น งานวิจัยของ Yusra และ Haq[31]ในการใช้ฟางข้าวดูดซับสีย้อมไคโรเร็กซ์เรต 31 และสีไคโรเร็กซ์ออเร็นท์ 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 องศาเซลเซียสและใช้ขนาดของวัสดุดูดซับ 0.255 มิลลิเมตร พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อม ไคโรเร็กซ์เรต 31 สูงสุด คือที่ระดับ pH 2 ซึ่งสามารถดูดซับสีได้ 57.88 mg/g และความสามารถในการดูดซับสีย้อมไคโรเร็กซ์ออเร็นท์ 26 สูงสุด คือที่ระดับ pH 3 ซึ่งสามารถดูดซับสีได้ 36.14 mg/g ที่ระดับความเข้มข้นของสีย้อม 125 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้น Yusra และ Haq[32] ยังได้ทำการศึกษาในส่วนของจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ โดยทดลอง ใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสีไคโรเร็กซ์ เรต 31 และสีไคโรเร็กซ์ออเร็นท์ 26 ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 5-300 นาที โดยการใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ pseudo-first-order และ pseudo-second-order ซึ่งพบว่า สมการ pseudo-second-order สอดคล้องสามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่า

นอกจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมายังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกหลายชนิดที่ถูกนำมาทดลองใช้เป็นวัสดุในการดูดซับสีย้อม Mohamad และคณะ [33] ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้าน การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีการวิจัยการนำมาใช้ในการดูดซับสี้อมออกจากน้ำเสีย[34]

| 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 |
| Loofta 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> Linn activated carbon | Malachite green |

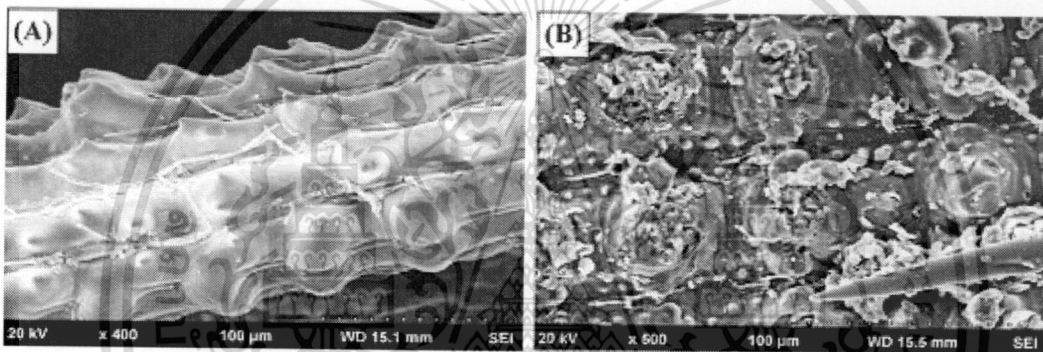
2.7 การดัดแปลงสภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบางชนิดมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในบางครั้งวัสดุดูดซับเหล่านี้มีข้อจำกัดคือมีสารเคลือบเช่น ลิกนิน และ สารประกอบระหว่างซิลิกากับเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการดัดแปลงสภาพวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ เช่น การทำให้อยู่ในรูปของ ใย [35] หรือ ถ่านกัมมันต์[36] แต่วิธีการเหล่านี้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากสีของถ่านที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาในส่วนของ การดัดแปลงสภาพทางเคมี ซึ่งเป็นวิธีการที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสารเคมีที่นำมาใช้จะสามารถขจัดในส่วนของสารเคลือบผิว หรือทำลายโครงสร้างบางส่วนของวัสดุดูดซับทางการเกษตรทำให้มีโครงสร้างรูพรุนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น

งานวิจัยการดัดแปลงสภาพของแกลบด้วยกรดซिटริก โดยทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแกลบและแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซिटริกมีความสามารถในการดูดซับกรดซिटริกได้เพิ่มขึ้นถึง 13 มิลลิกรัม/น้ำหนักฟางข้าวแห้ง(กรัม) และในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับโดยใช้สมการจลนพลศาสตร์ในการดูดซับ pseudo-first-order มี

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R^2) ของฟางข้าวและฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซिटริกอยู่ที่ 0.99 และ 0.97 [34]

ในการทดลองของ sagnik และคณะ [37] ทำการทดลองดัดแปลงสภาพของแกลบด้วย NaOH เพื่อขจัดสี ย้อม Crystal Violet ออกจากสารละลายสีย้อมที่เตรียมขึ้น พบว่าในการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแกลบต่อ ปริมาตรสารละลายตั้งแต่ 0.5-5.0 กรัมต่อลิตร และเปลี่ยนแปลงระดับ pH ตั้งแต่ 2-10 พบว่าความสามารถในการ ขจัดสีออกจากสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของแกลบต่อสารละลายตั้งแต่ 0.5-1.0 กรัมต่อลิตร และมึ ความสามารถในการขจัดสีย้อม Crystal Violet ได้ดีที่สุดที่ pH 7 แกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH มี ความสามารถในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายได้ดีกว่าแกลบธรรมดา ซึ่งหากเปรียบเทียบลักษณะทาง กายภาพของแกลบโดยธรรมชาติกับแกลบที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าแกลบที่ ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH มีลักษณะโครงสร้างรูปร่างบนพื้นผิวถูกทำลายจนแผ่แตกออก จึงเพิ่มพื้นที่ ผิวในการดูดซับให้สูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับ



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายแกลบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า แกลบ(รูป A) แกลบที่ ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย NaOH (รูป B) [37]

งานวิจัยนำแกลบมาสภาพผิวด้วยวิธีทางเคมีจากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิในการดูดซับ 30°C pH = 7 และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมผ้า 150 ppm พบว่าแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 wt% และแกลบที่ปรับสภาพด้วยนอร์มัล -3- คลอโร -2- ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 60 wt% (CHMAC) สามารถดูดซับสีเบสิค และสีรีแอกทีฟได้เท่ากับ 97.16% และ 71.87% ตามลำดับ เปรียบเทียบ กับถ่านกัมมันต์ซึ่งมีราคาสูง สามารถดูดซับสีเบสิคได้ 97.59% แต่ไม่สามารถดูดซับสีรีแอกทีฟได้ ผลการศึกษา ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ พบว่าแกลบที่ปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 wt% กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ 1 วัน สามารถดูดซับสีเบสิคได้ดีที่สุด และแกลบที่ ปรับสภาพด้วย CHMAC ความเข้มข้น 60 wt% กับเวลาในการปรับสภาพแกลบ 4 ชั่วโมง สามารถดูดซับสีรีแอกทีฟได้ดีที่สุด โดยเมื่ออุณหภูมิในการดูดซับเพิ่มจาก 30°C เป็น 70°C ความสามารถในการดูดซับสีเบสิคและสีรีแอกทีฟจะเพิ่มจาก 71.87% เป็น 94.47% [20]

งานวิจัยของ samah และคณะ [38] ทำการดัดแปลงสภาพของแกลบโดยใช้อินทรีย์ได้แก่กรดซिटริกและ กรดอนินทรีย์ได้แก่ HCl, H_2SO_4 และ HNO_3 เพื่อทดลองขจัดฟีนอลในสารละลาย (ฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่ใช้ใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตสีย้อมหลายชนิด) พบว่าเกลือที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟริกมีประสิทธิภาพในการขจัดต่ำกว่า เกลือที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดอนินทรีย์ โดยเกลือที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วย H_2SO_4, HCl, HNO_3 และ กรดซัลฟริก มีประสิทธิภาพในการขจัดสีอยู่ระหว่าง 40.21-59.54%, 32.11-43.87%, 31.33-40.66% และ 22.42-35.41% ตามลำดับ

การทดลองดูดซับสีย้อมโดยผักตบชวา ทำการเตรียมตัวดูดซับ 4 ชนิด คือตัวดูดซับที่ไม่ปรับสภาพตัวดูดซับ ที่ปรับสภาพด้วย NaOH 15% NaOH 20% และ NaOH 25% ตัวดูดซับเมื่อถูกปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH จะเกิดการพองตัว และทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้น โดยตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 20% มีการพองตัวมากที่สุด ในขณะที่ตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 15% มีการพองตัวใกล้เคียงกับตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 25% และตัวดูดซับที่ไม่ปรับสภาพไม่มีการพองตัวจากการศึกษาตัวดูดซับทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการบำบัดสีไคเร็กซ์จากน้ำสีสังเคราะห์ และเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำไปใช้ในการกำจัดสีในน้ำทิ้ง จริงจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ซึ่งตัวดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือตัวดูดซับที่ปรับสภาพด้วย NaOH 20% ที่ สภาวะตั้งนี้ค่า pH 5 ปริมาณตัวดูดซับ 4 กรัมต่อลิตร เวลาในการบั่นกวน 240 นาที และเวลาในการสัมผัส 90 นาทีสามารถกำจัดสีได้ 76.80 % และลดค่า BOD ได้ 6.07% [9]

