

การพิมพ์ผ้าฝ้ายด้วยสีพิมพ์จากมูลกระบือ Printing Cotton Fabric with Buffalo Dung

ณรัช พรนิธิบุญ¹, ปิยะพงษ์ ยงเพชร² และ ปันณรภัต ถกลภักดี^{3*}

^{1, 2, 3} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Narat Pornitibun¹, Piyaphong Yongphet² and Pannraphat Takolpuckdee^{3*}

^{1, 2, 3} Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage
Pannraphat@vru.ac.th

Received 09 May 2024

Revised 18 December 2024

Accepted 16 January 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ เพื่อการศึกษาสารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ และเพื่อวิเคราะห์คุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ และเพื่อเป็นต้นแบบนำไปใช้เชิงพาณิชย์ ผลการสังเคราะห์สีพิมพ์จากมูลกระบือ สามารถจัดรูปแบบกระบวนการผลิตเป็น 11 ขั้นตอน โดยใช้อุณหภูมิการสกัดอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที แล้วนำมาอบด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที และนำมาบดละเอียด เพื่อเตรียมปรับสภาพมูลกระบือให้เหมาะสมก่อนใช้งาน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผสมกับแป้งพิมพ์สำเร็จต่อไป ผลการใช้สารช่วยย้อมติดสีพิมพ์ ประกอบกับผลการวัดค่าสีระบบ CIE (L*a*b*) โดยเครื่อง Hunter Lab ปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบ คือ สารส้ม และเฟอร์รัสซัลเฟต พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นที่ 0.05 และผลการวัดคุณภาพสีพิมพ์ด้วยมาตรฐาน ISO 105 – C10 Test A 2006 คุณภาพในการทนซักอยู่ในระดับที่ 4 – 5 คือ ดีถึงดีมาก และผลการทดสอบทนต่อการขัดถู ด้วยมาตรฐาน ISO 150-X12 2016 พบว่ามีความทนต่อการซักในสภาวะแห้งได้ดีกว่า โดยประโยชน์ของผลการสังเคราะห์สีพิมพ์จากมูลกระบือสามารถนำไปใช้สู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างรายได้และเป็นแนวทางการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ: มูลกระบือ, สารช่วยย้อม, พิมพ์สกรีน

Abstract

This research aimed to study the natural dye extraction process from buffalo dung, investigate mordants for enhancing dye fixation, and analyze the quality of the natural dye derived from buffalo dung, with the goal of developing a commercial prototype. In order to prepare the material for further processing with pre-mixed printing paste, the synthesis method for creating dye from buffalo dung was divided into 11 parts. These procedures included extraction at 90°C for 45

minutes, drying at 150°C for 60 minutes, and grinding into a fine powder. With a Hunter Lab apparatus, CIE (L*a*b*) color measurements were used to assess the use of mordants, particularly alum and ferrous sulfate. The results showed no statistically significant difference at a confidence level of 0.05. The dye's quality was evaluated using ISO 105-C10 Test A 2006 guidelines, and it showed washing fastness levels ranging from 4 to 5, which were classified as good to very good. Abrasion resistance testing under ISO 150-X12 2016 standards revealed that the dye performed better under dry conditions. The findings highlighted the potential of buffalo dung-derived dye in product development for income generation and as a pathway toward product standard certification.

Keywords: Buffalo Dung, Dyeing Agent, Screen Printing

1. บทนำ

กระบือเป็นสัญลักษณ์สำคัญของวิถีการเกษตรและชีวิตของคนไทยมาตั้งแต่โบราณ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตข้าวและช่วยทุนแรงขานนาในหลายขั้นตอนการเกษตร แต่เทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงและการใช้เครื่องจักรทุนแรงที่มีประสิทธิภาพได้เข้ามา ทำให้เกษตรกรต้องใช้เงินทุนมากขึ้น และเกษตรกรที่ยากจนไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเกษตรกร ร้อยละ 20 ที่ต้องเช่า กระบือในอัตราค่าเช่าสูงและบางครั้งยังไม่สามารถชำระค่าเช่าได้ ทำให้เกษตรกรต้องเผชิญกับภาระหนี้สินและความยากจนในการดำรงชีวิต เป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาทางสังคมและเศรษฐกิจในพื้นที่นี้ไปในทิศทางที่ไม่ดีขึ้นโดยรวมของประเทศ การสนับสนุนและพัฒนาเทคโนโลยีเกษตรและการส่งเสริมแนวทางใหม่ในการเกษตรอาจช่วยแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในอนาคต [1] กระบือไทยนับว่าเป็นสัตว์เลี้ยงที่มีความสำคัญต่อระดับเกษตรกรรายย่อยในชนบทอยู่ตลอดมา โดยนับว่าเป็นส่วนหนึ่งในระบบการผลิตการเกษตรที่มีการเพาะปลูกเป็นรายได้หลัก กระบือ (ควาย) ถูกใช้เป็นแรงงานในภาคการเกษตร การใช้มูลกระบือเป็นปุ๋ยเพื่อไปใช้ในเชิงเกษตรเหลือก็ออกจำหน่าย และเมื่อมีความจำเป็นก็สามารถขายเป็นรายได้อีกทางหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันสามารถใช้ผลผลิตเหลือใช้ที่ได้ในไร่นาซึ่งทำให้มีราคาถูกมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงกระบือเพื่อเปลี่ยนให้เป็นเนื้อสัตว์ที่มีราคาสูงได้จะสังเกตได้ว่ากระบือพื้นเมืองที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบเดียวกันและอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันนั้น กระบือยังคงสภาพเดิม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทำให้กระบือมีความ แตกต่างจากโคและเอื้องประโยชน์ในการนำเอาสารอาหารไปเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อได้ดีกว่าโค อย่างไรก็ตาม จากข้อเท็จจริงซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าการเลี้ยงกระบือของเกษตรกรได้ถูกละเลยจากภาครัฐ และแม้แต่เกษตรกรเองก็นิยมและหันไปเลี้ยงสัตว์พันธุ์ต่างประเทศ การเลี้ยงกระบือของเกษตรกรยังเป็นไปแบบพื้นบ้านไม่มีระบบการผลิตในเชิงธุรกิจ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมองข้ามความสำคัญดังกล่าวซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรเองด้วย [2]

จากปัญหาในกระบวนการบริหารจัดการมูลกระบือ พบว่า กระบือ 1 ตัว จะสามารถถ่ายมูลต่อวันในปริมาณ 25-30 กิโลกรัมต่อวัน มูลกระบือดังกล่าวที่ยังขาดการบริหารจัดการในการนำไปใช้ประโยชน์และยังมีผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งกลิ่นและเป็นแหล่งพาหะนำโรคได้ [3] จากการศึกษาค้นพบว่ามูลกระบือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ นอกจากนำมาทำ

เป็นปุย และสามารถนำไปเป็นวัสดุผสมดินเพื่อขึ้นโครงสร้างเป็นผนังยังฉางข้าว และพืชผลทางการเกษตร ผ่านภูมิปัญญาด้านเกษตร และด้านหัตถกรรม เพื่อลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน หรือลดต้นทุนในการใช้วัสดุแต่ไม่เกิดการสร้างมูลค่าเท่าที่ควร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของมูลกระปือไทยและจะนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นสีพิมพ์สกรีนธรรมชาติและเป็นทางเลือกใหม่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเชิงสร้างสรรค์ ที่ผนวกไปด้วยภูมิปัญญาและวิถีชีวิตต่อไปด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่น

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ
- 2.2 เพื่อการศึกษาสารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ
- 2.3 เพื่อทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ

3. ขอบเขตงานวิจัย

- 3.1 พื้นที่ในการศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
- 3.2 วัตถุดิบมูลกระปือ อายุ 17 ปี จากในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
- 3.3 ระยะเวลาในการดำเนินงานระหว่างเดือน มีนาคม – พฤษภาคม 2567

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 วิธีพิมพ์ผ้าด้วยเทคนิค (สกรีน)

เทคนิควิธีพิมพ์สกรีน (Screen Printing) สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

4.1.1 พิมพ์สกรีนสีเดียวหรือหลายสี (Single or Multi Color) พิมพ์ด้วยหมึกสีทีบ แต่ละสีเกิดจากการพิมพ์สกรีนสีละ 1 ครั้ง โดยการพิมพ์จำนวนมากที่เป็นลักษณะสีเดียวกัน

