ผลของความเร็วมอเตอร์ต่อประสิทธิภาพการย้อมผ้าครามสำหรับเครื่องย้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ

วิทยานิพนธ์

ของ

พงศ์ศิริ สำราญมาก

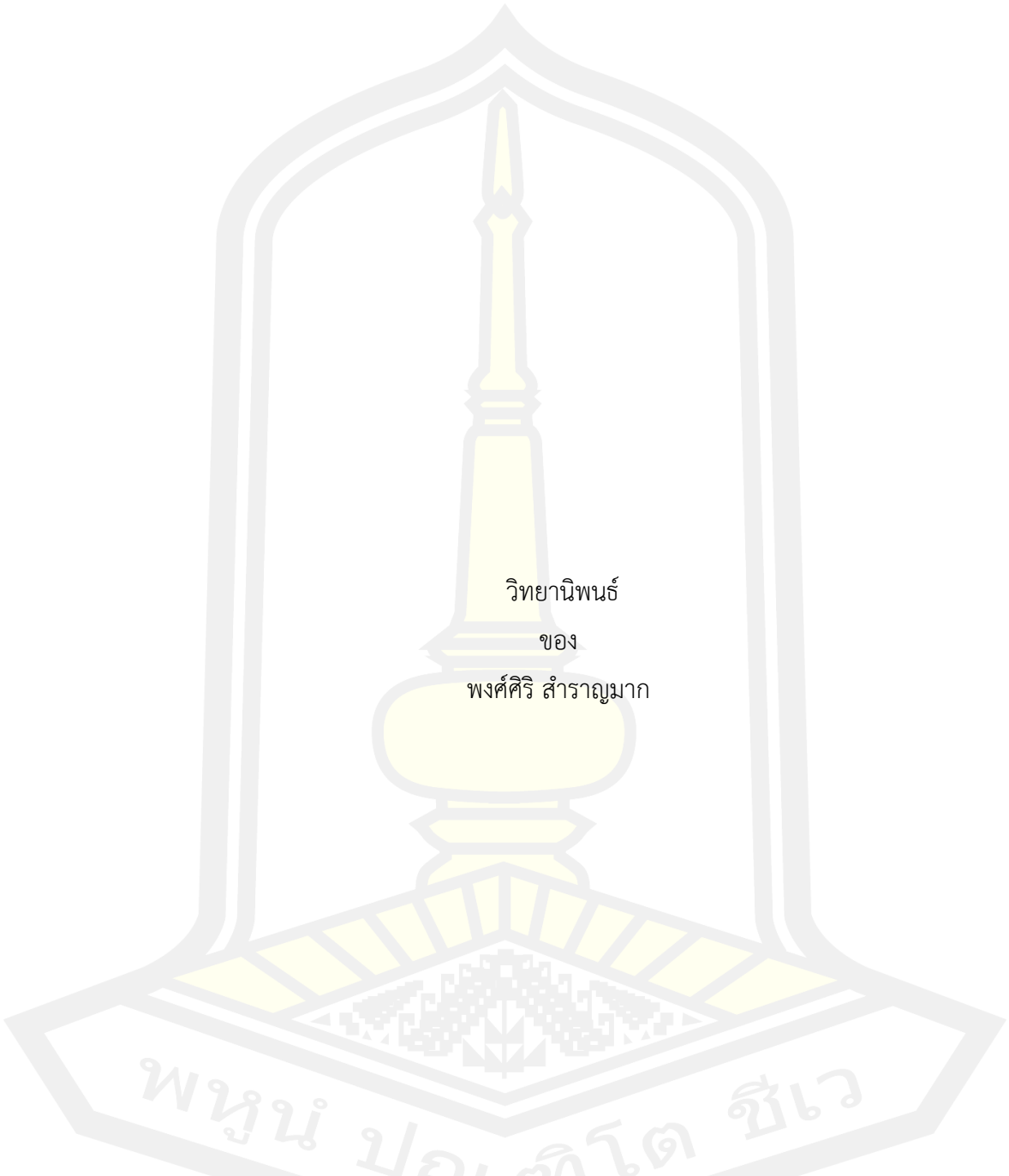
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของความเร็วมอเตอร์ต่อประสิทธิภาพการย้อมผ้าครามสำหรับเครื่องย้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ



วิทยานิพนธ์

ของ

พงศ์ศิริ สำราญมาก

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

เมษายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effects of Motor Speed on Efficiency of Semi-Automatic Indigo Dyeing Machine

Phongsiri Samranmak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

April 2023

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายพงศ์ศิริ สำราญมาก แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อดิเรก จันตะคุณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รศ. ดร. ชลธี โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. นวรัตน์ พิลาแดง)

.....กรรมการ
(อ. ดร. บัญชา วัฒนะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ผลของความเร็วมอเตอร์ต่อประสิทธิภาพการย้อมผ้าครามสำหรับเครื่องย้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผู้วิจัย พงศ์ศิริ สำราญมาก

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธี โพธิ์ทอง

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2566

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องย้อมครามแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถปรับความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ในการสัมผัสน้ำสีของเส้นฝ้ายในกระบวนการย้อมผ้าคราม ณ อุณหภูมิที่แตกต่างได้ ทั้งนี้เพื่อใช้ต้นแบบเครื่องดังกล่าวในการทดลองและวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วมอเตอร์ ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และอุณหภูมิ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการย้อมครามในส่วนคุณภาพและระยะเวลาที่ใช้ในการย้อม

ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมเพื่อให้ได้คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับเข้มปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม เมื่อมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว การกำหนดมอเตอร์ให้หมุนในทิศสลับไปมาจะทำให้การย้อมเร็วขึ้นถึง 5 เท่าและคุณภาพการย้อมสูงขึ้นเป็นระดับค่อนข้างเข้ม-เข้มได้ ความเร็วรอบมอเตอร์เชิงมุมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมที่ให้คุณภาพระดับค่อนข้างเข้ม-เข้มด้วยต้นแบบเครื่องนี้อยู่ที่ 30 รอบ/นาที ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมคือ 25 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : คราม, การย้อมคราม, เครื่องย้อมคราม, ประสิทธิภาพการย้อมคราม

TITLE Effects of Motor Speed on Efficiency of Semi-Automatic Indigo Dyeing Machine

AUTHOR Phongsiri Samranmak

ADVISORS Associate Professor Chonlatee Photong , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2023

ABSTRACT

This thesis presents design and development of a semi-automatic Indigo dyeing machine that could allow adjustable rotating speed and rotation direction at different temperature when dyeing. The developed machine prototype was used to test and analyze effects of motor speed, rotation direction and temperature on quality and dyeing time efficiency.

The experimental tests showed that dyeing time of 30 minutes was the optimum time for medium-rather high dyeing quality when the motor rotated in one direction. When the motor rotated alternatively, the dyeing time was 5 times reducing while provided rather high- high dyeing quality. The motor speed of 30 RPM was the best speed for the developed machine in this research. In addition, the dyeing temperature of 25 degree Celsius was the optimum temperature for the dyeing process of the machine.

Keyword : Indigo, Indigo dyeing, Indigo dyeing machine, Indigo dyeing efficiency

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธี โพธิ์ทอง ที่ให้ความรู้ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งคำแนะนำทุก ๆ ขั้นตอน และความกรุณาในการใช้สถานที่ รวมถึงอุปกรณ์ในการทดลอง จนให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพี่นิสิตปริญญาโท นายวัฒนา เชื้อลิ้นฟ้า นายภาคภูมิ พันธุขันธ์ และนางสาวอรพิน กิตติวงค์ ที่คอยให้คำแนะนำให้ความรู้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโททุกท่านที่คอยให้กำลังใจขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และผู้มีพระคุณทั้งหลายที่คอยสนับสนุนคอยให้กำลังใจและเอาใจใส่ โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้จัดทำตลอดมา

สุดท้ายนี้ หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่าง ๆ ในปริญญานิพนธ์นี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาและผู้ทำการวิจัยท่านอื่น ๆ ผู้จัดทำขอยกคุณความดีทั้งหลายให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา หากปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดผู้จัดทำก็ขออภัยมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

พงศ์ศิริ สำราญมาก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 5

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.5 แผนดำเนินงานวิจัย 6

บทที่ 2 7

2.1 เกี่ยวกับผ้าคราม 7

2.1.1 คราม (Indigofera tinctoria) 7

2.1.2 การเตรียมสีครามธรรมชาติจากใบครามสด 9

2.1.3 การก่อหม้อครามเตรียมน้ำย้อม 11

2.1.4 การเตรียมน้ำขี้เถ้า 13

2.1.5 การดูแลน้ำย้อมในหม้อคราม 14

2.1.6 ผ้าย้อมคราม 16

2.1.7 การย้อมคราม 17

2.1.8 การย้อมสี 19
2.1.9 โครงสร้างของสีคราม 20
2.1.10 การเตรียมน้ำย้อมและกระบวนการย้อม 22
2.1.11 อุณหภูมิการย้อมผ้าคราม 23
2.2 ความเร็วมอเตอร์ 24
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 27
3.1 โครงสร้างและการออกแบบเส่วนประกอบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 27
3.1.1 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 28
3.1.2 โครงสร้างและการออกแบบวงจรควบคุมเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 30
3.1.3 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code) 32
3.2 หลักการทำงานของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 32
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 33
3.3.1 อุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า 33
3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล 33
3.3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ 34
3.3.4 เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สองลำแสง 35
3.3.5 การออกแบบระบบควบคุม 36
3.4 การออกแบบการเก็บผลการทดลอง 37
3.5 พื้นที่ในการทดสอบ 39
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 39
บทที่ 4 40
4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบต้นแบบ 40
4.2 วัสดุเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 44

4.2.1 เส้นฝ้าย (Cotton) 45
4.2.2 เทอร์โมมิเตอร์ 45
4.2.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) 46
4.2.4 นาฬิกาจับเวลา (Timer) 47
4.2.5 แบบจำลองภาพถ่าย 47
4.2.6 เครื่องมือทดสอบระดับสี 48
4.2.7 น้ำคราม การเตรียมสีคราม 49
4.2.8 แบบจำลองเครื่องย้อมคราม 49
4.3 ผลการทดลอง 49
4.3.1 การทดลองศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม 50
4.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม 53
4.3.3 การทดลองเพื่อค้นหาความเร็วที่เหมาะสม 57
4.3.4 การทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสม 60
บทที่ 5 65
5.1 สรุปผลการทดลอง 65
5.2 อภิปรายผลการทดลอง 67
5.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต 68
บรรณานุกรม 70
ประวัติผู้เขียน 179

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB..... 38

ตารางที่ 4.1 ค่าความเร็ว ณ จุดย้อม สำหรับความเร็วมอเตอร์ระดับต่าง ๆ 43

ตารางที่ 4.2 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน..... 52

ตารางที่ 4.3 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์แบบการหมุนกลับไปกลับมา ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน..... 55

ตารางที่ 4.4 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์แบบการหมุนทิศทางเดียว ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากตารางที่ 4.1..... 55

ตารางที่ 4.5 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาความเร็วที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน 59

ตารางที่ 4.6 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน 62

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 2.1 แสดงตัวอย่างต้นคราม [19] 8

ภาพประกอบ 2.2 ใบคราม [19] 8

ภาพประกอบ 2.3 ดอกคราม [19] 8

ภาพประกอบ 2.4 ผลคราม [19] 9

ภาพประกอบ 2.5 แช่ใบครามสดไว้ 24 ชั่วโมง [20] 9

ภาพประกอบ 2.6 แยกกากออก จึงเติมปูนขาวในน้ำครามและกวนให้เกิดฟองมาก ๆ น้ำคราม เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน [20] 10

ภาพประกอบ 2.7 การก่อหม้อครามเตรียมน้ำย้อม [20] 11

ภาพประกอบ 2.8 ขี้เถ้า [22] 14

ภาพประกอบ 2.9 การเตรียมน้ำขี้เถ้า [22] 14

ภาพประกอบ 2.10 การดูแลน้ำย้อมในหม้อคราม [22] 15

ภาพประกอบ 2.11 ผ้าคราม [25] 16

ภาพประกอบ 2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำผ้าฝ้ายมัดหมี่ย้อมสีคราม [24] 17

ภาพประกอบ 2.13 โครงสร้างของ Indigo blue [27] 20

ภาพประกอบ 2.14 ปฏิกิริยาทั้งหมดของกระบวนการเตรียมน้ำย้อมคราม [28] 21

ภาพประกอบ 2.15 ปฏิกิริยารีดักชันการเตรียมสีคราม [27] 22

ภาพประกอบ 2.16 ปฏิกิริยาการย้อมของสีคราม [27] 22

ภาพประกอบ 3.2 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 28

ภาพประกอบ 3.3 วงจรควบคุมเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ 30

ภาพประกอบ 3.4 มัลติมิเตอร์ [45] 33

ภาพประกอบ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล [46] 33

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ [47] 34
ภาพประกอบ 3.7 เครื่อง Hunter Lab [48] 35
ภาพประกอบ 3.8 แผนภาพการออกแบบการควบคุมระบบทำงานของตัวเครื่อง 36
ภาพประกอบ 4.1 โครงสร้างและการออกแบบจำลองเครื่องย้อมคราม 40
ภาพประกอบ 4.2 การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองเครื่องย้อมคราม 41
ภาพประกอบ 4.3 ต้นแบบเครื่องย้อมครามจริงที่ใช้ในการทดลอง 41
ภาพประกอบ 4.4 ส่วนประกอบวงจรควบคุมสำหรับเครื่องย้อมครามที่ใช้ในการทดลอง 43
ภาพประกอบ 4.5 เส้นฝ้าย จำนวน 7 ม้วน ม้วนละ 30 เส้น 45
ภาพประกอบ 4.6 เทอร์โมมิเตอร์ 46
ภาพประกอบ 4.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) 46
ภาพประกอบ 4.8 นาฬิกาจับเวลา (Timer) 47
ภาพประกอบ 4.9 อุปกร์สำหรับถ่ายภาพตัวอย่างการทดลอง 47
ภาพประกอบ 4.10 เครื่องมือทดสอบระดับสี 48
ภาพประกอบ 4.11 น้ำคราม 49
ภาพประกอบ 4.12 ระดับสีผ้าย้อมครามระยะเวลาที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB 51
ภาพประกอบ 4.13 กราฟระยะเวลาที่เหมาะกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาย้อมและระดับคุณภาพสม 52
ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาย้อมและระดับคุณภาพทิศทางสองทาง 56
ภาพประกอบ 4.16 ระดับสีผ้าย้อมครามความเร็วที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB 58
ภาพประกอบ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระดับคุณภาพ 59
ภาพประกอบ 4.18 ระดับสีผ้าย้อมครามอุณหภูมิที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB 61
ภาพประกอบ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระดับคุณภาพ 62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สีครามมีชื่อสามัญว่าอินดิโก (indigo) หรืออินดิโกติน (indigotin) มีสีน้ำเงินเข้มโทนฟ้า สามารถสกัดจากพืชธรรมชาติหลายชนิด ได้แก่ พืชวงศ์กะหล่ำ (Cruciferous) ในยุโรป พืชวงศ์ถั่ว (Leguminosae) ในอินเดีย พืชวงศ์เหงือกปลาหมอ (Acanthaceae) ในประเทศญี่ปุ่น [1] ผ้าย้อมครามนิยมใช้กันแพร่หลายในหลายเขตพื้นที่ของโลก โดยเฉพาะในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี อินเดีย ลาว และไทย เนื่องจากมีองค์ความรู้ในการเพราะปลูกครามและการย้อมคราม สำหรับประเทศไทย ผ้าย้อมครามนั้นมากในภาคอีสานมักจะย้อมครามที่เส้นฝ้ายแล้วนำไปทอมือให้เป็นผืน เกิดเป็นผ้าที่มีเอกลักษณ์ของแต่ละพื้นที่ชุมชน ในปัจจุบันมีการคิดวิธี และผสมเทคนิคใหม่เพื่อให้ได้ลวดลายและสีสันหลากหลาย [2]

เครื่องนุ่งห่มเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ของมนุษย์ มนุษย์ใช้ภูมิปัญญาในการนำพืชหรือสัตว์มาประดิษฐ์เป็นเครื่องนุ่งห่ม จากการผลิตด้วยมือจนถึงการผลิตด้วยเครื่องจักร ในอดีตชาวชนบทจะผลิตเครื่องนุ่งห่มจากวัสดุธรรมชาติ สร้างสรรค์ด้วยสีธรรมชาติสีครามเป็นสีย้อมธรรมชาติที่มีประวัติศาสตร์ที่ยาวนานมากกว่า 6,000 ปี มีการทำสีครามจากต้นไม้ชนิด ต่าง ๆ ตามภูมิภาคนั้น ๆ สีครามคุณภาพดีมีแหล่งผลิตในเอเชีย เช่นสีครามจากประเทศอินเดียเป็นที่นิยมของคนอังกฤษมากกว่าสีครามที่ได้จากประเทศเยอรมันและฝรั่งเศส เมื่อสีสังเคราะห์ถูกพัฒนาขึ้นการใช้สีธรรมชาติจึงค่อย ๆ ลดลง โดยเฉพาะการใช้สีคราม ลดลงเหลือเพียง 4 % ในโลก เมื่อปี พ.ศ. 2457 [3]

ในประเทศไทยมีผ้าย้อมครามใช้ตั้งแต่เมื่อใดไม่มีหลักฐานชัดเจน แต่ภาพถ่ายเก่า ๆ ของคนในชนบท หรือแม้แต่ชุมชนที่ยังรักษาวัฒนธรรมการแต่งกายไว้ ยังปรากฏผ้าย้อมครามอย่างต่อเนื่อง เพียงแต่ใช้ในชุมชนเท่านั้นจนเป็นสัญลักษณ์ของคนชนบท ประมาณปี 2535 สกลนครจึงเป็นแห่งแรกในประเทศไทยที่ฟื้นฟูและบำรุงผ้าย้อมครามจากภูมิปัญญาที่ถูกแฝงไว้ด้วยวัฒนธรรมชนบทสมัยใหม่ [4] จังหวัดสกลนคร เป็นพื้นที่ได้รับการยอมรับและมีชื่อเสียงในด้านหัตถกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการย้อมผ้าครามธรรมชาติ และผ้าย้อมสีธรรมชาติ ซึ่งมีผู้ประกอบการวิสาหกิจในชุมชนกระจายอยู่ทุกพื้นที่ ผ้าย้อมครามของจังหวัดสกลนคร ถือเป็นสินค้าของดีของฝากเมืองสกลนครที่

สามารถทำรายได้เข้าจังหวัด ปีละกว่า 1,000 ล้านบาท ผ้าย้อมครามเป็นสินค้าที่มีอัตลักษณ์ มีเสน่ห์และเป็นที่รู้จักในวงกว้างทั้งในและต่างประเทศ เพราะเป็นสินค้าที่กระแสโลกต้องการ เนื่องจากทำจากธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของผู้สวมใส่ ซึ่งปัจจุบันถือได้ว่าจังหวัดสกลนคร มีกลุ่มที่ผลิตทอผ้าย้อมครามมากที่สุดในประเทศ แต่หากจะให้มีความยั่งยืนและประสบผลสำเร็จในระยะยาว ควรพัฒนาทิศทางทางการตลาดอย่างจริงจังอย่างต่อเนื่อง ด้วยความร่วมมือของคนในท้องถิ่น เพื่อสร้างสรรค์สินค้าที่มีคุณภาพ เชื่อมโยงกับองค์กรภาคเอกชน ผู้ประกอบการระดับ SME หรือผู้ส่งออกที่ประสบผลสำเร็จในผลิตภัณฑ์ เคหะสิ่งทอผ้าประดับตกแต่ง ๆ ผ้าพันคอ จะช่วยเพิ่มช่องทางการตลาด [5]

ปัจจุบันการทอผ้าย้อมครามยังคงมีจำกัดเฉพาะบางพื้นที่เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและสภาพแวดล้อมทางสังคม ความเป็นอยู่เปลี่ยนแปลงไปจึงมีการใช้สีเคมีเพื่อใช้ในการย้อมผ้าซึ่งมีความสะดวก พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม วิถีคราม ได้เลือนหายไปจากการดำรงชีวิตของคนในชุมชน เพื่อเป็นการฟื้นฟูและ อนุรักษ์ ภูมิปัญญาวิถีครามให้คงอยู่กับสังคมชาวอีสาน สถาบันวิจัยศิลปะและวัฒนธรรมอีสาน มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้ร่วมกับชุมชน นักวิชาการ ปราชญ์พื้นบ้านในการนำองค์ความรู้วิถีครามมาพัฒนาชุมชนให้เข็มแข็งและยั่งยืนต่อไป [6]

ผ้าย้อมครามเป็นผ้าที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวในเรื่องกลิ่นและสีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะผืนแล้วยังเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการทุ่มเทแรงกายและแรงใจของผู้ทำ ซึ่งในการย้อมเพื่อให้ได้สีครามที่เข้มตามต้องการนั้นจะต้องใช้เวลาในการย้อมซ้ำหลาย ๆ ครั้งทำให้เสียเวลาในการย้อมมาก แต่ก็ทำให้ผลิตภัณฑ์จากผ้าย้อมสีครามธรรมชาติกลายเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับความนิยมจากชาวต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศต่าง ๆ ในทวีปยุโรปและญี่ปุ่น [7] แต่ผ้าย้อมครามมีข้อจำกัดในด้านความคงทนของสีผ้าต่อการซักล้าง ตกสีง่ายวิธีการผลิตและการเตรียมน้ำย้อมหลังจากที่ได้เนื้อครามจากต้นครามจากสูตรการเตรียมน้ำย้อมที่สามารถย้อมสีครามธรรมชาติติดได้ต้องใช้เวลานาน 15-20 วัน จึงสามารถนำเส้นใยและผ้าฝ้ายมาย้อมสีได้ ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ระยะเวลาในการรอนานมากที่สุด จนบางครั้งมีการนำสีเคมีมาใช้ย้อมแทนซึ่งก็ทำให้เกิดสารตกค้างในดินและอันตรายต่อผู้ย้อมและผู้สวมใส่ [8] สีธรรมชาติมีข้อดี คือ จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษใด ๆ เมื่อนำไปย้อม น้ำย้อมที่ได้จากการย้อมสลายตัวได้ง่าย มีความเป็นพิษต่ำ ทำให้ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของผู้ใช้ และสิ่งแวดล้อม [9] ในปัจจุบันสีธรรมชาติมีปริมาณการผลิตและนำไปใช้ในปริมาณน้อย โดยไม่ค่อยเป็นที่นิยมในสังคมไทยมากนัก เนื่องจากสีธรรมชาตินั้นมีขบวนการย้อมที่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลานาน สีไม่สด มีความคงทนต่อการซักและความคงทนต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ [10]

กระบวนการการเตรียมและย้อมสีครามจากธรรมชาติจะสังเกตได้ว่า ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นเตรียมสีคราม และนำมาย้อมสี จนกระทั่งได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่ได้เฉดสีน้ำเงินออกมาใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 1 เดือน (กรณีที่มีหม้อครามหม้อเดียว) แต่ถ้านับเวลาเฉพาะเวลาย้อมสีครามจากธรรมชาติอย่างเดียวใช้เวลาประมาณ 9-11 วัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติแบบดั้งเดิมที่สืบมอดมาจากบรรพบุรุษนั้นมีข้อเสียคือใช้เวลาย้อมนาน และมีขั้นตอนที่สลับซับซ้อน ไม่สามารถย้อมใต้ครั้งละในปริมาณที่มาก ๆ ไม่ค่อยนิยมนำมาย้อมเส้นด้ายไหม สำหรับข้อดีของการใช้สีครามจากธรรมชาติคือเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค [11] สีธรรมชาตินั้นยุ่งยากขั้นตอนต่าง ๆ มีความสลับซับซ้อน ไม่สะดวกสบาย เสียเวลา อีกทั้งสีที่ย้อมได้ มีความคงทนของสีต่ำ สีตกและซีดจางง่าย การย้อมสีสิ่งทอที่ผ่านมามากกว่าร้อยละ 95 เป็นการย้อมด้วยสีสังเคราะห์ เนื่องจากมีข้อดีคือย้อมติดสีได้ดี มีความคงทนต่อการซักและแสงแดดสูง ทำการย้อมได้สะดวกรวดเร็ว แต่ผลที่เกิดตามมาจากการใช้สีสังเคราะห์นั้น ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียที่ยากต่อการบำบัด มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น ปรอท ตะกั่ว เป็นต้น รวมถึงไอระเหยที่มาจากการต้มและย้อมสีสังเคราะห์ ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคโดยตรง แม้ผลิตภัณฑ์บางอย่างที่ได้จากการย้อม ยังพบว่ามีสารพิษจากสีสังเคราะห์เจือปนอยู่ ซึ่งในระยะยาวอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ [12]

สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี ให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่าง ๆ มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสดได้มากมาย มีสีที่หลากหลาย คงทนต่อ การซักล้าง ทนต่อแสงแดด ทนร้อน ย้อมติดสีต่อเส้นใยทุกชนิด ผลิตได้ทีละมาก ๆ ใช้ง่าย เก็บรักษาง่ายราคาถูก ทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วง 5-10 ปีที่ผ่านมามีการพบวิจัยว่าสีย้อมเคมีเป็นสารที่ก่อมะเร็ง ทั้งระหว่างการย้อมและในน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนจากดิน น้ำ พืชและสัตว์ เมื่อคนได้รับสารตกค้างเหล่านี้ก็ได้รับสารก่อมะเร็ง โดยที่มีย้อมแต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อมตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญมากในการย้อมสี เพราะวัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมสีย้อมได้เพียงชนิดเดียว หรือสามารถย้อมสีได้หลายชนิดต่างกันไป [13] ดังนั้นทางผู้วิจัยได้วางแผนเพิ่มกำลังการผลิตผ้าพื้นเมืองย้อมสีจากยางกล้วยเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ปัจจุบันมีความต้องการในปริมาณสูง ทำให้กำลังการผลิตในปัจจุบันไม่ เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ซึ่งเดิมที่จากกลุ่มมีกรย้อมผ้าจากยางกล้วยโดยใช้แรงงานคน ไม่มีเครื่องจักรในการช่วยทุ่นแรง ทำให้ทางกลุ่มเกิดปัญหาเรื่องการผลิตสินค้าไม่ทันตามความต้องการและการย้อมด้วยหม้อได้ กำลังการผลิตต่ำ จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจและมีแนวคิดในการออกแบบ

และจัดสร้างเครื่องย้อมผ้าแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จากข้อมูลการศึกษาค้นคว้าพบว่า [14] ได้พัฒนาเครื่องจักรต้นแบบเครื่องย้อมผ้าจากยางกล้วยแบบกึ่งอัตโนมัติ ตัวเครื่องประกอบด้วยชุดแกนไจผ้าจำนวน 4 ชุด มีการควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าควบคู่กับระบบ PLC ที่ทำการบังคับทิศทางการหมุนของชุดแกนเกี่ยวไจผ้าดิบให้มีลักษณะที่เลียนแบบการบิดผ้าขณะย้อม และควบคุมชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนอีกตัวเพื่อใช้ในการบังคับพาชุดแกนเกี่ยวไจผ้าเคลื่อนที่ขึ้นลง เพื่อทำการจุ่มน้ำยางกล้วยที่บรรจุอยู่ในอ่างสแตนเลสด้านล่าง และสามารถตั้งเวลาในการจุ่มพร้อมกับการบิดผ้าได้ตามต้องการแล้วแต่ลักษณะและความเข้มสีย้อมที่ต้องการ เครื่องย้อมผ้าครามต้นแบบ สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดและสามารถทำการย้อมใจผ้าฝ้ายได้ 4 ใจต่อรอบการย้อม (เทียบเท่า 4 คน) วัน ลดต้นทุนได้วันละ 56 บาท x 6 ชม. x 3 คน = 1000 บาทต่อวัน หรือ 1000 x 260 วัน = 260,000 บาทต่อปี โดยใช้เวลาทำอบแห้ง ประมาณ 5-7 นาทีต่อรอบการย้อม และสามารถบรรจุวัตถุดิบ (น้ำคราม) เพื่อทำการอบแห้งได้ไม่ต่ำกว่า 30 ลิตรต่อรอบการย้อม โดยน้ำครามที่ใช้เป็นแบบสำเร็จรูปสามารถใช้ย้อมผ้าได้ต่อเนื่อง ลดปัญหาการเมื่อยล้าและบาดเจ็บจากการย้อมด้วยมือ และคุณภาพของผ้าที่ย้อมได้ใกล้เคียงเทียบกับผลิตภัณฑ์เดิมซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้ประกอบการและทางลูกค้าของผู้ประการ [14] ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการย้อมอยู่ที่ 20 รอบต่อนาที [15]

จากงานวิจัยพบว่า อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ติดสีย้อมที่เตรียมโดยวิธีหมักได้ดีที่สุด ความทนของสีต่อแสงและการซักล้างที่ ระดับดี [16] กระตุกเส้นใยหลังย้อม การกระตุกเส้นใยหลังย้อมนั้นเพื่อเป็นการทำให้เส้นใยทุกเส้นที่ผ่านการย้อมแล้ว ได้สัมผัสกับแก๊สออกซิเจนเพื่อจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงินเข้ม [15] การย้อมสีคราม ในน้ำย้อมที่เย็นจะย้อมติดสีครามได้ดีกว่าตอนเช้าและตอนเย็นเป็นเวลาที่เหมาะสมในการย้อมคราม [17] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยทั้งหมดข้างต้นยังไม่มีการศึกษาในส่วนของครามธรรมชาติ กล่าวคือ ยังไม่มีการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสน้ำและอากาศที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมสีครามธรรมชาติ รวมถึงยังไม่มีการศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำย้อมผ้าครามที่มีผลต่อคุณภาพและระยะเวลาในการย้อมสีด้วยครามธรรมชาติ จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องย้อมครามแบบกึ่งอัตโนมัติ จำนวน 1 เครื่อง ที่สามารถปรับความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ในการสัมผัสน้ำสีของเส้นฝ้าย ณ อุณหภูมิที่แตกต่าง ได้

2. ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในส่วนผลกระทบของความเร็วการหมุนของมอเตอร์ ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และอุณหภูมิ ที่มีต่อคุณภาพ และระยะเวลาการย้อมครามเปรียบเทียบกับการย้อมด้วยมือแบบดั้งเดิม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เป็นการวิจัยโดยใช้เส้นใยวัสดุจากรัฐวิสาหกิจชุมชนบ้านโนนแสบง ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม และห้องวิจัยพลังงานรังสีอาทิตย์และแหล่งพลังงานสำรอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยมหาสารคาม เป็นห้องปฏิบัติการ

2. การวิเคราะห์สมรรถนะของอุปกรณ์ จะวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของการเพิ่มผลผลิตของผ้าย้อมครามในระดับครัวเรือน รวมไปถึงระดับชุมชนเท่านั้น

3. มีต้นทุนในการจัดสร้างเครื่องต้นแบบน้อยกว่า 40,000 บาท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบอุปกรณ์เครื่องย้อมผ้ากึ่งอัตโนมัติที่มีสมรรถนะเป็นที่น่าพอใจ และมีต้นทุนการผลิตต่ำ

2. สามารถลดระยะเวลาในการย้อมผ้าครามในปัจจุบัน

3. เพิ่มผลผลิตของผ้าย้อมครามในปัจจุบัน

4. ลดการเกิดอันตรายจากการใช้มือสัมผัสโดยตรงและการได้รับกลิ่นจากการย้อมคราม

1.5 แผนดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบการทำวิจัย (ศึกษาสังเกตและกำหนดประเด็นปัญหาการวิจัย)
2. ลงพื้นที่สำรวจและรวบรวมข้อมูล ออกแบบและจัดสร้างนวัตกรรม
3. ทดสอบการใช้งานลงพื้นที่จริง
4. ติดตั้งและอบรมใช้งานนวัตกรรมแล้วใช้งานจริง
5. เก็บข้อมูล สรุปผลทำเล่มวิทยานิพนธ์
6. สรุปรายงาน
7. เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารหรือประชุมวิชาการ

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 เกี่ยวกับผ้าคราม

2.1.1 คราม (Indigofera tinctoria)

ต้นครามเป็นไม้พุ่มตระกูลถั่ว ชอบน้ำน้อย แดดจัด บริเวณที่เหมาะแก่การปลูก จึงมักเป็นที่ตอนโล่ง เช่น หัวไร่ปลายนา คันคูของบ่อปลาและต้องดายหญ้าเสมอ เพื่อให้ต้นครามได้รับแดดจัดเต็มที่ใบครามสดให้สีครามประมาณร้อยละ 0.4 หรือทั้งกิ่งทั้งใบแก่และใบอ่อนประมาณ 4 กิโลกรัม จึงได้เนื้อครามปนปูนขาว 1 กิโลกรัม ย้อมฝ่ายได้ประมาณ 200-300 กรัม จึงต้องปลูกต้นครามค่อนข้างมาก ยิ่งถ้าทำผ้าย้อมครามตลอดปีเพื่อการค้า ยิ่งต้องปลูกประมาณ ปีละ 5-6 ไร่ พอต้นครามอายุ 3 เดือน ให้สีครามมากที่สุด ต้นครามสูง ประมาณ 1-2 เมตร ใบประกอบแบบขนนกเรียงสลับ ปลายใบเดี่ยว ใบย่อยรูปรี ดอกช่อออกตามซอกใบ ดอกย่อยรูปดอกถั่ว กลีบดอกสีชมพู ผลเป็นฝัก มีทั้งฝักตรงและฝักโค้ง ภายในฝักมี 7-12 เมล็ด ระบบรากเป็นระบบรากแก้ว ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้อง มีตาและตาดอกเกิดขึ้นบริเวณข้อแล้วเกิดเป็นช่อดอกในภายหลัง แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบดอก 5 กลีบ เกสรตัวผู้ 10 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน เมล็ดของครามมีลักษณะสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ค่อนข้างกลม ขนาดเล็ก มีน้ำหนักเฉลี่ย 3.35-16.15 กรัมต่อ 1000 เมล็ด จากการทดลองใช้ใบและก้านใบของคราม อายุ 2, 3, 4 และ 5 เดือน สกัดสีครามพบว่า ครามอายุ 3 เดือนให้ปริมาณสีครามมากที่สุด คือ 2.95 ppm. ต่อชิ้นส่วนสกัด 25 กรัม ขณะที่ครามอายุ 2, 4 และ 5 เดือน ให้ปริมาณสี 1.5, 1.26 และ 1.21 ppm. [18] ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 [19]

ภาพประกอบ 2.1 แสดงตัวอย่างต้นคราม [19]

ภาพประกอบ 2.2 ใบคราม [19]

ภาพประกอบ 2.3 ดอกคราม [19]

ภาพประกอบ 2.4 ผลคราม [19]

2.1.2 การเตรียมสีครามธรรมชาติจากใบครามสด

ประมาณร้อยละ 50 ของผู้ทำสีครามธรรมชาติจะทำสีครามจากใบครามสด ผู้ทำสีครามต้องระมัดระวัง ตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บใบครามจากตัน ต้องเก็บในเวลาเช้ามืดก่อนที่พระอาทิตย์ขึ้น

ภูมิปัญญาไทยทำสีครามธรรมชาติจากใบครามสด ขั้นตอนดังนี้

1. การแยกสีครามจากต้นคราม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การแยกสีครามจากต้นครามแช่ใบครามสดไว้ 24 ชั่วโมง แยกกากออก จึงเติมปูนขาวในน้ำครามและกวนให้เกิดฟองมาก ๆ น้ำครามเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน พักไว้ 1 คืน ดังภาพประกอบ 2.5 และ 2.6 [20]

ภาพประกอบ 2.5 แช่ใบครามสดไว้ 24 ชั่วโมง [20]

ภาพประกอบ 2.6 แยกกากออก จึงเติมปูนขาวในน้ำครามและกวนให้เกิดฟองมาก ๆ น้ำคราม เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน [20]

ให้บรรจุต้น กิ่ง ใบครามสดในภาชนะ ใช้มือกดใบครามให้แน่น เติมน้ำให้ท่วมหลังมือ แช่ไว้ 10-12 ชั่วโมง จึงกลับใบครามข้างล่างขึ้นทับส่วนบน แช่ต่อไปอีก 10-12 ชั่วโมง แยกกากใบครามออก ได้น้ำครามใส สีฟ้าจาง เติมปูนขาว 20 กรัมต่อน้ำคราม 1 ลิตร ถ้าชั่งใบครามสด 10 กิโลกรัม ใช้น้ำแช่ 20 ลิตร จะใช้ปูนขาว 400 กรัม หรือเติมทีละน้อยจนฟองครามเป็นสีน้ำเงิน จึงกวนจนกว่าฟองครามจะยุบ พักไว้ 1 คืน รินน้ำใสทิ้ง ถ้าน้ำใสสีเขียวแสดงว่าใส่ปูนน้อย ยังมีสีครามเหลืออยู่ในน้ำคราม ถ้าใส่ปูนพอดีน้ำใสเป็นสีชา หากใส่ ปูนมากเกินไป เนื้อครามเป็นสีเทา ใช้ไม่ได้ เนื้อครามที่ต้องเนื้อเนียนละเอียด สีน้ำเงินสดใสและเป็นเงา ซึ่งอาจเก็บเป็นเนื้อครามเปียกหรือเนื้อครามผงก็ได้ ขึ้นอยู่กับการใช้งานในขั้นตอนก่อหม้อ อย่าเชื่อว่าแช่ใบครามนานแล้วจะได้สีครามมาก เพราะผลการวิจัยปรากฏชัดว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่สีครามตั้งต้นในใบครามจะถูกสลาย (Hydrolyze) ให้สีคราม (Indoxyl) ออกมาอยู่ในน้ำครามได้มากที่สุด ในเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น การแช่ใบครามที่ใช้เวลาน้อยหรือมากจนเกินไปจะได้สีครามน้อยแต่สิ่งปลอมปนมาก ทำให้ปนในเนื้อผ้าที่ย้อมด้วยผ้าจึงหมองไม่สวย หากต้องการสีครามเร็วให้แช่ใบครามในน้ำอุ่นไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส หรือโขลกใบครามสดในครกกระเดื่องและแช่ในน้ำที่อุณหภูมิปกติเพียง 12 ชั่วโมง [21]

2.1.3 การก่อหม้อครามเตรียมน้ำย้อม

ซึ่งเนื้อครามเปียก (indigo blue) 1 กิโลกรัม ผสมน้ำขี้เถ้า 3 ลิตร ใน โอ่งดิน โจกน้ำย้อมทุกเช้า-เย็น สังเกตสี กลิ่น และฟอง วันที่ 3 ใช้มะขามเปียก 100 กรัม ต้มกับน้ำ 1 ลิตร พักให้เย็น ผสมลงไปในโอ่งน้ำย้อม โจกครามทุกวัน และสังเกตต่อไป ซึ่งน้ำย้อมจะใสขึ้น เปลี่ยนเป็นสีเขียวปนน้ำเงิน กลิ่นหอมอ่อน ฟองสีน้ำเงิน โจกครามทุกวันจนกว่าน้ำย้อมจะเป็นสีเหลืองอมเขียวหรือเขียว ยอดตองขุ่นข้น ฟองสีน้ำเงินเข้มวาว ไม่แตกยุบ แสดงว่าเกิดสีคราม (Indigo white) ในน้ำย้อมแล้ว ซึ่งใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 7 วัน ดังภาพประกอบ 2.7 [20]

ภาพประกอบ 2.7 การก่อหม้อครามเตรียมน้ำย้อม [20]

การเตรียมสีครามหรือการก่อหม้อครามทำได้หลายสูตร แต่ใช้วัตถุดิบที่จำเป็นเหมือนกันคือ ประกอบด้วยเนื้อครามกับน้ำขี้เถ้าและปูนขาวอีกเล็กน้อย ภูมิปัญญาท้องถิ่นแถบอีสานเหนือส่วนใหญ่ใช้เนื้อครามในสภาพเหลวเหมือนเนยเหลว (Indigo paste) ส่วนน้อยใช้เนื้อครามในน้ำคราม ไม่เคยใช้เนื้อครามแห้ง ดังนั้นภูมิปัญญาท้องถิ่นแถบอีสานเหนือจึงระวังดูแลเนื้อครามเป็นอย่างดีไม่ให้แห้ง แม้จะเก็บไว้เป็นปีก็ตาม ขณะที่ภูมิปัญญาท้องถิ่นแถบอีสานได้ใช้ เนื้อครามเป็นก้อนและแห้ง (ภาษาท้องถิ่น เรียกว่า ตรม)

เมื่อจะก่อหม้อครามก็ใช้ตรม 2 ก้อนถูกันให้ผงของตรมร่วงลงไปในน้ำขี้เถ้า ภูมิปัญญาท้องถิ่นแถบอีสานเหนือจะใช้สีครามย้อมฝ้ายแต่ภูมิปัญญาท้องถิ่นแถบอีสานใต้ใช้สีครามย้อมไหม สำหรับขี้เถ้าที่ใช้ก่อหม้อครามทำจากขี้เถ้าของไม้บางชนิดด้วยเทคนิคพิเศษ ต่างจากขี้เถ้าที่ได้จากพื้นหรือ

ถ่านไม้สำหรับหุงต้มในครัวเรือน ไม้ที่ทำขี้เถ้าสำหรับก่อหม้อคราม ได้แก่ ต้นเพกา ต้นจามจุรี ต้นขี้เหล็ก ต้นนุ่น ต้นมะละกอ เหง้ากล้วย เปลือกฝักนุ่น ทางมะพร้าว งวงตาล (เกสรตัวผู้) ต้นผักขมหนาม ฯลฯ แล้วแต่จะหาชนิดใดได้ง่าย ไม้เหล่านี้หากมีลักษณะไม่แห้งนักจะยิ่งดี ในการเผาก็จะเผาให้ไหม้ในระดับหนึ่งไม่ถึงขั้นเป็นผงขี้เถ้า เมื่อเผาได้ที่แล้วจะพรมน้ำเล็กน้อยในขี้เถ้าขณะร้อน พักไว้ให้อุ่น ๆ พอ จับต้องได้ จึงเก็บขี้เถ้าชิ้นนั้นในภาชนะปิด หากทิ้งไว้ให้ขี้เถ้าเป็นหรือแห้งเป็นผง เมื่อนำมาทำน้ำขี้เถ้าจะได้น้ำขี้เถ้าที่ไม่เค็มเพียงพอ ในการทำน้ำขี้เถ้าก็เตรียมภาชนะที่เจาะรูด้านล่างไว้และรองด้วยใยมะพร้าวหรือปุยนุ่นหรือฟองน้ำเก่า ๆ ก็ได้ จากนั้นบรรจุขี้เถ้าขึ้นในภาชนะดังกล่าว กดอัดขี้เถ้าให้แน่น เติมน้ำให้ได้ระดับเดียวกับระดับเดิมของขี้เถ้าก่อนกด กรองเอาน้ำขี้เถ้าครั้งที่ 1 เติมน้ำระดับเดิม และกรองครั้งที่ 2 รวมน้ำขี้เถ้าทั้ง 2 ครั้งเข้าด้วยกัน การทำเช่นนี้เป็นการควบคุมความเข้มข้นของน้ำขี้เถ้าให้พอดี เก็บน้ำขี้เถ้าไว้ในภาชนะที่ไม่ซึมและทนเค็ม [21]

หลังจากก่อหม้อครามด้วยสูตรต่าง ๆ แล้ว น้ำย้อมเริ่มต้นจะมี pH มากกว่า 11 เนื่องจากปูนขาวในเนื้อครามและน้ำขี้เถ้าต่างก็เป็นด่าง ผู้ทำครามต้องโจกครามทุกเช้า-เย็น เติมออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ด้วย หากไม่โจกครามจะเกิดฟิล์มเมือกปิดผิวหน้าของน้ำย้อม น้ำย้อมมีกลิ่นเหม็นเน่าเสียต้องเททิ้ง ประโยชน์อีกอย่างของการโจกครามก็เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีและฟองของน้ำย้อม ซึ่งเริ่มแรกจะมีสีน้ำเงินเข้ม ฟองใสไม่มีสี pH ของน้ำย้อมลดลงทุกวัน ประมาณวันที่ 5-7 น้ำย้อมจะมีสีเขียว กลิ่นหอมเฉพาะตัว ถ้าน้ำย้อมไม่เปลี่ยนสี กลิ่นไม่เปลี่ยน ให้เติมน้ำต้มมะขามเปียก (มะขามเปียก 100 กรัม ต้มในน้ำ 1 ลิตร พักให้เย็น กรองเอาน้ำเก็บในภาชนะปิด) ประมาณ 200 มิลลิลิตร ต่อน้ำคราม 3 ลิตร หากวันรุ่งขึ้นสียังไม่เปลี่ยนให้เติมอีกและสังเกตสีทุกวัน หลังจากนั้นสีของน้ำย้อมเหลืองมากขึ้น เขียวลดลง ลักษณะน้ำย้อมหนืด ข่นข้น จนประมาณวันที่ 15-20 น้ำย้อมมีสีเหลือง เข้ม กลิ่นหอม แสดงว่าเกิดสีคราม (Indigo white) มากพอแล้วในน้ำย้อม จึงทำการย้อม หรืออาจไม่นานถึงวันที่ 20 หากน้ำย้อมเหลืองจัดให้ย้อมได้เลย [21]

เส้นใยที่ย้อมติดสีครามได้ดีที่สุดคือใยฝ้ายธรรมชาติ ถ้าเป็นฝ้ายจากร้านค้าจะถูกเคลือบด้วยแป้งมันมาก การติดสีจะไม่ดีหรือติดแล้วก็ลอกหลุด ภายหลังพร้อมกับแป้งมัน ถ้าเป็นใยโทเรจะติดสีไม่เข้ม ได้สีฟ้า-เทา แต่มีความวาวสวยงาม ใยไหมติดสีครามยากเช่นกัน ภูมิปัญญาจังหวัดสุรินทร์จะเติมน้ำส้ม มดแดงในน้ำย้อม และเติมเหล้าขาวประมาณ 1 ช้อนชาต่อน้ำย้อม 1 ลิตร ก่อนย้อมไหมฟอกเส้นใยที่ใช้ย้อมต้องสะอาดและหมาดน้ำ ฝ้ายที่ใช้ย้อมมีปริมาณพอเหมาะ คือน้ำย้อม 3 ลิตร ควรใช้ฝ้ายไม่เกิน 100 กรัม ขณะย้อมให้สังเกตน้ำย้อมด้วย เมื่อน้ำย้อมเหลวมากขึ้น สีเหลืองจะจางลง สีเขียวจะเข้มขึ้น ให้หยุดย้อม ทั้งนี้เพราะเมื่อสีครามเกิดมากพอแล้วในน้ำย้อม แสดงว่าขณะนั้นภาวะ