การปนเปื้อนของสีย้อมลงสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมมีวิธีการหลายวิธีในการบำบัดน้ำเสียที่เกิด จากการย้อมสีผ้าที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรมแต่เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง การใช้วัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรเป็นวัสดุดูดซับสีออกจากน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีผ้าเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการ นำมาใช้และเหมาะสมอุตสาหกรรมขนาดเล็กเนื่องจากมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำ ง่ายต่อการดำเนินการ ฟางข้าว เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกประกอบรวมทั้งเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างและ องค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับขจัดสีย้อมส่วนเกินออกจากสารละลาย สีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า โดยจากการศึกษางานวิจัยในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุดูดซับ เพื่อขจัดสีย้อมพบว่า อุณหภูมิ pH ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตร สารละลาย และการดัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับ ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึง ทำการศึกษาการใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับสีย้อมชนิดไคเร็กซ์เนื่องจากเป็นสีที่นิยมใช้ย้อมผ้ากันมากในระดับ อุตสาหกรรมครัวเรือน ในระหว่างกระบวนการย้อมเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับรวมทั้งเป็นการลดขั้นตอนและระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสีย และทำการทดลองที่ pH โดยธรรมชาติของสีที่ใช้ และระดับความเข้มข้นสีตามคำแนะนำของบริษัทผู้นำเข้าสี เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม โดย ทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของฟางข้าวต่อปริมาตรของสารละลาย และทำการดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วย NaOH และ H_2SO_4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวเพื่อกำจัดสีย้อมชนิด direct orange 39 ออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าฝ้าย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการวิจัย การเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวด้วยวิธีที่แตกต่างกันจึงได้นำเสนอในบทนี้จากนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้นในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้า และผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านกระบวนการย้อมได้มีการอธิบายในบทนี้เช่นกัน ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวแสดงเป็นหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

3.1 การเตรียมวัสดุดูดซับ

การนำฟางข้าวมาใช้เป็นวัสดุดูดซับชีวภาพจำเป็นต้องมีการขึ้นตอนในการเตรียมเพื่อให้ฟางข้าวมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อม จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับทางชีวภาพโดยปรับปรุงสภาพโดยใช้สารละลายกรดและเบส โดยการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้วัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการเตรียมโดยการแช่ในสารละลายกรดหรือเบส ก่อนการนำไปใช้ ดังนั้นในการเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวจะทำการเปรียบเทียบระหว่าง วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพด้วยกรด และวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส มีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

3.1.1 การเตรียมวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ - การทดลองนี้เป็นการศึกษาในระหว่างขั้นตอนการย้อมสีผ้า ดังนั้นการศึกษาได้เริ่มจากการใช้ฟางข้าวเฉพาะในส่วนของลำต้นสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับเนื่องจากขนาดที่ใหญ่เพียงพอที่สามารถแยกวัสดุดูดซับออกจากชิ้นผ้าที่นำมาย้อมได้ง่าย การนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวอาจมีการปนเปื้อนของดิน ดังนั้นก่อนการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับจึงต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมโดยนำฟางข้าวส่วนลำต้น ผ่านการลดขนาดด้วยการตัดให้มีขนาด 2 ± 0.1 เซนติเมตรจากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH ของน้ำล้างประมาณ 6.5 – 7.0 หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อรอกการนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

3.1.2 วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส - ในการตัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยเบสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มจากการเตรียมสารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 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 จึงนำฟางข้าวที่ผ่านการล้างนี้ไปอบแห้งอีกครั้งที่

อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทเพื่อรอการนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับ

3.1.3 วัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด - ในการดัดแปลงสภาพของฟางข้าวด้วยกรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มจากการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้น 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 จากนั้นเทสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 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



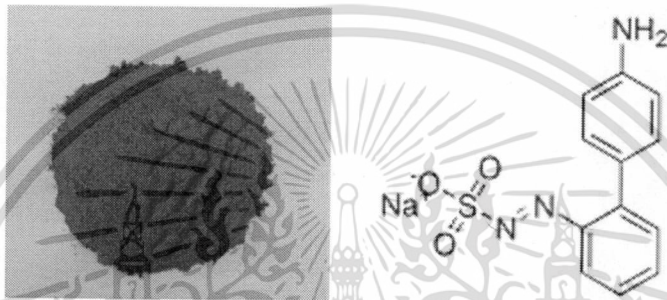
รูปที่ 3.1 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก (ซ้าย) และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(ขวา)

วัสดุดูดซับที่ผ่านการเตรียมขึ้นทั้ง 3 ชนิดนี้ถูกนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับสีข้อมอกจากสารละลายสีข้อมในระหว่างกระบวนการข้อมเพื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพ ในการดูดซับ โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังหัวข้อถัดไป นอกจากนี้การปรับปรุงสภาพวัสดุดูดซับด้วยสารละลายกรดหรือเบสนี้ส่งผลกระทบต่อเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุอันจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการดูดซับต่อไป ดังนั้นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับที่ผ่านการเตรียมขึ้นนี้จะสามารถอธิบายถึงอิทธิพลของการดัดแปลงสภาพต่อประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีข้อมได้ โดยขั้นตอนในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับได้มีการอธิบายในหัวข้อ 3.3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง 25 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

ในการศึกษาการใช้วัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม ปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลาย (dose) และระยะเวลาในการดูดซับเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นในการทดลองได้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายโดยเปลี่ยนแปลงวัสดุดูดซับ 3 ชนิด คือ วัสดุดูดซับจากฟางข้าว วัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และวัสดุดูดซับจากฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณวัสดุดูดซับแตกต่างกัน 3 ระดับคือที่ 1 3 และ 5 กรัม และที่ระยะเวลาในการดูดซับ 10 ระดับคือที่ 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80, 100 และ 120 นาทีโดยสีที่ใช้ในการทดสอบคือสี direct orange 39 ซึ่งได้รับจากบริษัทพิสิษฐ์อินเตอร์กรุ๊ปโดยมีลักษณะสีและสูตรโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.2



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

ขั้นตอนในการย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมดังนี้

- 1) เตรียมผ้าฝ้ายที่ใช้ในการย้อมสีโดยการตัดผ้าฝ้ายดิบที่ผ่านการฟอกขาวออกเป็นชิ้น ให้แต่ละชิ้นมีขนาด 4×10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม/ชิ้น
- 2) ทำการเตรียมสารละลายสีย้อมมาตรฐานโดยใช้สัดส่วนผงสี 0.8 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2 %w/v จากนั้นเปิดสารละลายสีย้อมมาตรฐานปริมาตร 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 นาที โดยรักษาระดับอุณหภูมิในการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการย้อม



รูปที่ 3.3 การย้อมสีผ้าในบีกเกอร์โดยควบคุมอุณหภูมิในการย้อมด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

5) เมื่อย้อมสีผ้าฝ่ายจนครบตามระยะเวลาในการย้อม นำบีกเกอร์ทั้งหมดออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ มาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ แล้วนำวัสดุดูดซับใส่ลงในบีกเกอร์ทันที

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

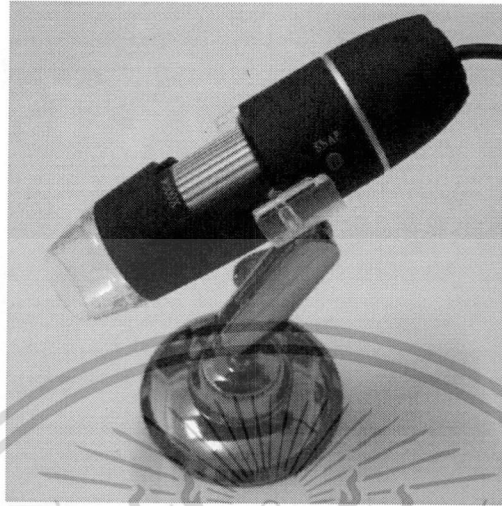
เพื่อให้ทราบถึงศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมของวัสดุดูดซับ และผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม ตัวอย่างที่ได้จากการทดลองได้แก่ วัสดุดูดซับที่ผ่านการใช้ทดลอง สารละลายสีย้อม และผ้าที่ผ่านการย้อมสีได้ถูกนำไปทดลองในขั้นตอนของวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

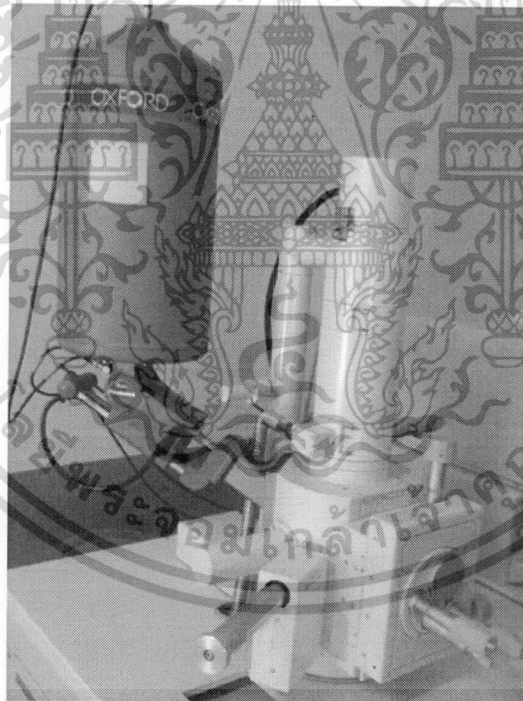
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ 2) การศึกษาความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ และ 3) การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ - ลักษณะทางกายภาพมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของวัสดุดูดซับ การเตรียมวัสดุดูดซับด้วยการแช่ในสารละลายกรดหรือเบสจะทำให้ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการนำวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด คือ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดผ่านการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่ กำลังขยาย 500 เท่า (รูปที่ 3.4) และการถ่ายภาพกำลังขยายสูงแบบอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กทรอนิกส์ไม

