

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการย้อมสีผ้าที่ใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับชีวภาพ และผลกระทบของการดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้า

*สุพรา มีถาวร¹ และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ¹

¹ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

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

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่กระจายทั่วภูมิภาคของประเทศ ทำให้มีการปนเปื้อนของสีสังเคราะห์และโลหะหนักถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในวงกว้าง การใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นตัวดูดซับเพื่อให้มวลสารประเภทโลหะหนักถ่ายเทกลับเข้าสู่ตัวดูดซับจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมการย้อมผ้าทอมือพื้นเมือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก้วและศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย การทดลองนี้ได้ทำการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสี direct red 80 ที่ระดับความเข้มข้นสีต่อฟาง(dose) เท่ากับ 0.0690.139 และ 0.277กรัม(สี)ต่อกรัม(ฟางน้ำหนักแห้ง) แล้วทำการวัดปริมาณแก้วในฟาง, ในสารละลาย และในผ้าหลังการดูดซับ จากการทดลองพบว่าที่ทุกระดับความเข้มข้นสีต่อฟางมีการถ่ายเทมวลจากสารละลายสีย้อมไปยังฟางอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรกและมีอัตราการถ่ายเทมวลลดลงจนเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที โดยที่มวลแก้วในผ้ามีระดับคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดสีโดยใช้ค่า $L^* a^* b^*$ ที่แสดงว่าสีของผ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: ฟางข้าว;การดูดซับ;การย้อมผ้า

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผ้าทอมือพื้นเมืองในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ตั้งอยู่กระจายทั่วภูมิภาคของประเทศส่งผลให้มีการปนเปื้อนของสีสังเคราะห์ที่ใช้ในการย้อมผ้าลงสู่ธรรมชาติมีวงกว้าง[1] ของเสียจากอุตสาหกรรมนี้จึงเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ หากไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้น้ำที่มีความเข้มข้นของสีสูงขัดขวางการส่องผ่านของแสง ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ[2] สีที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนี้ยากต่อการจัดออกเนื่องจากมีองค์ประกอบของสาร อโรมาติกหลายชนิดที่ทนทานต่อการย่อยของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน[3] นอกจากนี้ในสีสังเคราะห์ยังมีส่วนประกอบที่เป็นโลหะหนักที่ช่วยให้ผ้าที่ผ่านการย้อมมี

สีสดใส[4] โดยที่โลหะหนักดังกล่าวเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายและยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย[5]

โดยทั่วไปมีวิธีการหลากหลายที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ การใช้สารเคมีในการตกตะกอน การใช้สารคาร์บอนในการดูดซับ การแลกเปลี่ยนไอออน และกระบวนการแยกสารโดยใช้เมมเบรน ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดี แต่มีต้นทุนสูงและยากลำบากในการดำเนินการติดตั้ง[6] อีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีคือการใช้ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง[7] แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสียมีข้อจำกัดคือมีค่าใช้จ่ายสูงในการล้างเพื่อกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากถ่านกัมมันต์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่และไม่สามารถใช้ซ้ำกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีต่ำได้[8]

ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยที่ทำการทดสอบใช้สารดูดซับที่มีราคาถูกเพื่อขจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียซึ่งมุ่งเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารดูดซับ[9-12] ฟางข้าวถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่น่าพิจารณาถึงทั้งในแง่ของการเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตข้าวซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย และมีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และซิลิกา ซึ่งเหมาะสมต่อการดักจับไอออนของโลหะหนัก โดยที่ปริมาณโลหะหนักที่ดูดซับโดยฟางข้าวสามารถวัดค่าโดยการหาปริมาณแก้ว

ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กการย้อมสีผ้าทำโดยแช่ผ้าที่ต้องการย้อมลงในสารละลายที่ได้จากการผสมสีย้อมและสารช่วยย้อมลงในน้ำตามอัตราส่วนของสูตรสีที่กำหนดพร้อมกับการให้ความร้อนกับสารละลายระหว่างการย้อม หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนและปล่อยให้สารละลายเย็นลงก่อนจะนำผ้าที่ผ่านการย้อมไปล้างทำความสะอาด ผ้าที่นำมาย้อมมีความสามารถในการดูดซับสีสูงในช่วงที่มีการให้ความร้อนจนกระทั่งอิ่มตัว สำหรับสีส่วนเกินที่ไม่ถูกดูดซับยังคงอยู่ในส่วนของสารละลาย ดังนั้นการเติมฟางข้าวลงไปในช่วงที่เริ่มหยุดให้ความร้อนจึงมีความเป็นไปได้ที่ฟางข้าวจะดูดซับสีส่วนเกินออกจากสารละลาย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก้ว และ 2) ศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

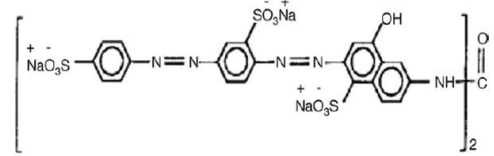
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย สี ฟางข้าว และผ้าฝ้าย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สีที่ใช้เป็นสีย้อมผ้าชนิดไดเรกต์ direct red 80 โดยมีเกลือแกง (NaCl) เป็นสารช่วยย้อม และมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 1

ผ้าฝ้ายที่ใช้ในการทดลองเป็นผ้าที่ผ่านการฟอกขาวและถูกตัดเป็นชิ้นขนาดชิ้นละ 2X2 ตารางนิ้ว (น้ำหนักชิ้นละประมาณ 1 กรัม)

สำหรับฟางข้าวที่ใช้ถูกตัดให้มีขนาดความยาว 2 เซนติเมตร และเลือกเฉพาะส่วนลำต้น (ไม่รวมข้อปล้อง) แล้ว

ล้างทำความสะอาดจนมีค่า pH ของน้ำล้างเท่ากับ 7 หลังจากนั้นนำฟางข้าวมาอบแห้งเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาในถุงพลาสติกป้องกันความชื้น เพื่อรอการนำไปทดลอง



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างสี direct red 80 [13]

2.2 วิธีการทดลอง

ทำการย้อมสีผ้าโดยเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นสีต่อฟาง (dose) ในหน่วย กรัมของสี ต่อ กรัมของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง จำนวน 3 ระดับคือ 0.069, 0.139 และ 0.277 และใส่สารช่วยย้อม (เกลือแกง, NaCl) หลังจากนั้นผ้าฝ้ายจำนวน 1 ชิ้น ใส่ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายสีย้อมปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้นสีที่กำหนด แล้วนำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำบีกเกอร์ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ เติมฟางข้าวลงในแต่ละบีกเกอร์ตามจำนวน dose ที่กำหนด หลังจากนั้นทำการแยกผ้าออกจากสารละลาย และทำการกรองสารละลายเพื่อแยกฟางข้าวออกจากสารละลายที่ระยะเวลาในการแช่ 10 ระดับ คือ 0 5 10 15 30 45 60 80 100 และ 120 นาที โดยการทดลองทั้งสิ้นมีจำนวน 3 ซ้ำ

2.3 การศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก้ว

นำตัวอย่างฟางข้าว ผ้า และสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการแช่ฟางข้าวที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์หาปริมาณแก้วโดยนำตัวอย่างมาเผาในถ้วยกระเบื้องด้วยเตาเผาแก้วรุ่น JSMF-45T ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง [14] หลังจากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณแก้วในวัสดุต่างๆ ตามสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาณแก้ว} = \frac{\text{น้ำหนักแก้วหลังเผา}(g)}{\text{น้ำหนักแก้วก่อนเผา}(g)}$$