4.1.2 วิธีพิมพ์แบบหมึกชุดสอดสี (Process Color) พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุด สอดสีใช้หมึกทั้งสี่โปรงแสง ประกอบด้วย สีดำ สีคราม สีบานเย็น และสีเหลือง การพิมพ์ด้วยหมึกประเภทนี้จะเป็นการพิมพ์โดยใช้แม่สกรีนพิมพ์ซ้อนหรือเหลื่อมกันเพื่อให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างหมึกพิมพ์ได้สีต่าง ๆ ออกมามากมายตามต้นฉบับ

4.1.3 วิธีพิมพ์สกรีนเทคนิคพิเศษ (Special Effect) เป็นวิธีพิมพ์สกรีนในชั้นงาน บางชนิดงานที่พิมพ์สกรีนด้วยวิธีทั่วไป เช่น การพิมพ์สกรีนบนวัสดุรูปทรงวงรี บนวัสดุผิวโค้ง และบนวัสดุที่ผิวไม่เรียบหรือมีผิวสัมผัส เป็นต้น

4.2 การใช้สีในวิธีพิมพ์สกรีน

สุภารัตน์ รักชลธิ์และคณะได้ศึกษา [3] สีพิมพ์ (Based Ink) เป็นเรื่องสำคัญที่สุดในการพิมพ์สกรีนในทุกวิธีการ หมึกพิมพ์ สีพิมพ์ มีความเข้มข้นและความละเอียดสูง มีอยู่หลากหลายประเภทเพื่อให้เลือกใช้ได้เหมาะสม กับวิธีพิมพ์สกรีนบนวัสดุต่าง ๆ เช่น ผ้า ไม้ กระดาษ กระดาษ โลหะ แผ่นวงจรไฟฟ้า และพลาสติก เป็นต้น วิธีเตรียมสีพิมพ์สกรีน ได้แก่ สารขุ่น ตัวสี สารช่วยติด ดังนั้นวิธีพิมพ์สกรีนต้องเลือกหมึกให้เหมาะสมและถูกต้อง กับชนิดและประเภทของวัสดุชิ้นงาน ประเภทหมึกพิมพ์สกรีนมีให้ เลือกหลายชนิด อาจจำแนกตามคุณสมบัติอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

4.2.1 สีพิมพ์สกรีนใช้น้ำ (Water-Based Ink) เป็นหมึกพิมพ์สกรีนมีองค์ประกอบของน้ำเป็นตัวทำละลาย ทำให้หมึกพิมพ์สกรีนอยู่ในลักษณะของเหลว หมึกพิมพ์สกรีนใช้น้ำที่ผลิตมีคุณสมบัติของเนื้อสี พร้อมเฉดสีที่แตกต่าง

กัน เนื้อสีแห้งด้วยวิธีการระเหยของน้ำ ถ้ากรณีเนื้อสีมีความเข้มข้นปริมาณมากเกินไปจนความเหมาะสม ให้นำน้ำยาผสมสี (Softy) ทำละลายเพื่อให้เนื้อสีไม่มีกลิ่นเคมี สีพิมพ์สกรีนเชื่อน้ำมันเหมาะสมกับวิธีพิมพ์สกรีนบนวัสดุ เช่น ผ้าพลาสติก และกระดาษ โดยสามารถทำละลายได้ด้วยน้ำ วิธีใช้งานสีพิมพ์สกรีนเชื่อน้ำ จำแนกประเภทสีได้ ดังนี้

4.2.1.1 สีพิมพ์สกรีนธรรมดา สีที่มีลักษณะจมน เหมาะสำหรับการพิมพ์สกรีนผ้าสีขาว หรือผ้าสีอ่อน และวิธีพิมพ์สกรีนกระดาษบางชนิด เนื้อสีพิมพ์จะจมลงบนเนื้อผ้า ทำให้เกิดความเรียบเนียนต่อบนผิวสัมผัสมีคุณสมบัติทนทานต่อการขัดถู

4.2.1.2 สีพิมพ์สกรีนแบบลอย เหมาะสมกับวิธีพิมพ์สกรีนผ้าสีดำหรือสีเข้ม เมื่อสีพิมพ์สกรีนแห้งจะลอยและเฉดสีเด่นชัดมีความสดของสีเมื่อดูด้วยตาเปล่า

4.2.2 สีพิมพ์สกรีนเชื่อน้ำมัน วิธีพิมพ์สกรีนสีเชื่อน้ำมัน (Solvent-Based Ink) หมึกพิมพ์สกรีนที่ต้องทำละลายน้ำมัน และใช้น้ำยาโซลเวนต์ (Solvent) เนื้อสีพิมพ์สกรีนจะทำปฏิกิริยากับอุณหภูมิห้อง วิธีการจกกลิ้งของสีพิมพ์สกรีนเชื่อน้ำมันโดยใช้วิธีน้ำมันที่เป็นตัวทำละลาย โดยแยกประเภทได้ดังนี้

4.2.2.1 สีพิมพ์สกรีนครุไลท์ (Ddlt Ink) ใช้ระยะเวลาของการระเหยของสีพิมพ์สกรีน ต้องผสมน้ำมันเพื่อเร่งปฏิกิริยาหรือน้ำมันสนในการล้างทำความสะอาด เหมาะกับวัสดุงานพิมพ์สกรีนบนโลหะ กระดาษ ไม้ กระดาษ และพลาสติก

4.2.2.2 สีพิมพ์สกรีนพีวีซี (PVC) มีลักษณะสีพิมพ์สกรีนที่แห้งเร็วโดยใช้น้ำมันผสมเพื่อเร่งปฏิกิริยาใช้น้ำมันสำหรับล้างบล็อกสกรีน ผิวสัมผัสสีพิมพ์สกรีน มีลักษณะแบบโปร่งแสง และทึบแสง เหมาะสำหรับการพิมพ์สกรีนบนอะคริลิก กระดาษ หนังเทียม บนขวดพลาสติก และสติ๊กเกอร์

4.3 สารข้น

สารข้น (Thickening Agent) [4] เป็นสารที่มีลักษณะหนืดสูง สารดังกล่าวมีคุณสมบัติดูดความชื้นและน้ำได้ดี ทำให้สารข้นที่อยู่ในแป้งพิมพ์สกรีนจะเป็นตัวทำปฏิกิริยากับสี สารเคมี ที่มีคุณสมบัติทำละลาย เพื่อทำให้แป้งพิมพ์สกรีนติดในวัสดุอย่างสม่ำเสมอ [4] สารข้นเป็นสารที่มีเอกลักษณ์พิเศษ คือช่วยทำให้น้ำมีความหนืดสูงขึ้นลักษณะเดียวกับแป้งเปียก โดยลักษณะพิเศษนี้จึงนำสารข้นมาใช้ประโยชน์ในการพิมพ์สกรีนลวดลายละเอียดต่าง ๆ

4.4 สารมอร์แดนต์

สารมอร์แดนต์ [5] คือ สารธรรมชาติแต่ละชนิดที่เลือกมาผสมใช้เส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติติดสีและมีความคงทนต่อการซักล้าง ขัดถู และไม่ทนต์ต่อแสงยูวี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในของพืชและเส้นใยที่นำมาใช้ย้อม จึงมีการใช้ สารประกอบต่าง ๆ มาเป็นตัวช่วยในการทำให้เส้นใยดูดซับสีให้สีเกาะเส้นใยได้แน่นขึ้น มีความทนทาน ต่อแสงและการขัดถูเพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่าสารช่วยย้อมและสารช่วยให้สีติด สารเหล่านี้นอกจากจะเป็นตัว จับย้อมสีและเพิ่มการติดสีในเส้นใยแล้วยังช่วยเปลี่ยนเฉดสีให้เข้มจางหรือสดใสสว่างขึ้น

4.4.1 สารช่วยย้อม หรือสารกระตุ้นสี เป็นสารที่ช่วยให้สีติดกับเส้นด้ายดีขึ้นและ เปลี่ยนเฉดสีธรรมชาติให้เปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิม ในสมัยโบราณจะใช้น้ำเกลือหรือปัสสาวะสัตว์ลงไปจนถึงย้อม ปัจจุบันมีการใช้สารที่ได้จากสีเคมีและสารธรรมชาติดังนี้