โคสโคป (scanning electron microscope SEM) ที่กำลังขยาย1000เท่า (ในรูปที่ 3.5) เพื่อศึกษาลักษณะทาง
กายภาพ



รูปที่ 3.4 กล้องดิจิทัลไมโครสโคป(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
คือส่วนแรกศึกษาจากสีที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับโดยตรวจสอบได้จากการตรวจสอบมวลสารประเภทโลหะที่ถูก

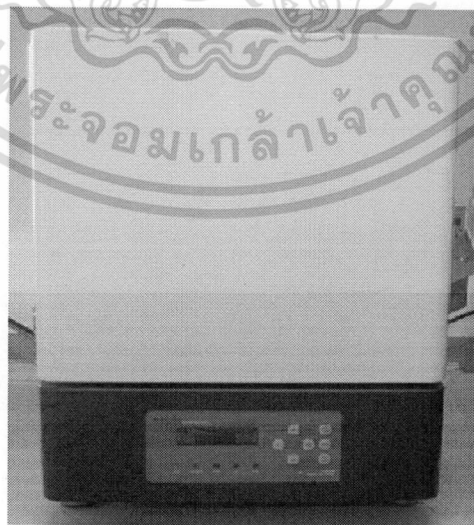
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับไว้ภายในวัสดุดูดซับโดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในวัสดุดูดซับ สำหรับส่วนที่สองคือ การศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังนี้

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

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในสีย้อมผ้ามีส่วนประกอบของโลหะหนักเพื่อช่วยให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสีสดใส ดังนั้นแล้วหากวัสดุดูดซับมีการดูดซับมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมสามารถตรวจสอบได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ รายงานค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สในตัวอย่อย่างมีขั้นตอนดังนี้

1. นำฟางข้าวที่ผ่านการทดลองใช้เป็นสารดูดซับอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิทเพื่อรอการนำไปวิเคราะห์
2. นำถ้วยกระเบื้องเปล่าอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 2 กรัม นำไปทำการเผาบนเตาจนหมดควัน
4. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควันแล้วไปเผาต่อในเตาเผาแก๊สอุณหภูมิสูง (รูปที่ 3.6) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้อุณหภูมิภายในเตาตกลงเหลือประมาณ 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันมิให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นอย่างกะทันหันซึ่งอาจทำให้ถ้วยกระเบื้องแตกได้
5. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาแล้ว มาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งจนเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งลักษณะของฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาแล้วแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 เตาเผาแก๊สอุณหภูมิสูง (Muffle furnace) ยี่ห้อ JSR รุ่น JSMF-45T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ฟางข้าวที่ผ่านการเผาในเตาเผาถ่าน

6.คำนวณหาปริมาณถ่านโดยใช้สูตร

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

W_1 คือ น้ำหนักถ่าน(กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ่าน + น้ำหนักน้ำหนักรวมของตัวอย่าง(กรัม)

3.3.2.2 การศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม - การศึกษาปริมาณการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการกรองวัสดุดูดซับออกแตกต่างกันคือที่เวลา 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 80, 100 และ 120 นาที ด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer (รูปที่ 3.8) เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขจัดสีออกจากสารละลายและปริมาณการดูดซับสีย้อมต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับ โดยมีขั้นตอนการวัดค่าการดูดกลืนแสงและการคำนวณดังต่อไปนี้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

กราฟมาตรฐานเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสงของสีที่ทำการศึกษา 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 นำค่าที่ได้จากการวัดมาเขียนกราฟมาตรฐานและสร้างสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้น

2 การคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับ (%) โดยใช้สูตร

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

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใส่ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C = ความเข้มข้นของสารละลายสีที่เวลาใดๆ

3 การคำนวณปริมาณการดูดซับจำเพาะ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะที่ระยะเวลาใดๆคำนวณจาก

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

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใส่ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C_t = ความเข้มข้นของสีที่ย้อมที่เวลาใดๆ

V = ปริมาตรของสารละลายสีที่ย้อม

W = น้ำหนักของวัสดุดูดซับ

ปริมาณการดูดซับจำเพาะที่สมดุลของการดูดซับคำนวณจาก

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

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนการใส่ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของสีที่ย้อมที่สมดุล

V = ปริมาตรของสารละลายสีที่ย้อม

W = น้ำหนักของวัสดุดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลจากการศึกษาระยะเวลาของการดูดซับกับปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาใด ๆ สามารถนำมาสร้าง จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption kinetics) เพื่อใช้ในการทำนายอัตราการดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขึ้นเป็นวัสดุดูดซับ

3.3.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม - การย้อมสีผ้าเป็นการทำให้ผ้าดูดซับสีโดยใช้ความร้อนทำให้เส้นใยเซลลูโลสของผ้าฝ้ายเกิดการคลายตัวและสามารถดูดซับสีไว้ภายในเส้นใยได้ แต่คาดว่ายังคงมีอนุภาคของสีย้อมคงเหลือในสารละลายและติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยซึ่งสีในส่วนนี้จะมีผลต่อคุณภาพการตกสีของผ้า การเติมฟางข้าวลงไปเป็นสารดูดซับนอกจากจะมีการดูดซับสีออกจากสารละลายแล้วยังมีการดูดซับสีออกจากพื้นผิวของเส้นใยเซลลูโลส หรือจากภายในเส้นใยซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการตกสีของผ้าได้ ดังนั้น การศึกษาและการทดสอบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในด้านคุณภาพสี ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยที่ผ่านการย้อม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าเมื่อทดสอบความคงทนสีต่อน้ำ และการตกสีของผ้าลงสู่ผ้าขาว

ผ้าที่ผ่านการย้อมออกจากสารละลายสีย้อม ทำให้ขนาดด้วยเครื่อง spinner (รูปที่ 3.9) รายละเอียดของเครื่องแสดงในภาคผนวก ข โดยใช้มอเตอร์ควบคุมความเร็วรอบในการหมุนที่ 800 rpm ใช้ระยะเวลาในการหมุนเพื่อทำให้ผ้าขนาด 30 วินาที นำผ้าออกผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกปิดสนิท เพื่อรอกการนำไปวัดค่าคุณภาพสี 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



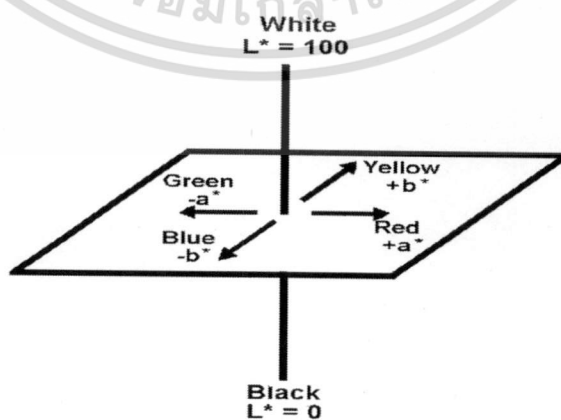
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer) รุ่น Miniscan XE plus

ในการวัดชิ้นตัวอย่างได้ใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งเรียงลำดับจากบน ด้านล่าง และกึ่งกลาง ชิ้นตัวอย่าง 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)



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม - ลักษณะทางกายภาพสามารถบ่งบอกได้ถึง ความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของอนุภาคสีบนเส้นใยเซลลูโลสโดยการ ศึกษาลักษณะทางกายภาพทำโดยนำผ้า ผ้าย และผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ผ่านการ ถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่า และนำเข้าเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope SME) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เพื่อเปรียบเทียบการกระจายของอนุภาคสีบน ผิวของเส้นใยผ้าที่ผ่านการใช้วัสดุดูดซับ และไม่ผ่านการใช้วัสดุดูดซับ

3.3.3.3 การวัดค่าความคงทนของสีต่อน้ำ - การวัดค่าความคงทนของสีต่อน้ำบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลง ของสีผ้าที่ผ่านการแช่ในน้ำตามวิธีในการทดสอบของ มอก 175 โดยหากผ้ามีการเปลี่ยนแปลงสีมากแสดงว่าผ้า นั้น มีความคงทนของสีบนผ้าต่ำโดยขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

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

2 ซั่งชั้นทดสอบ (ตัวอย่างและแผ่นประกบที่เตรียมในข้อ 1) โดยให้หน่วยเป็นกรัม

3 วางชั้นทดสอบหนึ่งชั้นที่เตรียมแล้วลงบนจารที่มีก้นแบนเรียบและเทน้ำลงบนชั้นทดสอบด้วย อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุ 50:1 ให้ชั้นทดสอบเปียกจนทั่วแล้วแช่ชั้นทดสอบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที กัดและขยับชั้นทดสอบเป็นครั้งคราวเพื่อให้ชั้นทดสอบเปียกโดยทั่วถึงจากนั้นเทน้ำทิ้งและใช้แท่งแก้วบีบน้ำที่มาก เกินออก