ของน้ำย้อมสมดุลพอดี ระหว่างปริมาณเนื้อคราม สีคราม ปูนขาว น้ำขี้เถ้า และภาวะความเป็นกรด-ด่าง เมื่อย้อมฝ่ายปริมาณพอดี ในเวลาพอดี ให้มีสีครามเหลืออยู่พอที่จะย้อมได้อีก น้ำย้อมอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเติมเนื้อครามกับน้ำขี้เถ้าอีกเพียงเล็กน้อย ไม่ให้ไปรบกวนช่วง pH ของการเกิดสี ใช้เวลาอีกไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง น้ำย้อมจะเหลืองจัดและย้อมได้อีก เติมเนื้อครามกับน้ำขี้เถ้าอีกเล็กน้อย พักไว้อีกไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง ก็ย้อมได้อีก ทำซ้ำ ๆ จะย้อมได้เรื่อย ๆ นานหลายปี ด้วยเหตุนี้จึงพบบางครัวเรือนมีหม้อครามตั้งแต่รุ่นคุณยาย ซึ่งเป็นคนย้อมครามชั้นครู ตกทอดถึงลูกหลาน ถ้าใช้ฝ่ายมากเกินไปหรือย้อมนานเกินไป ฝ่ายจะดูดซับสีครามไปมากหรือหมดไปจากน้ำย้อม เมื่อเติมเนื้อครามและน้ำขี้เถ้าอีกก็เหมือนการเริ่มก่อหม้อครามใหม่ ต้องรออีก 15-20 วัน เหตุการณ์เช่นนี้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเรียกว่าหม้อนิลหนี โดยภูมิปัญญาอธิบายถึงสาเหตุไม่ได้ แต่บอกต่อ ๆ กันมาว่าให้เติมมะขามเปียก 1 กำมือ หรือแช่เปลือกมะม่วงแผ่นเท่าฝ่ามือ หรือทุบมะเฟืองทั้งลูกแช่ลงไป อีก 2-3 วันหม้อนิลก็จะกลับมา ถ้าย้อมฝ่ายในปริมาณและในเวลาพอดี แต่เดิมเนื้อครามกับน้ำขี้เถ้ามากจนรบกวน pH ของน้ำย้อมให้สูงเกินช่วงเกิดสี หม้อนิลก็หนีอีกเช่นกัน เรียกกลับมาได้ โดยเติมสิ่งเปรี้ยว ๆ แต่หากเติมมากเกินไป ทำให้ pH ต่ำกว่าช่วงเกิดสี ก็จะเรียกว่าหม้อนิลตาย ต้องเททิ้ง ทางแก้คือเติมปูนขาวลงไปหม้อนิลก็กลับมา ซึ่งปรากฏการณ์หม้อนิลหนีคือปัญหาใหญ่ที่สุดของการทำสีครามและย้อมคราม [21]

2.1.4 การเตรียมน้ำขี้เถ้า

น้ำขี้เถ้าที่ใช้ทำมาจากขี้เถ้าของไม้บางชนิดเท่านั้น และต้องเตรียมให้ได้ความเค็มคงที่ หรือ ถ.พ. 1.05 ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้เหง้ากล้วยเป็นหลัก เพราะหาง่ายและทำให้สีครามติดฝ่ายได้ดี เตรียมโดยสับเหง้ากล้วยเป็นชิ้น ๆ ผึ่งแดดพอหมาด นำมาเผารวมกับทางมะพร้าว เปลือกผลนุ่น ฯลฯ จนไหม้เป็นเถ้า ใช้น้ำพรมดับไฟ รอให้อุ่นจึงเก็บในภาชนะปิด ถ้าทิ้งไว้ให้ขี้เถ้าเย็นการละลายของเกลือในขี้เถ้าจะน้อยลง หรือถ้ารดน้ำดับไฟแล้วทิ้งไว้นาน สารละลายเกลือจากขี้เถ้าก็ซึมลงดินบริเวณที่เผาทุกอย่างจึงต้องแย่งชิงให้ถูกจังหวะ นำขี้เถ้าชิ้นนั้น บรรจุในภาชนะที่เจาะรูด้านล่างไว้ อัดขี้เถ้าให้แน่นที่สุดเท่าที่ทำได้ เติมน้ำให้ได้ระดับเดียวกับขี้เถ้าก่อนกดอัด กรองเอาน้ำขี้เถ้าครั้งแรก แล้วเติมน้ำอีกเท่าเดิมกรองเอาน้ำขี้เถ้าครั้งที่สอง รวมกันกับน้ำขี้เถ้าครั้งแรก จะได้น้ำขี้เถ้าเค็มพอดีกับการใช้งานต่อไป ดังภาพประกอบ 2.8 และ 2.9 [22]

ภาพประกอบ 2.8 ขี้เถ้า [22]

ภาพประกอบ 2.9 การเตรียมน้ำขี้เถ้า [22]

2.1.5 การดูแลน้ำย้อมในหม้อคราม

การดูแลน้ำย้อมในหม้อครามให้ย้อมได้ทุกวันเช้า-เย็น ติดต่อกันนาน ๆ เป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดในการทำสีคราม แต่ถ้าช่างย้อมเข้าใจสีครามและหมั่นสังเกต อีกทั้งซื่อตรงสม่ำเสมอในการปฏิบัติจะสามารถดูแลหม้อครามแต่ละหม้อได้นานหลายปี การดูแลหม้อครามเป็นงานที่ท้าทาย และเป็นตัวชี้วัดความชำนาญของช่างย้อม ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เวลาฝึกฝนสังเกต และทดลองทุกวันตลอด 3-5 ปี ถ้าอยากเรียนลัดเป็นช่างที่ชำนาญการย้อมครามภายใน 1 ปี ต้องรู้จักสีครามให้ดี หลักการสำคัญต้องช่าง

สังเกตและสม่ำเสมอ ฝึกความชำนาญวิธีใด วิธีหนึ่ง ไม่ควรเปลี่ยนวัตถุดิบที่เคยใช้และแต่ละกลุ่มไม่ควรเปลี่ยนคนย้อมและดูแลหม้อคราม

กระบวนการผลิตสีครามและย้อมคราม ทุกขั้นตอนจึงมีข้อจำกัดในเรื่องส่วนผสม เวลา อุณหภูมิ ความชื้น และความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารที่เกี่ยวข้องและทักษะปฏิบัติ ที่กล่าวข้างต้นล้วนสำคัญต่อคุณภาพของสีและผ้าย้อมคราม ช่างย่อมต้องช่างสังเกต เข้าใจ ยอมรับ เคารพ และศรัทธา ดังภาพประกอบ 2.10 [22]

ภาพประกอบ 2.10 การดูแลน้ำย้อมในหม้อคราม [22]

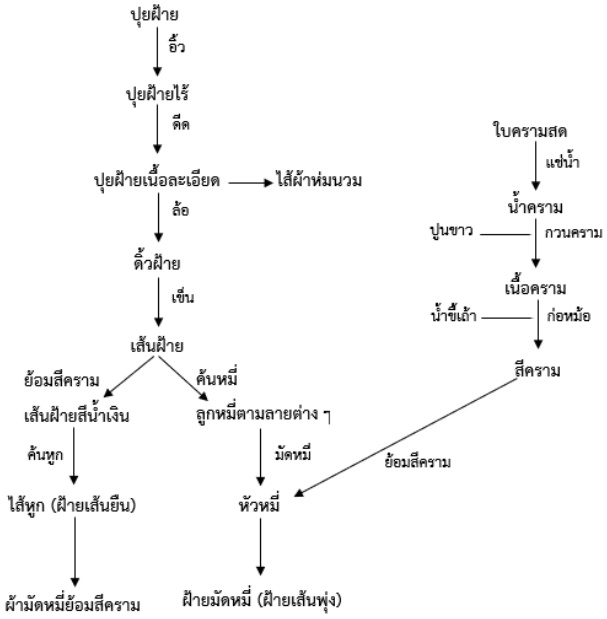
ไม่ว่าจะก่อหม้อครามด้วยสูตรใดก็ต้องสังเกตการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น ฟอง และความหนืดของน้ำย้อมทุกวัน โดยทุกเช้าและเย็น ต้องตักน้ำย้อมยกขึ้นสูง ประมาณ 1 ฟุต แล้วเทน้ำย้อมกลับคืนลงหม้อเดิม 4-5 ครั้ง เรียกว่า โจกคราม ลักษณะของน้ำย้อมวันแรกสีน้ำเงิน ฟองใสไม่มีสี แตกยุบตัวเร็ว กลิ่นเนื้อคราม น้ำย้อมเหลว วันต่อไปน้ำย้อมใสสีน้ำตาล กลิ่นและฟองเหมือนเดิม ประมาณ วันที่ 7 จะได้กลิ่นหอมเฉพาะตัวของสีคราม น้ำย้อมจะเป็นสีเขียว ฟองสีฟ้าใส แตกง่าย ประมาณวันที่ 10 15 กลิ่นสีครามแรงมากขึ้น ผิวหน้าของน้ำย้อม เป็นสีน้ำเงินเข้ม เมื่อปาดผิวหน้าจะเห็นน้ำย้อมสีเหลืองเข้มปนสีเขียวอ่อน เมื่อ โจกครามจะเห็นน้ำย้อมหนืด ขุ่นข้น เกิดฟองสีน้ำเงินเข้มขุ่น เป็นเงาสีเทาไม่แตก และเห็นริ้วสีน้ำเงินของ Indigo blue ที่เกิดจาก Indigo white ในน้ำย้อม ถูกออกซิไดซ์โดยอากาศ การเกิดสีครามเช่นนี้ คนทำสีครามเรียกว่าหม้อนิลมาทำการย้อมฝ่ายได้ แต่มีบางครั้งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เรียกว่าหม้อนิล ไม่มา น้ำย้อมเป็นสีน้ำเงินไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ภูมิปัญญาแก้ไขโดยการเติมสิ่งต่อไปนี้อย่างใดอย่างหนึ่ง ผลมะเฟืองทุบ มะขามเปียก ฝักส้มป่อย น้ำต้ม

ใบโมง ส่าเหล้าและน้ำอ้อย หากแก้ไขแล้วหม้อนิลยังไม่มา น้ำย้อมอาจเน่าเหม็นหรือเป็นสีน้ำตาล แสดงว่าไม่สามารถแก้ไขได้แล้ว คนทำครามเรียกว่าหม้อนิลตาย ต้องเทน้ำย้อมทิ้ง ตั้งต้นก่อหม้อนิลใหม่ [22]

2.1.6 ผ้าย้อมคราม

ผ้าย้อมครามส่วนใหญ่ เป็นผลิตภัณฑ์จากฝ้ายย้อมด้วยสีคราม คุณภาพของผ้าเป็นผลมาจากความบริสุทธิ์ของใยฝ้ายสีคราม และความชำนาญของผู้เตรียมน้ำย้อม การทำผ้าย้อมครามในอดีต จะนำปุยฝ้ายมาทำเป็นเส้นฝ้ายแล้วทอเป็นผืนผ้าขาว จึงตัดเป็นเสื้อหรือกางเกงแล้วนำไปย้อมสีครามหลาย ๆ ซ้ำ จะได้เสื้อผ้าที่มีสีสม่ำเสมอ เข้มจนเกือบดำ จึงเรียกกันว่าผ้าย้อมหม้อนิล [21] ผ้าที่ทอด้วยมือ ที่ย้อมสีด้วยครามธรรมชาติ มีเฉดสีฟ้าถึงสีน้ำเงินเข้ม ผ้าย้อมครามนิยมใช้กันแพร่หลายในเขตพื้นที่ของโลกเฉพาะทวีปเอเชีย เนื่องจากมีความรู้ในการเพราะปลูกต้นครามและการย้อมคราม ผ้าครามในประเทศไทยมีมากในภาคอีสาน ส่วนใหญ่ในปัจจุบันมักจะย้อมผ้าครามที่เส้นฝ้ายก่อนนำไปทอด้วยมือเป็นผืน ทำให้เป็นมัดหมี่ลวดลายแล้วจึงนำไปย้อมทอด้วยกี่พื้นบ้าน เกิดเป็นผ้าทอมือย้อมที่มีเอกลักษณ์ของแต่ละพื้นที่ [23] ดังภาพประกอบ 2.11 และ 2.12 [24]

ภาพประกอบ 2.11 ผ้าคราม [25]



ภาพประกอบ 2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำผ้าฝ้ายมัดหมี่ย้อมสีคราม [24]

2.1.7 การย้อมคราม

สีครามในน้ำย้อม (Indigo white) แทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ดี เมื่อยกเส้นใยพ้นน้ำย้อมสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ สีครามจะถูกออกซิไดซ์เป็นสีน้ำเงิน (Indigo blue) ขังอยู่ภายในเส้นใย เส้นใยที่ย้อมติดสีครามได้ดีจึงเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ OH ในโครงสร้าง โดยเฉพาะใยฝ้าย ดังนั้นก่อนย้อมต้องทำความสะอาดฝ้ายและทำให้ฝ้ายเปียกด้วยน้ำสะอาด หากล้างฝ่ายไม่สะอาด เมื่อนำไปย้อมจะทำให้สีครามในน้ำย้อมเปลี่ยนไป ย้อมไม่ติด หรือหม้อหนี หากทำฝ้ายเปียกน้ำไม่ทั่ว เมื่อนำไปย้อมสีครามแทรกเข้าเส้นฝ้าย ไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดรอยด่าง เส้นใยเรยอนที่โรงงานอุตสาหกรรมนำเศษฝ้ายและเศษไม้มาปรับแต่งเป็นเส้นใยขนาดเล็ก สม่ำเสมอ นุ่ม มันวาว ย้อมติดสีคราม ได้ดี ให้สีน้ำเงินเข้ม สวยงาม แต่ทนต่อการนุ่งห่มน้อยกว่าใยฝ้าย [17]

การย้อมสีธรรมชาติ มีกรรมวิธีที่นิยมอยู่ 2 แบบ คือ การย้อมร้อนและการย้อมเย็น โดยกรรมวิธีการย้อมร้อน คือ การใช้ความร้อนที่เกิดจากการต้มในการสกัดสีจากวัตถุดิบธรรมชาติในขั้นตอนการย้อมเส้นไหม ส่วนกรรมวิธีการย้อมเย็น คือ การนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้สีนั้นมาสกัดสีโดยวิธีการหมักและใช้แสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย้อมเส้นไหมให้ติดสี เช่น การย้อมด้วยคราม ห้อม และมะเกลือ เป็นต้น ซึ่งการย้อมทั้ง 2 แบบ มีประเด็นที่น่าสนใจดังนี้

1. วิธีการย้อมร้อน

1.1 นำเส้นไหมที่ฟอกแล้วแบ่งใส่ห่วง ๆ ละเท่า ๆ กัน จากนั้นนำไปแช่ในน้ำอุ่น หรือสบู่เทียม นานประมาณ 10-15 นาที เมื่อครบบิดให้หมาด กระตุกเพื่อให้เส้นไหมคลายตัว

1.2 นำน้ำสีที่ได้ขึ้นตั้งไฟ จากนั้นเติมเกลือแกงลงในหม้อย้อมคนให้ละลาย

1.3 เมื่ออุณหภูมิในหม้อย้อมได้ 70 องศาเซลเซียส ให้นำเส้นไหมลงย้อมนานประมาณ 40 นาที ขณะย้อมหมุนกลับเส้นไหมทุก ๆ 5 นาที อุณหภูมิหม้อย้อมควรสูงไม่เกิน 95 องศาเซลเซียส

1.4 เมื่อครบ 40 นาที ให้ยกเส้นไหมขึ้นจากน้ำย้อม จากนั้นเติมน้ำสะอาด 1-2 ลิตร และเติมกรดน้ำส้มลงในหม้อข้อมคนให้เข้ากัน นำเส้นไหมลงย้อมต่ออีกประมาณ 20 นาที หมั่นกลับเส้นไหมทุก ๆ 5 นาที

1.5 เมื่อครบ 20 นาที นำเส้นไหมขึ้นจากน้ำย้อมล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 น้ำ หรือจนกว่าน้ำที่ล้างจะใสบิดให้หมาด กระตุกเพื่อให้เส้นไหมคลายตัว

1.6 วิธีการใช้สารติดสี

1) การย้อมสารช่วยติดสีก่อนการย้อม วิธีการนี้นิยมใช้กันทั่วไปโดยนำเส้นไหมที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ไปใส่ในภาชนะที่บรรจุสารละลายสารช่วยติดสี ส่วนมากจะทำให้ร้อนหรือเดือดนานระหว่าง 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมงก่อนปล่อยแช่ทิ้งไว้ในสารละลายต่ออีก 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นไหมออกมาล้างทำความสะอาดก่อนทำให้แห้งหรือนำไปย้อมสีต่อ

2) การย้อมสารช่วยติดสีพร้อมการย้อม วิธีการนี้สารละลายของสารช่วยติดสีจะถูกเติมลงไปโดยตรงในน้ำย้อม โดยใช้อุณหภูมิเดียวกับการย้อมสี ทั้งนี้การเติมสารช่วยติดสีจะมีทั้งที่เติมในน้ำย้อมก่อนย้อม เติมเมื่อการย้อมผ่านไประยะหนึ่งเติมเป็นช่วง ระหว่างการย้อมและเติมสารช่วยติดสี เมื่อการย้อมใกล้สิ้นสุดหลังการย้อมแล้วเส้นไหมอาจถูกแช่ไว้ในน้ำย้อม จนเย็นตัวลงหรือเอาออกจากน้ำย้อมทันทีก็ได้ จากนั้นจึงนำไปล้างจนสะอาดและตากให้แห้ง

3) การย้อมสารช่วยติดสีหลังการย้อมสี สารช่วยติดสีบางอย่างสามารถ ย้อมหลังการย้อมก็ได้ เช่น สารส้ม จุนสี การย้อมสารช่วยติดสีแบบนี้ใช้วิธีการย้อมแยกอิสระ หลังจากการย้อมเส้นไหมเสร็จแล้ว ใช้เวลาการย้อมนานประมาณ 15 นาที

2. วิธีการย้อมเย็น

2.1 ละลายเนื้อครามในน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ กรองเอาเศษผงที่ปนมากับเนื้อครามออก

2.2 เมื่อได้น้ำครามแล้วเติมโซดาไฟ เพื่อเป็นตัวทำละลายคราม คนน้ำครามจนโซดาไฟละลายหมด จากนั้นเติมเกลือและกลูโคส คนให้ละลายจะได้น้ำครามสีน้ำเงิน

2.3 เติมผงเหม็น (โซเดียมไฮโดรซัลไฟล์) ลงในน้ำคราม คนเบา ๆ ให้ละลายจนหมด น้ำสีจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองอมเขียว เกิดฟองเล็ก ๆ ที่ขอบภาชนะสีน้ำเงิน จากนั้นทิ้งน้ำครามไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ครามทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายได้ดีขึ้น พยายามไม่ให้น้ำครามสัมผัสกับอากาศ

2.4 นำเส้นไหมที่ได้ลงย้อมในน้ำครามที่อุณหภูมิห้อง ช่วงประมาณ 15 นาที แรก ให้กลับเส้นไหมบ่อย ๆ หลังจากนั้นเว้นช่วงความถี่ในการกลับเส้นไหมประมาณ 5-10 นาทีต่อครั้ง ใช้เวลาในการย้อมนาน 1 ชั่วโมง ขณะที่เส้นไหมแช่อยู่ในน้ำครามพยายามให้เส้นไหมจมอยู่ในน้ำย้อมไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เพราะเส้นไหมจะเปลี่ยนสีไม่เท่ากันทำให้เกิดการต่างได้

2.5 ในระหว่างที่ย้อมเส้นไหมที่แช่อยู่ในน้ำครามจะเป็นสีเหลือง ถ้าสัมผัสกับอากาศจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อย้อมครบ 1 ชั่วโมง ให้น้ำเส้นไหมขึ้นบิดให้หมาด กระตุกตากในที่ร่ม สำหรับขั้นต้นนี้ให้ทำอย่างรวดเร็ว เพราะเส้นไหมจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินเร็วมากเมื่อสัมผัสกับอากาศ พยายามคลี่เส้นไหมให้สัมผัสกับอากาศทั่วทุกเส้น เพราะจะเป็นความสม่ำเสมอของสีเส้นไหม ตากเส้นไหมให้แห้งในที่ร่มทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงจากนั้นจึงนำเส้นไหมมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วกระตุกตากให้แห้งในที่ร่ม [25]

2.1.8 การย้อมสี

สีธรรมชาติอาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้หรือไม่ละลายน้ำก็ได้ สีธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารละลายที่มีสี สามารถทำการสกัดสีได้โดยการต้มหรือการแช่ในน้ำ มีกระบวนการย้อมสีที่รวดเร็วและไม่ซับซ้อน เนื่องจากสีธรรมชาติเป็นสีที่ละลายได้ในน้ำ และมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถติดเส้นใยได้ด้วยตัวเอง (Substantivity) โดยไม่ต้องใช้สารอื่นเข้าช่วยในการย้อม เพียงแต่ใช้สีผสมน้ำก็สามารถย้อมผ้าได้ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายสีสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง คือ สีไดเร็กท์ (Direct - Dyes) เป็นสีที่ติดง่ายและหลุดง่ายเช่นเดียวกัน มีความคงทนของสีต่ำและเป็นสีที่ไม่สดใส ส่วนสีธรรมชาติที่อยู่ในรูปสารที่ไม่ละลายน้ำ ต้องอาศัยการหมักเพื่อเปลี่ยนเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ซึ่งกระบวนการย้อมมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน เช่น การย้อมสีคราม (Indigo) เป็นต้น

1. สีย้อมธรรมชาติ ผ้าที่ใช้ในการย้อม ต้องทำความสะอาดด้วยการต้มโดยใช้น้ำธรรมดา หรือสบู่เทียม ปริมาณของน้ำย้อมไม่ควรต่ำกว่า 30 ของน้ำหนักวัสดุ สีย้อมครามธรรมชาติย้อมที่อุณหภูมิห้องและจะติดสีได้ที่อุ

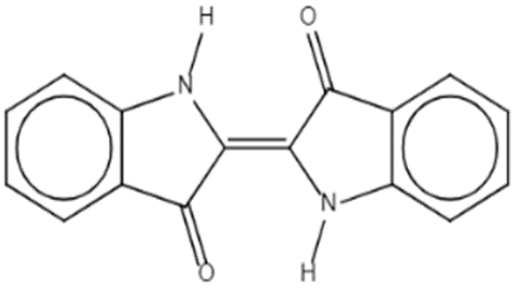
ณหภูมิสูงประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส ระหว่างการย้อมต้องหมั่นคนน้ำย้อมครามที่นำมาย้อม เพราะสีย้อมครามธรรมชาติจะตกตะกอนได้ง่าย จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผ้าด่าง สี

ธรรมชาติมีคุณสมบัติอีกอย่างคือ การกระจายตัวได้ดี ถ้าเกิดปัญหาด่างหรือย้อมสีไม่สม่ำเสมอ เมื่อครบเวลาย้อม สามารถแก้ไขได้โดยการเติมน้ำย้อมเพื่อรักษาระดับน้ำย้อม แล้วย้อมต่อ จนกว่าจะหายด่าง [12]

2. สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่างๆ มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสุดได้มากมาย คงทนต่อ การซักล้าง ทนต่อแสงแดด และทนร้อน ย้อมติดสีต่อเส้นใยได้ทุกชนิด ผลิตได้ทีละมากๆ ใช้ง่าย เก็บรักษาง่ายราคาไม่แพง ทำให้ได้รับความนิยม ในช่วง 5-10 ปีได้มีการวิจัยพบ สีย้อมสารเคมีบางชนิดเป็นสารที่ก่อมะเร็งทั้งในระหว่างการย้อมและในน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนจากดิน น้ำ พืช และสัตว์ ได้รับสารเคมีเหล่านี้เป็นสารก่อมะเร็ง โดยสีย้อมแต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อมตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกัน การเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญมากในการย้อมสี [13]