2.4 การศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

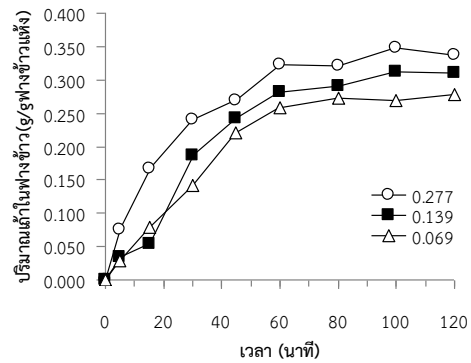
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับที่เวลาต่างๆกัน มาวัดสีด้วยเครื่อง Hunter lab รุ่น Miniscan XE plus ในหน่วย L* a* b* ตามระบบ CIELAB แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการย้อมโดยไม่ใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับ

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ผลการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) ผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้า และ 2) ผลการศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

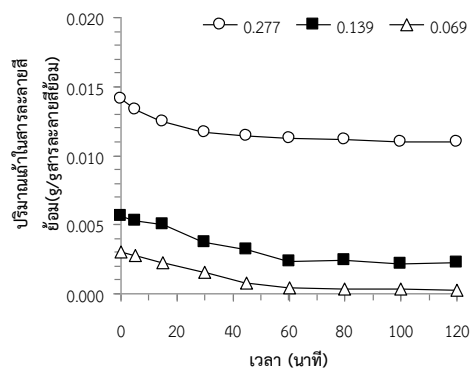
3.1 ผลการศึกษาการดูดซับสีย้อมของฟางข้าวโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้า

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับ สัดส่วนของปริมาณเถ้าที่ถูกฟางข้าวดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นปริมาณเถ้าของฟางข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที ซึ่งสอดคล้องกับที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าในฟางข้าวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกน่าจะเกิดจากพื้นที่ที่ใช้ในการจับไอออนของโลหะมีสูงและเมื่อเวลาดูดซับผ่านไป พื้นที่ผิวที่เหลือสำหรับไอออนของโลหะมีพื้นที่ลดลงส่งผลให้การดูดซับลดลง [15] และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณ dose ของสารละลายย้อมสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเถ้าในฟางสูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสีที่มากขึ้นส่งผลให้เพิ่มแรงขับเคลื่อนให้การถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดเนื่องจากปริมาณสีสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสีสามารถถูกดูดซับได้มากขึ้น [16]



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในฟางข้าวที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

ในรูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าที่คงเหลือในสารละลายสีย้อมมีแนวโน้มลดลง จนมีค่าคงที่ที่เวลาหนึ่งๆ ของแต่ละระดับของ dose ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณเถ้าที่ลดลงเกิดจากฟางข้าวดูดซับสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อม เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของ dose ต่อปริมาณเถ้าคงเหลือในสารละลายสีย้อมพบว่า มีค่าสูงที่สุดที่ระดับ dose มาก และมีค่าลดลงเมื่อ dose ต่ำ ลักษณะของรูปแบบในการกำจัดสีออกจากสารละลายเป็นไปในลักษณะที่ความสามารถในการกำจัดสีออกเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า dose มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการลดสัดส่วนของสีต่อน้ำหนักฟางข้าวเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับโมเลกุลสีเพิ่มมากขึ้น [17]

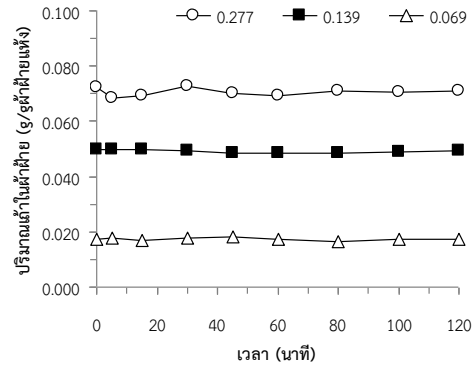


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในสารละลายสีย้อมที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าฟางมีความสามารถในการดูดซับที่ไม่เท่ากัน (วัดจากปริมาณเถ้า) ซึ่งแสดงถึงผลการทดลองไม่ได้หมายถึงจุดอิ่มตัวในการดูดซับของฟาง แต่บ่งบอกถึงความสมดุลของการถ่ายเทมวลสารในระบบ กล่าวคือ อัตรา