4 ซั่งชั้นทดสอบอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าชั้นทดสอบหนักเพิ่มขึ้น 2 ถึง 2.5 เท่าจากที่ได้ซั่ง

5 วางชั้นทดสอบระหว่างแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซิน 2 แผ่น นำแผ่นกระจกหรือแผ่น อะคริลิกเรซินทั้งหมด 21 แผ่น ที่มีหรือไม่มีชั้นทดสอบอยู่ วางใส่อุปกรณ์ทดสอบ ที่ผ่านการให้ความร้อนไว้ตาม อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ อุปกรณ์ทดสอบทำจากโครงเหล็กกล้าไร้สนิม มีตุ้มน้ำหนัก (weight-piece) ประมาณ 5 กิโลกรัม และฐานของตุ้มน้ำหนักขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร นำมาวาง ได้แนบพอดี กับแผ่นกระจกหรือ แผ่นอะคริลิกเรซินขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร และหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยมีชั้นทดสอบขนาดกว้าง 40 ± 2 มิลลิเมตร ยาว 100 ± 2 มิลลิเมตร วางอยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซินแล้วให้แรงกด 12.5 กิโล พาสคัลเมื่อนำตุ้มน้ำหนักออก อุปกรณ์ต้องคงแรงกด 12.5 กิโลพาสคัล บนชั้นทดสอบได้ ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบหนึ่ง ชุดมีแผ่นกระจกหรือแผ่นอะคริลิกเรซิน 21 แผ่น อุปกรณ์ทดสอบหนึ่งชุด สามารถใช้ทดสอบได้ 10 ชั้น หากมีชั้น ทดสอบเกิน 10 ชั้น ให้ใช้ชุดทดสอบใหม่และทำการทดสอบพร้อมกัน

6 ใส่อุปกรณ์ที่มีชั้นทดสอบอยู่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงโดยให้ ชั้นทดสอบอยู่ในแนวตั้ง

7 นำชั้นทดสอบออกจากตู้อบ คลี่ตัวอย่างออกจากผ้าประกบ แล้วผึ่งให้แห้งโดยการแขวนที่ อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยให้ชั้นทดสอบและแผ่นประกบติดกันในแนวด้ายเย็บเท่านั้น

8 ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสีโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างก่อนการทดสอบรายงานผลจากระดับการเปลี่ยนสีของตัวอย่างและการเปื้อนของผ้าประคบ โดยเทียบกับผ้าประคบก่อนการทดสอบ โดยใช้เกรสเกลในการวิเคราะห์

9 รายงานผลจากระดับการเปลี่ยนสีของตัวอย่างและระดับการเปื้อนสีของแผ่นประคบ



บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการทดลองย้อมสีผ้าฝ้ายโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อม โดยพิจารณาถึงผลของการเตรียมฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับโดยใช้สารละลายกรดและสารละลายเบสในการเตรียม ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพที่ได้เตรียมขึ้น 2) การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม และ 3) การศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพเพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อมโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพ

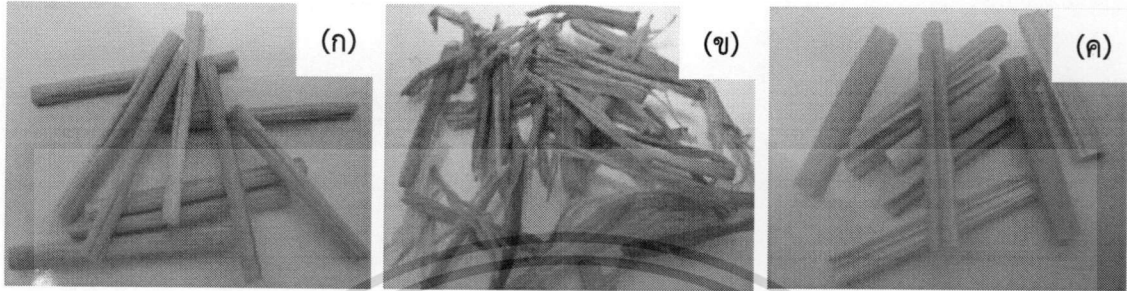
การศึกษาลักษณะทางกายภาพช่วยอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากผลของการเตรียมฟางข้าวเป็นวัสดุดูดซับด้วยสารละลายกรดและสารละลายเบสในการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบสและฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายกรดแสดงในรูปที่ 4.1(ก)-4.1(ค)พิจารณาจากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.1(ก)ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.1(ข)มีลักษณะการพองตัวสูง เส้นใยเซลลูโลสบางส่วนฉีกขาดออกจากกันเป็นชิ้นเล็กๆสำหรับฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.1(ค)มีลักษณะใกล้เคียงกับฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพแต่มีขนาดพองตัวมากกว่าเล็กน้อย

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องไมโครสโคปแบบดิจิทัล (Digital Microscope) ที่กำลังขยาย 500 เท่าแสดงในรูปที่ 4.2(ก)-4.2(ค)พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพในรูปที่ 4.2(ก) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นเป็นมันเงาซึ่งลักษณะที่เป็นมันเงานี้เป็นส่วนของสารเคลือบผิว ได้แก่ ลิกนินและเยื่อหุ้มที่เกิดจากสารประกอบระหว่างซิลิกอนกับเฮมิเซลลูโลส[37] ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสในรูปที่ 4.2(ข) มีลักษณะพื้นผิวหยาบไม่เป็นมันเงาและมีรอยแตกโดยทั่วไปบนพื้นผิว ลักษณะเช่นนี้เกิดจากสารละลายเบสขจัดองค์ประกอบประเภทลิกนินและซิลิกอนซึ่งเป็นสารเคลือบผิวออกจากผิวของฟางข้าวทำให้ผิวของฟางข้าวหยาบขึ้นและขาดความเป็นมันเงา[37] ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในรูปที่ 4.2(ค) มีความเป็นมันเงาน้อยกว่าฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพและมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการแช่ฟางข้าวในสารละลายกรดช่วยขจัดสิ่งสกปรกและสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนเนต และซิลิกาออกจากผิวของฟางข้าว[34]จึงไม่เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของฟางข้าว

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับชีวภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.3(ก)-4.3(ค)พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวตามปกติที่สังเกตเห็นในรูปที่ 4.3(ก)มีลักษณะเป็นปุ่มกรวยเรียงตัวยื่นออกจากพื้นผิว ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยสารละลายเบสดังแสดงในรูปที่ 4.3(ข)การแช่ฟางข้าวในสารละลายเบสเหนียวทำให้เกิดการแตกร้าวของปุ่มรูปกรวยที่ยื่นออกมาจากพื้นผิวนอกจากนี้ยังมีลักษณะหยาบกร้านและรอยแตกตามแนวแกนของพื้นผิวซึ่งอาจเป็นผลจากการที่วัตถุผสม (โดยหลักได้แก่ เฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกขจัดออกไป) ในรูปที่ 4.3(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

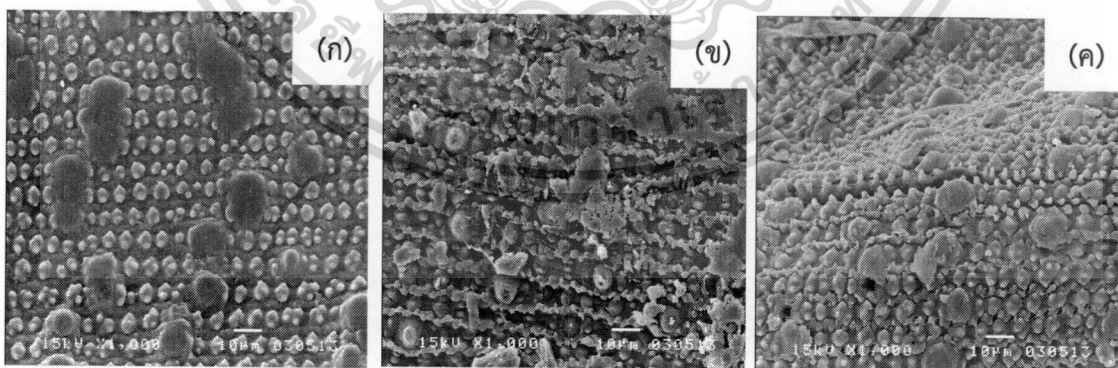
แสดงลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวโดยปกติแล้วฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีลักษณะหยาบกร้านมากกว่ามีรอยแตกร้าวบนพื้นผิวและสังเกตเห็นปุ่มกรวยบนพื้นผิวชัดเจนกว่าลักษณะปุ่มกรวยบนผิวแตกออกเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสารละลายกรดขจัดสารเคลือบผิวออกไปแต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสจะเห็นว่าฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสมีการแตกของปุ่มกรวยบนพื้นผิวมากกว่า