2.1.9 โครงสร้างของสีคราม

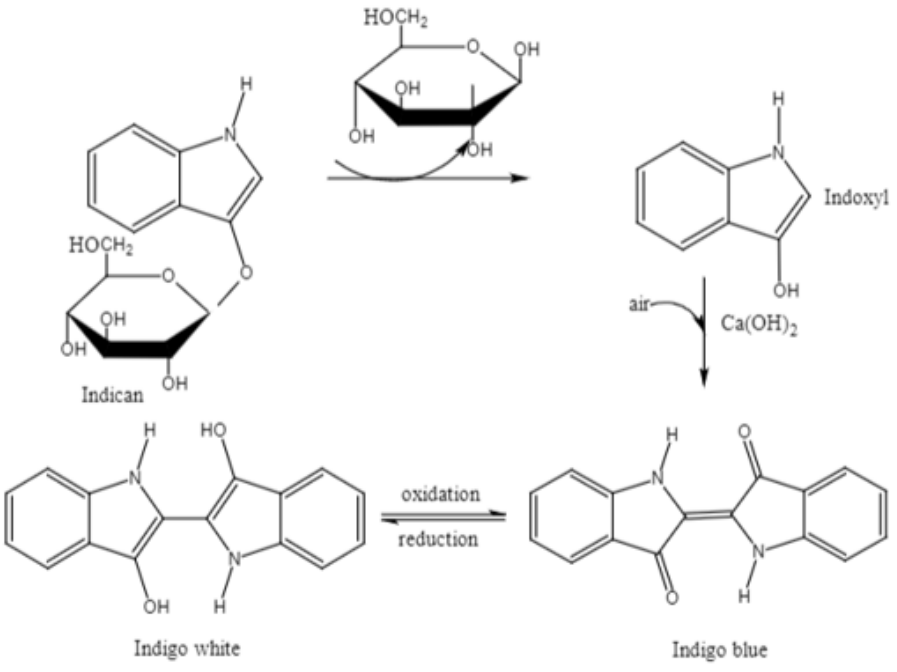
เคมีของสีครามในกระบวนการทำสีครามธรรมชาติ มีชื่อทางเคมี : “ 2 - (1 , 3 - Dihydro **–** 3 – oxo - 2H - indol - 2 - ylid - ene) - 1 , 2 dihydro - 3H - 3 - one ” โครงสร้างของ Indigo blue ดังภาพประกอบ 2.13 [26]



ภาพประกอบ 2.13 โครงสร้างของ Indigo blue [27]

สีครามมีหลายรูปแบบ (form) โดยรูปแบบของสารต้นตอ พบในพืชแหล่งให้สี คือ อินดิแคน (indican หรือ indexyl - B - D - glucoside) เป็นสารไม่มีสี และไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อแช่พืชสดในน้ำ อินดิแคนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ บีตา – กลูโคสิเดส (B glucosidase) ที่มีในปากใบของพืชนั้น

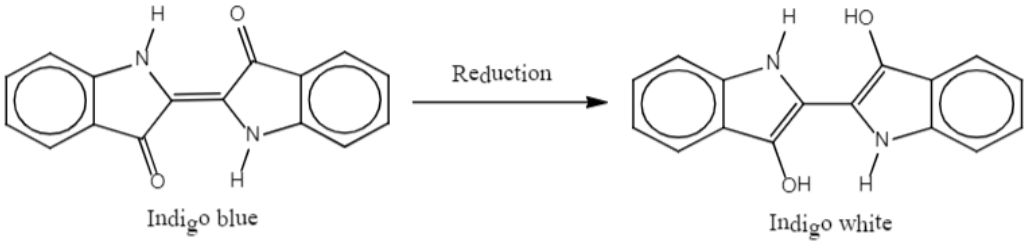
ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีในใบครามเช่นกัน ทำให้อินดิแคนแยกออกเป็น 2 สาร คือ อินดอกซิล (Indoxyl) และกลูโคส สาร 2 ชนิดนี้เป็นสารไม่มีสี ละลายน้ำได้ ทั้งคู่จึงละลายในน้ำแช่คราม และอินดอกซิลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายมาก ด้วยออกซิเจนในอากาศกลายเป็น Indigo blue ที่เสถียรมาก สีน้ำเงินไม่ละลายน้ำ แต่เนื่องจากอณูของ Indigo blue เล็กละเอียดมาก ไม่สามารถแยกออกจากน้ำครามได้ หากเติมปูนดิบในน้ำคราม ละอองของ Indigo blue จะจับกับละอองของปูนดิบจนหนักและตกตะกอน จึงแยกตะกอนเก็บไว้เรียกสารผสมนี้ว่าเนื้อคราม แต่ใช้เนื้อครามย้อมเส้นใยไม่ได้ เนื่องจาก Indigo blue ไม่ละลายน้ำต้องรีดิวซ์ Indigo blue ในสารละลายด่างให้เป็นสารที่ละลายน้ำได้ เรียกว่า Indigo white ซึ่งเป็นสารไม่มีสี ตัวรีดิวซ์และด่างที่ใช้มีหลายคู่ได้แก่ โซเดียมไดไทโอในต์ไนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Nays, 0, NaOH) หรือฝุ่นผงสังกะสีในน้ำปูนใสอุ่นไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (Zn ต่อ Ca(OH),) หรือน้ำขี้เถ้าในน้ำปูนใส (ภูมิปัญญาท้องถิ่น) หรือไทโอยูเรียไดออกไซด์ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีครามในน้ำย้อมคือ Indigo white นั่นเอง โดย Indigo white จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายมากด้วยออกซิเจนในอากาศกลับไปเป็น Indigo blue ดังแสดงปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการสกัดคราม ตกตะกอนแยก เนื้อคราม เตรียมน้ำย้อม และย้อมคราม [21] ดังภาพประกอบ 2.14 [27]



ภาพประกอบ 2.14 ปฏิกิริยาทั้งหมดของกระบวนการเตรียมน้ำย้อมคราม [28]

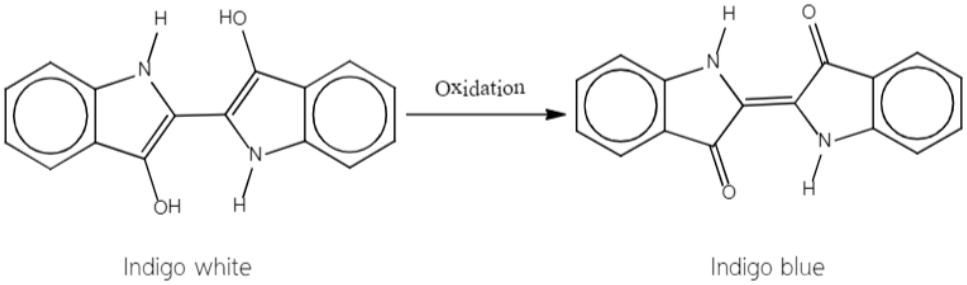
2.1.10 การเตรียมน้ำย้อมและกระบวนการย้อม

การเตรียมสีคราม เป็นการทำให้ Indigo blue เปลี่ยนเป็น Indigo white ซึ่ง ละลายได้ในน้ำด่าง การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งใช้ตัวรีดิวส์ได้หลายชนิดอีกวิธี หนึ่งใช้แบคทีเรียชนิดบาซิลัส ปฏิกิริยารีดักชันของ Indigo blue เกิดขึ้นดังภาพประกอบ 2.15 [27]



ภาพประกอบ 2.15 ปฏิกิริยารีดักชันการเตรียมสีคราม [27]

เมื่อเกิดสีครามในน้ำย้อม โดยสังเกตสีของน้ำย้อมเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว ปนเหลือง จึงทำการย้อมผ้าที่ชุบน้ำแล้วบิดจนหมาด Indigo white ที่ละลายในน้ำย้อมจะ แทรกซึมเข้าเนื้อผ้าย จับเซลลูโลสของใยฝ้ายด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อยกผ้าฝ้ายขึ้นจากน้ำ ย้อมสัมผัสกับอากาศ Indigo white จะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในอากาศ กลับเป็น Indigo blue ถุงขังอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายดังเดิม ดังภาพประกอบ 2.16 [27]



ภาพประกอบ 2.16 ปฏิกิริยาการย้อมของสีคราม [27]

2.1.11 อุณหภูมิการย้อมผ้าคราม

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการย้อมมีผลกระทบต่อการย้อม คือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้อัตราเร็วของการย้อมสีเพิ่มขึ้น ลดปริมาณสีที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล เนื่องจากส่วนใหญ่การดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน และทำให้สีซึมกระจายตัวจากส่วนที่ดูดสีไว้มากไปสู่ส่วนที่ดูดสีไว้น้อยทำให้ย้อมสีได้สม่ำเสมอ [13]

การปรับสภาพเส้นด้ายไหมที่จะนำไปย้อมด้วยสีจากธรรมชาติให้มีสีติดเข้มขึ้น เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วสามารถที่จะนำมาย้อมด้วยสีย้อมจากธรรมชาติได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าต้องการให้เส้นไหมมีการดูดติดสีได้เข้มขึ้นกว่าเดิม จำเป็นที่จะต้องทำการปรับสภาพเส้นไหมก่อนโดยการใช้สารเพิ่มประจุบวก ตวงน้ำตามปริมาณที่ต้องการใส่ลงในภาชนะสเตนเลส ใส่เส้นไหมใส่ห่วง และใส่ลงในภาชนะที่มีสารละลายเพิ่มประจุบวก นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที นำเส้นไหมมาบิดหมาด กระตุก และนำไปย้อมต่อไป [28]

นอกจากสีครามในน้ำย้อมและเส้นใยแล้ว น้ำย้อมที่เย็นจะย้อมติดสีครามได้ดีกว่า ดังนั้นจึงควรใช้โอ่งดินทำหม้อคราม เพราะน้ำที่ซึมจากโอ่งดินจะช่วยระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำย้อมเย็นกว่าปกติ หรือตอนเช้าและตอนเย็นเป็นเวลาที่เหมาะสมในการย้อมคราม เมื่อจะย้อมครามให้ตักน้ำย้อมประมาณ ๑ ลิตรออกไว้ก่อน จึงนำฝ่ายหมาดน้ำลงย้อม ขณะย้อมต้องระวังให้อากาศสัมผัสน้ำย้อมน้อยที่สุด นั่นคือค่อย ๆ ทำเส้นฝ่ายใต้น้ำย้อมให้แน่นแล้วคลายมือให้สีครามแทรกเข้าไปในทุกอณูของเส้นฝ้าย กำและคลายไล่เรียงไปตามวงเส้นฝ้าย สังเกตน้ำย้อมสีเหลืองจางไป สีน้ำเงินเข้มมาแทน ความข้นหนืดลดลง จึงหยุดย้อม บิดเส้นฝ้ายให้หมาด กระตุกให้ฝ่ายเรียงเส้นและสัมผัสอากาศ แล้วเก็บฝ่ายชิ้นนั้นในภาชนะปิด ถ้าตากฝ่ายที่ย้อมทันที่จะเกิดรอยด่างในเส้นฝ้าย หากต้องการสีเข้มต้องย้อมซ้ำในหม้อครามอื่นอีกต่อไป พักไว้ 3-5 นาที จึงล้างให้ สะอาดจนน้ำล้างใสไม่มีสี ผึ่งลมให้แห้ง นำไปใช้งานต่อไป [18]

เมื่ออุณหภูมิคงที่ สีครามตั้งต้นในใบครามจะถูกสลาย (Hydrolyze) ให้สีคราม (Indoxyl) ออกมาอยู่ในน้ำครามได้มากที่สุดในเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น การแช่ใบครามที่ใช้เวลาน้อยหรือมากจนเกินไป จะได้สีครามเร็วให้แช่ใบครามในน้ำอุ่นไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส หรือโขลกใบครามสดในครกกระเดื่องและแช่ในน้ำที่อุณหภูมิปกติเพียง 12 ชั่วโมง [29]

2.2 ความเร็วมอเตอร์

การควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าควบคู่กับระบบ PLC ที่ทำการบังคับทิศทางการหมุนของชุดแกนเกี่ยวไจผ้าดิบให้ มีลักษณะที่เลียนแบบการบิดผ้าขณะย้อมและควบคุมชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนอีกตัวเพื่อใช้ในการบังคับพาชุดแกนเกี่ยวไจผ้าเคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อทำการจุ่มน้ำที่บรรจุอยู่ในอ่างสแตนเลสด้านล่าง และสามารถตั้งเวลาในการจุ่มพร้อมกับการบิดผ้าได้ตามต้องการแล้วแต่ลักษณะและความเข้มสีย้อมที่ต้องการ หลักการทำงานโดยการย้อมผ้าดิบจากสีธรรมชาติ เครื่องจักรจะทำโดยใช้ไจเส้นด้ายที่ต้องการย้อมสีนำมาคล้องไว้กับชุดตะขอยึดไจผ้าที่มีอยู่ทั้งสองด้าน โดยชุดตะขอจะประกอบด้วยก้านรั้งไจผ้าให้ตึงโดยใช้สปริงน้ำดันและพ่วงอยู่กับชุดโซ่ขับเฟือง ทำหน้าที่บิดย้อมตามการตั้งโปรแกรมการทำงานด้วย PLC และชุดบิดย้อมสามารถเคลื่อนที่ลงไปยังก้นถังบรรจุน้ำย้อมที่รักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส ด้วยชุดฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิโดยการเคลื่อนที่ลงถังย้อมและขึ้นมาเพื่อทำการบิดย้อม สามารถทำได้ด้วยระบบมอเตอร์ที่พ่วงกับชุดขับปรับระดับและสามารถทำการตั้งเวลาและตำแหน่งระยะการขึ้นลงโดยอิสระได้ด้วยระบบ PLC เครื่องจักรสามารถบังคับทิศทางและการบิดของผ้าดิบ โดยสามารถตั้งค่าการจุ่มพร้อมการบิดผ้าดิบได้ ระยะเวลาในการทำงานสามารถผลิตได้ 500 มัดต่อวันและความคาดเคลื่อนไม่เกิน 3-5 % สามารถตั้งค่าเวลาการย้อมผ้าแต่ละครั้งใช้เวลา 30 นาทีต่อรอบกรณีย้อมผ้าแบบใช้ความร้อนและกรณีการย้อมผ้าแบบใช้ความเย็นสามารถย้อมผ้าดิบได้ครั้งละ 30 นาทีต่อรอบการผลิต ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการย้อมอยู่ที่ 20 รอบต่อนาที [14]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(อาจารย์ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และอาจารย์วิรุณ โมนะตระกูล, 2562) เครื่องย้อมผ้าจากยางกล้วยแบบกึ่งอัตโนมัติ(Semiauto banana gum tie-drying) เนื่องจากเครื่องต้นแบบเครื่องย้อมผ้าจากยางกล้วย เครื่องจักรยังไม่มีขายในท้องตลาดและกรรมวิธีการผลิตการย้อมผ้าของ ทางสถานประกอบการใช้วิธีดั้งเดิม อาศัยแรงงานฝีมือในการทำงาน วัสดุใช้ปี๊บและหม้อดินในการย้อมผ้าทำให้มีกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของสินค้า ดังนั้นทางผู้เชี่ยวชาญจึงมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องย้อมผ้าจากยางกล้วยเพื่อต่อยอดในการ ย้อมเพื่อเป็นสีย้อมจากธรรมชาติ หากเครื่องจักรต้นแบบสามารถผลิตได้สำเร็จก็สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมผ้าจากสีธรรมชาติและการ

ย้อมผ้าครามในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ เพื่อให้สามารถย้อมได้ตามปริมาณความต้องการของลูกค้าและเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต สามารถสร้างโอกาสและรายได้ให้เกิดขึ้นในชุมชนได้ เครื่องจักรต้นแบบการย้อมผ้าจากยางกล้วย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการย้อมผ้าตากสารสกัดธรรมชาติมากมาย อาทิ ย้อมผ้าจากใบมะม่วง ย้อมผ้าจากใบมะกอก และย้อมผ้าจากครามด้านสิ่งแวดล้อมไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีการใช้สีที่ได้จากธรรมชาติไม่มีการใช้สีสังเคราะห์ทำให้ไม่มีปัญหามลพิษ และด้านสังคมมีการใช้แรงงานในพื้นที่ชุมชนเกิดรายได้ลดการใช้แรงงานในต่างถิ่น

(นายวิรุณ โมนะตระกูล, 2560) การออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องย้อมผ้าคราม บริษัท เอ อี 2015 จำกัด สีครามในน้ำย้อม (indigo white) แทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ดี เมื่อยกเส้นใยพ้นน้ำย้อม สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ สีครามจะถูกออกซิไดส์เป็นสีน้ำเงิน (indigoblue) ขังอยู่ภายในเส้นใย เส้นใยที่ย้อมติดสีครามได้ดีจึงเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ -OH ในโครงสร้าง โดยเฉพาะใยฝ้ายดังนั้นก่อนย้อมต้องทำความสะอาดฝ้ายและทำให้ฝ้ายเปียกด้วยน้ำสะอาด หากล้างฝ้ายไม่สะอาด เมื่อนำไปย้อมจะทำให้สีครามในน้ำย้อมเปลี่ยนไป ย้อมไม่ติด หรือหม้อหนี หากทำฝ้ายเปียกน้ำไม่ทั่ว เมื่อนำไปย้อม สีครามแทรกเข้าเส้นฝ้ายไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดรอยด่าง เส้นใยเรยอนที่โรงงานอุตสาหกรรมนำเศษฝ้ายและเศษไม้มาปรับแต่งเป็นเส้นใยขนาดเล็ก สม่ำเสมอ นุ่มมันวาวย้อมติดสีครามได้ดีเครื่องย้อมผ้าครามต้นแบบ สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดและสามารถทำการย้อมใจผ้าฝ้ายได้ 4 ใจต่อรอบการย้อม (เทียบเท่า 4 คน) วัน ลดต้นทุนได้วันละ 56 บาท x 6 ชม. x 3 คน = 1000 บาทต่อวัน หรือ 1000 x 260วัน = 260,000 บาทต่อปี โดยใช้ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการย้อมอยู่ที่ 20 รอบต่อนาที เวลาทำอบแห้ง ประมาณ 5-7 นาที ต่อรอบการย้อม และสามารถบรรจุวัตถุดิบ (น้ำคราม) เพื่อทำการอบแห้งได้ไม่ต่ำกว่า 30 ลิตรต่อรอบการย้อม โดยน้ำครามที่ใช้เป็นแบบสำเร็จรูป สามารถใช้ย้อมผ้าได้ต่อเนื่อง ลดปัญหาการเมื่อยล้าและบาดเจ็บจากการย้อมด้วยมือ และคุณภาพของผ้าที่ย้อมได้ใกล้เคียงเทียบกับผลิตภัณฑ์เดิมซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้ประกอบการและทางลูกค้าของผู้ประการ

(ปิยวรรณ ศิริสวัสดิ์, กิตติชัย โสพันนา, และอนุรัตน์ สายทอง, 2560) การศึกษาการติดสีของครามบนเส้นฝ้ายที่เคลือบด้วยไคโทซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ 25 C นาน 30 นาที เป็นการย้อมที่เหมาะสม ความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้างที่ระดับดีมาก

(ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.สกลนคร, 2555) คู่มือการผลิตผ้าย้อมคราม พบว่า สีครามในน้ำย้อม (Indigo white) แทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ดี เมื่อยกเส้นใยพ้นน้ำย้อม สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ สีคราม จะถูกออกซิไดซ์เป็นสี

น้ำเงิน (indigo blue) ขังอยู่ภายในเส้นใย เส้นใยที่ย้อมติด สีครามได้ดีจึงเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ -OH ในโครงสร้าง โดยเฉพาะใยฝ้าย ดังนั้นก่อนย้อมต้องทำความสะอาดฝ่ายและทำให้ฝ่ายเปียกด้วยน้ำสะอาด หาก ล้างฝ่ายไม่สะอาด เมื่อนำไปย้อมจะทำให้สีครามในน้ำย้อมเปลี่ยนไป ย้อมไม่ติด หรือหม้อหนี้ หากทำฝ่ายเปียกน้ำไม่ทั่ว เมื่อนำไปย้อมสีครามแทรกเข้าเส้นฝ้าย ไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดรอยด่าง เส้นใยเรยอนที่โรงงานอุตสาหกรรมนำเศษฝ่ายและ เศษไม้มาปรับแต่งเป็นเส้นใยขนาดเล็กสม่ำเสมอ นุ่ม มันวาว ย้อมติดสีครามได้ดี ให้สีน้ำเงินเข้ม สวยงาม แต่ทนต่อการนุ่งห่มน้อยกว่าใยฝ้าย

นอกจากสีครามในน้ำย้อมและเส้นใยแล้ว น้ำย้อมที่เย็นจะย้อมติดสีครามได้ ดีกว่า ดังนั้นจึงควรใช้โอ่งดินทำหม้อคราม เพราะน้ำที่ซึมจากโอ่งดินจะช่วยระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำย้อมเย็นกว่าปกติ หรือตอนเช้าและตอนเย็นเป็น เวลาที่เหมาะสมในการย้อมคราม เมื่อจะย้อมครามให้ตักน้ำย้อมประมาณ 1 ลิตร ออกไว้ก่อน จึงนำฝ่ายหมาดน้ำลงย้อม ขณะย้อมต้องระวังให้อากาศสัมผัสน้ำย้อมน้อยที่สุด นั่นคือค่อย ๆ กำเส้นฝ่ายใต้น้ำย้อมให้แน่นแล้วคลายมือให้สีครามแทรกเข้าไปในทุกอณูของเส้นฝ้าย กำและคลายไล่เรียงไปตามวงเส้นฝ้าย สังเกตน้ำย้อมสีเหลืองจางไป สีน้ำเงินเข้มมาแทน ความข้นหนืดลดลง จึงหยุดย้อม บิดเส้นฝ้ายให้หมาด กระตุกให้ฝ่ายเรียงเส้นและสัมผัสอากาศ แล้วเก็บฝ่ายชิ้นนั้นในภาชนะปิด ถ้าตากฝ่ายที่ย้อมทันที่จะเกิดรอยด่างในเส้นฝ้าย หากต้องการสีเข้มต้องย้อมซ้ำในหม้อครามอื่นอีกต่อไป พักไว้ 3-5 นาที จึงล้างให้ สะอาดจนน้ำล้างใสไม่มีสี ฝั่งลมให้แห้ง นำไปใช้งานต่อไป ส่วนน้ำย้อมที่ตักไว้ใช้เป็นเชื้อ เทกลับคืนหม้อครามเดิมและเดิมเนื้อครามอีก

(ปิยะดา สุวรรณ์ และศรันยา ราชัย, 2556) การเตรียมสีครามจากใบเบือก จากการศึกษาพบว่า การเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดของกระบวนการย้อมครามและโครงสร้างของสีครามสีครามธรรมชาติถูกสกัดจากใบดรามสดในรูปแบบของสารอินติแคน (indicant หรือ Indexy-B-D-glucoside) เป็นสารไม่มีสีและไม่ละลายน้ำแต่เมื่อถูกแช่ในน้ำเอนไซม์ชนิดหนึ่งในใบ ครามคือ ปีตา-กลูโคซิเดส (B-glucosidase) จะช่วยทำให้อินดิแคนแตกออกเป็น 2 ส่วน คือ อิน ดอกซิล (Indexyl และกลูโคส สาร 2 ตัวนี้เป็นสารไม่มีสี แต่ละลายน้ำได้ทั้งคู่จึงละลายในน้ำคราม ซึ่งมีพีเอชเท่ากันกับน้ำที่ใช้แช่ใบครามเติมปูนขาว (CaO) ในน้ำครามกวนแรง ๆ จนเกิดฟอง อิน ดอกซิลจะถูกออกซิไดส์เปลี่ยนเป็นอินดิโกบลูจับกับอนุภาคปูนขาวตกตะกอนจมอยู่กันภาชนะเมื่อ นำมาย้อมอินดิโกบลูที่ไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นอินดิโกไวท์ที่ละลายน้ำได้ จากนั้นเมื่อนำฝ่ายไป ย้อมอินดิโกไวท์ในน้ำย้อมจะแทรกซึมเข้าไปยังเนื้อฝ้ายเมื่อยกขึ้นสัมผัสกับอากาศอินดิโกไวท์จะ กลับไปอยู่ในรูปของอินดิโกบลูที่ไม่ละลายน้ำทำให้อินดิโกบลูถูกขังอยู่ในเส้นฝ้าย