การถ่ายเทมวลในระบบเริ่มมีค่าเท่ากับศูนย์ (ความเข้มข้นของเถ้าในสารละลายสี มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของเถ้าในฟาง)

พิจารณาปริมาณเถ้าในผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่ฟางข้าวเวลาต่างๆกันพบว่าเมื่อเพิ่มค่า dose ส่งผลให้ปริมาณเถ้าในผ้าฝ้ายเพิ่มมากขึ้นที่ทุกระยะเวลาในการแช่ และในแต่ละ dose เมื่อเวลาในการแช่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณเถ้าในผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเวลาในการแช่นานขึ้นไม่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าในผ้าฝ้ายมีการเปลี่ยนแปลง (แสดงในรูปที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระหว่างที่มีการให้ความร้อนขณะย้อมสีผ้า เส้นใยของผ้าฝ้ายมีการขยายตัวทำให้มีการดูดซับสี และมวลสารประเภทโลหะได้มากด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล ดังนั้นในระหว่างที่มีการลดอุณหภูมิและเติมฟางข้าวลงไปเพื่อทำการดูดซับสีส่วนเกินหรือโลหะที่ปนเปื้อนในสารละลาย จึงไม่ส่งผลทำให้สีและโลหะที่ติดอยู่กับผ้าถูกฟางข้าวดูดซับออกไปเนื่องจากอนุภาคของสี และโลหะที่อยู่ยึดติดกับผ้าฝ้ายด้วยแรงดึงดูดจำนวนมากของพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล ส่วนสีและโลหะหนักในสารละลายที่เป็นอนุภาคที่ลอยอยู่อิสระไม่มีแรงยึดเหนี่ยวใดๆ กับวัสดุอื่น จึงทำให้ง่ายต่อการถูกดูดซับโดยฟางข้าว [4]



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในผ้าฝ้ายที่ระยะเวลาในการดูดซับใดๆ

3.2 ผลการศึกษาผลกระทบของการใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้าฝ้าย

สีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยไม่มีการเติมฟางข้าว (หรือที่เวลาในการแช่ฟางข้าวเท่ากับ 0 นาที) มีค่าสีในหน่วย $L^* a^* b^*$ ที่ระดับ dose เท่ากับ 0.277 0.139 และ 0.069 มีค่าเท่ากับ 37.58 50.25 27.00, 45.49 49.34 20.65 และ 41.37 49.99 25.65 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งได้ด้วยตาเปล่าออกเป็น 3 เฉดสี (เฉดสีเข้ม เฉดสีกลาง และเฉดสีอ่อน) เมื่อเพิ่มเวลาในการแช่ฟางข้าว ส่งผลให้ค่าสีในทุก dose มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติกับค่าสีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมโดยไม่มีการเติมฟาง ดังนั้นสรุปได้ว่าในการเติมฟางข้าวเพื่อเป็นสารดูดซับในการขจัดสีย้อมหรือสารประเภทโลหะออกจากสารละลายสีย้อมในขั้นตอนการลดอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณภาพสีของผ้าที่ผ่านการย้อมทั้งในเฉดสีอ่อน เฉดสีกลาง และเฉดสีเข้ม

ตารางที่ 1 สีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยระดับความเข้มข้นสีแตกต่างกันและใช้ฟางข้าวเป็นสารดูดซับในระหว่างกระบวนการย้อมใน Scale CIE Lab

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



120	36.94 ^a	50.23 ^a	28.65 ^a	45.27 ^a	49.40 ^a	21.40 ^a	41.92 ^a	49.78 ^a	25.28 ^a
-----	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