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



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



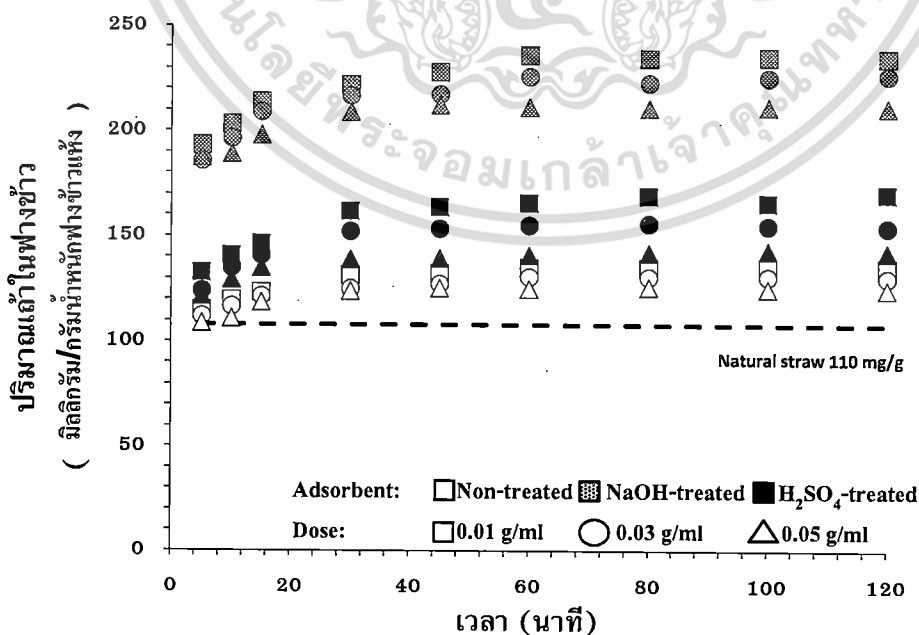
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายพื้นผิวของวัสดุตัดขี้ข้าวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด

พื้นที่ผิวสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของวัสดุดูดซับย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับซึ่งในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการศึกษาค้นคว้าในการดัดแปลงสภาพของวัสดุดูดซับต่อประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับ ชีวภาพ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพได้ทำการศึกษาใน 2 ส่วน คือส่วนแรกศึกษาการตรวจสอบมวลสารประเภทโลหะที่ถูกดูดซับไว้ภายในวัสดุดูดซับชีวภาพ เนื่องจากสีย้อมผ้ามีการผสมมวลสารประเภทโลหะหนักเป็นส่วนประกอบเพื่อให้สีย้อมมีคุณสมบัติในการทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสีสดใส[4] ดังนั้นหากวัสดุดูดซับชีวภาพมีการดูดซับมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมจะสามารถสังเกตได้จากการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับและการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม

4.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับชีวภาพ - การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับแสดงถึงการถ่ายเทมวลสารประเภทโลหะจากสารละลายไปสู่วัสดุดูดซับ โดยเฉลี่ยฟางข้าว(เฉพาะลำต้น) มีสัดส่วนของปริมาณเถ้าเฉลี่ย 110มิลลิกรัม/น้ำหนักฟางแห้ง(กรัม) ซึ่งจากผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมและนำไปทดลองใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า พบว่ามีปริมาณเถ้าสูงกว่าฟางข้าวโดยปกติซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับมีการดูดซับมวลสารประเภทโลหะไว้จึงทำให้มีปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลาในการดูดซับเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าในฟางข้าวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการจับไอออนของโลหะมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับไอออนของโลหะมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง [39]



รูปที่ 4.4 ปริมาณเถ้าของวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลของปริมาณวัสดุดูดซับพบว่าวัสดุดูดซับมีปริมาณเถ้าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม โดยการใช่วัสดุดูดซับสัดส่วน 0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร วัสดุดูดซับมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดรองลงมาคือที่ 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ แม้ว่าการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับในขณะที่ปริมาตรของสารละลายคงที่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซับออกจากสารละลายสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับทำให้ค่าปริมาณเถ้าต่อกรัมของวัสดุดูดซับมีค่าลดลงเนื่องจากน้ำหนักของสีย้อมต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับมีค่าลดลง[39]

การดัดแปลงสภาพของฟางข้าวก่อนการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีผลต่อปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับ โดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดรองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับจากตารางที่ 4.1 พบว่าที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตรระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที (ระยะเวลาหลังจากปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับเข้าสู่สมดุลของการดูดซับการคำนวณเวลาเข้าสู่สมดุลแสดงในภาคผนวก ข) ปริมาณเถ้าซึ่งถูกดูดซับโดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสมีปริมาณสูงที่สุด(517.50 mg) รองลงมาคือปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับโดยฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรด(172.67 mg) และปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับโดยฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ (91.66 mg) เนื่องจากการแช่ฟางข้าวในสารละลายกรดหรือสารละลายเบสช่วยลดปริมาณซิลิกาและลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ขัดขวางการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้เป็นสารดูดซับ โดยลิกนินจะมีลักษณะคล้ายซีเมนต์ ที่ฉาบและอุดระหว่างเส้นใยของไฟเบอร์ และซิลิกาเมื่อมีอยู่บริเวณผิวร่วมกับโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในรูปสารประกอบที่เรียกว่า silicon-cellulose membrane [37] เมื่อซิลิกาและลิกนินถูกขจัดออกหรือลดปริมาณลงจึงสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะออกจากสารละลายได้มากขึ้น จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพมีลักษณะเป็นมันเงาซึ่งเป็นส่วนของสารเคลือบผิวที่ขัดขวางการดูดซับโมเลกุลของสีย้อม ฟางข้าวที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดมีลักษณะพื้นผิวหยาบความเป็นมันเงาลดลงซึ่งแสดงถึงสารเคลือบผิวบางส่วนได้ถูกขจัดออกไปทำให้ดูดซับปริมาณเถ้าได้เพิ่มขึ้น สำหรับฟางข้าวที่แช่ในสารละลายเบสมีลักษณะขุ่นของฟางข้าวแตกออกจากกันเป็นชิ้นส่วนเล็กๆพื้นผิวหยาบขาดความมันเงา และลักษณะโครงสร้างรูพรอบบนพื้นผิวถูกสารละลายต่างเหนี่ยวนำให้แตกออก จึงทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นมาก ส่งผลให้มีปริมาณเถ้าที่ถูกดูดซับไว้สูงที่สุด

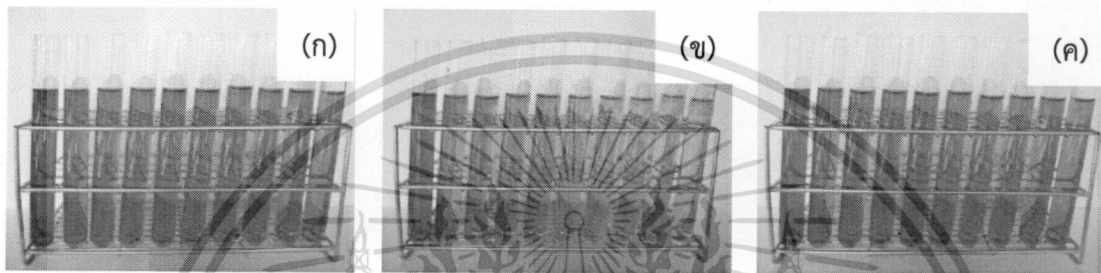
ตารางที่ 4.1 ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที

| วัสดุดูดซับ | ปริมาณเถ้าทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ภายในวัสดุดูดซับ (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 |

เมื่อฟางข้าวมีการดูดซับมวลสารบางชนิดออกจากสารละลายสีย้อมจึงทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสีลดลงในการศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมแสดงในหัวข้อถัดไป

4.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพ

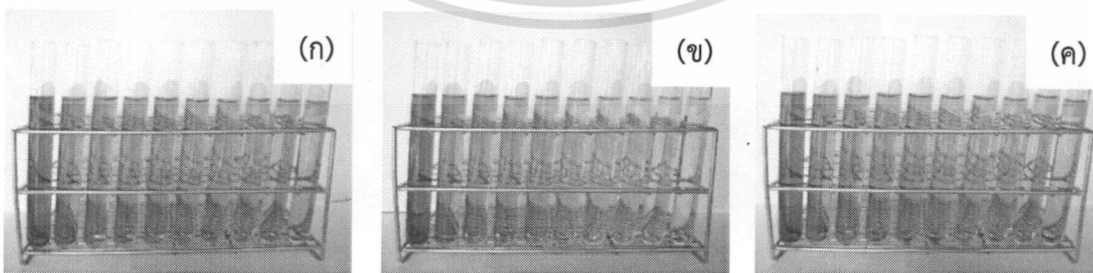
จากการศึกษาความสามารถในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมพบว่าเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น สารละลายสีย้อมมีแนวโน้มซีดจางลงตามรูปที่ 4.5-4.7 เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของสัดส่วนของน้ำหนักรวมตัวดูดซับต่อปริมาณของสารละลายสีย้อมจะเห็นได้ว่า ที่สัดส่วนของน้ำหนักรวมตัวดูดซับต่อน้ำหนักสารละลายสีย้อมที่ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร สารละลายสีย้อมมีสีซีดจางลงมากที่สุด (รูปที่ 4.7) รองลงมาคือที่ 0.03 กรัม/มิลลิลิตร(รูปที่ 4.6) และ 0.01 กรัม/มิลลิลิตร(รูปที่ 4.5) ตามลำดับ และการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ ทำให้สารละลายสีย้อมที่มีสีซีดจางลงมากที่สุดในรูป (ข)รองลงมาคือการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในรูป (ค) และการใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในรูป(ก) ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อม ซึ่งแสดงในหน้าถัดไป