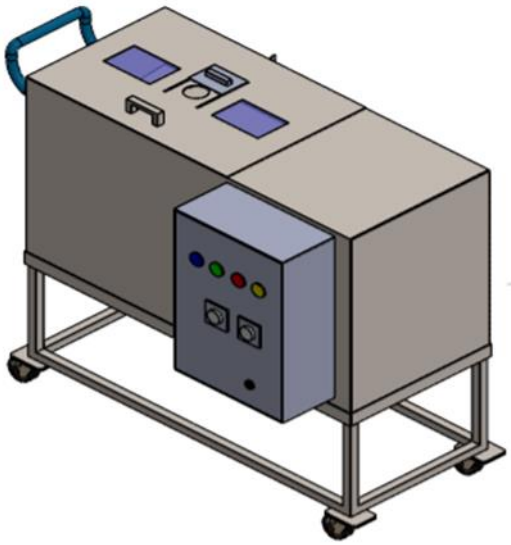
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

หลังจากที่ได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับหลักการออกแบบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติในบทที่ 2 แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะการออกแบบโครงสร้างและวงจรให้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการย้อมครามได้ จากนั้น นำมาทดลองจริงเบื้องต้นและทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ได้รับลองมาตรฐาน International Electrotechnical Commission (IEC 61724) ลำดับถัดไป เพื่อให้ได้งานออกมาตามวัตถุประสงค์ และดำเนินการตามขอบเขตที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยต่อไปนี้ จากโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติและวงจรควบคุม ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามความต้องการ ซึ่งการนำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัยเรื่องผลของความเร็วมอเตอร์ต่อประสิทธิภาพการย้อมผ้าครามสำหรับเครื่องย้อมแบบกึ่งอัตโนมัติ มีดังต่อไปนี้

3.1 โครงสร้างและการออกแบบเส่วนประกอบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

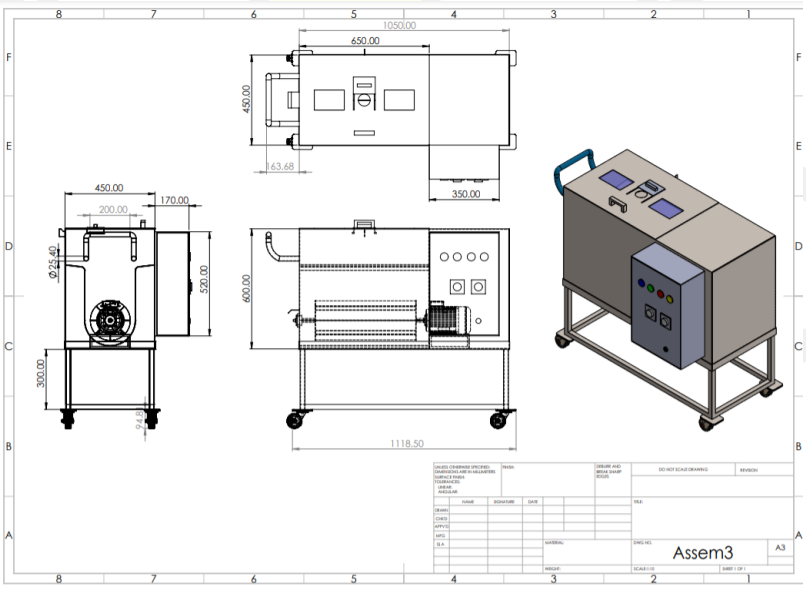
การออกแบบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโมมัติ ออกแบบโครงสร้างของเครื่องและวงจรความควบคุมความเร็วมอเตอร์ เนื่องจากการออกแบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์การวิจัย ได้สร้างเครื่องต้นแบบและวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ตามความเหมาะสมของการย้อมผ้าคราม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 โครงสร้างและการออกแบบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

3.1.1 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

การออกแบบโครงสร้างเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ จะมีงมีการออกแบบโดยมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง 45 x 105.5 x 100 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.17 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

โดยวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

1. สแตนเลสแผ่นความหนา คุณสมบัติของสแตนเลสให้เหมาะกับการใช้งานแบบต่าง ๆ โดยคุณสมบัติหลักของสแตนเลส คือ ไม่เกิดสนิม ทนความชื้น ทนต่อการกัดกร่อน [30]

2. บอลวาล์ว รูเต็ม แหวนรองรับลูกบอลผลิตจากวัสดุเทฟล่อนเกรดคุณภาพ

ป้องกันการรั่วซึมลูกบอลในการบังคับทางไหลของน้ำเป็นทองเหลืองคุณภาพสูง ไม่เป็นสนิม เปิด – ปิดได้สะดวก [31]

3. GLINK ตู้ไฟสวิทซ์บอร์ด ผลิตด้วยเหล็กแผ่นคุณภาพสูงหนาเคลือบผิวด้วย สีครีมย่นมาตรฐานมีเกล็ดระบายอากาศ พร้อมตะแกรงกันแมลง กุญแจกดเด้ง ใช้งานง่าย สะดวกสำหรับงานติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า [32]

4. เทอร์มินอล TERMINALวัสดุของตัวนำมีความแข็งแรงคงทนต่อการใช้งานและประหยัดพื้นที่ในตู้คอนโทรล [33]

5. รางครอบสายไฟรวม GIANT KINGKON รางครอบสายไฟสำหรับการจัดเก็บ หรือซ่อนสายไฟให้เป็นระเบียบสวยงาม [34]

6. รางรีเลย์ รางเทอร์มินอล รางปีกนก รางซี DIN Rail ให้รางเป็นฉนวนไม่นำไฟฟ้า ทำให้เพิ่มความปลอดภัยขณะใช้งานและ ใช้สำหรับยึดฟิวส์ เทอร์มินอล, รีเลย์ แมกเนติก ในตู้คอนโทรล [35]

7. ซีเลคเตอร์สวิทซ์ (22 mm) Schneider XB7 Selector Switch 3 ตำแหน่งใช้สั่งคอนโทรลอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง (2NO) ON-OFF-ON [36]

8. Pilot Lamp ไพล็อตแลมป์ LED 22mm 220V 24V ไฟแสดงสถานะ มีประโยชน์ในการวินิสัยอาการผิดปกติของระบบการเฝ้าระวังระบบ กระบวนการผลิต และการตรวจซ่อมระบบ ทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยหรือไม่เกิดเลย [37]

9. BCC สายไฟ THW 2.5 Sqmm เส้นสายไฟผลิตจากทองแดงบริสุทธิ์คุณภาพ นำกระแสไฟฟ้าได้ดี [38]

10. MITSUBISHI MCCB เบรคเกอร์ มิตซู No Fuse Breaker NF30CS 2P การใช้งาน : เป็นสวิตซ์ตัดตอนอัตโนมัติ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด [39]

11. ชุดแมกเนติก + โอเวอร์โหลดรีเลย์ 220V MITSUBISHI เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า ในการปิดเปิดของหน้าสัมผัสนั้นอาศัยจะอำนาจแรงแม่เหล็กวัสดุห่อหุ้มภายนอกทนความร้อนได้ดี [40]

12. ลูกฟิวส์ ลูกฟิวส์คอนโทรล 10x38 ฐานฟิวส์ ฐานฟิวส์คอนโทรล เป็นอุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้าจากการที่มีกระแสไหลผ่านวงจรมากเกินไป (Overload Current) หรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current) เมื่อมีกระแสที่มากกว่ากระแสที่ฟิวส์ทนได้ (Current Rating) [41]

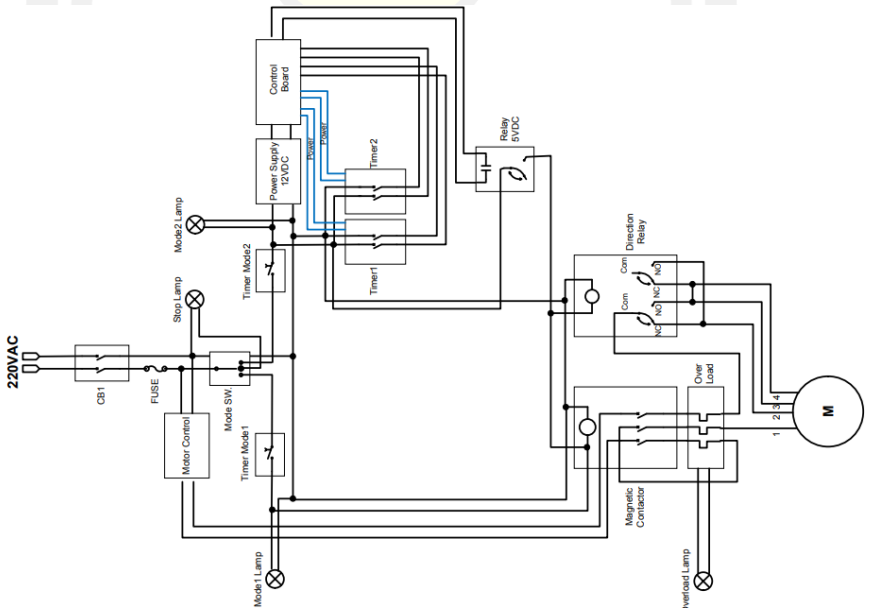
13. ไทม์เมอร์รีเลย์ OMRON 2 คอนแทค H3YN-2 Timer เป็นรีเลย์ประเภทหนึ่งที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตามที่เราต้องการ เช่น การตั้งเวลาเปิด-ปิด (ON-OFF) ไฟ [42]

14. แผงวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ Arduino เป็นแผงวงจรฮาร์ดแวร์ฟรีที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถตั้งโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และผลิตสัญญาณไฟฟ้าเพื่อทำงานที่หลากหลาย [43]

15. สวิตช์จับเวลาถอยหลัง สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าสวิตช์ตั้งเวลา สามารถทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ และหยุดทำงานโดยอัตโนมัติช่วงเวลาสามารถควบคุมได้ โดยปุ่มของสวิตช์ง่ายมากที่จะตั้งค่า [44]

3.1.2 โครงสร้างและการออกแบบวงจรควบคุมเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

เมื่อได้ทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติเสร็จ จะออกแบบวงจรควบคุมของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติซึ่งเป็นวงจรควบคุมระบบ เพื่อที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามความเหมาะสม ดังภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.18 วงจรควบคุมเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

ส่วนที่ 1 CB1 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ตัดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ ใช้สำหรับป้องกันความเสียหายของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องจักร หรือป้องกันไฟรั่วไฟดูดจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรหรือกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

ส่วนที่ 2 FUSE ฟิวส์ (fuse) เป็นอุปกรณ์นิรภัยชนิดหนึ่งโดยจะป้องกันการลัดวงจรและการใช้กระแสเกินในวงจรไฟฟ้า

ส่วนที่ 3 Motor Control ควบคุมการปล่อยกระแสเพื่อควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์

ส่วนที่ 4 Mode SW ทำหน้าควบคุมการเปิดปิดฟังชันก์ของการย้อมและการปั่นแห้ง

ส่วนที่ 5 Stop Lamp ทำหน้าที่แสดงสถานะปิดของเครื่อง

ส่วนที่ 6 Timer Mode1 ทำหน้าตั้งเวลาการปั่นแห้งของเครื่อง

ส่วนที่ 7 Mode1 Lamp ทำหน้าที่แสดงสถานะฟังชันก์การปั่นแห้ง

ส่วนที่ 8 Timer Mode2 ทำหน้าที่ตั้งเวลาการปั่นย้อมของเครื่อง

ส่วนที่ 9 Mode2 Lamp ทำหน้าที่แสดงสถานการณ์ย้อมของเครื่อง

ส่วนที่ 10 Power Supply 12VDC ทำหน้าที่แปลงไฟให้ Control Board

ส่วนที่ 11 Control Board ทำหน้าควบคุมเวลาในการหยุดมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์จะกับทางหมุน โดยส่งสัญญาณไปที่ Relay 5VDC

ส่วนที่ 12 Timer1 ตั้งเวลาในการกลับทางหมุนของมอเตอร์ทางซ้าย

ส่วนที่ 13 Timer2 ตั้งเวลาในการกลับทางหมุนของมอเตอร์ทางขวา

ส่วนที่ 14 Relay 5VDC รับสัญญาณจาก Control Board เพื่อกลับทางหมุนมอเตอร์

ส่วนที่ 15 Magnetic Contactorรับสัญญาณจาก Relay 5VDC ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรของ ไฟฟ้าในระบบโดยใช้หน้าสัมผัสเป็นเสมือนตัวสวิตช์ที่ใช้เปิด-ปิด

ส่วนที่ 16 Over Load โอเวอร์โหลด เป็นอุปกรณ์ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลังหรือป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เกิดการเสียหายเมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัดในการทำงานของโหลด

ส่วนที่ 17 Overload Lamp ทำหน้าที่แสดงสถานะฟังชันก์ Overload

ส่วนที่ 18 Direction Relay ทำหน้าที่กลับทางหมุนของมอเตอร์ รีเลย์แบบระยะทาง เป็นรีเลย์ป้องกันประเภทหนึ่ง ที่ทางานโดยตอบสนองต่อระยะทางในวงจรไฟฟ้า ระหว่างตาแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์กับตาแหน่งที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

ส่วนที่ 19 มอเตอร์ (Motor) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy)

3.1.3 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code)

โค้ดควบคุมการหมุนของมอเตอร์ช่วยในตั้งเวลาการกลับทางหมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.4 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code) การ Delay ระหว่างหมุนกลับทิศที่ 15 วินาทีแล้วมอเตอร์จะหมุนกับทิศทาง โดยมีรายละเอียดการเขียนโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก

3.2 หลักการทำงานของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ

กระบวนการทำงานของเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติมีอยู่ 2 ฟังก์ชัน ได้แก่

1. การย้อมผ้าคราม นำฝ้ายที่เราเตรียมไว้มาใส่ในแกนกลางของเครื่องย้อม ทำการล็อคตะขอ จากนั้นเติมน้ำครามลงไปในเครื่องตามที่เรากำหนดไว้ ทำการเปิดเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติโดยที่ปรับความเร็วมอเตอร์ไปที่ความเร็วรอบที่ช้า เครื่องของเราจะหมุนแกนกลางสลับซ้าย-ขวาเพื่อให้ผ้าสัมผัสกับฝ้าย 30 วินาที และนำขึ้นมาสัมผัสกับอากาศ 30 วินาที ทำแบบนี้วนไปจนครบ 30 นาที จากนั้นเครื่องของเราจะทำการตัดการทำงาน

2. การปั่นแห้ง การทำงานจะทำการปล่อยน้ำครามออกให้หมดแล้วทำการปั่นแห้งโดยปรับความเร็วมอเตอร์ไปที่ความเร็วรอบที่เร็วเป็นเวลา 20 นาที จะทำให้ฝ้ายของเราแห้งเกือบจะสนิทแล้วนำไปตากแดด 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเราก็สามารถนำฝ้ายที่แห้งแล้วไปใช้ทอได้

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 อุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เกิดจากคำ 2 คำผสมกัน นั่นคือ Multi ซึ่งแปลว่า หลากหลาย, มากมาย และ Meter หมายถึง เครื่องวัด เมื่อนำทั้งสองคำมารวมกันจึงหมายถึง เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดได้หลายค่า เช่น แรงดัน (Voltage) กระแส (Current) ความต้านทาน (Resistance) ในการทดลองนี้ใช้ รุ่น DT-920 SA มีลักษณะ ดังภาพประกอบ 3.4 [45]

ภาพประกอบ 3.*19* มัลติมิเตอร์ [45]

3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Digital thermometer) ให้การอ่านค่าอุณหภูมิเป็นจุดทศนิยม เพื่อการอ่านที่แม่นยำและเฉพาะเจาะจง ง่ายต่อการอ่านมากกว่าปรอท เร็วกว่าเครื่องวัดอุณหภูมิทั่วไปในการคำนวณค่าอ่าน เป็นมัลติฟังก์ชั่น สามารถค้นหาเครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอลควบคู่กับตัวจับเวลาหรือสัญญาณเตือนสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังภาพประกอบ 3.5 [46]

ภาพประกอบ 3.*20* เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล [46]

3.3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

Hot Sale เครื่องวัดความเร็วรอบ Digital Tachometer DT-2234C+ เครื่องวัดรอบ ที่วัดรอบ วัดรอบมเตอร์ วัดรอบแบบใช้แสง ราคาถูก มอเตอร์ มอเตอร์ ไฟฟ้า มอเตอร์ dc มอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง รายละเอียดสินค้า เครื่องวัดความเร็วรอบ Digital Tachometer DT-2234C+ เครื่องวัดรอบ ที่วัดรอบ วัดรอบมอเตอร์ วัดรอบแบบใช้แสง วัสดุทำจากพลาสติก ABS น้ำหนักเบา กะทัดรัดและใช้งานง่าย จอแสดงผล LCD ขนาดใหญ่ 5 หลัก 18 มม. อ่านง่ายและชัดเจน จอแสดงผลดิจิตอลให้ RPM ที่แน่นอนเมื่อคาดเดาหรือข้อผิดพลาด เป็นเครื่องมือที่ดีในการวัด เครื่องวัดวามเร็วแบบไร้สัมผัสแบบใช้มือถือแบบ No-Contact พร้อมประสิทธิภาพ การทำงานที่มั่นคง มีความสะดวกสบายในมือทั้งสองข้าง เครื่องวัดความเร็ววัดความเร็วรอบต่อนาที (RPM) โดยมีช่วงการวัดกว้าง และความละเอียดสูง มีจุดเด่นในการวัดค่าความแม่นยำสูงเวลาในการตรวจวัดที่รวดเร็วและระยะตรวจจับระยะยาวได้ถึง 500 มม. (20 นิ้ว) ด้วยเลเซอร์ เครื่องวัดความเร็วรอบนี้ใช้งานง่ายมากโดยการใช้เทปสะท้อนแสง (รวม 3 ชุด) ลงบนวัตถุเป้าหมายแล้วเล็งไป ที่เครื่องหมายด้วยแสงเลเซอร์ เครื่องวัดความเร็วรอบนี้มีการใช้งานแบบกว้าง มักใช้ในด้านมอเตอร์, ล้อ, เครื่องกลึงโลหะหรืองานตัดไม้, พัดลมไฟฟ้า, การทำกระดาษ, อุตสาหกรรมพลาสติก, เส้นใยเคมี, เครื่องซักผ้า, รถยนต์เป็นต้น ช่วงการวัดกว้างและความละเอียดสูง การใช้ความทนทาน มูลค่าสุดท้าย ต่อ นาที จะถูกจัดเก็บโดยอัตโนมัติในหน่วยความจำ และสามารถแสดงผลได้โดยการหมุนได้ตลอดเวลา ดังภาพประกอบ 3.6 [47]

ภาพประกอบ *3.21* เครื่องวัดความเร็วรอบ [47]

3.3.4 เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สองลำแสง

เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สองลำแสง Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ ที่มีรูปทรง 45ต่อ 0 ° สำหรับการวัดสีสะท้อนแสง สำหรับของแข็ง ของเหลว ผง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด ฯลฯ เครื่องตรวจจับประกอบด้วยไดโอดไวแสงสองอาร์เรย์ ซึ่งช่วยให้ทั้งสองควบคุมแสงได้ แหล่งที่มาของสัญญาณที่วัดได้ จึงรับประกันความสามารถในการทำซ้ำของข้อมูลในระดับสูง เครื่องมือที่มาพร้อมกับหน้าจอ LCD สีความละเอียดสูงขนาดใหญ่สำหรับการแสดงข้อมูลเป็นภาพ แป้นพิมพ์ขนาดเล็กและพอร์ต USB 2.0 สามพอร์ตสำหรับอินเทอร์เฟซ PC หรือเครื่องพิมพ์ USB หรือเครื่องอ่านบาร์โค้ดหรือปากกาหน่วยความจำ การใช้งานอย่างง่ายคือซอฟต์แวร์ภายใน ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีความยืดหยุ่นสูงสุดในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

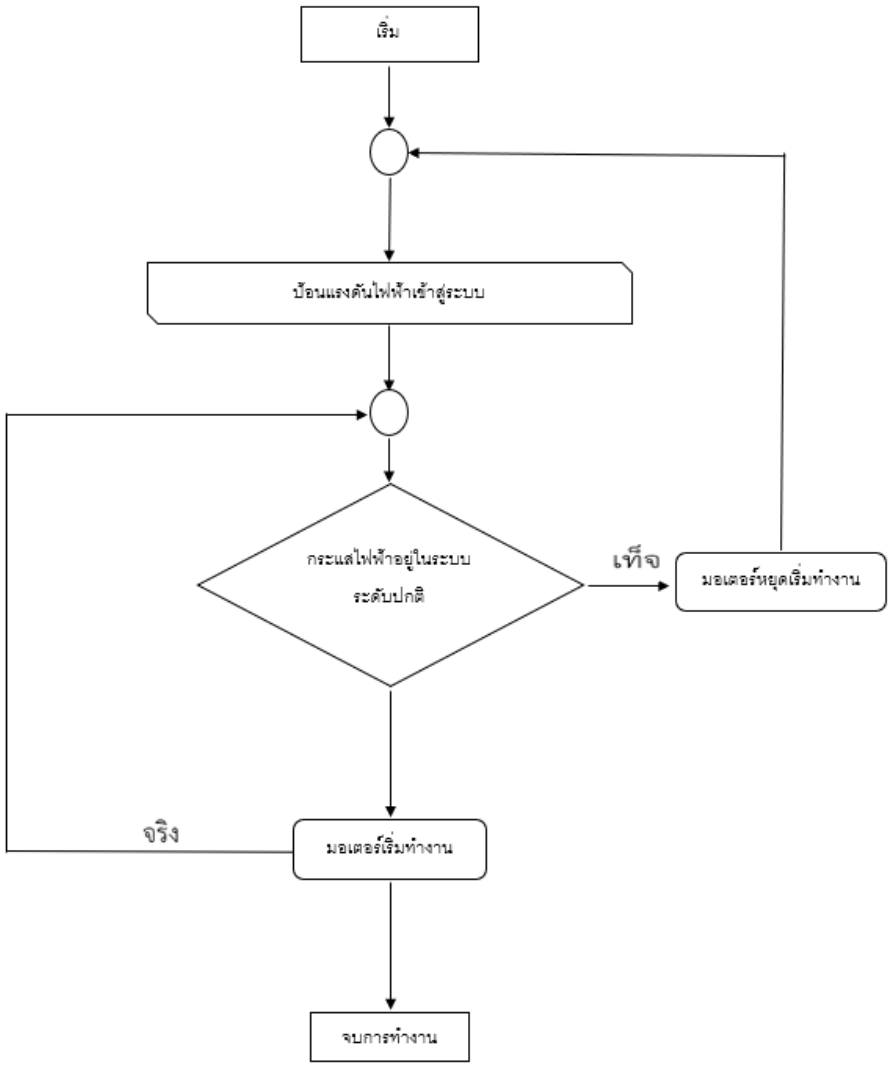
คุณสมบัติอื่น ๆ ตามข้อมูลจำเพาะที่แนบมาด้วย Color flex EZ double-beam spectrophotometer สำหรับการวัดสีสะท้อนแสงด้วยการใช้งานจริงและอุปกรณ์เสริมที่หลากหลาย จึงมีการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ตามความเหมาะสมไปจนถึงการอ่านผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว น้ำพริก ผง ตาชั่ง ฯลฯ

เครื่องมือนี้มีหน้าจอ LCD สีความละเอียดสูงขนาดใหญ่สำหรับการแสดงข้อมูล แป้นพิมพ์ขนาดเล็ก และพอร์ต USB 2.0 จำนวน 3 พอร์ตสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลเครื่องตรวจจับประกอบด้วยไดโอดไวแสงสองอาร์เรย์ ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมทั้งแหล่งกำเนิดแสงและแหล่งกำเนิดแสงได้ สัญญาณที่วัดได้จึงทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลสามารถทำซ้ำได้สูง ดังภาพประกอบ 3.7 [48]