*ตัวอักษรยกที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

4. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในสารละลายสีย้อม ผ้าฝ้าย และฟางข้าวพบว่าสัดส่วนของปริมาณเถ้าที่ฟางข้าวดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับสัดส่วนของปริมาณเถ้าในสารละลายลดลงตลอดระยะเวลาในการทดลองหมัก ซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะมีการถ่ายเทมวลสารประเภทโลหะจากสารละลายไปยังฟางข้าว สำหรับสัดส่วนของปริมาณเถ้าที่ผ้าฝ้ายดูดซับมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาในการแช่ฟางข้าว

ค่าสีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะมีการใช้ฟางข้าวในการดูดซับสี และโลหะหนักระหว่างกระบวนการทดลองหมัก

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเช่นฟางในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าในระหว่างกระบวนการย้อม ซึ่งช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ จารุพัชร อาชวะสมิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้ทางด้านการย้อมสีผ้า

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกระบวนการแปรรูปธัญพืชและการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยเหลืองานวิจัย สนับสนุน และให้โอกาสจนสามารถทำโครงการนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] วินัย สมบูรณ์. 2546. การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์โดยผงผักตบชวา. ปรินญาตุษฎีบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- [2] จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์และอุรา ทิพราช. 2549. ประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวเผาในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเสื้อก้านแพง จ. มหาสารคาม. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- [3] Fu, Y., Viraraghavan, T., 2001. Fungal decolorization of dye wastewater: a review.- *Bioresour. Technol.* 79, 251–262.
- [4] ลินลี โกศยานนท์. คู่มือวิศวกรรมสิ่งทอ. โครงการพัฒนาตำราความรู้พื้นฐานในวิทยาศาสตร์สิ่งทอ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [5] Mercedes V., Sandra S., María V., 2012. Hydroxyapatite foams for the immobilization of heavy metals: From waters to the human body: *Inorganica Chimica Acta*, Volume 393, 1 December 2012, Pages 24-35
- [6] Tarley C. R. T. and Arruda M. A. Z. 2004. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere* (54) : 987–995
- [7] Low, K.S., Lee, C.K., Tan, B.F., 2000. Quaternized wood as sorbent for reactive dyes. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 87, 233–245.
- [8] Namasivayam, C., Prabha, D., Kumutha, M., 1998. Removal of direct red and acid brilliant blue by adsorption onto banana pith. *Bioresour. Technol.* 64, 77–79.



- [9] Tan C., Li G., Lu O.X., Chen Z., 2010. Biosorption of Basic Orange using dried *A. filiculoides*. *Ecological Engineering* 36 , 1333–1340
- [10] Bulut, Y., Aydn, H., 2006. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination* 194, 259–267.
- [11] Laasri, L., Elamrani, M.K., Cherkaoui, O., 2007. Removal of two cationic dyes from a textile effluent by filtration-adsorption on wood sawdust. *Environ. Sci. Pollut Resour.* 14, 237–240.
- [12] Aksu, Z., Tezer, S., 2005. Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochem.* 40, 1347–1361.
- [13] Saleem, M., Tahira. P., Riaz. Q., 2007. Sorption of acid violet 17 and direct red 80 dyes on cotton fiber from aqueous solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* 292, 246–250
- [14] A.O.A.C. 2000. Official method analysis association of official analytical chemid. EUA
- [15] Ola, A., Ahmed, E. N., Amany E. S., Azza, K., 2005. Use of rice husk for adsorption of direct dyes form aqueous solution a case study of direct f.scarlet. *Egyptian journal of aquatic research.* VOL. 31, 1110-0354
- [16] พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และ วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร. 2553. การดูดซับสี้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ. *วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 27 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2553*
- [17] Mohan, D., K. P. Singh, S. Sinha, D. Gosh. 2001. Removal of pyridine from aqueous solution using low cost activated carbons derived from agricultural waste materials.