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



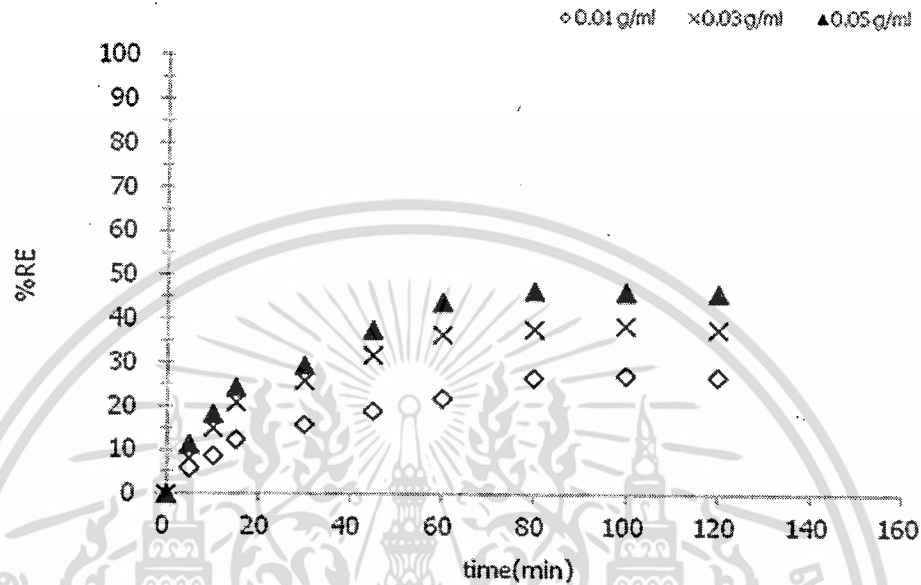
รูปที่ 4.6 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาณสารละลายสีย้อม 0.03 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด



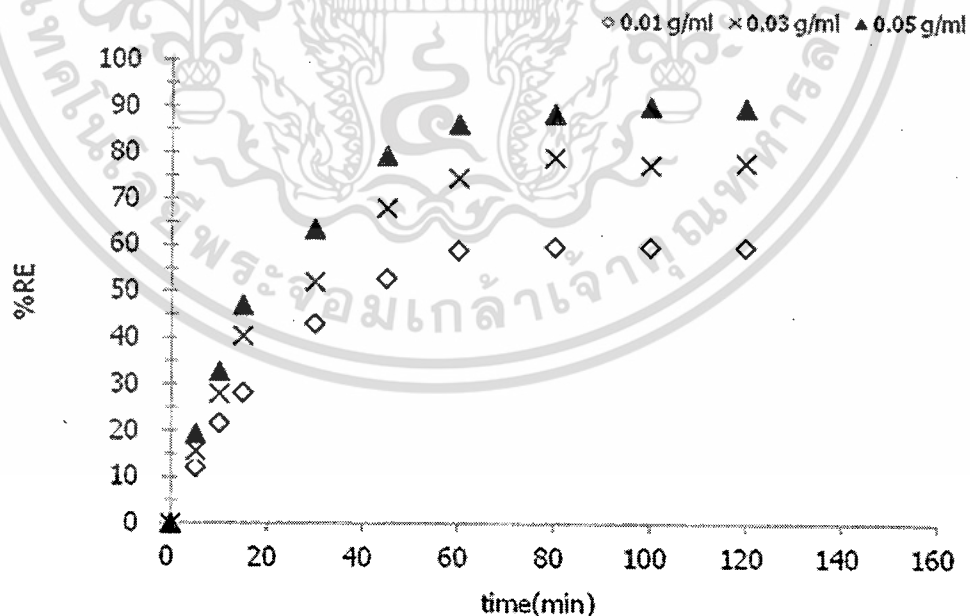
รูปที่ 4.7 สีของสารละลายสีย้อมหลังผ่านการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาณสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที(ก) ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ (ข) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส (ค) ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

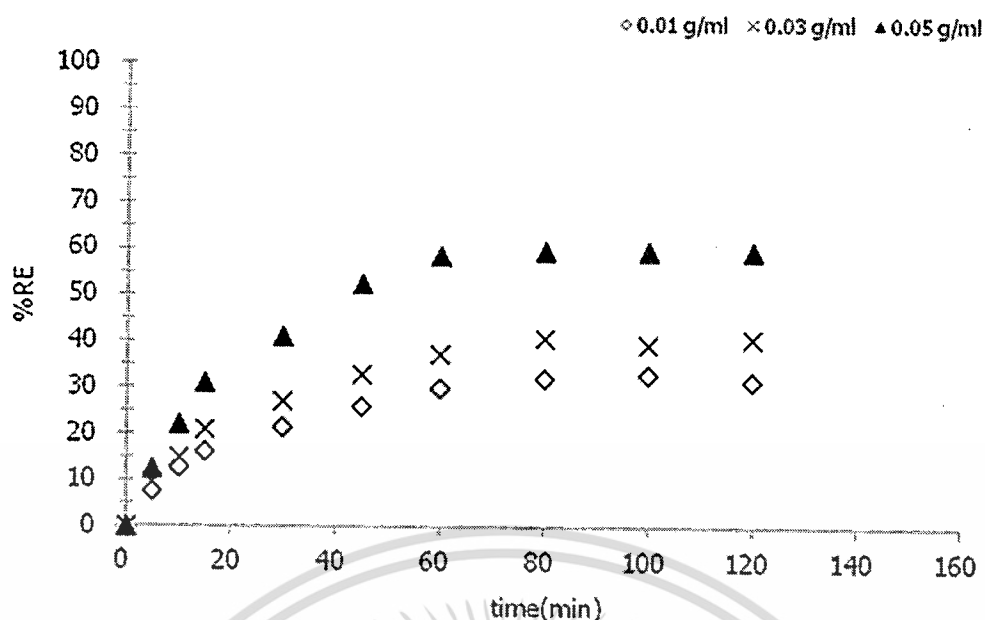
การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมdirect orange 39ออกจากสารละลายมีความสำคัญในแง่ของการขจัดสีที่จะปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้ ผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยใช้ตัวดูดซับชีวภาพเปรียบเทียบโดยการคำนวณประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมโดยคำนึงถึงอิทธิพลของระยะเวลาในการดูดซับและสัดส่วนของปริมาณวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายแสดงในรูปที่ 4.8-4.10



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



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยต่างในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพ (% RE) ของฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

เมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าเกือบคงที่เมื่อใช้เวลาในการแช่วัสดุดูดซับนานกว่า 60 นาที การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณวัสดุดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุดูดซับกับอนุภาคสีย้อมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลในการเตรียมวัสดุดูดซับ 3 ประเภทคือ การใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่ระดับสัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อน้ำหนักสารละลายแตกต่างกันในการขจัดสีออกจากสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับ 80 นาที พบว่าที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ 0.05 g/ml ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายได้สูงที่สุดถึง 88.67% รองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดซึ่งมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย 59.53% และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพมีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย 46.49 % ตามลำดับ เนื่องจากผลของสารละลายกรดและเบสในการขจัดสารเคลือบผิวออกจากฟางข้าว โดยการแช่ฟางข้าวในสารละลายเบสส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เหนียวนำไปเกิดการแตกออกของโครงสร้างรูพรุนบนผิวของฟางข้าวได้มากกว่าการแช่ในสารละลายกรดจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลายดีที่สุด

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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

ในการศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้า ทำโดยการศึกษาด้านคุณภาพสีลักษณะทางกายภาพ และการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำโดยจำลองการใช้งานจริงของผู้บริโภคคือการแช่ผ้าในน้ำโดยดูคุณภาพปริมาณสีที่ตกออกจากผ้าและคุณภาพสีของผ้าที่เปลี่ยนไปซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 การวัดสีของผ้าที่ผ่านการย้อม - คุณภาพสีของผ้าเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพของการย้อม 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 เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน ตั้งแต่ 5-120 นาที มีค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01 g/ml ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0-120 นาที

จากการศึกษาคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมนั้นไม่มีผลต่อคุณภาพสีของผ้า แต่อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมนั้นอาจมีผลในการดูดซับสีส่วนเกินที่ติดอยู่บนผิวของเส้นใยผ้าซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้จากการวัดคุณภาพสี ดังนั้นในลำดับถัดไปจึงทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม

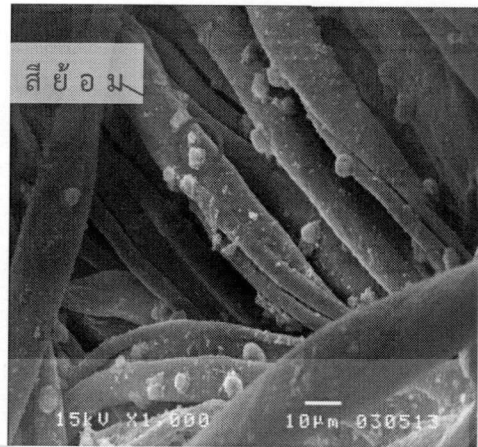
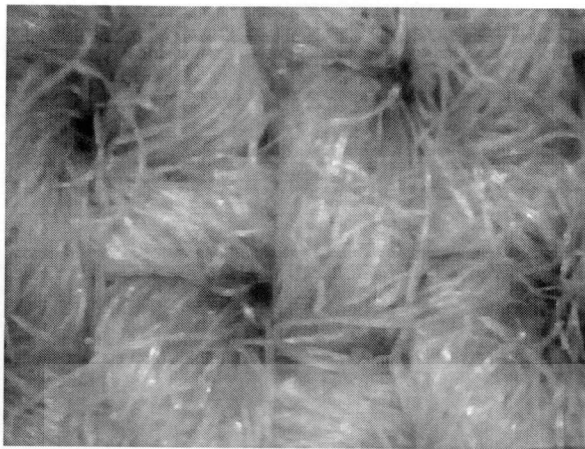
4.3.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพ - จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อม โดยกระบวนการปกติ (ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที) ด้วยกล้องดิจิตอลไมโครสโคปที่กำลังขยาย 500 เท่าแสดง ในภาพที่ 4.12(ซ้าย) และการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 1000 เท่าแสดงในภาพที่ 4.26(ขวา)

ตารางที่ 4.3 ค่าสีในระบบ $L^*a^*b^*$ ของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยความเข้มข้นต่างๆ และผ่านการใช้ตัวดูดซับที่ผ่านการ ดัดแปลงด้วยวิธีการต่างๆกัน

| 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

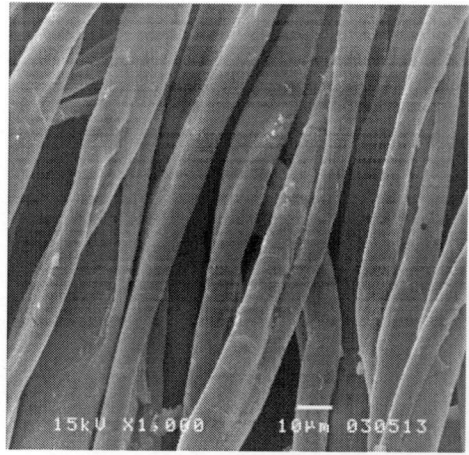
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



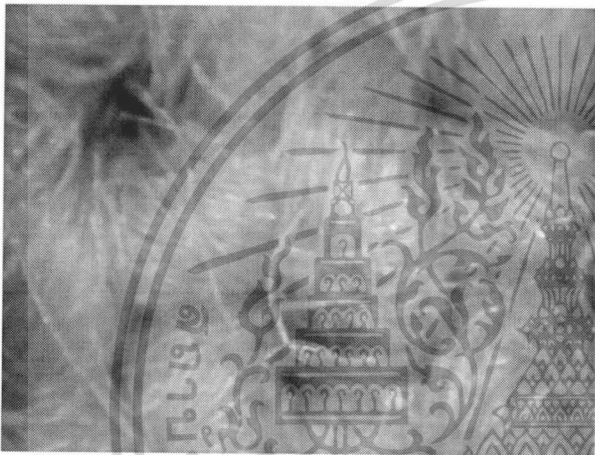
รูปที่ 4.12 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ (ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที) ที่กำลังขยาย 500 เท่า (ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา)

จะเห็นได้ว่าที่กำลังขยาย 500 เท่า ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีลักษณะเป็นเส้นใยสีส้มเรียงกันเป็นมัด เส้นใยแต่ละมัดเรียงตัวกันเป็นสายชัดเจนตามลักษณะทั่วไปของการทอผ้าซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม โดยภาพถ่ายของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสและฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/ปริมาตรสารละลายสีย้อม (มิลลิลิตร) ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที ด้วยกล้องดิจิทัลโมโครสโคป ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงในรูปที่ 4.13 – 4.15 แต่เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000 เท่า สังเกตเห็นว่าเส้นใยของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ ในรูปที่ 4.12 (ขวา) มีอนุภาคของสีติดที่ผิวของเส้นใยเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมในทุกสัดส่วนสัดส่วนที่ได้ทำการทดลอง คือที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อม 0.01, 0.03 และ 0.05 กรัม/มิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที ดังในรูปที่ 4.13-4.15 แสดงตัวอย่างของผ้าภายใต้กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า เมื่อผ่านการย้อมที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 0.03 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระดับการดูดซับที่มีการตัดแปลงสภาพแบบต่างๆ ซึ่งพบว่าสามารถสังเกตเห็นอนุภาคของสีบนเส้นใยเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการไม่ใช้ตัวดูดซับ โดยสังเกตเห็นอนุภาคสีเล็กน้อยบนผิวของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม

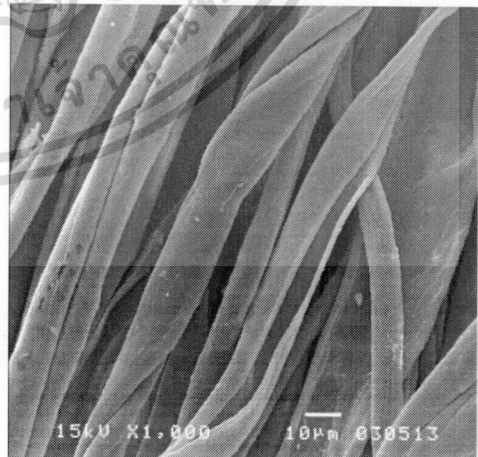
จากภาพถ่ายอิเล็กตรอนของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในการดูดซับสีย้อมออกจากสารละลายในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีผลทำให้อนุภาคสีที่ติดบนเส้นใยมีปริมาณลดลง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อคุณภาพการตกสีของผ้าได้ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการศึกษาคุณภาพการตกสีของผ้า



รูปที่ 4.13 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา)



รูปที่ 4.14 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา)



รูปที่ 4.15 ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับ สัดส่วนวัสดุดูดซับ 0.03 g/ml ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาที ที่กำลังขยาย 500 เท่า(ด้านซ้าย) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การศึกษาความคงทนของสีต่อน้ำ - การศึกษาสมบัติในการคงทนของสีต่อน้ำเป็นการจำลองลักษณะการใช้งานผ้าซึ่งต้องสัมผัสกับน้ำโดยการแช่ชิ้นผ้าที่ต้องการทดสอบลงในน้ำ ทำการศึกษาในส่วนของการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ผ่านการย้อมเมื่อนำไปแช่ในน้ำและการตกติดของสีที่ละลายออกจากชิ้นผ้าลงสู่ผ้าขาวชนิดต่างๆ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมมีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าหลังทำการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำอยู่ที่ระดับ 4 คือสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และสำหรับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 10-120 นาที มีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ระดับ 4-5 คือสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ฟางข้าวทั้งที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีผลทำให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยเมื่อนำไปแช่ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงของสีผ้าสอดคล้องกับการตกติดสีบนผ้าขาวโดยผ้าที่ย้อมโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับชีวภาพมีการตกสีลงสู่ผ้าอะซิเตทขาวในระดับ 3-4 (สีตกติดเล็กน้อย-พอสังเกตเห็นได้) มีการตกสีลงสู่ผ้าฝ้ายขาวในระดับ 1-2 (สีตกติดค่อนข้างมาก-ตกติดมาก) มีการตกสีลงสู่ผ้าไนลอนในระดับ 2-3(สีตกติดพอสังเกตเห็นได้-ตกติดค่อนข้างมาก) และมีการตกสีลงสู่ผ้า โพลีเอสเตอร์ ผ้าอะซิติกและผ้าขนสัตว์ในระดับ 3 (สีตกติดพอสังเกตเห็นได้) สำหรับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยวัสดุดูดซับชีวภาพทั้ง 3 ชนิด โดยรวมมีระดับการตกติดสีบนผ้าอะซิเตทขาว ในระดับ 4 (สีตกติดเล็กน้อย) มีการตกสีลงสู่ผ้าฝ้ายขาวในระดับ 2 (สีตกติดค่อนข้างมาก) และมีการตกสีลงสู่ผ้าไนลอน ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าอะซิติกและผ้าขนสัตว์ในระดับ 3 (สีตกติดพอสังเกตเห็นได้) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมมีการตกติดสีลงสู่ผ้าขาวลดลงอาจเนื่องมาจากวัสดุดูดซับชีวภาพได้ดูดซับสีที่ติดบริเวณผิวออกจากผ้าในระหว่างการย้อมทำให้ผ้ามีการตกสีลดลงสอดคล้องกับการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่าซึ่งพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคของสีเกาะติดบนผิวของเส้นใยมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมอย่างเห็นได้ชัด

จากการทดสอบคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณภาพสี และการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ การใช้วัสดุดูดซับชีวภาพส่งผลให้ผ้ามีการตกสีลดลง มีอนุภาคของสีเกาะติดบนผิวของเส้นใยลดลงและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมดังนั้นวัสดุดูดซับชีวภาพจากฟางข้าวจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ขจัดสี และมวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมในระหว่างกระบวนการย้อมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสีของผ้าและทำให้ผ้ามีคุณภาพการตกสีลดลง