ภาพประกอบ 3.*22* เครื่อง Hunter Lab [48]

3.3.5 การออกแบบระบบควบคุม

เพื่อให้เครื่องสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบการควบคุมระบบทำงานของตัวเครื่องด้วย โดยมีลักษณะการทำงานของส่วนควบคุมระบบไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 3.8



ภาพประกอบ 3.23 แผนภาพการออกแบบการควบคุมระบบทำงานของตัวเครื่อง

3.4 การออกแบบการเก็บผลการทดลอง

การออกแบบการเก็บผลการทดลอง เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการย้อมครามด้วยความเร็วมอเตอร์ จะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 148 ชุดที่การหมุนของมอเตอร์ทิศทางเดียวและสลับทิศทาง อุณหภูมิตั้งแต่ 21 23 25 27 และ 29 องศาเซลเซียส ได้แก่ การทดสอบการย้อมครามด้วยเครื่องย้อมครามที่จัดสร้างขึ้นที่ความเร็วมอเตอร์ 20 25 30 35 และ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หลังจากย้อมเสร็จแล้วนำเส้นด้ายทั้งหมด ไปทดสอบความวัดดค่าความเข้มของสีโดยใช้เครื่องมือทดสอบ เพื่อให้ทราบคุณภาพและประสิทธิภาพของการย้อมผ้าครามในส่วนของระดับสีและความสม่ำเสมอของการย้อม ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องมือทดสอบระดับสี เปรียบเทียบกับค่าเฉดสีตามค่าระดับสีมาตรฐาน Red-Green-Blue (RGB) โดยค่า RGB ที่ 0, 25-65, 66-106 ระดับที่ 4 เป็นค่าที่ดีที่สุด เนื่องจากสีครามมีความเข้มเป็นที่นิยม อ้างอิงค่าจากงานวิจัยของบริษัท การพิมพ์เชิงพาณิชย์ [49] ซึ่งได้นิยามระดับสีย้อมครามแล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม - เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง - ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง - ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง - ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี - จาง		255	255	255

3.5 พื้นที่ในการทดสอบ

ห้องวิจัยพลังงานรังสีอาทิตย์และแหล่งพลังงานสำรอง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ เลขที่ 41 หมู่ 20 ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

รวมรวบข้อมูลที่ได้ทำการเก็บผลการทดสอบการเก็บเกี่ยวประสิทธิภาพการย้อมครามด้วยความเร็วมอเตอร์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 21 23 25 27 และ 29 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วมอเตอร์ ตั้งแต่ 20 25 30 35 และ 40 รอบต่อนาที ใช้เวลาที่ 30 นาที โดยใช้เครื่องมือทดสอบ เพื่อให้ทราบคุณภาพและประสิทธิภาพของการย้อมผ้าครามในส่วนของระดับสีและความสม่ำเสมอของการย้อม ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องมือทดสอบระดับสี โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉดสีตามค่าระดับสีมาตรฐาน Red-Green-Blue (RGB) ทั้ง 148 สภาวะการทดลองตามที่ได้ออกแบบการทดสอบ และสรุปผลการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

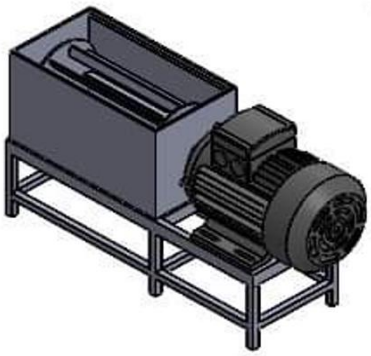
บทนี้จะนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจริง พร้อมผลการทดลอง โดยแบ่งรายละเอียดการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. โครงสร้างและส่วนประกอบต้นแบบเครื่องที่ใช้ในการทดลอง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. ผลการทดลอง

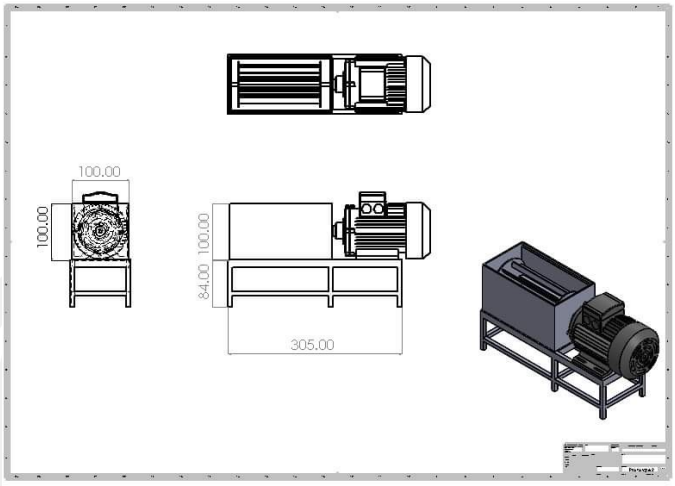
โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 โครงสร้างและส่วนประกอบต้นแบบ

การออกแบบจำลองเครื่องย้อมคราม เนื่องจากการออกแบบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้สร้างเครื่องต้นแบบขนาดเล็ก ตามความเหมาะสมของการทดลองการย้อมผ้าคราม การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองเครื่องย้อมคราม โดยมีขนาดกว้างxยาวxสูง 25 x 50 x 25 เซนติเมตร ภาพประกอบ 4.1 และภาพประกอบ 4.2

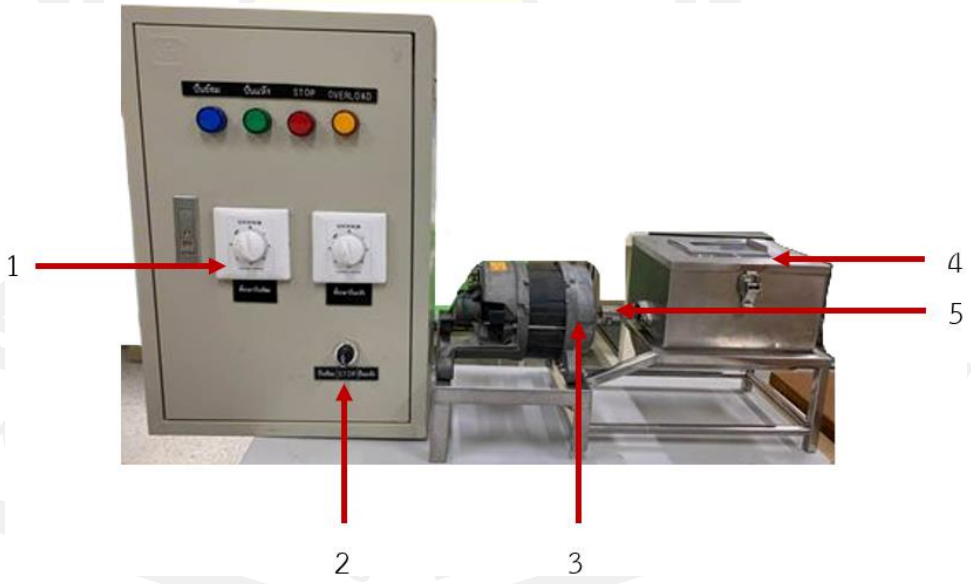


ภาพประกอบ 4.*24* โครงสร้างและการออกแบบจำลองเครื่องย้อมคราม



ภาพประกอบ 4.*25* การออกแบบโครงสร้างแบบจำลองเครื่องย้อมคราม

ต้นแบบเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย มีระบบของการปั่นย้อมสีของผ้าครามและระบบการปั่นแห้ง ปุ่มกดหยุดของตู้เป็นการทำงานในลักษณะการทำงานเช่นเดียวกัน กับระบบของเครื่องซักผ้า พร้อมตั้งเวลาของการปั่นย้อม และตั้งเวลาการปั่นแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.*26* ต้นแบบเครื่องย้อมครามจริงที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบอุปกรณ์ของเครื่องในภาพที่ 4.3 มีรายละเอียดดังนี้

1. สวิตช์จับเวลาถอยหลัง สำหรับกำหนดเวลาที่เหมาะสมของการย้อมคราม สามารถทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ และหยุดทำงานโดยอัตโนมัติช่วงเวลาสามารถควบคุมได้ โดยปุ่มของสวิตช์

2. ซีเลคเตอร์สวิทช์ (22 mm) Schneider XB7 Selector Switch 3 ตำแหน่ง ใช้สั่งคอนโทรลอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง (2NO) ON-OFF-ON โดยนำมาใช้ควบคุมระบบการเปลี่ยนฟังก์ชัน ระบบย้อมคราม และระบบปั่นแห้งของเครื่องย้อมคราม

3. มอเตอร์อเนกประสงค์ (Universal motor) สำหรับระบบปั่นย้อมครามและระบบปั่นแห้ง มีคุณสมบัติสามารถหมุนสลับทิศทางกันได้ เป็นมอเตอร์ที่ใช้งานได้ทั้งกระแสตรง จากแบตเตอรี่หรือแผงโซล่าเซลล์ และกระแสสลับแรงดันไฟ 24V–230V รอบ 480-12,000 รอบ ความเร็วรอบขึ้นอยู่กับแรงดันไฟที่จ่ายให้มอเตอร์

4. ตัวถังจำลอง ทำด้วยสแตนเลสที่ออกแบบเป็นตัวยู ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำย้อมครามทดสอบ และมีอุณหภูมิที่เย็นเหมาะแก่การย้อมคราม ตัวถังมีขนาด 15 x 20 x 15 เซนติเมตร

5. แกนกลางของตัวถังจำลอง ออกแบบมาเพื่อใส่ฝ้ายที่ใช้ทดลองการย้อมคราม ให้สามารถหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศได้ จะทำให้ฝ้ายและน้ำย้อมครามทำปฏิกิริยาได้ดี แกนกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

<u>หาค่าความเร็วมอเตอร์ที่สัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้าย</u>

โดยแกนกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ดังนั้นจะหาความเร็วในการหมุนที่แกนมอเตอร์ (Shaft)

จากสูตร การคำนวณหาความเร็วมอเตอร์ที่สัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้าย ดังนี้

$$\boldsymbol{v_{dye} = \omega r = 2\pi(v_{motor}/60)r} \quad (3.1)$$

เมื่อ

$\boldsymbol{v_{dye}}$ คือ ความเร็ว ณ จุดย้อม (ตำแหน่งที่เส้นฝ้ายสัมผัสน้ำคราม) มีหน่วยเป็น m/s

$\boldsymbol{v_{motor}}$ คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น RPM

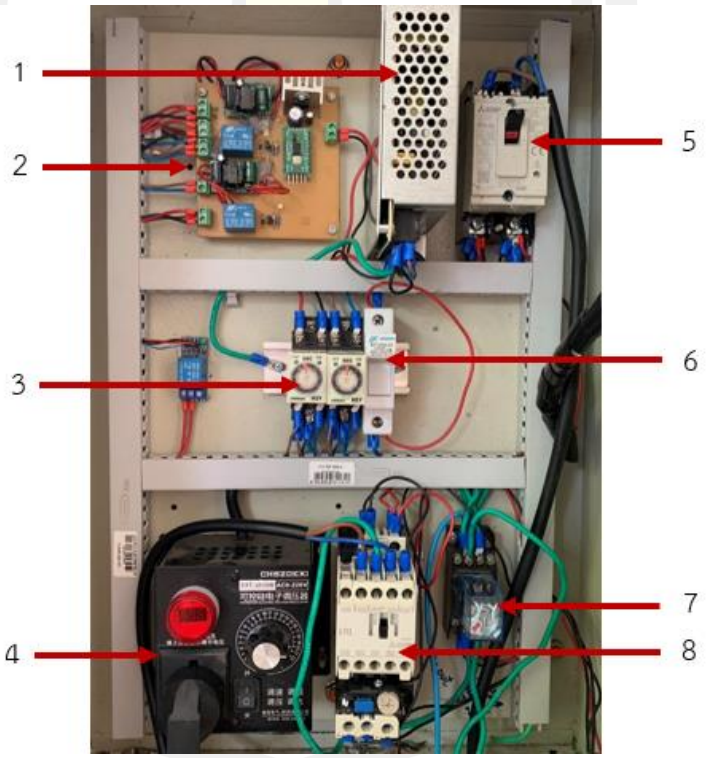
$\boldsymbol{r}$ คือ รัศมีของกรงล้อของเครื่อง มีหน่วยเป็น m

แทนค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะได้ผลลัพธ์ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.2 ค่าความเร็ว ณ จุดย้อม สำหรับความเร็วมอเตอร์ระดับต่าง ๆ

ความเร็วมอเตอร์ (v_{motor}) (RPM)	ความเร็ว ณ จุดย้อม (v_{dye}) (m/s)
20	0.10
25	0.13
30	0.16
35	0.18
40	0.21

ส่วนประกอบวงจรควบคุมต้นแบบแสดงในภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.27 ส่วนประกอบวงจรควบคุมสำหรับเครื่องย้อมครามที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบอุปกรณ์ของเครื่องในภาพประกอบ 4.4 มีรายละเอียดดังนี้

1. Power Supply 12VDC ทำหน้าที่แปลงไฟให้ Control Board

2. Control Board ทำหน้าควบคุมเวลาในการหยุดมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์จะกลับทางหมุน โดยส่งสัญญาณไปที่ Relay 5VDC

3. Direction Relay ทำหน้าที่กลับทางหมุนของมอเตอร์ รีเลย์แบบระยะทาง เป็นรีเลย์ป้องกันประเภทหนึ่งที่ทำงานโดยตอบสนองต่อระยะทางในวงจรไฟฟ้า ระหว่างตาแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์กับตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า

4. Motor Control ควบคุมการปล่อยกระแส เพื่อควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ ให้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ตามความเหมาะสมของการย้อมคราม

5. CB1 เบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ตัดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ ใช้สำหรับป้องกันความเสียหายของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องจักร หรือป้องกันไฟรั่วไฟดูดจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร หรือกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

6. FUSE ฟิวส์ (fuse) เป็นอุปกรณ์นิรภัยชนิดหนึ่งโดยจะป้องกันการลัดวงจร และการใช้กระแสเกินในวงจรไฟฟ้า

7. Magnetic Contactor รับสัญญาณจาก Relay 5VDC ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรของ ไฟฟ้าในระบบโดยใช้หน้าสัมผัสเป็นเสมือนตัวสวิตช์ที่ใช้เปิด-ปิด

8. Relay 5VDC รับสัญญาณจาก Control Board เพื่อกลับทางหมุนมอเตอร์

4.2 วัสดุเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อให้ทราบคุณภาพและประสิทธิภาพของการย้อมผ้าครามในส่วนของระดับสีและความสม่ำเสมอของการย้อม ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเครื่องมือทดสอบระดับสี โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉดสีตามค่าระดับสีมาตรฐาน Red - Green - Blue (RGB) โดยอ้างอิงค่าจากงานวิจัยของบริษัท การพิมพ์เชิงพาณิชย์ [49] ซึ่งได้นิยามระดับสีย้อมครามไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

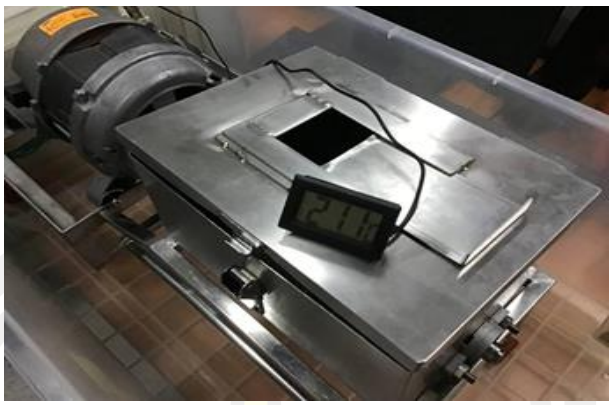
4.2.1 เส้นฝ้าย (Cotton)

จำนวน 7 ม้วน ม้วนละ 30 เส้น ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการย้อมสีของเครื่องต้นแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm เพื่อความแม่นยำของการทดลองของเครื่องย้อมครามทดสอบ

ภาพประกอบ 4.*28* เส้นฝ้าย จำนวน 7 ม้วน ม้วนละ 30 เส้น

4.2.2 เทอร์โมมิเตอร์

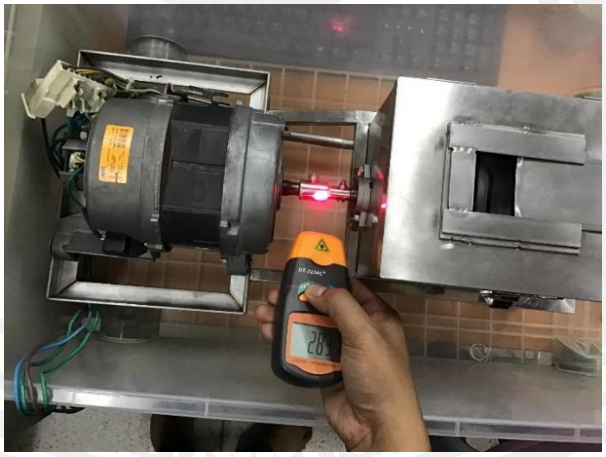
อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับความร้อนหรือความเย็นของวัตถุ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์ หรือ เซ็นเซอร์อุณหภูมิในรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของระดับความร้อน และวิธีการในการแปลงการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นค่าตัวเลข เพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจปริมาณความร้อน ซึ่งหน่วยของการวัดของระดับความร้อน ได้แก่ องศาเซลเซียส เขียนย่อว่า °C (Celsius) เคลวิน เขียนย่อ K (Kelvin) และองศาฟาเรนไฮ เขียนย่อว่า °F (Fahrenheit) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในเทคโนโลยี และอุตสาหกรรม เพื่อตรวจสอบกระบวนการในอุตุนิยมวิทยาการแพทย์และในการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.*29* เทอร์โมมิเตอร์

4.2.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

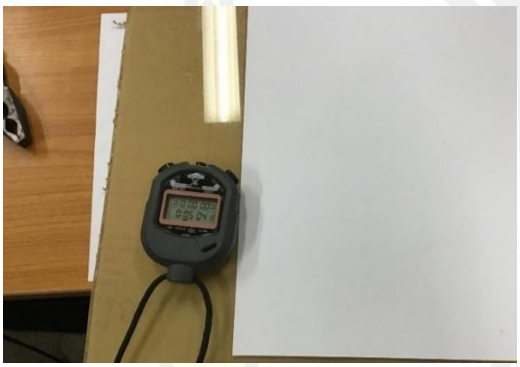
หรือ RPM Meter เป็นอุปกรณ์วัดความเร็ว (Speed) ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ ส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้งานในการวัดความเร็วรอบของเครื่องจักร โดยหน่วยของ Tachometer มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที RPM (Revolutions Per Minute) ลักษณะการใช้งานดังแสดงในภาพประกอบ 4.7



ภาพประกอบ 4.*30* เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

4.2.4 นาฬิกาจับเวลา (Timer)

ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับจับเวลาในระหว่างทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยจับเวลาแบบดิจิทัล เพื่อง่ายต่อการอ่านและการบันทึกค่า เช่น การทดลองในห้องปฏิบัติการ มีลักษณะดังภาพประกอบ 4.8

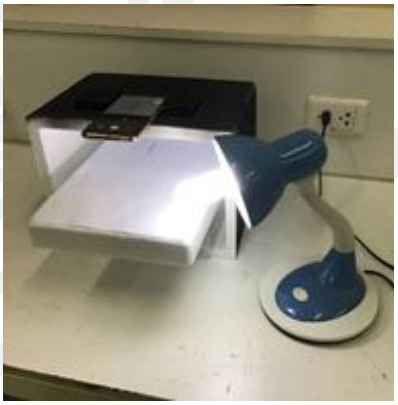


ภาพประกอบ 4.*31* นาฬิกาจับเวลา *(*Timer)

4.2.5 แบบจำลองภาพถ่าย

ใช้ในการจำลองการถ่ายภาพ โดยนำโทรศัพท์วางไว้บนกล่องโฟม พร้อมการส่องแสง โดยการนำโคมไฟมาส่องไฟไว้ด้านข้าง เพื่อเพิ่มความสว่างและความชัดเจนของภาพถ่าย มีลักษณะและการใช้งานดังภาพประกอบ 4.9 (ก)-(ข)

(ก) ภาพประกอบ 4.9 แบบจำลองภาพถ่าย



(ข) ภาพประกอบ 4.9 แบบจำลองภาพถ่าย

ภาพประกอบ 4.*32* อุปกร์สำหรับถ่ายภาพตัวอย่างการทดลอง

4.2.6 เครื่องมือทดสอบระดับสี

โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉดสีตามค่าระดับสีมาตรฐาน Red - Green - Blue (RGB) ซึ่งหากถูกพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญการย้อมครามจะพบว่าระดับ 4 หรือค่อนข้างเข้ม-เข้ม ที่ถือว่ามีคุณภาพดี มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 4.10

เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม-เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง-ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง-ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี-จาง		255	255	255

ภาพประกอบ 4.*33* เครื่องมือทดสอบระดับสี

4.2.7 น้ำคราม การเตรียมสีคราม

(การก่อหม้อนิล) แต่ละท้องที่การก่อหม้อนิลด้วยวัตถุดิบที่เป็นหลัก 3 ชนิดคือ เนื้อคราม น้ำขี้เถ้ากับปูนขาว เนื้อครามที่ได้จากครามงอและครามบ้านไม่แตกต่างกัน ปูนขาวอาจได้จากเปลือกหอยหรือหาซื้อได้จากท้องตลาดก็มีสมบัติต่างกัน แต่น้ำขี้เถ้าจากขี้เถ้าของไม้ต่าง ๆ ชนิดกันจะให้ความเค็มต่างกัน และให้สีน้ำเงินจางหรือเข้มหรือเป็นเงางามแตกต่างกัน นอกจากนี้ใช้ขี้เถ้าจากพืชต่าง ๆ ต่อไปนี้คือ มะละกอ เหง้ากล้วย ก้านกล้วย ก้านใบกล้วย เปลือกของผลนุ่น ใบมะขาม ต้นเพกา ใบจามจุรี ก้านมะพร้าวและกาบมะพร้าว เป็นต้น ลักษณะดังภาพประกอบ 4.11

ภาพประกอบ 4.*34* น้ำคราม

4.2.8 แบบจำลองเครื่องย้อมคราม

มีระบบของการปั่นย้อมสีของผ้าครามและระบบการปั่นแห้ง ปุ่มกดหยุดของตู้เป็นการทำงานคล้าย ๆ กับระบบของเครื่องซักผ้า พร้อมตั้งเวลาของการปั่นย้อม