4.4.1.1 สารช่วยย้อมเคมี (มอร์แดนต์) หมายถึงวัตถุธาตุที่ใช้ผสมสีเพื่อให้สีติด แน่นกับผ้าที่ย้อม ส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะพวกอลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง ดีบุกและโครเมียม สำหรับมอร์แดนต์ที่แนะนำให้ใช้สำหรับการย้อมระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนเป็นสารเคมีเกรดการค้าซึ่งมีราคาถูก คุณภาพเหมาะสมกับงาน มีวิธีการใช้งานที่สะดวกโดยการชั่ง ตวง วัดพื้นฐาน แล้วนำไปละลายน้ำตามอัตราส่วนที่ต้องการและหาซื้อได้ง่ายจากร้านค้าสารเคมี

ทางวิทยาศาสตร์ หรือทาง การแพทย์ทั่วไป สารมอร์แดนต์ที่ใช้กันทั่วไป คือ

1) สารส้ม (มอร์แดนต์อลูมิเนียม) จะช่วยจับยึดติดสีกับเส้นด้ายและช่วยให้สีสดใส และสว่างขึ้น มักใช้กับการย้อมสีน้ำตาล - เหลือง - เขียว

2) เฟอร์รัสซัลเฟต (มอร์แดนต์เหล็ก) เหล็กจะช่วยย้อมสีติดเส้นด้ายและ ช่วยเปลี่ยนเฉดสีย้อมธรรมชาติจากเดิมพืช เป็นสีโทนเทา - ดำ ซึ่งมอร์แดนต์เหล็กมีข้อดี คือสามารถควบคุม ปริมาณการใช้ได้ แต่มีข้อควรระวัง คือไม่ควรใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพราะเหล็กจะทำให้เส้นด้ายเปื่อย

4.5 วิธีย้อมสีพิมพ์

วิธีทำให้สีติดบนผ้าและเส้นด้ายดี [6] นั้นจะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ประกอบหลัก และมีระยะเวลาเป็นปัจจัยเสริม ดังต่อไปนี้

4.5.1 อุณหภูมิที่เหมาะสม จะเกิดปฏิกิริยาฟิล์มของสารชั้นพองตัว แต่ต้องควบคุมให้เหมาะสม ทำให้สารชั้นที่พิมพ์สกรีนเกิดการกระจายตัวออก ซึ่งจะทำให้สลายหลุดกรอบของเส้นบล็อกสกรีน

4.5.2 อุณหภูมิทำให้สีพิมพ์เป็นสารแขวนลอยหรือสารละลาย เพื่อเป็นตัวกลางทำให้เกิดปฏิกิริยาการกระจายติดเส้นใยได้เหมาะสม

4.5.3 อุณหภูมิทำให้เส้นใยเกิดปฏิกิริยาดูดซับสีพิมพ์สกรีนได้ดี ทำให้เส้นใยสามารถรับติดสีเข้าไปภายในเส้นใยได้ดี

4.5.4 อุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของสีได้ดี สามารถเติมสารประเภทดูดความชื้น ทำให้สีพิมพ์สกรีนกระจายติดในเส้นใยได้ดีขึ้น

4.6 สีธรรมชาติ

สีธรรมชาติ หมายถึง สารที่สกัดได้จากวัสดุธรรมชาติ เช่น พืช สัตว์ และแร่ธาตุ ที่สามารถทำละลายในน้ำ และสามารถนำมาใช้เพื่อย้อมผ้า ผ่านกระบวนการต้ม หมัก สามารถให้สีติดในเส้นใยได้ดี สอดคล้องกับประวัติศาสตร์การใช้สีจากธรรมชาติที่มีมานานกว่า 2,000 ปี และมีการบันทึกครั้งแรกเกี่ยวกับการใช้สีครามในประเทศจีนมีอายุมากกว่า 6,000 ปี ในราชวงศ์ฉิน [7] สีธรรมชาติที่ประวัติศาสตร์ของไทยมีความหลากหลายในทั้งสีและแหล่งที่มาเนื่องจากมี

การสกัดสารจากวัสดุธรรมชาติที่แตกต่างกัน เช่น พืช สัตว์ และแร่ธาตุ [8] การสกัดสีจากพืชบางชนิดไม่เหมาะสมและไม่คงทน ต่อการซักล้าง หรือทนต่อแสง ทำให้ได้สีออกเข้มหมอง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สีย้อมสังเคราะห์หรือสีเคมีในภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ การใช้สีย้อมสังเคราะห์ทำให้ผ้าทอสดใสจึงนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เมื่อนำมาใช้เป็นระยะเวลานานสีสังเคราะห์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ต้องกลับมาอนุรักษ์ในการใช้สีธรรมชาติ แต่กระบวนการและองค์ความรู้การสกัดสีจากธรรมชาติกลับลดลง [9],[10] การแบ่งสีธรรมชาติตามแหล่งที่มาได้ 3 ประเภทดังนี้

4.6.1 การใช้สีจากพืช (Vegetable Dyes) หาวัสดุธรรมชาติที่ใช้สกัดสารสีได้ง่าย และสามารถให้สีสันทันทีหลากหลายได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก เปลือกกราก ลำต้น เปลือกลำต้น แกนไม้ ใบ ดอก ผล และเมล็ด การใช้สีจากพืชมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน

4.6.2 สีจากสัตว์ (Animal Dyes) ได้รับมาจากตัวแมลงครึ่งหรือสารที่เกิดจากการคัดหลั่งออกของตัวแมลง เช่น โคชินิล (Cochineal) เคอร์มิส (Kermes) และครั่ง (Lac) ซึ่งให้สีสันทันทีมีหลายเฉดและมีคุณภาพสูง เนื่องจากสารสีที่ได้มีความคงทนต่อแสงยูวี และความคงทนในการซักล้าง เป็นที่นิยมในการสกัดสีธรรมชาติในภาคอุตสาหกรรม

เครื่องสำอางการย้อมผ้า และสีสำหรับงานศิลปะต่าง ๆ

4.7 ทฤษฎีการวัดค่าสี

4.7.1 การวัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเทียบคุณสมบัติการมองเห็นของสีต่อวัตถุตัวแปร L^* แทนความสว่างหรือความเข้มของสี a^* แทนค่าสีแดงแทนค่าสีเขียว และ b^* แทนค่าสีน้ำเงินแทนค่าสีเหลือง ซึ่งทั้งสามตัวแปรแทนค่าเป็นตัวเลขที่ใช้บ่งบอกลักษณะของสี และการมองเห็นสีของมนุษย์เกิดจากแสงกระทบต่อวัตถุนั้น ๆ และสะท้อนสีเข้าตา ส่งไปยังสมองที่แปลงออกมาเป็นสีที่เราเห็น การใช้เครื่องวัดสีในระบบ $L^* a^* b^*$ ช่วยในการแปลงค่าสีของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีมาตรฐาน ส่งผลให้สามารถควบคุมคุณภาพสีบนผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐาน [11]

4.7.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดเฉดสีมีอยู่ 3 ประเภท

1) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) มีผลอย่างมากในการบรรยายสีของ วัตถุแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการมองเห็นมาจาก 2 แหล่ง คือ

(ก) แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์หรือ แสงแดดในตอนกลางวัน (Daylight) ส่องมายังพื้นผิวโลกเป็นแสงสีขาว และเมื่อผ่านปริซึมแสงสีขาวนี้ จะแยกออกเป็นเฉดสีที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 7 สี โดยสีจะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันอยู่ในช่วงระหว่าง 400 - 780 นาโนเมตร แต่แสงแดดในแต่ละท้องที่ของประเทศต่างจะพบว่าการกระจายพลังงาน (Spectral Energy Distribution : SED) ที่แตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฤดูและช่วงเวลา ดังนั้น การมองเห็นสีที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติในช่วงเวลา สถานที่ หรือสภาพอากาศที่แตกต่างกันแล้ว ก็เป็นสาเหตุให้การมองเห็นสีต่างกันไปด้วย

(ข) แหล่งกำเนิดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น มีอยู่กันหลายแบบ ได้แก่ หลอดไฟ Incandescence หลอดไฟทั้งสแตนด์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไฟซินอนอาร์ต

2) วัตถุที่มอง (Specimen) วัตถุที่ทึบแสง (Opaque) จะได้จากการสะท้อนของแสงและกระทบและเกิดสีที่แตกต่างจากวัตถุโปร่งแสง (Translucent)