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการทดสอบความคงทนสีต่อน้ำของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติและผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อม

| วัสดุ ดูดซับ | สัดส่วนวัสดุ ดูดซับg/ml | เวลาในการ ดูดซับ(นาที) | ระดับสี เปลี่ยนจากเดิม* | 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 |
| 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

| *สีเปลี่ยนจากเดิม | | | **สีตกติด | | |
|-------------------|---|----------------------------------|-----------|---|----------------------------|
| ระดับ | 5 | หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี | ระดับ | 5 | หมายถึง ไม่มีการตกติดของสี |
| ระดับ | 4 | หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย | ระดับ | 4 | หมายถึง สีตกติดเล็กน้อย |
| ระดับ | 3 | หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตได้ | ระดับ | 3 | หมายถึง สีตกติดพอสังเกตได้ |
| ระดับ | 2 | หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก | ระดับ | 2 | หมายถึง สีตกติดค่อนข้างมาก |
| ระดับ | 1 | หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงมาก | ระดับ | 1 | หมายถึง สีตกติดมาก |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเตรียมฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้า เพื่อขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมและปรับปรุงคุณภาพผ้าที่ผ่านการย้อม โดยศึกษาวัสดุดูดซับได้แก่ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพ ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบส และฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรด ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.01 0.03 และ 0.05 กรัมต่อมิลลิลิตร และระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-120 นาที ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับชีวภาพที่เตรียมขึ้น ศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีย้อมออกจากสารละลาย และศึกษาผลต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมจากการทดลองพบว่า

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

การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสีออกจากสารละลาย ได้ทำการศึกษาการขจัดมวลสารประเภทโลหะและสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม รวมถึงศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสีย้อม จากผลการทดลองศึกษาการขจัดมวลสารประเภทโลหะโดยการวิเคราะห์ปริมาณเงินในวัสดุดูดซับพบว่าเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นวัสดุดูดซับมีปริมาณเงินเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เมื่อพิจารณาผลของสัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรสารละลายสีย้อมพบว่า เมื่อสัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นปริมาณเงินในวัสดุดูดซับมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและจากการเปรียบเทียบปริมาณเงินในวัสดุดูดซับแต่ละชนิดพบว่าฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดมีปริมาณเงินที่ถูกดูดซับไว้สูงที่สุดรองลงมาคือฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพตามลำดับ การทดลองขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมพบว่าเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นสารละลายสีย้อมมีสีซีดจางลง โดยสีของสารละลายสีย้อมที่ใช้สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายสีย้อม 0.05 กรัม/มิลลิลิตร มีสีซีดมากที่สุดรองลงมาคือที่ 0.03 และ 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ สารละลายสีย้อมที่ผ่านการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสมีสีซีดจางที่สุดรองลงมา คือสารละลายสีย้อมที่ผ่านการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดและฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพตามลำดับ สอดคล้องกับการคำนวณร้อยละการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อม(%RE) โดยค่าร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับและมีแนวโน้มคงที่หลังจากเวลา 60 นาที เมื่อสัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายเพิ่มมากขึ้น โดยที่การใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยเบสเป็นวัสดุดูดซับมีค่าร้อยละของการขจัดสีย้อมออกจากสารละลายสูงที่สุดรองลงมาคือการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับและการใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปลงสภาพตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของการใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมต่อคุณภาพของผ้า ทำการศึกษาทางด้านคุณภาพสี ลักษณะทางกายภาพ และทดสอบความคงทนสีต่อน้ำซึ่งพบว่าคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมพบว่าลักษณะสีของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติ(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน มีลักษณะไม่แตกต่างกันซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติและผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน มีค่า L^* , a^* , และ b^* ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมพบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยกระบวนการปกติ(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 0 นาที)และผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม(ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 45 และ 80 นาที) ที่กำลังขยาย 500 เท่า ลักษณะเส้นใยของผ้าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นได้ว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติมีอนุภาคของสีติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมในทุกสัดส่วนสัดส่วนที่ได้ทำการทดลอง แพบไม่สังเกตเห็นอนุภาคของสีบนเส้นใย โดยสังเกตเห็นอนุภาคสีเล็กน้อยบนผิวของผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปลงสภาพ และฟางข้าวที่ผ่านการดัดแปลงสภาพด้วยกรดเป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อม ที่สัดส่วนของวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลาย 0.01 กรัม/มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการดูดซับ 45 นาทีผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำแสดงให้เห็นว่าผ้าที่ผ่านการย้อมโดยกระบวนการปกติหลังผ่านการนำไปแช่ในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสีของผ้ามากกว่ารวมถึงมีสีตกลงสู่ผ้าอะซิเตท ผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนขาวได้มากกว่า ผ้าที่ผ่านการย้อมโดยใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมที่สัดส่วนวัสดุดูดซับต่อปริมาตรของสารละลายและระยะเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การทดลองใช้วัสดุดูดซับชีวภาพในระหว่างกระบวนการย้อมสีผ้าเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการย้อมในระดับครัวเรือนเนื่องจากการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก แต่สำหรับการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียต้องใช้ต้นทุนสูงและมีความยากลำบากในการดำเนินการติดตั้ง
- 2) ในการดัดแปลงสภาพฟางข้าวอาจมีการประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยการแช่ฟางข้าวในซีลีซ่า ปูนขาว หรือกรดธรรมชาติเพื่อดัดแปลงสภาพ
- 3) งานวิจัยนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นในการศึกษาประสิทธิภาพของฟางข้าว และการดัดแปลงสภาพในการขจัดสีย้อม มวลสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าที่ผ่านการย้อมในการพัฒนาประสิทธิภาพของการดูดซับในลำดับถัดไปอาจพิจารณาถึงการลดขนาดของอนุภาควัสดุดูดซับ และการบรรจุในถุงโพลีเอสเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการแยกออกจากผ้าภายหลังการใช้
- 4) งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับมวลสารประเภทโลหะโดยการวิเคราะห์ปริมาณแล้ว ซึ่งสารประเภทโลหะนี้ยังไม่ทราบว่าเป็นโลหะชนิดใดซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป
- 5) ฟางที่ผ่านการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับควรมีการนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี เนื่องจากมีส่วนประกอบที่ก่อให้เกิดอันตรายอันได้แก่สีย้อมและโลหะที่ถูกดูดซับไว้ซึ่งอาจนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเป็นต้น
- 6) อาจมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ เช่น กากอ้อย เปลือกข้าวโพด ซีลีซ่า ฯลฯ หรือในส่วนของต้นข้าวเอง เช่น แกลบและใบ ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเช่นเดียวกับลำต้นข้าวซึ่งอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วินัย สมบูรณ์. 2546. การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์โดยผงผักตบชวา. ปรินญาคุณภูมิบัณฑิต 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. วิทยานิพนธ์ปริญญา สาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต. 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). การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไคเร็กซ์จากน้ำทิ้งโรงงาน ฟอกย้อมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [10] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน และธราพงษ์ ศรีคงแก้ว 2552. รายงานการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมฉบับ สมบูรณ์ . ผลของปีตาไซโคลเด็กซ์ทรินที่เชื่อมติดกับสีย้อมและมิโคนาโซลโนเตรทต่อสิ่งทอ” ศูนย์ เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ)
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีย้อม: ไคเร็กซ์ มอก. 739-2530
- [12] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2527. การกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงย้อมผ้า. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลและ สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [13] กาวี ศรีกุลกิจ. 2545. หลักการย้อมสีสิ่งทอ. ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร
- [14] สราวุธ ศรีคุณ 2550. การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านที่สังเคราะห์จาก เปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [15] ลีลี โกศยานนท์. 2541 คู่มือวิชาการสิ่งทอไทย. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร
- [16] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525. คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [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 แพรชยา. 2549. การกำจัดสีย้อมจากน้ำล้างสีย้อมผ้าโยการใช้แกลบที่ปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [21] Danald, L.S., 1999. Soil Physical Chemistry, 2nd.ed., CRC Press, USA, 47-87
- [22] ประพิน ทักษากฤษณะ. 2548. การศึกษาความสำคัญของตัวแปรในกระบวนการกระตุ้นต่อคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [23] Sundstom, D. W., & Klei, H. B. 1979. Wastewater treatment. New Jersey:Prentice-hall
- [24] อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . กรุงเทพมหานคร
- [25] Sundhagul, M. and Attasampunna, P., 2002. Bioconversion of Carbohydrate Residues in Thailand, September, 17, from <http://www.unu.edu.unupress.unupbooks.80362e.80362E0.html>
- [26] 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
- [27] จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์. 2549. ประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวเผาในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเสื้อกบบ้านแพวง จ.มหาสารคาม. วิทยาสารคาม. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- [28] Ozacar, M., and I.A. Sengil. (2005). Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust. Bioresour. Technol. 96:791-795
- [29] Malik, P.K. (2004). Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetic. Hazard Material. 113:81-88
- [30] 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
- [31] 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
- [32] 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

- [33] 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
- [34] 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. *Egyptian journal of aquatic research* (31):1110-0354
- [35] Debasish S., and Amitava B., 2010: Adsorptive Mass Transport of Dye on Rice Husk Ash Water Resource and Protection. 2:424-431
- [36] รุ่งนภา สุขสว่าง. 2550. การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมและโลหะหนักในน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา
- [37] 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
- [38] 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
- [39] พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. การดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง