การประยุกต์ใช้ผงสีจากธรรมชาติสำหรับงานพิมพ์สิ่งทอ

Application of Powdered Natural Dyes for Textile Printing

จิราเมธ สุภารัตน์[1*] ธรรมทัศน์ ขำรัตน์[2] หทัยทิพย์ ศรีชมภู[2] และรัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์[2]

[1]บริษัท จุลไหมไทย จำกัด เลขที่ 443 หมู่ 3 ถ.สามัคคีชัย ต.วังชมภู อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67210
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: จิราเมธ สุภารัตน์ Email: jirametsuparat16@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการทำผงสีจากธรรมชาติ วิธีการพิมพ์ผงสีจากธรรมชาติบนวัสดุสิ่งทอ และการประเมินค่าความคงทนของสีบนวัสดุสิ่งทอ วิธีการวิจัยเริ่มตั้งแต่การต้มสกัดน้ำสีจากพืชหรือสัตว์โดยใช้อัตราส่วนของวัสดุให้สีต่อน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 ดำเนินการกรอง และต้มสารละลายน้ำสีให้เหลือ ¼ ของปริมาณน้ำสีเดิม นำไปผสมกับผงมอลโตเดรกซ์ตรินและนำไปอบให้แห้งและบดให้ละเอียดเพื่อให้ได้ผงสี นำไปใช้ในงานพิมพ์โดยใช้อัตราส่วนระหว่างผงสีกับแป้งพิมพ์อะคริลิคในอัตราส่วน 1:9 2:8 และ 3:7 นำผ้าที่ผ่านการพิมพ์ไปแช่ด้วยสารมอร์แดนท์ประเภทสารส้มและสนิมเหล็กที่ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาที ผ้าที่ผ่านการพิมพ์และการทำมอร์แดนท์ถูกนำไปทดสอบความคงทนของสีตามมาตรฐาน ISO

ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างผงสีกับแป้งพิมพ์อะคริลิคที่เหมาะสมกับการพิมพ์ผ้าอยู่ที่ 1:9 ซึ่งจะทำให้แป้งพิมพ์มี ความหนืดพอดี ลวดลายมีความคมชัด และเมื่อนำไปแช่ด้วยสารมอร์แดนท์พบว่าสีที่อยู่บนผืนผ้ามีสีสดใสถ้าใช้สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้ม และได้สีที่ทึมเมื่อใช้สารมอร์แดนท์ประเภทเหล็ก ค่าความคงทนของสีบนผ้าที่ผ่านการพิมพ์และมอร์แดนท์มีค่าที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารให้สีแต่ละชนิด ผ้ามีความกระด้างเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการพิมพ์

คำสำคัญ : ผงสีจากธรรมชาติ การพิมพ์ ความคงทนของสี สิ่งทอ

Abstract

The purpose of this research was to investigate the process of producing powdered natural dyes. Process for printing powdered natural dyes on textile materials and evaluation of colour fastness on textile materials were evaluated. The research method began by boiling the coloured water extracted from plants or animals using the ratio of colouring material to water in the ratio of 1 to 10, filtration and boiling the coloured water solution to ¼ of the original coloring water. It is mixed with maltodextrin powder and dried and ground to get a color powder. It is applied in printing the ratio of powdered natural dyes and acrylic printing paste in the ratio 1:9 2:8 and 3:7. The printed fabric was soaked with alum and iron mordant at a concentration of 10 g/l for 15 minutes. Printed and mordant fabrics are tested for colour fastness according to ISO standards.

The study found that the ratio between color powder and acrylic starch suitable for fabric printing was 1:9, which would give the printing paste the right viscosity. The pattern is sharp. Upon soaking with mordant, it was noted that the colour on the fabric was lighter when alum mordant was used and dark when ferrous sulfate mordant was used. Colour fastness on printed fabrics and mordants vary depending on the type of dye. The fabric is a bit stiff compared to the unprinted fabric.

Key word: powdered natural dyes, Printing, Colour fastness, Textile

บทนำ

การพิมพ์ หรือเพ้นท์วัสดุสิ่งทอเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งจะต้องมีการใช้สีเคมี แป้งพิมพ์ ในการพิมพ์ หรือเพ้นท์ผ้าทั้งนี้เพื่อให้เกิดลวดลายที่ชัดเจน และมีลวดลายสีสันที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากกระแสความสนใจในความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันทำให้เกิดแนวโน้มในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-products) กันมากขึ้นในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้สีเคมีบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อทั้งผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ทำให้ในหลายประเทศยกเลิกการผลิตหรือการนำเข้าวัตถุดิบที่เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น เบนซิดีน ที่ใช้ในการผลิตสี หรือการออกกฎหมายห้ามนำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีเอโซ (azo dyes) ซึ่งสามารถแตกตัวให้สารอะโรมาติกเอมีน (aromatic amines) ที่มีแนวโน้มเป็นสารก่อมะเร็ง [1, 2] ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนานำสีธรรมชาติมาใช้ทดแทนสีเคมีมากขึ้นในการพิมพ์ หรือเพ้นท์วัสดุสิ่งทอด้วยสีจากธรรมชาติสิ่งที่ต้องคำนึงก็คือความสะดวกรวดเร็ว และความสามารถในการพิมพ์ซ้ำเพื่อให้ได้เฉดสีเดิม ซึ่งการพิมพ์วัสดุสิ่งทอด้วยสีจากธรรมชาติจะค่อนข้างจะเสียเวลากับการต้มสกัดสี และนำน้ำสีมาพิมพ์ หรือเพ้นท์ผ้า นอกจากนี้แล้วปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่พบเป็นประจำก็คือ การที่ไม่สามารถพิมพ์หรือเพ้นท์วัสดุสิ่งทอด้วยสีจากธรรมชาติให้ได้เฉดสีเดิมได้ ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรที่สำคัญได้แก่ ฤดูกาลเก็บเกี่ยวและอายุของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตสี

ดังนั้นจึงมีแนวความคิดผลิตผงสีจากสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคที่ง่ายและสะดวกรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้การพิมพ์ เพ้นท์สีเกิดความสะดวกรวดเร็ว และได้สีที่สม่ำเสมอ สามารถที่จะควบคุมเฉดสีได้ ที่สำคัญสามารถที่จะพิมพ์ หรือเพ้นท์ วัสดุสิ่งทอเพื่อให้สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้นักวิจัยจะนำเอาสีที่ได้จากธรรมชาติที่มีศักยภาพในการเป็นสีสำหรับพิมพ์ เพ้นท์วัสดุสิ่งทอ เพื่อนำมาผลิตเป็นผงสี โดยใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย เพื่อให้ความสะดวกต่อผู้ใช้งานและสามารถควบคุมเฉดสีได้ และเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีการทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี

ผ้าฝ้ายทอสีขาวที่ผ่านการทำความสะอาด สารให้สีจากธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ เปลือกมะพูด ครั่ง นำมาจากจังหวัดบุรีรัมย์ ใบมังคุด เปลือกมังคุด นำมาจากจังหวัดจันทบุรี ฝักคูณ กากกาแฟ นำมาจากจังหวัดนครปฐม มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) แป้งพิมพ์อะคริลิค ไบเดอร์ สารส้ม (Alum) และสนิมเหล็ก (Ferrous sulphate) ซื้อมาจากบริษัท สตาร์เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด

การสกัดสีและทำผงสี

ดำเนินการเตรียมวัสดุที่จะนำมาสกัดสีโดยนำมาสับ หรือตำให้ละเอียดจากนั้นนำมาแช่น้ำโดยใช้วัสดุที่สับหรือตำให้ละเอียด 1 กิโลกรัม แช่ลงในน้ำ 10 ลิตร โดยแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำวัสดุที่ให้สีมาต้มให้เดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง [3-6] สำหรับครั่งที่ผ่านการตำละเอียดและนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองเอายางครั่งออกมาก่อนทั้งนี้เพื่อป้องกันยางครั่งติดภาชนะที่ใช้ต้ม [7-10] เมื่อครบเวลาที่กำหนดทำการกรองเอาเศษวัสดุที่ต้มออกด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำสีที่กรองได้ไปต้มต่อเพื่อให้เหลือปริมาณ 2 ลิตร ใส่สารมอลโทเดกซ์ทรินจำนวน 150 กรัมต่อลิตร ลงในน้ำสีที่กรองและกวนให้เข้ากัน จากนั้น

นำสารละลายสีที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จนสีที่ได้แห้งสนิท ซึ่งสังเกตจากผิวหน้าของสีมีรอยแตกและสีที่ได้กะเทาะออกมา นำสีที่ผ่านการอบแห้งไปบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดความเร็วรอบสูงและนำไปใช้ในการพิมพ์ผ้าต่อไป

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งพิมพ์และผงสี

ชั่งแป้งพิมพ์อะคริลิคและผงสีให้ได้สัดส่วนตามตารางที่ 1 ทำการกวนผสมสีและแป้งพิมพ์อะคริลิคให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นเอนกประสงค์ ตั้งพักไว้ 30 นาที เพื่อให้ส่วนผสม ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปพิมพ์ผ้าฝ้ายโดยใช้เทคนิคการพิมพ์แบบบล็อกสกรีน นำผ้าที่ผ่านการพิมพ์ไอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

การทำมอร์แดนท์ผ้าที่ผ่านการพิมพ์

สารมอร์แดนท์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยสารส้มและสนิมเหล็กเตรียมโดยชั่งสารส้มและสนิมเหล็กเข้มข้นอย่างละ 10 กรัมต่อลิตร จากนั้นแบ่งผ้าที่ผ่านการพิมพ์ออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกไม่ต้องแช่กับสารมอร์แดนท์ ส่วนที่ 2 นำไปแช่กับสารส้มเป็นเวลา 15 นาที และส่วนที่ 3 นำไปแช่กับสนิมเหล็ก เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำผ้าทั้งสามส่วนไปทำการซักล้างด้วยสารละลายน้ำสบู่ (soaping agent) เข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำมาล้างน้ำและนำไปทำให้แห้ง ตามลำดับ

การวัดค่าสี ค่าความเข้มสี

การวัดค่าของสี และค่าความเข้มสี จะใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hunter Lab Color Quest XE ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด D65 และมุมมอง 10 องศา (illuminant D65 and a 10° observer) ค่าของสีจะแสดงออกมาในรูปของ L* a* และ b* [11-12] โดยที่ L* หมายถึง ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) ของสี a* หมายถึงใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือเขียว (Red –Green) b* หมายถึงใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (Yellow- Blue) ส่วนค่าความเข้มของสี (K/S) คำนวณได้จากสมการ Kubelka–Munk [13-14] ดังนี้ $K/S = (1 - R)^2/2R$ โดยที่ R คือ ร้อยละการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง K คือค่าการดูดกลืนแสงของชิ้นตัวอย่าง และ S คือ ค่าการกระเจิงของแสงชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบความคงทนของสี

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการพิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติถูกนำมาทดสอบความคงทนของสีในด้านการซักล้าง (มาตรฐาน ISO 105-C06 A1S: 2010) [15] ความคงทนของสีต่อน้ำ มาตรฐาน ISO 105-E01: 2013) [16] ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (มาตรฐาน ISO 105-E04: 2013) [17] ความคงทนของสีต่อการขัดถู (AATCC Test Method 8-2007) [18] ความคงทนของสีต่อแสง (มาตรฐาน ISO 105 B02: 1994) [19] ในการประเมินค่าการเปลี่ยนสีและการติดเปื้อนสีของผ้าที่ผ่านการทดสอบ มีการแปลค่าระดับความคงทนของสีเป็น 5 ระดับดังนี้ ระดับ 5 ดีที่สุด ระดับ 4-5 ดีถึงดีที่สุด ระดับ 3-4 ปานกลางถึงดี ระดับ 3 ปานกลาง ระดับ 2-3 แย่ถึงปานกลาง ระดับ 1-2 แย่ถึงแย่ที่สุด ระดับ 1 แย่ที่สุด ในส่วนการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (มาตรฐาน ISO 105-B02: 1994) มีการประเมินค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีโดยแปลค่าออกได้เป็น 8 ระดับ ได้แก่ ระดับ 8 ดีเลิศ ระดับ 7 ดีเยี่ยม ระดับ 6 ดีมาก ระดับ 5 ดี ระดับ 4 ดีพอใช้ ระดับ 3 พอใช้ ระดับ 2 ต่ำ ระดับ 1 ต่ำมาก

ตารางที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งพิมพ์อะคริลิคและผงสี

ปริมาณ / ชื่อผงสี	ผงสี (กรัม)	แป้งพิมพ์อะคริลิค (กรัม)
กากกาแฟ	10	90
กากกาแฟ	20	80
กากกาแฟ	30	70
ครั่ง	10	90
ครั่ง	20	80
ครั่ง	30	70
ใบมังคุด	10	90
ใบมังคุด	20	80
ใบมังคุด	30	70
เปลือกมะพูด	10	90
เปลือกมะพูด	20	80
เปลือกมะพูด	30	70
เปลือกมังคุด	10	90
เปลือกมังคุด	20	80
เปลือกมังคุด	30	70
ฝักคูณ	10	90
ฝักคูณ	20	80
ฝักคูณ	30	70

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งพิมพ์กับผงสี

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งพิมพ์กับผงสี โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่าง แป้งพิมพ์อะคริลิคต่อผงสี เป็น 3 ระดับ คือ 90:10 80:20 และ 70:30 โดยมีการกำหนดตัวแปรที่คงที่ ได้แก่ อุณหภูมิในการอบผ้าที่ผ่านการพิมพ์ที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผลการทดลองที่ได้ปรากฏดังตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 พบว่าแป้งพิมพ์ที่มีส่วนผสมผงสีโดยใช้ในอัตราส่วนของแป้งพิมพ์กับผงสีที่ระดับ 90:10 ผ้าที่พิมพ์มีสีติดราบเรียบและสม่ำเสมอทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมของแป้งพิมพ์มีความหนืดพอดีสามารถพิมพ์ผ้าทะลุผ่านผ้าสกรีนลงไปที่ผิวหน้าผ้าได้ แป้งพิมพ์ที่มีส่วนผสมผงสีโดยใช้ในอัตราส่วนของแป้งพิมพ์กับผงสีที่ระดับ 80:20 ผ้าที่ผ่านการพิมพ์มีลวดลายพิมพ์ที่ไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมของแป้งพิมพ์มีความหนืดที่ไม่เหมาะสม แป้งพิมพ์ที่มีผสมผงสีโดยใช้อัตราส่วนของแป้งพิมพ์กับผงสีที่ระดับ 70:30 ผ้าที่พิมพ์ออกมามีสีติดออกมาเป็นบางส่วน ไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าส่วนผสมของแป้งพิมพ์มีความหนืดสูงมากทำให้สีไม่สามารถทะลุผ่านผ้าสกรีนลงไปที่ผิวหน้าผ้าได้ ผ้าที่ผ่านการพิมพ์ด้วยสีจากกากกาแฟ ผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยสีจากกากกาแฟปรากฏสีน้ำตาลอ่อน ผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากครั่งปรากฏสีชมพู ใบมังคุดปรากฏสีแดงอิฐ เปลือกมะพูดปรากฏสีเหลือง เปลือกมังคุดและฝักคูนปรากฏสีน้ำตาลเข้มและน้ำตาลอ่อนตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการพิมพ์ผ้าฝ้ายด้วยผงสีจากธรรมชาติผสมกับแป้งพิมพ์อะคริลิค

ปริมาณ / ชื่อผงสี	ผงสี (กรัม)	แป้งพิมพ์ (กรัม)	*ตัวอย่างผ้าที่ผ่านการพิมพ์
กากกาแฟ	10	90	
กากกาแฟ	20	80	
กากกาแฟ	30	70	
ครั่ง	10	90	
ครั่ง	20	80	
ครั่ง	30	70	
ใบมังคุด	10	90	
ใบมังคุด	20	80	
ใบมังคุด	30	70	
เปลือกมะพูด	10	90	
เปลือกมะพูด	20	80	
เปลือกมะพูด	30	70	
เปลือกมังคุด	10	90	
เปลือกมังคุด	20	80	
เปลือกมังคุด	30	70	
ฝักคูณ	10	90	
ฝักคูณ	20	80	
ฝักคูณ	30	70	

* หมายเหตุ: อัตราส่วนของผงสีและแป้งพิมพ์เท่ากับ 10:90

ผลการศึกษาการทำมอร์แดนท์ของผ้าที่ผ่านการพิมพ์

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการพิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติโดยใช้ในอัตราส่วนของผงสีกับแป้งพิมพ์ที่ระดับ 10:90 และนำมาทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก ผลการทดลองปรากฏดังตารางที่ 3 จากตารางที่ 3 พบว่าผ้าพิมพ์ที่ทำมอร์แดนท์โดยใช้สารส้มสีที่ได้จะมีความสว่าง สดใส เช่นกรณีผ้าพิมพ์ด้วยสีจากครั่งและเปลือกมะพูดจะปรากฏสีชมพูและสีเหลืองตามลำดับ ในขณะที่มอร์แดนท์โดยใช้สนิมเหล็กสีที่ปรากฏบนผืนผ้าจะมีสีที่ทึมลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าผงสีจากธรรมชาติมีที่ส่วนผสมของสารแทนนินเมื่อนำมาทำการมอร์แดนท์ด้วยสนิมเหล็กจะให้สีเทาดำ เช่น สีจากกากกาแฟ ใบมังคุด เปลือกมังคุด และฝักคูน [4] นอกจากนี้พบว่าผ้าพิมพ์ที่ทำมอร์แดนท์ด้วยสนิมเหล็กจะให้ค่าความเข้มสี (K/S) มากที่สุดทั้งนี้เนื่องจากเฉดสีที่ได้มีสีเทาออกดำ รองลงมาได้ได้การทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและไม่ได้ทำมอร์แดนท์ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าความเข้มสี (K/S) ค่าของสี (L*, a*, b*) ของผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติโดยใช้อัตราส่วนของผงสีต่อแป้งพิมพ์ที่ระดับ 10 : 90 และนำไปทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ค่าความเข้มสี (K/S)	ค่าของสี			ตัวอย่างผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการทำมอร์แดนท์
		L*	a*	b*	
กากกาแฟ	1.60	73.45	4.34	7.75	
กากกาแฟ+สารส้ม	3.92	57.48	5.52	12.09	
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	4.54	45.51	1.5	4.75	
ครั่ง	2.35	54.19	9.58	-4.16	
ครั่ง+สารส้ม	4.02	41.91	18.24	-1.39	
ครั่ง+สนิมเหล็ก	6.17	30.79	1.51	-1.70	
ใบมังคุด	7.80	39.79	5.81	8.86	
ใบมังคุด+สารส้ม	10.26	33.17	6.09	7.66	
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	10.44	27.79	1.41	3.58	
เปลือกมะพูด	1.75	79.82	0.71	7.76	
เปลือกมะพูด+สารส้ม	2.29	81.02	-1.78	18.08	
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	3.39	59.21	3.61	9.71	
เปลือกมังคุด	4.03	59.86	7.84	16.09	
เปลือกมังคุด+สารส้ม	8.37	49.28	9.32	18.55	
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	10.78	30.08	2.32	6.29	
ฝักคูณ	2.78	51.76	5.7	1.71	
ฝักคูณ+สารส้ม	4.89	40.95	5.4	3.16	
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	5.99	36.58	3.95	2.69	

ผลการทดสอบสมบัติความคงทนของสี

การศึกษาความคงทนของสีของผ้าฝ้ายทอที่ผ่านการพิมพ์โดยแป้งพิมพ์อะคริลิคต่อผงสี เป็น 90:10 ที่ทำการปั่นแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำไปพิมพ์ลงบนผ้าและนำมาแช่ด้วยสารมอร์แดนท์ชนิดสารส้มและสนิมเหล็กที่ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความคงทนของสีต่อน้ำ ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ความคงทนของสีต่อการขัดถู ความคงทนของสีต่อแสงแดดเทียม ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติประเภทกากกาแฟ และครั่ง เมื่อนำมาซักล้างสีบนผ้าจะเกิดการซีดจางหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ที่ระดับแย่ ถึงแย่ที่สุด (1 ถึง 1-2) ทั้งผ้าที่ไม่ได้ทำมอร์แดนท์และผ้าที่ทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก ผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยเปลือกมังคุดและผ่านการทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็กจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) ซึ่งมีค่าสูงกว่าผ้าที่ไม่ได้ทำการมอร์แดนท์ซึ่งมีค่าความคงทนต่อการ

เปลี่ยนแปลงของสีอยู่ที่ระดับแย่สุด (1) อย่างไรก็ตามผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากใบมังคุด เปลือกมะพูดและฝักคูน จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) ทั้งผ้าพิมพ์ที่ผ่านการทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้ม สนิมเหล็กและไม่ผ่านการการทำมอร์แดนท์ ผ้าพิมพ์ด้วยผงสีทั้งหมดมีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ที่ระดับดี ถึง ดีมาก (4-5 ถึง 5) ซึ่งหมายถึงสีที่ตกลงในน้ำระหว่างการซักล้างจะไม่ติดลงบนผ้าหลายเส้นใย (Multifibers) ทั้ง 6 เส้นใย

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ ปรากฏดังตารางที่ 5 จากตารางที่ 5 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำของผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติ ทั้งผ้าที่ไม่ได้ทำมอร์แดนท์และผ้าที่ทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก จะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับดี ถึง ดีมาก (4 ถึง 5) ผ้าพิมพ์ด้วยผงสีทั้งหมดมีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ที่ระดับดี ถึง ดีมาก (4 ถึง 5) ซึ่งหมายถึงสีที่ตกลงในน้ำจะไม่ติดลงบนผ้าหลายเส้นใย (Multifibers) ทั้ง 6 เส้นใย

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะกรด) ปรากฏดังตารางที่ 6 จากตารางที่ 6 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะกรด) ของผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติประเภทเปลือกมะพูด เมื่อนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะกรด) สีบนผ้าจะเกิดการซีดจางหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ที่ระดับแย่ ถึงแย่ที่สุด (1-2) ทั้งผ้าที่ไม่ได้ทำการมอร์แดนท์และผ้าที่ทำการมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก ผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยกากกาแฟและผ่านการทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็กจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับปานกลาง (3-4) ในขณะที่ฝักคูนจะให้ค่าความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับปานกลาง (3) ทั้งผ้าพิมพ์ที่ผ่านการทำการมอร์แดนท์ด้วยสารส้ม สนิมเหล็กและผ้าที่ไม่ผ่านการการทำมอร์แดนท์ ผ้าพิมพ์ด้วยผงสีทั้งหมดมีค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ที่ระดับดี ถึง ดีมาก (4-5 ถึง 5) ซึ่งหมายถึงสีที่ตกจะไม่ติดลงบนผ้าหลายเส้นใย (Multifibers) ทั้ง 6 เส้นใย

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที)

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Colour staining)					
		แอซิเทต (Acetate)	ฝ้าย (Cotton)	ไนลอน (Nylon)	พอลิเอสเทอร์ (Polyester)	อะคริลิค (Acrylic)	ขนสัตว์ (Wool)
กากกาแฟ	1-2	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
กากกาแฟ+สารส้ม	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ครั่ง	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ครั่ง+สารส้ม	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ครั่ง+สนิมเหล็ก	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ใบมังคุด	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ใบมังคุด+สารส้ม	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมะพูด	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมะพูด+สารส้ม	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมังคุด	1	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมังคุด+สารส้ม	2-3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ฝักคูณ	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ฝักคูณ+สารส้ม	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Colour staining)					
		แอซิเทต (Acetate)	ฝ้าย (Cotton)	ไนลอน (Nylon)	พอลิเอสเทอร์ (Polyester)	อะคริลิค (Acrylic)	ขนสัตว์ (Wool)
กากกาแฟ	4-5	5	5	5	5	5	5
กากกาแฟ+สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	4-5	5	5	5	5	5	5
ครั่ง	4-5	5	4-5	5	5	4-5	5
ครั่ง+สารส้ม	4-5	4-5	4	5	4-5	4	5
ครั่ง+สนิมเหล็ก	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
ใบมังคุด	4-5	5	5	5	5	5	5
ใบมังคุด+สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	4-5	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด	4	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	4-5	5	5	5	5	5	5
เปลือกมังคุด	4-5	5	5	5	5	5	5
เปลือกมังคุด+สารส้ม	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5	4-5
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	4-5	5	4	4	5	4	4
ฝักคูณ	4-5	5	5	5	5	5	5
ฝักคูณ+สารส้ม	4-5	5	5	5	5	5	5
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	4-5	5	4-5	5	5	4-5	5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะกรด)

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Colour staining)					
		แอซิเทต (Acetate)	ฝ้าย (Cotton)	ไนลอน (Nylon)	พอลิเอสเทอร์ (Polyester)	อะคริลิค (Acrylic)	ขนสัตว์ (Wool)
กากกาแฟ	3	4-5	4-5	4	4-5	4-5	5
กากกาแฟ+สารส้ม	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
ครั่ง	4-5	5	5	4-5	5	5	5
ครั่ง+สารส้ม	4	5	4-5	4-5	5	5	5
ครั่ง+สนิมเหล็ก	2-3	5	4-5	4-5	5	4-5	4-5
ใบมังคุด	4-5	5	5	4-5	5	4-5	5
ใบมังคุด+สารส้ม	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	4-5	5	4-5	4-5	5	5	5
เปลือกมะพูด	1-2	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สารส้ม	1-2	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	1-2	5	5	5	5	5	5
เปลือกมังคุด	3-4	4-5	4-5	4	5	5	5
เปลือกมังคุด+สารส้ม	4-5	4-5	4	4	5	5	5
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	4	5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
ฝักคูณ	3	5	5	5	5	5	5
ฝักคูณ+สารส้ม	3	5	4	4	4-5	4-5	5
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	3	5	4	4-5	4-5	4-5	4-5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะด่าง) ปรากฏดังตารางที่ 7 จากตารางที่ 7 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะด่าง) ของผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติประเภทกากกาแฟ ครั่ง เปลือกมะพูด เปลือกมังคุด และฝักคูณ เมื่อนำมาทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะดาง) สีบนผ้าจะเกิดการซีดจางหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี ที่ระดับแย่ ถึงแย่ที่สุด (1 ถึง 2) ทั้งผ้าที่ไม่ได้ทำมอร์แดนท์และผ้าที่ทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้มและสนิมเหล็ก ผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยเปลือกมังคุดและผ่านการทำมอร์แดนท์ด้วยสารส้ม และสนิมเหล็กจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับปานกลาง (3-4) ผ้าพิมพ์ด้วยผงสีทั้งหมดมีค่าการติดเปื้อนสีอยู่ที่ระดับดี ถึง ดีมาก (4-5 ถึง 5) ซึ่งหมายถึงสีที่ตกลงในน้ำระหว่างการซักล้างจะไม่ติดลงบนผ้าขาวทั้ง 6 เส้นใย

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (สภาวะด่าง)

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ความคงทนต่อเปลี่ยนแปลงของสี (Colour change)	ความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Colour staining)					
		แอซิเทต (Acetate)	ฝ้าย (Cotton)	ไนลอน (Nylon)	พอลิเอสเทอร์ (Polyester)	อะคริลิค (Acrylic)	ขนสัตว์ (Wool)
กากกาแฟ	1-2	5	5	5	5	5	5
กากกาแฟ+สารส้ม	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	5
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	1-2	5	4-5	5	5	5	5
ครั่ง	2	5	4	4-5	4-5	5	5
ครั่ง+สารส้ม	1	3-4	3-4	3-4	4	4	4
ครั่ง+สนิมเหล็ก	1-2	2	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
ใบมังคุด	4-5	4	4	4	4-5	4-5	4-5
ใบมังคุด+สารส้ม	4-5	4	4	4	4-5	4	4-5
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	4	4-5	4	4	5	4-5	4-5
เปลือกมะพูด	1	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สารส้ม	1-2	5	5	5	5	5	5
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	1-2	5	5	5	5	5	5
เปลือกมังคุด	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
เปลือกมังคุด+สารส้ม	3	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	3	5	4	4	4-5	4	4-5
ฝักคูณ	1-2	5	4-5	4-5	5	4-5	5
ฝักคูณ+สารส้ม	2-3	3	3-4	4	4-5	4-5	4-5
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	2-3	3	3	4	4-5	4	4-5

หมายเหตุ ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด

ตารางที่ 8 แสดงค่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของผ้าฝ้ายพิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติจากผลการทดลองพบว่าผ้าที่พิมพ์ด้วยใบมังคุด เปลือกมังคุด และฝักคูนทั้งที่ทำมอร์แดนท์และไม่ทำมอร์แดนท์ปรากฏค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับแย่ (2) ส่วนผ้าที่พิมพ์ดด้วยกากกาแฟ ครั่ง และเปลือกมังคุดค่าการเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับพอใช้ (3)

ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูปรากฏดังตารางที่ 8 จากตารางที่ 8 พบว่าผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูของผ้าที่พิมพ์ด้วยผงสีจากธรรมชาติชนิดเปลือกมังคุด และใบมังคุดปรากฏค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับแย่ ถึง ปานกลาง (2-3) ส่วนผ้าฝ้ายที่พิมพ์ด้วยผงสีจากกากกาแฟ ครั่ง เปลือกมะพูด และฝักคูน ให้ค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสีอยู่ในระดับดี ถึง ดีมาก (4-5)

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู และความคงทนของสีต่อแสง

ชื่อผงสีและสารมอร์แดนท์	ความคงทนของสีต่อการขัดถู*				ความคงทนของสีต่อแสง ** (Colour Change)
	ค่าความคงทนต่อการติดเปื้อนสี (Colour staining)				
	แนวด้ายยืน		แนวด้ายพุ่ง		
	สภาวะแห้ง	สภาวะเปียก	สภาวะแห้ง	สภาวะเปียก	
กากกาแฟ	5	4-5	5	4-5	3
กากกาแฟ+สารส้ม	4-5	4	4-5	4	3
กากกาแฟ+สนิมเหล็ก	4-5	4	4-5	4	3
ครั่ง	4-5	4	4-5	4	3
ครั่ง+สารส้ม	4-5	4	4-5	4	3
ครั่ง+สนิมเหล็ก	4-5	4	4-5	4	3
ใบมังคุด	3-4	1-2	3-4	1-2	2
ใบมังคุด+สารส้ม	3-4	2-3	3-4	2-3	2
ใบมังคุด+สนิมเหล็ก	3	2	3	2	2
เปลือกมะพูด	4-5	4-5	4-5	4-5	2
เปลือกมะพูด+สารส้ม	4-5	4-5	4-5	4-5	2
เปลือกมะพูด+สนิมเหล็ก	4-5	4	4-5	4	2
เปลือกมังคุด	4	2-3	4	2-3	3
เปลือกมังคุด+สารส้ม	2-3	2	2-3	2	3
เปลือกมังคุด+สนิมเหล็ก	2	1-2	2	1-2	3
ฝักคูณ	4-5	4	4-5	4	2
ฝักคูณ+สารส้ม	4-5	4	4-5	4	2
ฝักคูณ+สนิมเหล็ก	4-5	4	4-5	4	2

หมายเหตุ * ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 5 ดีที่สุด ** ระดับ 1 แย่ที่สุด /ระดับ 8 ดีที่สุด

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งพิมพ์กับผงสี โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งพิมพ์ต่อผงสีเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 90:10 80:20 และ 70:30 โดยมีการกำหนดตัวแปรที่คงที่ ได้แก่ เวลาและอุณหภูมิ โดยใช้เวลาในการผสมแล้วทิ้งไว้ที่ 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง สรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะของแป้งพิมพ์กับผงสีจะอยู่ที่อัตราส่วน 90:10 ซึ่งส่วนผสมจะมีความหนืดพอดี สามารถนำไปพิมพ์ผ้าโดยใช้บล็อกสกรีนได้ลวดลายที่คมชัด

สารมอร์แดนท์ประเภทสารส้มจะส่งผลให้ผ้าที่พิมพ์มีสีสว่างสดใส ส่วนสารมอร์แดนท์ประเภทสนิมเหล็กทำให้สีของผ้าที่พิมพ์ออกมามีความมืดและส่งผลทำให้ค่าความเข้มสี (K/S) มีค่าสูงเมื่อเทียบกับการทำมอร์แดนท์โดยใช้สารส้ม และไม่ทำมอร์แดนท์

เอกสารอ้างอิง

[1] Mongkholrattanasit, R., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K., Klaichoi, C., & Nakpathom, M. (2016). Eco-dyeing of silk fabric with *Garcinia Dulcis* (Roxb.) Kurz bark as a source of natural dye by using the padding technique. Journal of Natural Fibers, 13(1), 65-76.

[2] Mongkholrattanasit, R., Kryštůfek, J., Wiener, J., & Studničková, J. (2011). Natural Dye from Eucalyptus Leaves and Application for Wool Fabric Dyeing by Using Padding Techniques, in Natural Dyes, ed. Emriye Akcakoca Kumbasar (Zagreb, Intech Publisher), 57-78.

[3] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., Rungruangkitkrai, N., Sasivatchutikool, P. (2016). Dyeing of nylon fabric with natural dye from cassia fistula fruit: A research on effect metal mordants concentration, Materials Science Forum. 857, 487-490.

[4] Sasivatchutikool, P., & Nakpathom, M. (2019). Application of natural dye extracted from Cassia Fistula ripe pods for dyeing of silk fabric. Fibers and Polymers, 20, 1841-1849.

[5] Mongkholrattanasit, R., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K. Nakpathom, M., and Klaichoi, C. (2016). Eco-dyeing of silk fabric with *Garcinia Dulcis* (Roxb.) Kurz Bark as a source of natural dye by using the padding technique, Journal of Natural Fibers.13 (1), 65-76.

[6] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., Egtasaeng, P., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K., & Nakpathom, M. (2016). UV protection and fastness properties of silk fabric dyed with Garcinia Dulcis (Roxb.) Kurz bark by using pad-dry technique. A focus on effect of mordant concentration. Advanced Materials Research, 821-822, 573-576.

[7] Mongkholrattanasit, R., Ariyakuare, K., Limtrakool., T., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K., & Nakpathom, M. (2013). An evaluation of silk fabric dyed with lac dye by using pad-dry technique. A research on effect of mordant concentration. Advanced Materials Research, 821-822, 569-572.

[8] Mongkholrattanasit, R., Punrattanasin, N., & Nakpathom, M. (2014). Cold-pad-batch dyeing of silk with Laccifer lacca Kerr. and Garcinia dulcis (Roxb.) Kurz bark. Advanced Materials Research, 864-867, 2152-2155.

[9] Mongkholrattanasit, R., Rungruangkitkrai, N., Tubtimthai, N., & Sasivatchutikool, N. (2014). UV protection property of colorant from Lac for silk fabric dyeing by cold pad-batch: The influence of metal mordants concentration. Advanced Materials Research, 884-885, 257-260.

[10] Mongkholrattanasit, R., Saiwan, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K. Nakpathom, M., & Klaichoi, C. (2015). Ecological dyeing of silk fabric with lac dye by using padding techniques, The Journal of The Textile Institute. 106 (10), 1106 – 1114.

[11] Punrattanasin, N., Nakpathom, M., Soomboon, B., Narumol, N., Rungruangkitkrai, N., & Mongkholrattanasit, R. (2013). Silk fabric dyeing with natural dye from mangrove bark (*Rhizophora apiculata Blume*) extract. Industrial Crops and Products. 49, 122-129.

[12] Vuthiganond, N., Nakpathom, M., Somboon, B., Narumol, N., & Mongkholrattanasit, R. (2023). Improving the Deodorizing Ability of Cotton Fabric by Printing with Bamboo Charcoal. Journal of Natural Fibers, 20 (1), 1-10.

[13] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., Rungruangkitkrai, N., Vuthiganond, N., & Nakpathom, M. (2022). Eco-printing on cotton fabric with natural indigo dye using wild taro corms as a new thickening agent, Journal of Natural Fibers, 19 (13), 5435-5450.

[14] Mongkholrattanasit, R., Klaichoi, C., & Rungruangkitkrai, N. (2021). Reactive dye printing on cotton fabric using modified starch of wild taro corms as a new thickening agent. Cellulose Chemistry and Technology, 55 (9-10), 1119-1129.

[15] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร. (2016). การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างตามมาตรฐาน ISO 105-C06: 2010 (Tests for colour fastness part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering). Colourway. 21 (122), 23-27.

[16] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร. (2014). การทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำ (Colour Fastness to water) มาตรฐาน ISO105 E01:2010. Colourway. 20 (114), 22-24.

[17] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร. (2015). การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Colour Fastness to Perspiration) มาตรฐาน ISO 105 E04: 2013. Colourway. 21 (118), 20-23.

[18] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร. (2014). การทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู (Colour Fastness to Rubbing) ตอนที่ 2 มาตรฐาน AATCC Test Method 8-2007. Colourway. 20 (113), 14-17.

[19] The International Organization for Standardization. (2014). International Standard ISO 105-B02; Textiles-Tests for Colour Fastness – Part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test. Geneva: International Organization for Standardization. 1-36.