3) ผู้สังเกตการณ์ (Observer) เป็นปัจจัยสำคัญของการมองเห็นเมื่อแสงตกกระทบและสะท้อนบนวัตถุเข้าตาผู้สังเกตการณ์แล้วส่งไปยังเรตินาที่มีจุดไวต่อแสงแบ่งได้อยู่ 2 ชนิด คือ ส่วนแยกความแตกต่างระหว่างความทึบแสง และความสว่าง สามารถแบ่งสีที่เรียกว่า Cones แยกออกเป็น 3 ชนิด คือ ส่วนที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

4.7.1.2 การมองเห็นด้วยตาสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของวัตถุได้ด้วยลักษณะที่แตกต่างกัน

1) Hue (สี) คือสีที่ปรากฏในการมองเห็น เช่น สีแดง สีเขียว หรือสีน้ำเงิน สีนี้บ่งบอกถึงลักษณะพื้นฐานของสีที่มองเห็นได้

2) Lightness (ความสว่าง) หมายถึงระดับความสว่างหรือความมืดของสี ซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสงที่มีค่าต่างกันสีที่มีความสว่างมากจะดูสว่าง ส่วนสีที่มีความสว่างน้อยจะดูมืด

3) Chroma (ความสดใส) คือความเข้มและความบริสุทธิ์ของสี ซึ่งบ่งบอกถึงความเข้มของสีและปริมาณของสีที่ปรากฏสีที่มี Chroma สูงจะดูสดใสและมีความเข้ม

4.7.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสีเรียกว่า "สเปกโตรโฟโตมิเตอร์" (Spectrophotometer) ซึ่งสามารถวัดสีของวัตถุและแปลงผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลขได้ โดยการวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุแล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็นกราฟการสะท้อนแสง (Reflectance Curve) ของสีนั้น ๆ วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมีกราฟการ

สะท้อนแสงที่ต่างกัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถใช้วัดค่าสีในระบบ CE ($L^*a^*b^*$) ซึ่งกำหนดให้ L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100 โดยค่า L^* เพิ่มขึ้นจะหมายถึงสีที่สว่างมากขึ้น นอกจากนี้ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยังสามารถทำการวัดค่าความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ เช่น สีน้ำเงินมีความยาวคลื่นที่ 430 - 460 นาโนเมตร สีเขียวมีความยาวคลื่นที่ 500 - 580 นาโนเมตร และสีแดงมีความยาวคลื่นที่ 620 - 780 นาโนเมตร ทำให้สามารถวัดและทำความเข้าใจลักษณะของสีได้อย่างละเอียด

แกน a^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางในทิศทางสีแดง

แกน a^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็น

ตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณา จะพบว่าจุด ๆ หนึ่งในพื้นที่ (Space) นั้น เป็น $L^* a^* b^*$ และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปได้อีกจุดหนึ่ง พื้นที่ (Space) เป็น $L^* a^* b^*$ ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันในพื้นที่ (Space) เท่าไรก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสี ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

โดย ΔE^* คือ ค่าความแตกต่างของสีสอดคล้องได้ว่าการมองเห็นสีของมนุษย์ และการวัดสีด้วยเครื่องวัดจะต้องอาศัยปัจจัยที่มีผลต่อการมองเห็นสีและการวัดสีมีปัจจัย 3 อย่าง ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง แสงที่มีความแตกต่างกันอาจสร้างผลต่อการมองเห็นสีของวัตถุจากแสงแหล่งต่าง ๆ อาจมีอัตราส่วนและเฉดสีที่ต่างกัน วัตถุที่มีสีต่าง ๆ จะสะท้อนแสงได้ตามลักษณะของสีนั้น ๆ หรือวัสดุที่สะท้อนให้เห็นทำให้เกิดการมองเห็นสี การอ่านค่าสีความแตกต่างในการมองเห็นสีของแต่ละบุคคลอาจมีผลต่อวิธีการอ่านค่าสี สำหรับเครื่องวัดสีสามารถให้ผลลัพธ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานเชื่อถือได้ และสามารถวัดความแตกต่างของเฉดสีผ่านค่าตัวเลขที่แปรผลได้แม่นยำ การมองเห็นแต่ละบุคคลอาจมีความต่างในการมองเห็นสี การรับรู้สภาพแวดล้อม หรือความแตกต่างทางพันธุกรรมที่ทำให้การอ่านค่าสีส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันไป ในทางอุตสาหกรรมการใช้เครื่องวัดสีช่วยให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องตามมาตรฐาน

4.7.2 ค่าความเข้มของสี (K/S) ถูกวัดจากการสะท้อนแสง (Reflectance) ของวัสดุ โดยที่ถ้าสะท้อนออกมาทั้งหมด ค่า Reflectance (R) จะเท่ากับ 1 และถ้าดูดกลืนหมด ค่า Reflectance (R) จะเท่ากับ 0 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า Reflectance (R) กับค่าความเข้มของสี (K/S) ซึ่งค่า K คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorption Coefficient) ของวัสดุ และค่า S คือ ค่าการกระจายแสง (Scattering Coefficient) ของวัสดุ การหาค่า K และ S ไม่สามารถที่จะวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาอัตราส่วนของ K และ S เป็นค่า (K/S) หรือความเข้มของสี โดยที่เปรียบเทียบกับค่า Reflectance (R) ของวัสดุที่วัดได้ ค่า (K/S) ของวัสดุที่บดจะมีค่าคล้าย ๆ กับค่า Absorbance ของสารละลาย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย นั้นหมายความว่า ค่า (K/S) สามารถใช้เพื่อประมาณค่าดูดกลืนแสงของวัสดุที่บดได้ ค่า (K/S) มีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของสารละลาย ตามสมการที่ (2)

$$K / S = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (2)$$

ค่า (K/S) แสดงให้เห็นถึงความยาวของคลื่นแสงที่ไม่เท่ากัน และมีค่าเฉพาะของแต่ละความยาวคลื่น เมื่อ

เทียบกับมาตรฐาน โดยมาตรฐานมีวิธีวัดที่ Lambda Max ของแต่ละสี ซึ่ง Lambda Max คือ แทนค่าความยาวคลื่นที่ (K/S) ระดับที่สูงที่สุดในทางวิทยาศาสตร์ ค่าสี Lambda Max ของแต่ละสีมีการกำหนดไว้เป็นตำแหน่งที่มีความยาวคลื่นที่สูงสุด (Peak) Yellow Lambda Max ของ (K/S) อยู่ในระดับที่ 420 นาโนเมตร Red Lambda Max ของ (K/S) หรือ 520 นาโนเมตร Blue Lambda Max ของ (K/S) ที่ 620 นาโนเมตร ในวิธีการ Tistimodus เมื่อแสดงค่า (K/S) ของแต่ละแม่สี สามารถนำค่าใช้ในการประเมิน อัตราส่วนของแต่ละสีที่ต้องผสมเพื่อให้ได้ Target ที่ต้องการ วิธีนี้ถูกเรียกว่า Tistimodus เมื่อแสดงค่า (K/S) ของสีที่ใช้เป็นแม่สี สามารถคำนวณหาปริมาณของแต่ละสีที่ใช้ในการผสมเพื่อให้ได้ Target ที่ต้องการได้

4.8 การทดสอบความคงทนของสี

4.8.1 ความคงทนของสีต่อการซักล้างเป็นการทดสอบที่กำหนดขึ้นเพื่อประเมินความคงทนของสีของวัสดุสิ่งทอต่อการซักล้างในสอดคล้องกับการใช้งานจริง การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 105 – C10 Test A 2006 โดยใช้วิธีการต่อไปนี้ เตรียมตัวอย่าง นำชิ้นทดสอบที่ประกบติดอยู่กับผ้าหลายเส้นใย โดยการนำตัวอย่างทดสอบมาล้างในสารละลายน้ำสบู่ที่กำหนดตามมาตรฐาน ภายใต้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด และประเมินผลหลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น จากนั้นประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของสีบนชิ้นทดสอบและประเมินค่าการติดเปื้อนสีบนผ้าตัวอย่างที่ประกบติดอยู่กับผ้าหลายเส้นใย เช่น ผ้าไหม ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าอะคริลิก เป็นต้น การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างเป็นวิธีการทดสอบสรุปข้อมูลเป็นระดับ เพื่อประเมินความทนของสีต่อการใช้งานปกติในสภาพแวดล้อมที่มีการล้างซ้ำ ๆ ซึ่งมีความสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอและการผลิตเสื้อผ้า

4.8.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู ขอบเขตการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู

4.8.2.1 วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105- X12 2016 ใช้ทดสอบความคงทนของสี ต่อการขัดถู และการตกลีบสีของวัสดุอื่น และใช้ได้กับสิ่งทอทุกชนิด

4.8.2.2 วิธีการทดสอบนี้ประยุกต์ใช้กับวัสดุสิ่งทอที่นำมาปูคลุมบนพื้น

4.8.2.3 วิธีการทดสอบแบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีการขัดถูด้วยผ้าขาวแห้ง และวิธีการขัดถูด้วยผ้าขาวเปียก ความคงทนของสีต่อการขัดถู ตามมาตรฐาน ISO 105 - X12 2016 ชิ้นตัวอย่างทดสอบจะถูกนำมาขัดถูกับผ้าขาวแห้ง และผ้าขาวเปียก

4.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.9.1 ณัฐดนัย รุ่งเรืองกิจไกร และคณะ [12] ได้ศึกษาการพิมพ์ผ้าฝ้ายด้วยแป้งจากหัวบอน โดยใช้สีพิกเมนต์ (Pigment) ในกระบวนการการพิมพ์ ผ้าฝ้ายถูกพิมพ์ด้วยสารกันสีที่ได้จากแป้งของหัวบอนและใช้เทคนิคการใช้สีพิกเมนต์เป็นสีพิมพ์ทับ การวิจัยนี้ตรวจสอบสมบัติการพิมพ์ภายใต้กระบวนการต่าง ๆ โดยสำรวจความเข้มของสี (Colour Strength K/S) ความขาว (Whiteness) และความคงทนของสี ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผ้าที่ผ่านการพิมพ์มีความเข้มสีอยู่ในระดับที่เข้ม ลวดลายที่กันสับผ้ามีความชัดเจนและมีความขาว ความคงทนของสีมีค่าอยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านความเข้มของสีและความขาว การวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงความสามารถในการพัฒนากระบวนการพิมพ์ผ้าฝ้ายด้วยแป้งจากพืชหัวบอนในทางที่มีประสิทธิภาพและคงทนต่อการใช้งานผลความคงทนของสีมีค่าอยู่ในระดับระหว่างพอใช้ถึงดี

4.9.2 จรูญ คล้ายจ้อย และคณะ [13] จากผลการศึกษาคูณสมบัติการพิมพ์สกรีน และความคงทนของสีของผ้าไหมที่พิมพ์สกรีนด้วยสีจากเปลือกมะพูด และแป้งจากหัวบอน โดยมุ่งการประเมินผลการพิมพ์สกรีนโดยใช้วิธีกันสี และใช้สารกันสีจากแป้งจากหัวบอน เพื่อพิมพ์สีพิมพ์จากการสกรีนเปลือกมะพูด และพิมพ์ทับตามลายที่กำหนด สาร

กันสีที่จากแป้งของหัวบอนมีอัตราส่วนดังนี้ แป้งจากหัวบอน ร้อยละ 19 น้ำ ร้อยละ 17 โซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 38 แคลเซียมไฮโปไซต์ ร้อยละ 17 และน้ำมันพืช ร้อยละ 9 แล้วนำมาผ่านกระบวนการให้เกิดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ ที่ 110 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ผ่านการทดลองเพื่อช่วยกันสี และนำมาล้างแป้งจากหัวบอนออกง่าย จากผลการทดลอง แสดงถึงเป้าหมายเกิดการพัฒนาระบบการพิมพ์ผ้าไหม ด้วยวิธีสีจากเปลือกมะพูดและแป้งจากหัวบอน เพื่อได้รับ มาตรฐานที่มีคุณภาพ และเหมาะสมกับการใช้งานด้วยลวดลายที่ออกแบบ จากกระบวนการพบว่าลวดลายที่คมชัด ผล ความคงทนต่อการขัดถูของสีพิมพ์สกรีนมีค่าอยู่ในระดับระหว่าง พอใช้ถึงดี

4.9.3 Mongkhrolattanasit et al. [14] ได้ศึกษาการพิมพ์บนผ้าไหมด้วยสีธรรมชาติจากสีเสียด ที่ใช้แป้ง จากหัวบอนโดยการพิมพ์แบบรีซิสต์ ศึกษาการพิมพ์กันโดยการใส่สารกันสีจากแป้งที่ได้จากหัว บอนและใช้สีจาก สีเสียด เป็นเทคนิคการทำบาติกด้วยสีธรรมชาติ สัดส่วนที่เหมาะสมของสารกันสีที่ได้ จากแป้งของหัวบอน ประกอบด้วยแป้งจากหัวบอนร้อยละ 200 น้ำร้อยละ 36 โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 30 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และน้ำมันพืชร้อยละ 4 การพ่นสีด้วยลมร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส 3 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถช่วยกัน สีและสามารถล้างแป้งจากหัวบอนออกได้ง่าย ลวดลายบริเวณที่กันสีบนผ้าจะให้ลวดลายที่คมชัดและมีความขาว ผล ความคงทนของสีต่อแสงและการ ขัดถูมีค่าอยู่ในระดับระหว่างพอใช้ถึงดี อย่างไรก็ตามผลความคงทนของสีต่อการซัก ล้าง น้ำและเหงื่ออยู่ ในระดับต่ำ

4.9.4 Klaichoi et al. [15] จากการศึกษาคุณสมบัติการพิมพ์สกรีนและความคงทนของ ผ้าฝ้ายที่พิมพ์สี ธรรมชาติจากสีเสียด ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีน ด้วยวิธีศึกษาหลายปัจจัย เช่น การศึกษาปริมาณของยูเรีย การศึกษา ปริมาณของสารขึ้น และการศึกษาปริมาณของโซเดียมไบคาร์บอเนต จากการประเมินผลการพิมพ์สกรีนด้วยการวัดค่า ความเข้มสี (K/5) จะทำค่าของลักษณะของชิ้นงาน สีพิมพ์สกรีนที่ดีต้องมีผลการทดสอบความคงทนของสี และแรงขัด ถู จากการผลการทดลอง พบว่า ค่าความเข้มของสี (K/5) ของชิ้น ชิ้นทดสอบ ที่ 3 ประกอบด้วยผงสีของสีเสียด 30 กรัม สารส้ม 30 กรัม ยูเรีย 100 กรัม สารขึ้นอัลจินต 640 กรัม แอนติ-รีตักซ์ 10 กรัมโซเดียมไบคาร์บอเนต 20 กรัม และน้ำ 170 มิลลิลิตร ทำการพ่นสีด้วยไอน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่ดี ที่สุด ส่งผลให้ค่าของสีมีความเข้มที่ดี ส่งผลให้ลวดลายมีความคมชัดส่งผลให้การทดสอบค่าความคงทนของสีพิมพ์ สกรีนอยู่ในระดับพอใช้ถึงดี

5. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ เริ่มจากศึกษากระบวนการสกัด สีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ การศึกษาสารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ และการทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ ธรรมชาติจากมูลกระปือ เพื่อให้ผลการดำเนินการวิจัยการพัฒนาระบบการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือให้ เป็นที่ยอมรับ โดยได้จัดลำดับวิธีการวิจัย ดังนี้

5.1 การศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระปือ

5.1.1 วัสดุและอุปกรณ์การสกัด

5.1.1.1 มูลกระปือสดและมูลกระปือตากแห้ง

5.1.1.2 หม้อ

5.1.1.3 ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร

5.1.1.4 เครื่องบดสมุนไพร (Powder Grinder) สแตนเลส 304 ความจุ 300 กรัม

5.1.1.5 ถาด

5.1.1.6 กระดาษกรองกาแฟ

5.1.1.7 ตะแกรงกรองลวดสานสแตนเลส 304 ความละเอียดขนาด 20 เมท

5.1.1.8 แท่งแก้วคนสาร

5.1.1.9 เตาแก๊ส

5.1.1.10 พรอทวัดอุณหภูมิ

5.1.1.11 เตาอบ

5.1.2 กระบวนการสกัดสีพืชมัธยธรรมชาติจากมูลกระปือ

5.1.2.1 การสกัดสีมูลกระปือสด

- นำมูลกระปือสดด้วยอัตราส่วน 1 : 4 มูลกระปือ 1 ส่วน ต่อน้ำ 4 ส่วน สกัดสีด้วยการต้มอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 45 นาที