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

(1) การทดลองศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม

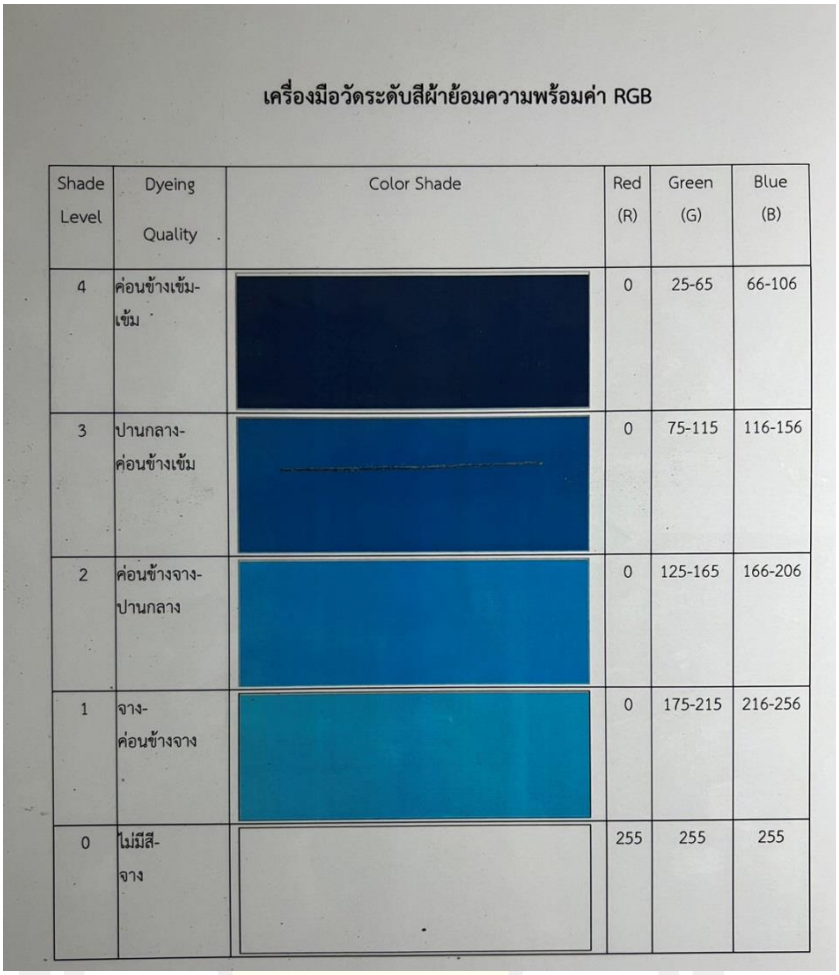
(2) การทดลองเพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม

(3) การทดลองเพื่อค้นหาความเร็วมอเตอร์ที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม
(4) การทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม
โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดลองศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม

โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติที่ได้จัดสร้างขึ้น กำหนดความเร็วมอเตอร์คงที่ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.10 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว กลุ่มตัวอย่างเป็นเส้นด้ายม้วน ม้วนละ 30 เส้น จำนวน 7 ม้วน 210 เส้น โดยม้วนที่ 1 ทำการทดสอบที่ระยะเวลา 5 นาที แล้วยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งแห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีและค่า RGB ม้วนที่ 2 เป็นระยะเวลา 10 นาที ยกออกจากเครื่องเพื่อผึ่งให้แห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีเช่นกัน และทำการวิจัยด้วยวิธีการนี้สำหรับม้วนที่ 3 4 5 6 และ 7 สำหรับระยะเวลาที่ 15 20 25 30 และ 35 นาที ตามลำดับ

ผลการทดลองเพื่อค้นหาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์คงที่ที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และหมุนทิศทางเดียว พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ เวลา 30 นาที คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 3 ค่าความเข้มปานกลาง - ค่อนข้างเข้ม RGB ของสีอยู่ที่ 0, 75-115’, 116-156’ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12 และผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ตารางผลการทดลองเป็นไปดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.1 - ข.7)



เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

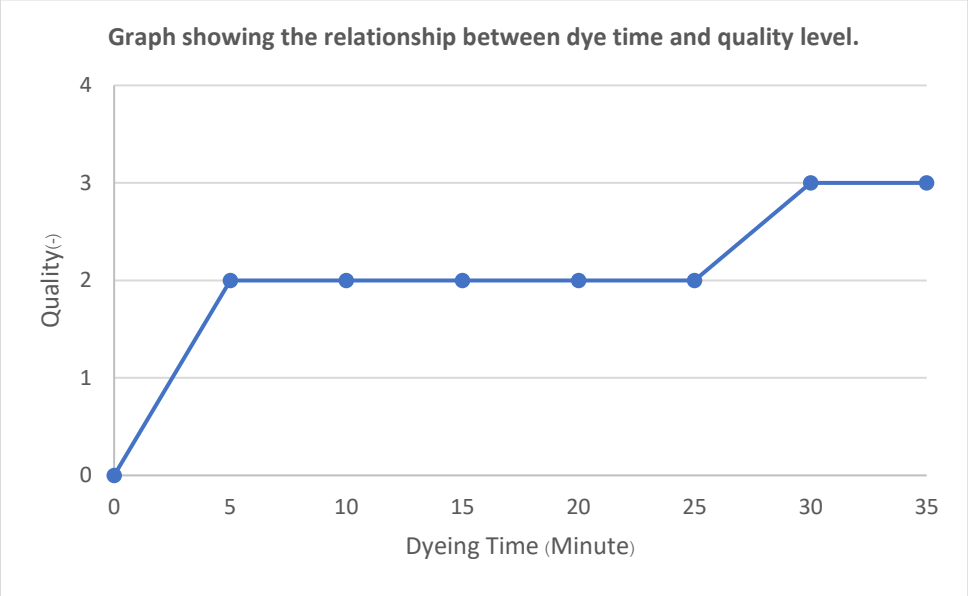
Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม-เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง-ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง-ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี-จาง		255	255	255

ภาพประกอบ 4.*35* ระดับสีผ้าย้อมครามระยะเวลาที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB

ตารางที่ 4.3 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน

Dyeing Time (minutes)	Dyeing Quality Level	Test Condition
5	2	• Motor speed: 20 RPM • Temperature: 25 °C • Rotating direction: one way
10	2	
15	2	
20	2	
25	2	
30	3	
35	3	

ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม จากตารางจะแสดงเป็นกราฟได้ ดังนี้



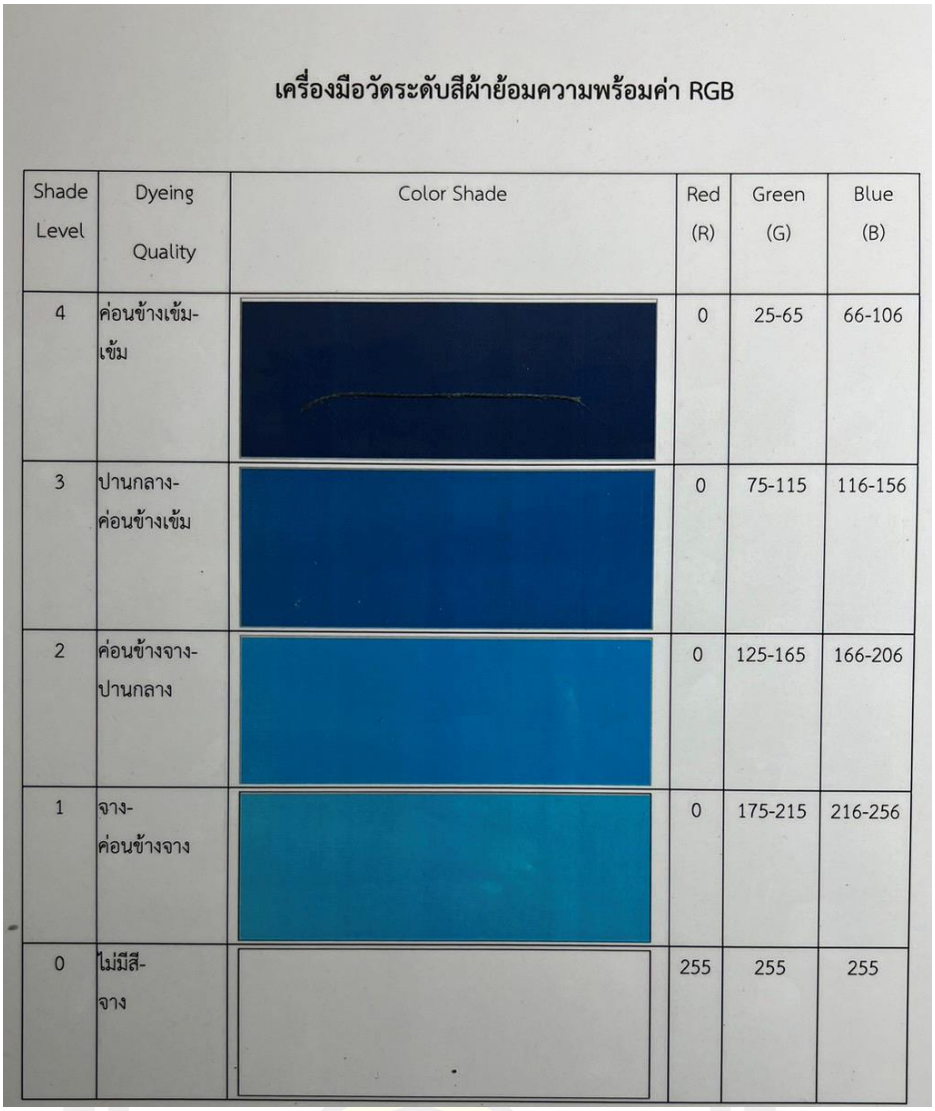
ภาพประกอบ 4.36 กราฟระยะเวลาที่เหมาะกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาย้อมและระดับคุณภาพสม

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการทดลอง ในช่วงเวลา 0-5 นาที ระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากระดับ 0 เป็นระดับคุณภาพที่ 2 จากนั้นนาทีที่ 10-25 นาที ระดับคุณภาพยังคงอยู่ที่ระดับ 2 และในช่วงเวลา 30-35 นาที ระดับคุณภาพเพิ่มขึ้นมา 1 ระดับอยู่ที่ระดับ 3 จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า คุณภาพที่ระดับ 3 เป็นคุณภาพการย้อมที่ยอมรับได้ [16]

4.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม

โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์คงที่ที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา ที่ระยะเวลากลุ่มตัวอย่างเป็นเส้นด้ายม้วน ม้วนละ 30 เส้น จำนวน 7 ม้วน 210 เส้น โดยม้วนที่ 1 ทำการทดสอบที่ระยะเวลา 5 นาที แล้วยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งแห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีและค่า RGB ม้วนที่ 2 เป็นระยะเวลา 10 นาที ยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งให้แห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีเช่นกัน และทำการวิจัยด้วยวิธีการนี้สำหรับม้วนที่ 3 4 5 6 และ 7 สำหรับระยะเวลาที่ 15 20 25 30 และ 35 นาที ตามลำดับ

ผลการทดลองเพื่อค้นหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสม จากตารางที่ 4.2-4.3 โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์คงที่ที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การหมุนทิศทางเดียวและกลับไปกลับมา พบว่า ทิศทางการหมุนที่เหมาะสม คือ ทิศทางกลับไปกลับมา คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าค่อนข้างเข้ม-เข้ม RGB ของสีอยู่ที่ 0, 25-65’, 66-106’ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.14 และผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.3-4.4 (ตารางผลการทดลองเป็นไปดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.8-ข.14)



เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม-เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง-ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง-ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี-จาง		255	255	255

ภาพประกอบ 4.14 ระดับสีผ้าย้อมครามทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB

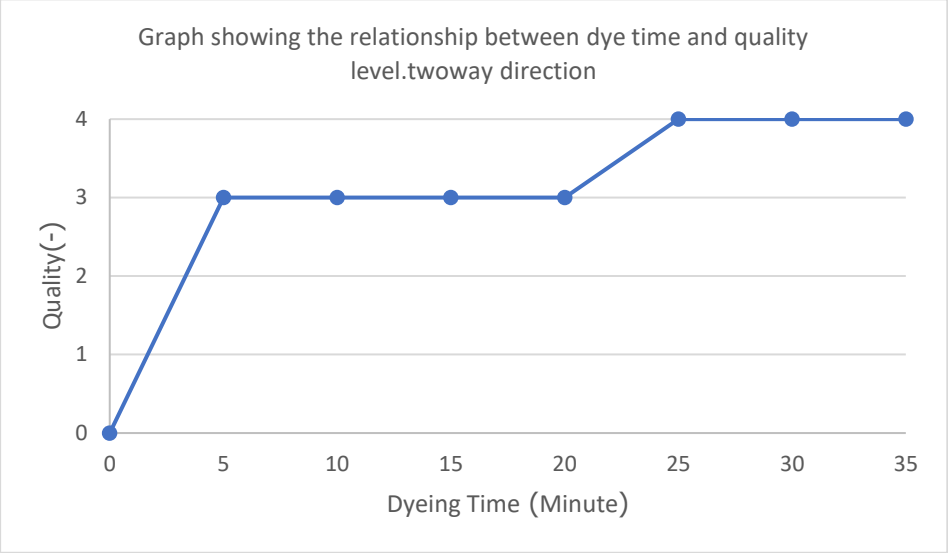
ตารางที่ 4.*4* ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์แบบการหมุนกลับไปกลับมา ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน

Dyeing Time (minutes)	Dyeing Quality Level	Test Condition
5	3	• Motor speed: 20 RPM • Temperature: 25 °C • Rotating direction: two ways
10	3	
15	3	
20	3	
25	4	
30	4	
35	4	

ตารางที่ 4.*5* ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของมอเตอร์แบบการหมุนทิศทางเดียว ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากตารางที่ 4.1

Dyeing Time (minutes)	Dyeing Quality Level	Test Condition
5	3	• Motor speed: 20 RPM • Temperature: 25 °C • Rotating direction: two ways
10	3	
15	3	
20	3	
25	4	
30	4	
35	4	

ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาผลของทิศทางการหมุนของแบบการหมุนกลับไปกลับมาที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม จากตารางจะแสดงเป็นกราฟได้ ดังนี้



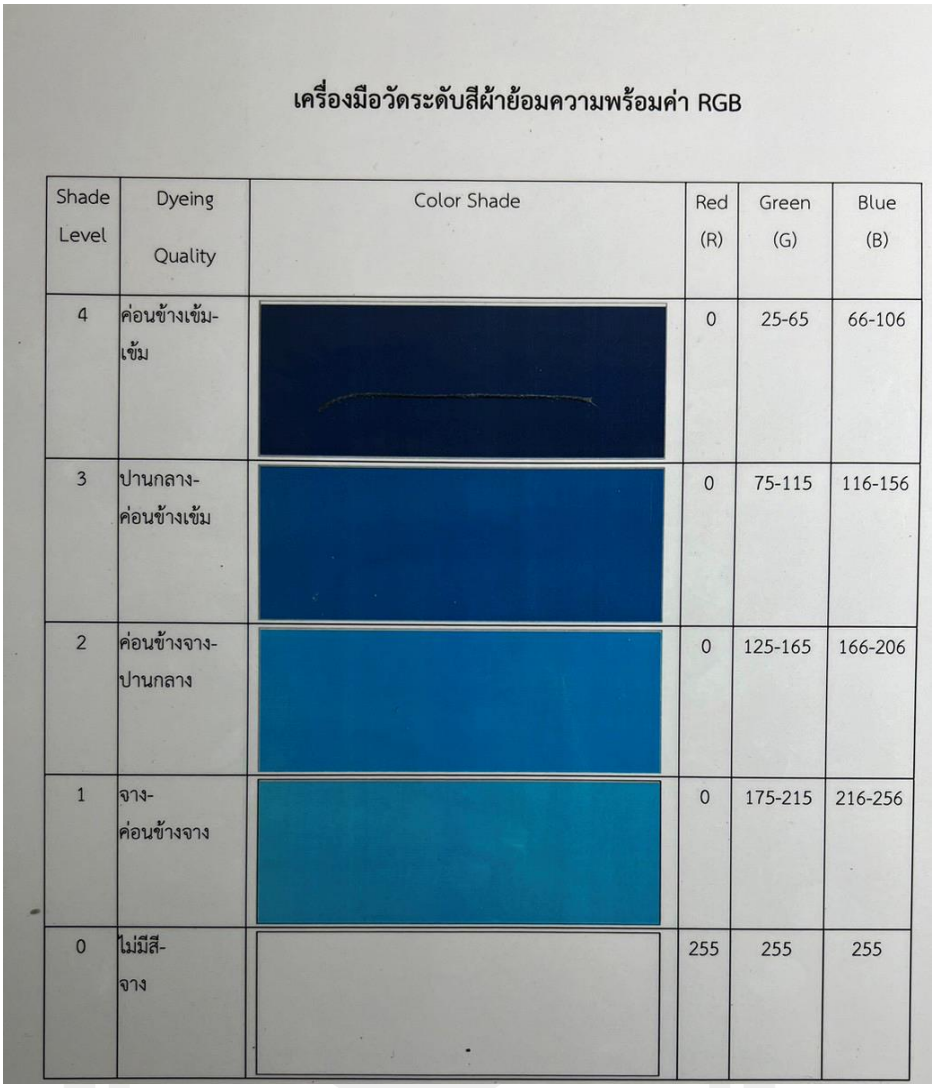
ภาพประกอบ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาย้อมและระดับคุณภาพทิศทางสองทาง

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการทดลอง ในช่วงเวลา 0-5 นาที ระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากระดับ 0 เป็นระดับคุณภาพที่ 3 จากนั้นนาทีที่ 10-20 นาที ระดับคุณภาพยังคงอยู่ที่ระดับ 3 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ และในช่วงเวลา 25-35 นาที ระดับคุณภาพเพิ่มขึ้นมา 1 ระดับอยู่ที่ระดับ 4 เมื่อเปรียบเทียบการหมุนแบบสองทิศทางกับทิศทางเดียว จะเห็นได้ว่าแบบสองทิศทางทำให้คุณภาพการย้อมเร็วขึ้นถึง 5 เท่า เนื่องจากการหมุนแบบสองทิศทางจะทำให้สีครามในน้ำย้อม (Indigo white) แทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ดี เมื่อยกเส้นใยพ้นน้ำย้อมสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้ดี สีครามจะถูกออกซิไดซ์เป็นสีน้ำเงิน (Indigo blue) ขังอยู่ภายในเส้นใยและเกิดเป็นสีคราม [17]

4.3.3 การทดลองเพื่อค้นหาความเร็วที่เหมาะสม

ในการย้อมผ้าครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติที่ได้จัดสร้างขึ้น โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดี คือ ทิศทางการหมุนแบบกลับไปกลับมา เวลาทดสอบที่ 30 นาที และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กลุ่มตัวอย่างเป็นเส้นด้ายม้วน ม้วนละ 30 เส้น จำนวน 5 ม้วน 150 เส้น โดยม้วนที่ 1 ทำการทดสอบความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.10 เมตรต่อวินาที แล้วยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งแห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีและค่า RGB ม้วนที่ 2 ที่ความเร็วมอเตอร์ 25 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.13 เมตรต่อวินาที ยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งให้แห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีเช่นกัน และทำการวิจัยด้วยวิธีการนี้สำหรับม้วนที่ 3 4 และ 5 ณ ความเร็วมอเตอร์ที่ 30 35 และ 40 รอบต่อนาที ตามลำดับ หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.16 0.18 และ 0.21 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ผลการทดลองเพื่อค้นหาความเร็วที่เหมาะสม โดยทดสอบที่ทิศทางการหมุนแบบกลับไปกลับมา เวลาการย้อม 30 นาที และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ความเร็วมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการย้อมที่สุด คือ 30 รอบต่อนาที คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าค่อนข้างเข้ม-เข้ม RGB ของสีอยู่ที่ 0, 25-65’, 66-106’ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.16 และผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.5 (ตารางผลการทดลองเป็นไปดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.15 - ข.19)



เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม-เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง-ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง-ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี-จาง		255	255	255

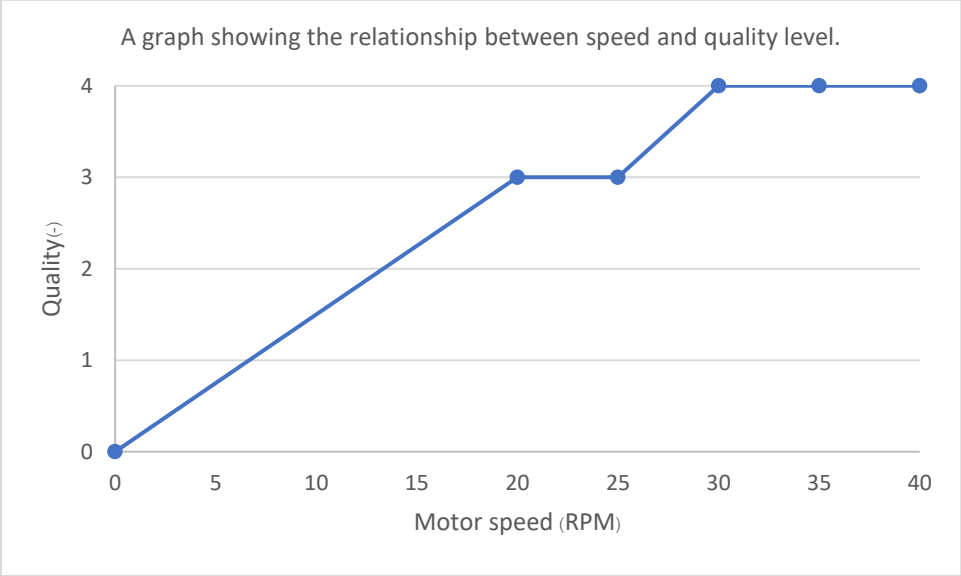
ภาพประกอบ 4.*38* ระดับสีผ้าย้อมครามความเร็วที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 4.6 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาความเร็วที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน

Motor Speed (RPM)	Dyeing Quality Level	Test Condition
20	3	• Time: 30 minutes • Temperature: 25 °C • Rotating direction: two ways
25	3	
30	4	
35	4	
40	4	

ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาความเร็วที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ในการทดลองเพื่อศึกษาความเร็วที่เหมาะสมจะหาคุณภาพการย้อมที่เข้มที่สุด จึงใช้ระดับคุณภาพการย้อมที่ระดับ 4 เป็นเกณฑ์ในการตัดสินที่เหมาะสม จากตารางจะแสดงเป็นกราฟได้ ดังนี้



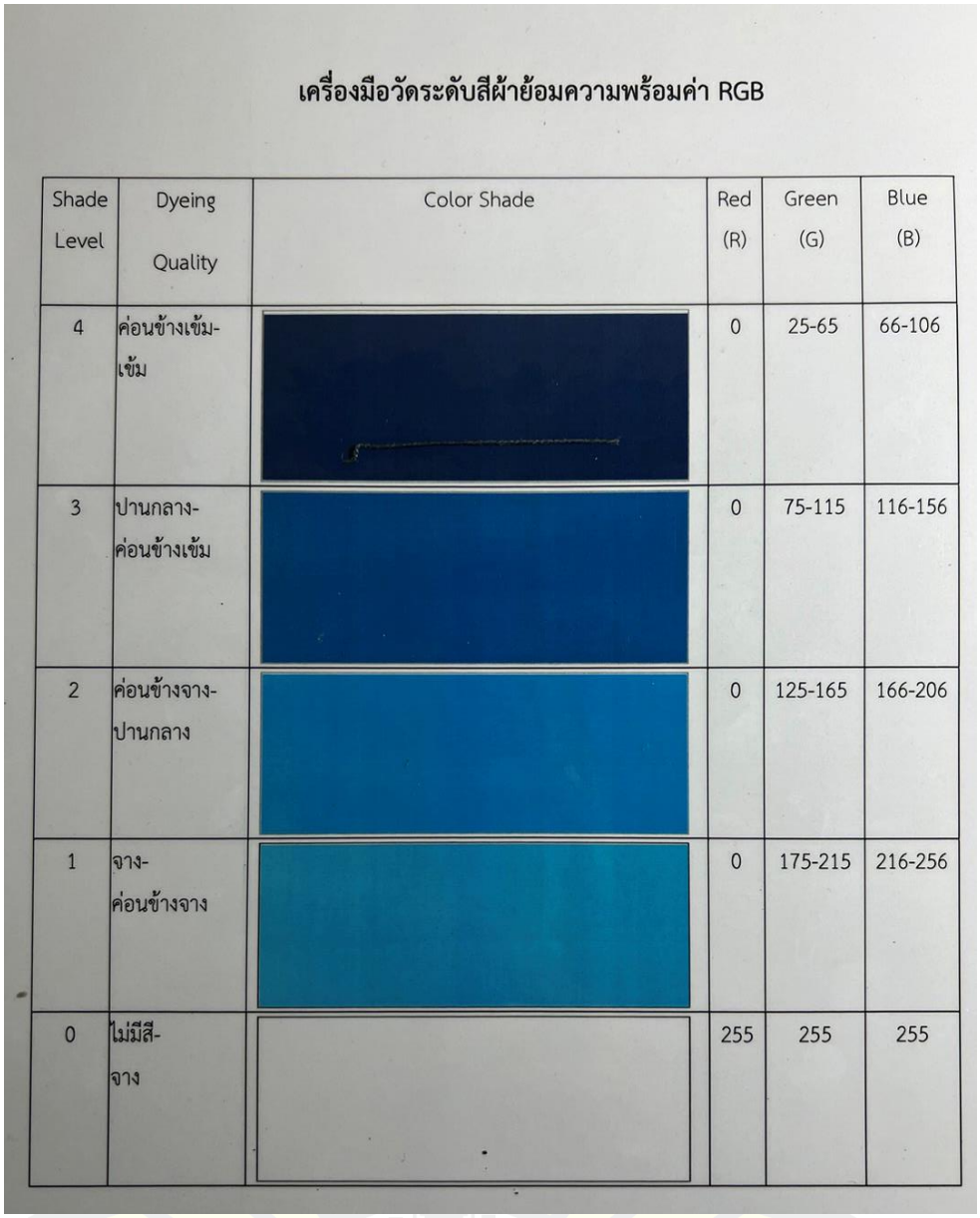
ภาพประกอบ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระดับคุณภาพ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการทดลอง ในช่วงความเร็วมอเตอร์ 30-40 รอบต่อนาที ระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากระดับ 3 เป็นระดับคุณภาพที่ 4 ซึ่งเป็นคุณภาพการย้อมที่ดีที่สุด และช่วงความเร็วมอเตอร์ 20-30 รอบต่อนาที ระดับคุณภาพลดลงมา 1 ระดับอยู่ที่ระดับ 3 จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า คุณภาพที่ระดับ 4 เป็นคุณภาพการย้อมที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับช่วงความเร็วความเร็วมอเตอร์ 30 รอบต่อนาที [14] ระดับคุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 3