- นำมากรองแยกน้ำกับเนื้อของมูลกระปือด้วยกระดาษกรองกาแฟ ขนาด 17.6 x 11.6 x 7.9 เซนติเมตร

- อบมูลกระปือด้วย 150 องศาเซลเซียส 60 นาที

- นำมูลกระปือที่ผ่านการอบและปั่นละเอียดด้วยเครื่องบดผงด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Powder Grinder) สแตนเลส 304 ความจุ 300 กรัม เป็นเวลา 3 นาที กรองผ่านลวดสานสแตนเลส 304 ความละเอียดขนาด 20 เมท

5.1.3 การสกัดสีมูลกระปือแห้ง

- นำมูลกระปือแห้งด้วยอัตราส่วน 1 : 4 มูลกระปือ 1 ส่วน ต่อน้ำ 4 ส่วน สกัดสีด้วยการต้มอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 45 นาที

- นำมากรองแยกน้ำกับเนื้อของมูลกระปือด้วยกระดาษกรองกาแฟ ขนาด 17.6 x 11.6 x 7.9 เซนติเมตร

- อบมูลกระปือด้วย 150 องศาเซลเซียส 60 นาที

- นำมูลกระปือที่ผ่านการอบและปั่นละเอียดด้วยเครื่องบดผงด้วยเครื่องบดสมุนไพร (Powder Grinder) สแตนเลส 304 ความจุ 300 กรัม เป็นเวลา 3 นาที กรองผ่านลวดสานสแตนเลส 304 ความละเอียดขนาด 20 เมท

5.2 การพิมพ์สีธรรมชาติจากมูลกระปือ

5.2.1 วัสดุและอุปกรณ์การสกัด

5.2.1.1 ผ้าฝ้ายถัก อัตราการผสม ร้อยละ 55 เส้นด้ายฝ้าย ร้อยละ 45 เส้นด้ายโพลีเอสเตอร์

5.2.1.2 แป้งพิมพ์สำเร็จ

5.2.1.3 สีสกัดมูลกระปือสด และมูลกระปือแห้ง

5.2.1.4 สารช่วยติดสี สารส้อม และสารเฟอรัสซัลเฟต

5.2.1.5 น้ำสบู่

5.2.1.6 กรดมะนาว

5.2.1.7 บล็อกขนาด 6.5 นิ้ว x 9 นิ้ว เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ขนาดความละเอียด 120 เมท

5.2.1.8 ไม้ปาดสำหรับการพิมพ์สกรีน

5.2.1.9 เครื่องเป่าลมร้อน

5.2.1.10 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

5.2.1.11 เครื่องวัด pH meter

5.2.1.12 แ่งแก้วคนสาร

5.2.1.13 ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร

5.2.2 การเตรียมผ้าฝ้ายสีขาว ขนาด 60 x 60 เซนติเมตร ก่อนทำการทดลองในการพิมพ์ผ้าให้ทำความสะอาดด้วยการต้มน้ำสบู่ให้เดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทน้ำมัน แวก และแป้ง

5.2.3 กระบวนการพิมพ์สีธรรมชาติจากมูลกระบือ

5.2.3.1 การผสมสีพิมพ์นำมูลกระบือบดละเอียด ร้อยละ 30 ผสมแป้งพิมพ์สำเร็จ อัตราส่วนร้อยละ 70 [19] ผสมและกวนไปทิศทางเดียวกัน

5.2.4 การพิมพ์สกรีน ด้วยบล็อกขนาด 6.5 x 9 นิ้ว เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ขนาดความละเอียด 120 เมท

5.2.5 การแช่สารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติ ด้วย สารส้ม ที่จะให้เจดสีน้ำตาลอ่อน และเพอร์สซัลเฟตเจดสีน้ำตาลที่เข้มจากกระบวนการศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือสามารถแสดงให้เห็นขั้นตอน ดังรูปที่ 1

5.2.6 การซักล้างนำผ้าที่ผ่านแช่สารช่วยติดสีด้วยน้ำสบู่ ซักล้างน้ำเปล่า เดิมกรดมะนาวในอัตราส่วน 3 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร เพื่อปรับให้มีค่า pH ที่ 7- 8 และนำมาตากลม



รูปที่ 1 กระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ

5.3 การศึกษาสารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ

การศึกษาสารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ ประกอบไปด้วย สารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติ สารสั้ม ด้วยอัตราส่วน 5 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร และการใช้สารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติ เพอร์สซัลเฟส อัตราส่วน 2 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร โดยใช้สารช่วยติดที่แตกต่างกัน [16] ผ่านการวิเคราะห์ทดสอบคุณภาพสี วัดค่าสีทางกายภาพ คือ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่อง Hunter Lab รายงานผลเป็น ค่าสว่าง L^* ค่าสีแดง $+a^*$ ค่าสีเขียว $-a^*$ ค่าสีเหลือง $+b^*$ ค่าสีน้ำเงิน $-b^*$ ทำการทดลอง 5 ซ้ำ [17] และการนำข้อมูลผลการทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ มาวิเคราะห์ผลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากสิ่งทดลอง ด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้สารช่วยย้อม ระหว่าง สารสั้ม และสารเพอร์สซัลเฟส

สิ่งทดลอง	ลักษณะมูลกระบือ	สารช่วยย้อม
1	ไม่ใส่มูลกระบือ	ผ้าขาว
2	แห้ง	ไม่ใส่
3	แห้ง	สารสั้ม
4	แห้ง	เพอร์สซัลเฟส
5	สด	ไม่ใส่
6	สด	สารสั้ม
7	สด	เพอร์สซัลเฟส

5.4 การทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ

จากผลการศึกษาวิจัยการพัฒนาระบบการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับผ่านกระบวนการทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ทางกายภาพ ดังนี้

5.4.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ด้วยมาตรฐาน ISO 105 – C10 Test A 2006 เพื่อทดสอบความคงทนต่อการซักของสีพิมพ์สกรีนธรรมชาติจากมูลกระบือ แบ่งได้ 5 ระดับ ดังนี้ ระดับที่ 1 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนมาก ระดับที่ 2 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนค่อนข้างมาก ระดับที่ 3 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนสังเกตได้ ระดับที่ 4 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนเล็กน้อย ระดับที่ 5 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่มีการติดเปื้อน [19]

5.4.2 การทดสอบทนต่อการขัดถู ด้วยมาตรฐาน ISO 150-X12 2016 เพื่อทดสอบความคงทนต่อการขัดถูของสีพิมพ์สกรีนธรรมชาติจากมูลกระบือ ความเร็วในการขัดจะต้องใช้แรงกดลง (9 ± 0.2 นิวตัน) [20]

6. ผลการวิจัย

6.1 ผลการศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ

จากผลการศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ โดยใช้วัตถุดิบมูลกระบือ 2 ปัจจัย คือ แบบ สด และแห้ง แบ่งได้ 11 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1 โดยพิจารณาผ่านกระบวนการสกัด ด้วยการต้ม ด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที นำมากรองแยกน้ำกับเนื้อของมูลกระบือด้วยกระดาดกรองกาแฟ ขนาด $17.6 \times 11.6 \times 7.9$ เซนติเมตร อบมูลกระบือด้วย 150 องศาเซลเซียส 60 นาที นำมูลกระบือที่ผ่านการอบ บดละเอียดเครื่องบด

สมุนไพรร (Powder Grinder) สแตนเลส 304 ความจุ 300 กรัม เป็นเวลา 2 นาที กรองด้วยลวดสานสแตนเลส 304 ขนาด 20 เมท การผสมสีพิมพ์ นำมูลกระป๋องบดละเอียดผสม แป้งพิมพ์สำเร็จ อัตราส่วน ร้อยละ 70 ผสมและกวนไปทิศทางเดียวกัน นำมาสกรีนบนบล็อกสกรีน ขนาด 6.5×9 นิ้ว เส้นใยโพลีเอสเตอร์มีรูด้วยขนาดความละเอียด 120 เมท ดังรูปที่ 2



ก่อนบด

หลังบด

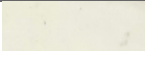
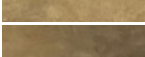
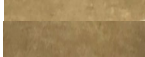
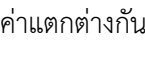
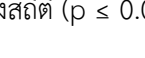
รูปที่ 2 มูลกระป๋องที่ผ่านการบดละเอียดเครื่องบดสมุนไพรร (Powder Grinder)

จากรูปที่ 2 พบว่าลักษณะทางกายภาพมูลกระป๋องก่อนบดจะมีการจับตัวเป็นก้อนเล็กๆ และมีเม็ดสีน้ำตาล แต่ไม่สามารถนำมาเป็นสีพิมพ์ได้ หลังจากบดสมุนไพรร (Powder Grinder) สแตนเลส 304 ความจุ 300 กรัม เป็นเวลา 2 นาที กรองด้วยลวดสานสแตนเลส 304 ขนาด 20 เมท พบว่าลักษณะทางกายภาพเป็นผงละเอียด มีเม็ดสีน้ำตาลเข้ม มีมวลเบาสามารถลอยตัวได้ง่าย

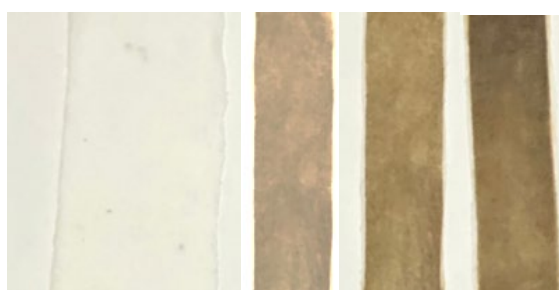
6.2 จากผลการทดสอบปัจจัยกระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระป๋อง พบว่ามูลกระป๋องแบบสด และแห้ง คุณภาพสี ค่า $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่อง Hunter ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ดังตารางที่ 2 รูปที่ 2 และรูปที่ 3

6.2.1 จากผลการทดสอบคุณภาพสี ค่า $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่อง Hunter Lab พบว่า สารช่วยติดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระป๋อง แห้สารช่วยติดสารสั้มที่ส่งผลให้สีมีความสว่าง และเพอร์สซัลเฟตส่งผลให้สีมีความเข้ม โดยมีการช่วยติดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยอธิบายจากการเทียบโทนสีและรหัสสีจากไทยโทน [16] สิ่งทดลองที่ 1 เป็นผ้าขาว ไม่ใส่มูลกระป๋องและไม่ใส่สารช่วยติดสีเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ สิ่งทดลองที่ 2 มูลกระป๋องแห้งไม่แห้สารช่วยติดจะให้โทนสีควายเผือก รหัส C5 M25 Y25 K0 สิ่งทดลองที่ 3 มูลกระป๋องแห้งแห้สารช่วยติดสารสั้มจะให้โทนสีกรัก รหัสสี C30 M60 Y90 K30 สิ่งทดลองที่ 4 มูลกระป๋องแห้งแห้สารช่วยติดเพอร์สซัลเฟตจะให้โทนสีเขียวขี้ม้า รหัส C70 M60 Y100 K0 สิ่งทดลองที่ 5 มูลกระป๋องสดไม่แห้สารช่วยติดจะให้โทนสีกาเกี รหัสสี C25 M30 Y45 K20 สิ่งทดลองที่ 6 มูลกระป๋องสดแห้สารช่วยติดสารสั้มจะให้โทนสีมุกสุข รหัส C10 M20 Y50 K15 สิ่งทดลองที่ 7 มูลกระป๋องสดแห้สารช่วยติดสารเพอร์สซัลเฟตจะให้โทนสีหงัดดินตัด รหัส C30 M70 Y70 K30 สอดคล้อง [17] โดยการใช้สารช่วยย้อมเพอร์สซัลเฟต ปรับเปลี่ยนสีออกเม็ดสีน้ำตาลเข้มดำเทา หรือมีสีที่เข้มขึ้นจึงส่งผลให้ค่า b^* สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความเข้มสีและค่าของสี

สิ่งทดลอง	ลักษณะมูล	สารช่วยติด	ค่าความเข้มสีและค่าของสี				สีที่ปรากฏ
			(K/S)*	L*ns	a*	b*	
1	ไม่ใส่มูล กระป๋อง	-	0.13±0.17	96.24±0.14	2.78±0.27	-18.50±0.14	
2	แห้ง	ไม่ใส่	0.48±0.15	80.40±0.21	9.56±0.29	6.76±0.23	
3	แห้ง	สารส้ม	1.31 ^a ±0.20	73.62±0.13	4.04 ^b ±0.33	16.77 ^a ±0.42	
4	แห้ง	เฟอร์รอสัลเฟส	0.81 ^b ±0.11	74.03±0.23	9.85 ^a ±0.41	9.54 ^b ±0.23	
5	สด	ไม่ใส่	0.45±0.21	81.17±0.15	9.45±0.28	6.54±0.18	
6	สด	สารส้ม	1.36 ^a ±0.24	72.87±0.18	3.94 ^b ±0.19	17.04 ^a ±0.34	
7	สด	เฟอร์รอสัลเฟส	0.57 ^b ±0.18	75.06±0.22	9.60 ^a ±0.25	8.13 ^b ±0.34	

หมายเหตุ จากผลการทดสอบคุณภาพสี ด้วยมาตรฐาน Visual Rating ในแนวดิ่ง แสดงให้เห็นว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns ในแนวดิ่งแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ก. ข. ค.

รูปที่ 3 การใช้มูลกระป๋องตากแห้ง ก. ไม่แช่สารช่วยย้อม ข. แช่สารช่วยย้อมสารส้ม
ค. แช่สารช่วยย้อมเฟอร์รอสัลเฟส



ก ข ค

รูปที่ 4 การใช้มูลกระป๋องสด ก. ไม่แช่สารช่วยย้อม ข. แช่สารช่วยย้อมสารส้ม
ค. แช่สารช่วยย้อมเฟอร์รอสัลเฟส

จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ลักษณะสีที่ปรากฏที่ผ่านกระบวนการแช่สารช่วยย้อมสารส้ม และแช่สารช่วยย้อมเฟอร์รอสัลเฟส โดยมีความแตกต่างการใช้มูลกระป๋องสด และมูลกระป๋องแห้ง พบว่าสีที่ปรากฏไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับปัจจัยของการใช้สารช่วยย้อม

6.3 ผลการทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ

6.3.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ด้วยมาตรฐาน 105 – C10 Test A 2006 (Low to medium temp 40 องศาเซลเซียส) ทุกปัจจัยมีคุณภาพในการทนซักอยู่ในระดับที่ 4 – 5 คือ ดีถึงดีมาก สอดคล้องกับ [19] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ด้วยมาตรฐาน ISO 105 – C10 Test A 2006 (Low to medium temp 40 องศาเซลเซียส)

ค่าความคงทนต่อสี	สิ่งทดลอง/ที่					
	2	3	4	5	6	7
การเปลี่ยนแปลงของสี						
การติดเปื้อนสีบนผ้าขาว	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
อะซิเตท	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ฝ้าย	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ไนลอน	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
พอลีเอสเตอร์	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
อะคริลิก	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ขนสัตว์	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

หมายเหตุ ความหมายของผลการทดสอบ ระดับที่ 1 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนมาก ระดับที่ 2 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนค่อนข้างมาก ระดับที่ 3 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนสังเกตได้ ระดับที่ 4 สีเปลี่ยนแปลงหรือติดเปื้อนเล็กน้อย ระดับที่ 5 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่มีการติดเปื้อน

6.3.2 จากผลการทดสอบทนต่อการขัดถู ด้วยมาตรฐาน ISO 150-X12 2016 เพื่อดูความคงทนต่อการขัดถู ของสีพิมพ์ สกรีนธรรมชาติจากมูลกระบือ ความเร็วในการขัดจะต้องใช้แรงกดลง 9 ± 0.2 นิวตัน พบว่าผ้าฝ้ายที่พิมพ์สกรีนที่อยู่ในสภาวะแห้ง ด้ายพุ่งอยู่ในระดับ ระดับที่ 2 - 3 คือ แยกปานกลาง และสภาวะเปียก ด้ายยืนอยู่ในระดับระดับ 1- 2 คือ แยก – แยกที่สุด จากผลการทดสอบพบว่าความคงทนสีต่อสภาวะการขัดถูเนื่องจาก ลักษณะมูลกระบือมีเนื้อสัมผัส [16] เหมือนดินจึงส่งผลให้มีความคงทนต่อการขัดถูต่ำ ตรงกันข้ามถ้าสกัดมาเป็นสีย้อมผ้าฝ้ายจะมีค่าความคงทนต่อการขัดถูที่ดีกว่า ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทนต่อการขัดถู ด้วยมาตรฐาน ISO 150-X12 2016

ความคงทนต่อการติดสี	สิ่งทดลองที่ 2		สิ่งทดลองที่ 3		สิ่งทดลองที่ 4		สิ่งทดลองที่ 5		สิ่งทดลองที่ 6		สิ่งทดลองที่ 7	
	แนวเส้นด้าย		แนวเส้นด้าย		แนวเส้นด้าย		แนวเส้นด้าย		แนวเส้นด้าย		แนวเส้นด้าย	
	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง	ด้ายยืน
สภาวะเปียก	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
สภาวะแห้ง	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3

หมายเหตุ ความหมายของผลการทดสอบ ระดับที่ 1 คือ แยกที่สุด ระดับ 1- 2 คือ แยก – แยกที่สุด ระดับ 2 คือ แยก ระดับที่ 2- 3 คือ แยกปานกลาง ระดับที่ 3 ปานกลาง ระดับที่ 3-4 คือ ปานกลางถึงดี ระดับที่ 4 คือ ดี ระดับที่ 4-5 คือ ดีถึงดีมาก ระดับที่ 5 คือ ดีมาก

7. สรุป

งานวิจัยกระบวนการสังเคราะห์สีพิมพ์จากมูลกระบือ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการสกัดสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตได้ 11 ขั้นตอน บนผ้าฝ้าย เพื่อทำการศึกษารายละเอียด สีสักรีดธรรมชาติจากมูลกระบือ โดยเปรียบเทียบกับ 2 ปัจจัย แบ่งได้ 4 สิ่งทดลอง คือ ลักษณะมูลสด กับมูลแห้ง และสารช่วยติดสี คือ สารส้ม และเพอร์สซัลเฟต เพื่อนำมาทดสอบคุณภาพสีพิมพ์ธรรมชาติจากมูลกระบือ ผลการทดสอบกายภาพของการทดลองซัก ด้วยมาตรฐาน ISO 105 – C10 Test A 2006 พบว่า 2 ปัจจัยที่เปรียบเทียบมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน และนำมาทดสอบความแข็งแรงทางกายภาพด้วยการทดสอบทนต่อการขัดถู ด้วยมาตรฐาน ISO 150-X12 2016 สิ่งทดลองมีความทนต่อการขัดถูในสภาวะผ้าแห้งได้ดีและสามารถนำมาออกแบบต่อยอดผลงานได้ในระดับต่อไป

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพทางกายภาพของสีพิมพ์จากมูลกระบือ โดยภาพรวม ค่าสี และคุณสมบัติอยู่ในระดับดี ในครั้งต่อไปเห็นสมควรเพิ่มการทดสอบการทนต่อแสง UV เพื่อดูประสิทธิภาพของสีพิมพ์จากมูลกระบือ

8.2 การวิจัยในครั้งต่อไปผู้วิจัยเห็นควรทดสอบประสิทธิภาพทางกายภาพของสีพิมพ์จากมูลกระบือ เห็นควรทดสอบ ค่าความแข็งแรงของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM D3039 2002 [21]

8.3 การวิจัยควรค้นหาสารย้อมติดที่สกัดจากธรรมชาติเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ในอนาคตต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายวิชาการสถาพรบุ๊คส์, *โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริธนาคารโค-กระบือ*. กรุงเทพมหานคร: สถาพรบุ๊คส์, 2559.
- [2] กิตติ กุบแก้ว, *ภูมิปัญญาการคัดเลือกควายไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์ กองบำรุงการสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2533.
- [3] สุภารัตน์ รักชลธิ, วรา ชัยนิตย์ และ ภัทราวุธ มนต์วิเศษ, *การพัฒนาสีพลาสติกขอลจาก EVA หรับงานพิมพ์สกรีน*. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.
- [4] กาวิ ศรีกุลกิจ, “ความรู้เรื่องสารขึ้นพิมพ์ผ้า,” *วารสารศิลปกรรม*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 4, หน้า 42-46, 2545.
- [5] Y.H. Lee and H.D. Kim, “Dyeing properties and colour fastness of cotton and silk fabrics dyed with Cassia tora L. extract,” *Fibers and Polymers*, vol. 5, no. 4, pp.303-308, October 2004.
- [6] อภิชาติ สนธิสมบัติ, *Textile Chemical Processing กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ*. ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2545.
- [7] กนกพรรณ ศักดิ์สุริยา, “ผลของอุณหภูมิและภาวะบรรจุทางกลศาสตร์ต่อการดูดติดของสีรีแอคทีฟโดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2549.
- [8] สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชาวาคม, สายันต์ ต้นพานิช, ชลธิชา นิवासประภคิต, ปริญญานันท์ ศรีสูงเนิน และ พิรศักดิ์ วรรณทรโรสถ, *พืชที่ให้สีธรรมชาติและแทนนิน*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2545.

- [9] สุวานีย์ จันทร์สอาด, *การสกัดสี้อมจากต้นขนุน Artocapus heterophyllus Lamk สำหรับ การย้อมผ้าไหม และ ผ้าฝ้าย*. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมีเทคนิคจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [10] สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธุ์ และคณะ, *การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบนชุดโครงการสี้อมธรรมชาติ*. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [11] เลิศศิริ บวรกิตติ, “ศิลปะกับวิทยาศาสตร์,” *วารสารราชบัณฑิตยสถาน*, ปีที่ 37, ฉบับที่ 4, หน้า 242 -254, ตุลาคม-ธันวาคม, 2555.
- [12] ญัฐดนัย รุ่งเรืองกิจไกร, รัตนพล มงคลรัตนาสีห์, จริญญา คล้ายจ้อย, สุพรรณษา ตี้อย และ ศศิธร พิสุทธิรัตน์, “การพิมพ์ผ้าฝ้ายด้วยแป้งจากหัวบอนและสีปักเมนต์,” ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อยั่งยืน*, กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร: 2556.
- [13] จริญญา คล้ายจ้อย, รัตนพล มงคลรัตนาสีห์ และ ก้องเกียรติ มหาอินทร์, *การออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากฝ้ายอ้อมใบลำไยเพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจสร้างสรรค์ ในพื้นที่ตำบลยุหว่า อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2557.
- [14] R. Mongkholrattanasit, C. Klaichoi, K. Maha-In, K. Ariyakuare and S. Chonsakorn, "Utilization of longan leaf extract for dyeing and UV protection of silk fabric using pre-mordanting method," *Advanced Materials Research* Vols, pp.438 – 441, September 2014.
- [15] C Klaichoi, R Mongkholrattanasit, N Sasivatchutikool and N Rungruangkitkrai, "Fastness and printing properties of cotton fabric printed with natural dye from Acacia Catechu Willd." *Advanced Materials Research*, vol. 1030, pp 426-429, September 2014.
- [16] ศูนย์บันดาลไทย, *สีไทยโทนเสน่ห์ไทยเพิ่มมูลค่าธุรกิจ*, กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวัฒนธรรม, 2558.
- [17] นรเทพ โปธิเป้ง, “การประยุกต์ใช้สีธรรมชาติจากดินแดงสำหรับพิมพ์สกรีนบนผ้าฝ้าย,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2563.
- [18] ไพรวลัย ประมัย, โสรัจวรชุม อินเกต, อรุณลักษณ์ โชตินาครินทร์ และ ผกาวดี ภูจันทร์, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบ,” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, ปีที่ 8 ,ฉบับที่ 1, หน้า 55-67, มกราคม - มิถุนายน 2566.
- [19] วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน, *การเตรียมแป้งพิมพ์ด้วยสารเข้มข้นจากเมล็ดพืช สำหรับหมึกพิมพ์ผ้าไหมด้วยสีจากเปลือกมังคุด*. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557.
- [20] สาคร ชลสาคร, ศุภนิชา ศรีวรเดชไพศาล และ ชนัญชิดา ณะสม, “การออกแบบหมวกคลุมศีรษะสำหรับป้องกันดวงตาทารกที่มีภาวะตัวเหลืองและได้รับการส่องไฟรักษา,” *วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, หน้า 8-9, พฤษภาคม-สิงหาคม 2566.
- [21] กิตติ ศรีนุชศาสตร์, “โครงสร้างและสมบัติวัสดุเสริมแรงเส้นใยแก้วสำหรับสร้างชิ้นส่วนอากาศยานไร้คนบิน,” *วารสารนายเรืออากาศวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 14, หน้า 20-24, ธันวาคม 2561.