4.3.4 การทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสม

ในการย้อมผ้าครามให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติที่ได้จัดสร้างขึ้น โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุด คือ ทิศทางการหมุนแบบกลับไปกลับมา เวลาทดสอบที่ 30 นาที และความเร็วมอเตอร์ที่ 30 รอบต่อนาที กลุ่มตัวอย่างเป็นเส้นด้ายม้วน ม้วนละ 30 เส้น จำนวน 5 ม้วน 150 เส้น โดยม้วนที่ 1 ทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิที่ 21 องศาเซลเซียส แล้วยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งแห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีและค่า RGB ม้วนที่ 2 อุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส ยกออกจากเครื่อง เพื่อผึ่งให้แห้งแล้วเตรียมวัดค่าระดับเฉดสีเช่นกัน และทำการวิจัยด้วยวิธีการนี้สำหรับม้วนที่ 3 4 และ 5 ณ อุณหภูมิที่องศาเซลเซียส ที่ 25 27 และ 29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลการทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ 30 รอบต่อนาที ทิศทางการหมุนแบบกลับไปกลับมา และเวลาทดสอบ 30 นาที พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าค่อนข้างเข้ม-เข้ม RGB ของสีอยู่ที่ 0, 25-65’, 66-106’ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.18 และผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.6 (ตารางผลการทดลองเป็นไปดังแสดงในภาคผนวกที่ ข.20-ข.24)



เครื่องมือวัดระดับสีผ้าย้อมความพร้อมค่า RGB

Shade Level	Dyeing Quality	Color Shade	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
4	ค่อนข้างเข้ม-เข้ม		0	25-65	66-106
3	ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม		0	75-115	116-156
2	ค่อนข้างจาง-ปานกลาง		0	125-165	166-206
1	จาง-ค่อนข้างจาง		0	175-215	216-256
0	ไม่มีสี-จาง		255	255	255

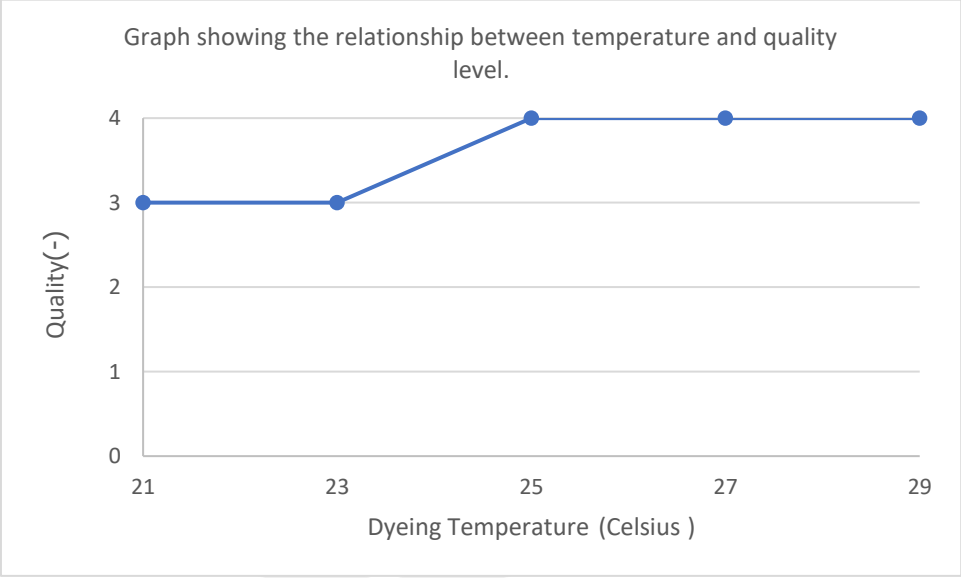
ภาพประกอบ 4.*40* ระดับสีผ้าย้อมคราม

อุณหภูมิที่เหมาะสมพร้อมค่า RGB

ตารางที่ 4.7 ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ให้ได้ระดับความเข้มตามคุณภาพมาตรฐาน

Dyeing Temperature (degrees Celsius)	Dyeing Quality Level	Test Condition
21	3	• Motor speed: 30 RPM • Time: 30 minutes • Rotating direction: two ways
23	3	
25	4	
27	4	
29	4	

ผลเฉลี่ยการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของการทดลอง เพื่อศึกษาค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม จากตารางจะแสดงเป็นกราฟได้ ดังนี้



ภาพประกอบ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระดับคุณภาพ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลการทดลอง ในช่วงอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากระดับ 0 เป็นระดับคุณภาพที่ 3 จากนั้นอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส ระดับคุณภาพยังคง

อยู่ที่ระดับ 3 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ และในช่วงอุณหภูมิที่ 25-29 องศาเซลเซียส ระดับคุณภาพเพิ่มขึ้นมา 1 ระดับอยู่ที่ระดับ 4 จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า คุณภาพที่ระดับ 4 เป็นคุณภาพการย้อมที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับอุณภูมิการย้อมที่ 25 องศาเซลเซียส [16] ระดับคุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4

ในการทดลองนี้อยากทราบวาถ้าอุณหภูมิลดลงหรือเพิ่มสูงขึ้นประมาณบวกลบ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะเกิดจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจะส่งผลกระทบอย่างไรกับประสิทธิภาพการย้อมที่อุณหภูมิสูงกว่า 25-29 องศาเซลเซียส คุณภาพที่ระดับ 4 เป็นคุณภาพการย้อมที่ดี

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุปผล และอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. การวิจัยนี้เป็นออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องย้อมครามแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่สามารถปรับความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ในการสัมผัสน้ำสีของเส้นฝ้าย ณ อุณหภูมิที่แตกต่างได้ ทดสอบและวิเคราะห์ในส่วนผลกระทบของความเร็วการหมุนของมอเตอร์ ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพ และระยะเวลาการย้อมครามเปรียบเทียบกับการย้อม

2. ต้นแบบเครื่องย้อมครามแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่จัดสร้างขึ้นเป็นไปตามการออกแบบโดยสมบูรณ์ ซึ่งมีส่วนประกอบทั้งหมด ได้แก่ โครงสร้างเครื่องย้อมครามกึ่งอัตโนมัติ มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง 25 x 50 x 25 เซนติเมตร ตัวถังจำลองทำด้วยสแตนเลสที่ออกแบบเป็นตัวยู ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำย้อมครามทดสอบ และมีอุณหภูมิที่เย็น เหมาะแก่การย้อมคราม ตัวถังมีขนาด 15 x 20 x 15 เซนติเมตรแกนกลางของตัวถังจำลอง ออกแบบมาเพื่อใส่ฝ้ายที่ใช้ทดลองการย้อมครามให้สามารถหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศได้ จะทำให้ฝ้ายและน้ำย้อมครามทำปฏิกิริยาได้ดี แกนกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร กำลังไฟอยู่ที่ 350 วัตต์

3. ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการย้อมคราม ความเร็วที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม โดยได้ผลสรุปดังนี้

3.1 ผลการทดลองเพื่อค้นหาระเวลาทดสอบที่เหมาะสมในการทดสอบกลุ่มตัวอย่าง

การทดลองเพื่อค้นหาระเวลาทดสอบที่เหมาะสมในการทดสอบกลุ่มตัวอย่าง (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์คงที่ที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หมุนทิศทางเดียวเท่านั้น) ส่วนนี้ใช้ฝ้ายทั้งหมด 7 ม้วน 210 เส้น ทดสอบที่ระยะเวลา 5 10 15 20 25 30 และ 35 นาที พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสม คือ เวลา 30 นาที จากการตรวจสอบความเข้มของสีโดยเครื่องมือทดสอบเฉดสี

RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 3 ค่าความเข้มของสีอยู่ที่ 0, 75-115', 116-156' คิดเป็นสีปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม

จากงานวิจัยก่อนหน้ากล่าวไว้ว่าที่ระดับการย้อม 30 นาที [16] (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์คงที่ที่ 20 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หมุนทิศทางเดียวเท่านั้น) ดังนั้นผลการทดลองข้างต้น พบว่า เมื่อเทียบกันคุณภาพอยู่ที่ระดับ 3 เป็นคุณภาพการย้อมที่ยอมรับได้

3.2 ผลการทดลองเพื่อค้นหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อค้นหาทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เหมาะสม (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 3.1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ส่วนนี้ใช้ฝ้ายทั้งหมด 7 ม้วน 210 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา ทดสอบที่ระยะเวลา 5 10 15 20 25 30 และ 35 นาที พบว่าทิศทางการหมุนที่เหมาะสม คือ ทิศทางกลับไปกลับมา จากการตรวจสอบความเข้มของสีโดยเครื่องมือทดสอบเฉดสี RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าความเข้มของสีอยู่ที่ 0, 25-65', 66-106' คิดเป็นสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม

3.3 ผลการทดลองความเร็วที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม

การทดลองเพื่อค้นหาความเร็วที่เหมาะสม (ใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 3.2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 3.1 และอุณหภูมิที่ดีที่สุดในข้อ 3.3) ส่วนนี้ใช้ฝ้ายทั้งหมด 5 ม้วน 150 เส้น โดยทดสอบ ณ ความเร็วมอเตอร์ที่ 20 25 30 35 และ 40 รอบต่อนาที พบว่า ความเร็วมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการย้อมที่สุด คือ 30 รอบต่อนาที จากการตรวจสอบความเข้มของสีโดยเครื่องมือทดสอบเฉดสี RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าความเข้มของสีอยู่ที่ 0, 25-65', 66-106' คิดเป็นสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม

3.4 ผลการทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้าคราม

การทดลองเพื่อค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสม (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 3.1 ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 3.2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 3.1) ส่วนนี้ใช้ฝ้ายทั้งหมด 5 ม้วน 150 เส้น ทดสอบ ณ อุณหภูมิที่ 21 23 25 27 และ 29 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบความเข้มของสีโดยเครื่องมือทดสอบเฉดสี RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ค่าความเข้มของสีอยู่ที่ 0, 25-65', 66-106' คิดเป็นสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 จะนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจริง พร้อมผลการทดลอง โดยแบ่งรายละเอียดเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การสร้างเครื่องมือทดสอบ และผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจริง

1. ได้ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับตรวจวัดด้วยกัน 4 ระดับค่าเฉดสีตามค่าระดับสีมาตรฐาน Red - Green - Blue (RGB) ซึ่งหากถูกพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญการย้อมครามจะพบว่า ระดับ 4 หรือค่อนข้างเข้ม-เข้ม ที่ถือว่ามีคุณภาพดี และพบว่ากระบวนการการเตรียมและย้อมสีครามจากธรรมชาติจะสังเกตได้ว่า ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นเตรียมสีครามและนำมาย้อมสี จนกระทั่งได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่ได้เฉดสีน้ำเงินออกมาใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 1 เดือน (กรณีที่มีหม้อครามหม้อเดียว) แต่ถ้านับเวลาเฉพาะเวลาย้อมสีครามจากธรรมชาติอย่างเดียวใช้เวลาประมาณ 9-11 วัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติแบบดั้งเดิมที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษนั้นมีข้อเสียคือใช้เวลาย้อมนาน และมีขั้นตอนที่สลับซับซ้อน ไม่สามารถย้อมได้ครั้งละในปริมาณที่มาก ๆ ซึ่งจะแตกต่างจากเครื่องย้อมครามของเราที่ได้มีการเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดลองหากระบวนการทำงานที่ถูกต้องและเหมาะสมในการย้อมผ้าคราม

2. การทดลองหาตัวแปรที่จะทำให้ได้การย้อมครามที่เหมาะสม แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การทดสอบหาเวลาในการย้อมครามที่เหมาะสม พบว่า เป็นเวลาที่ 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมของการทดลองนั้นมีค่า RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 3 ระดับความเข้มสี ปานกลาง-ค่อนข้างเข้ม จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า คุณภาพที่ระดับ 3 เป็นคุณภาพการย้อมที่ยอมรับได้ การทดสอบหาทิศทางที่เหมาะสม พบว่า การหมุนทิศกลับไปกลับมาจะเป็นการปั่นย้อมที่ดีที่สุดของการทดลองนั้นมีค่า RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ระดับความเข้มสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม จะเห็นได้ว่าแบบสองทิศทางทำให้คุณภาพการย้อมเร็วขึ้นถึง 5 เท่า เนื่องจากการหมุนแบบสองทิศทางจะทำให้สีครามในน้ำย้อม (Indigo white) แทรกเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเส้นใยฝ้ายได้ดี เมื่อยกเส้นใยพ้นน้ำย้อมสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้ดี สีครามจะถูกออกซิไดซ์เป็นสีน้ำเงิน (Indigo blue) ขังอยู่ภายในเส้นใยและเกิดเป็นสีคราม [17] การทดสอบหาความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมจึงใช้ระดับคุณภาพการย้อมที่ระดับ 4 เป็นเกณฑ์ในการตัดสินที่เหมาะสม พบว่า ความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมของการทดสอบนั้นอยู่ที่ 30 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมของการทดลองนั้นมีค่า RGB คุณภาพการย้อมอยู่ที่ระดับ 4 ระดับความเข้มสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม และการทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสม พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมของการทดสอบนั้น จากผลการทดลองข้างต้น คุณภาพที่ระดับ 4 เป็นคุณภาพการย้อมที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับอุณภูมิการย้อมที่ 25 องศาเซลเซียส [16] ระดับคุณภาพการย้อมความเข้มสีค่อนข้างเข้ม-เข้ม

5.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

1. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพิจารณาทดสอบกับการย้อมมีลักษณะที่หลากหลาย สำหรับวิจัยในอนาคต

2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพิจารณาเพิ่มระบบอบแห้งหลังจากย้อมเสร็จ สำหรับงานวิจัยในอนาคต

3. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมของเครื่องให้สามารถย้อมครามได้เร็วมากขึ้น สำหรับวิจัยในอนาคต

4. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมของเครื่องให้สามารถย้อมครามในเรื่องของอุณหภูมิ สำหรับวิจัยในอนาคต

5. พิจารณาปรับใช้เครื่องซักผ้าในการย้อมคราม เพื่อลดต้นทุน

6. พิจารณาสัดส่วนการสัมผัสอากาศกับน้ำของเส้นฝ้าย ในงานวิจัยในอนาคต

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

[1] นต์กนิษฐ์ สุขขะ, เฉลิมวุธ สมปาก, ธีระชัย ธนานันต์, และนิรมล ศากยวง์. การคัดแยกแบคทีเรียจากน้ำย้อมครามในหม้อย้อมและดินบริเวณย้อมครามเพื่อประยุกต์ใช้ในการย้อมและบำบัดน้ำเสีย. Thai Journal of Science and Technology. 2019;[1]:553-64.

[2] กรมส่งเสริมวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม. “ผ้าย้อมคราม เสน่ห์แห่งภูมิปัญญาไทย” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564]. ได้จาก: http://culture.go.th/culture_th/ewt_news.

[3] ชัยวัฒน์ แก้วคล้ายขจรศิริ, และประทับใจ สิกขา. การศึกษากระบวนการผ้าย้อมครามโดยการใช้ยางกล้วยน้ำหว้าดิบเป็นสารช่วยติด. วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2555;3(1):106-13.

[4] อนุรัตน์ สายทอง. “การสัมมนาเทคนิคการเตรียมสีครามและการย้อมสีคราม ธรรมชาติ. สกลนคร : มหาวิทยาลัยราชภฏัสกลนคร” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://kram.snru.ac.th/topics/963.

[5] ยงยุทธ สีสัตย์ซื่อ. “การพัฒนาสินค้าผ้าครามย้อมสีธรรมชาติสกลนคร เชื่อมโยงการท่องเที่ยวชุมชนอย่างยั่งยืน (Sakonnakhon: City of Kram) ของกลุ่มจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 2 (สกลนคร มุกดาหาร นครพนม)” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://wiki.ocsc.go.th/_media/.

[6] นิทรรศการ. "เส้นทางผ้าคราม สานสายใย วิถีคนไทยในอีสาน" [Online]. [สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://rinac.msu.ac.th/allnews/Exhibitionindigo.pdf.

[7] สำนักพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ. “ผ้าย้อมครามสกลนคร” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: http://cm.nesdb.go.th/cluster_swot.asp.

[8] ชวนะพล น่วมสวัสดิ์. ตลาดนัดเปิดโลกผลงานวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยพบผู้ใช้. งานวิจัยไทยพลังขับเคลื่อนสู่ ประเทศไทย 40 การศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีย้อมครามธรรมชาติสำหรับใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์; มหาวิทยาลัยขอนแก่น. p. หน้า 90.

[9] อโนดาษ์ รัชเวทย์, จิรประภา กวางคำ, สุภาวรรรณ ใจนัน, และวิศณุสรรค์ ชาติอารยะวดี. การย้อมเส้นใยฝ้ายจากขมิ้นโดยมียางกล้วยน้ำว้าเป็นมอร์แดนท์. Science and Technology RMUTT Journal. 2560;7(2):42-58.

[10] ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ. การศึกษาสภาวะการย้อมสีขมิ้นบนด้ายฝ้าย [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์; 2553.

[11] คณะอุสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่นมหาวิทยาลัย สว, เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. คู่มือองค์ความรู้ การย้อมสีครามจากธรรมชาติแบบใหม่บนเส้นด้ายไหมและฝ้ายในเชิงพาณิชย์. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. ขอนแก่น: บริษัท ก-ฮ จำกัด; 2560.

[12] รังสรรค์ จรอนันต์. การย้อมผ้าไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกกล้วยน้ำหว้าดิบ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2558.

[13] พรพิมา ปรีชา. การศึกษากระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติบนผ้าฝ้าย [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช; 2552.

[14] วิรุณ โมนะตระกูล, และสงกรานต์ ปะติเก. การออกแบบและพัฒนาสร้างต้นแบบเครื่องย้อมผ้าคราม บริษัท เอ อี 2015 จำกัด [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; 2015.

[15] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, และวิรุณ โมนะตระกูล. เครื่องย้อมผ้าจากยางกล้วยแบบกึ่งอัตโนมัติ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม; 2562.

[16] ปิยวรรณ ศิริสวัสดิ์. การศึกษาการติดสีของครามบนเส้นฝ้ายที่เคลือบด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งก้ามกราม [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; 2552.

[17] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.สกลนคร. คู่มือการผลิตผ้าย้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2 ed. กรุงเทพมหานคร: บริษัท มูฟเม้นท์ เจน ทรี จำกัด; 2555.

[18] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.สกลนคร. คู่มือการผลิตผ้าย้อมคราม. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. กรุงเทพมหานคร: หจก. อรุณการพิมพ์; 2553.

[19] Medthai. “คราม สรรพคุณและประโยชน์ของต้นคราม 15 ข้อ” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: คราม สรรพคุณและประโยชน์ของต้นคราม 15 ข้อ ! (medthai.com).

[20] “การเตรียมสีธรรมชาติจากใบครามสด” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://sites.google.com/site/sinkhaotopthatea/2-karte-ri-ym-si-thrrmchati-cak-bi-khram-sd.

[21] อนุรัตน์ สายทอง, อังคณา เทียนกล่ำ, ฐิติรัตน์ แว่นเรืองรอง, และสุดกมล ลาโสภา. คราม และผลิตภัณฑ์คราม [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; 2554.

[22] อรอุมา แก้วฝ่าย, และอรนุช บุญชาญ. “สินค้า OTOP นครถ้ำเต่า ผ้าย้อมคราม” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://oranutboonchan.wordpress.com/.

[23] “ThaiTale Crafts” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: h ttps://www.phakram.com/kram/.

[24] “ผ้าย้อมคราม หัตถกรรมภูมิปัญญาท้องถิ่น สกลนคร” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.phakram.com/kram/.

[25] ชัยวัฒน์ แก้วคล้ายขจรศิริ. การศึกษากระบวนการย้อมผ้าครามและพืชชนิดอื่น เพื่อพัฒนาผ้าทอมือจากสีธรรมชาติ [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]: คลังวิทยานิพนธ์และงานวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2555.

[26] ทีราทรน์ ธีรกุลชัยกิจ. การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับพักผ่อนกลางแจ้งจากผ้าย้อมคราม [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]: Silpakorn University Repository 2557.

[27] ปิยะดา สุวรรณ์, และศรันยา ราชัย. การเตรียมสีครามจากใบเบือก [วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต]: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร; 2556.

[28] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์. คู่มือองค์ความรู้ การฟอก ย้อม พิมพ์ ทอ ตกแต่งสำเร็จ และการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ไหม. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และคณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น; 2563.

[29] “การย้อมผ้าคราม” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2564]. ได้จาก: http://sakon.nfe.go.th/AkatAmnuai/popup.php.

[30] “สแตนเลส คุณสมบัติและประโยชน์ในการใช้งาน” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.kachathailand.com/articles/.

[31] บีเอ็นบี โฮม. “บอลวาล์วรูเต็ม SANWA รุ่น BV 50 FB ขนาด 2 นิ้ว” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.bnbhome.com/th/product/.

[32] บริษัท เอบี โกลบอล ซัพพลาย จำกัด. “ตู้ไฟสวิทช์บอร์ด 350x520x170 mm. รุ่น GCB-02” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.abshop.in.th/product/.

[33] มัส จำกัด. “ทำไมต้องใช้เทอร์มินอลบล็อกต่อสาย” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/.

[34] บีเอ็นบี โฮม. “รางครอบสายไฟรวม GIANT KINGKONG รุ่น Wire Duct-4 ขนาด 40 x 40 มม. 2 เมตร สีขาว” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.bnbhome.com/th/product/.

[35] Lazada. “รางรีเลย์ รางเทอร์มินอล รางปีกนก รางซี DIN Rail ยาว 50 เซนติเมตร (50cm)” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.lazada.co.th/products/din-rail.

[36] บริษัท ไลท์มาร์ท จำกัด. “ซีเลคเตอร์สวิทซ์ (22mm) Schneider XB7 Selector Switch 3 ตำแหน่ง” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.ranfaifa.com/product/.

[37] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด. “ไพลอตแลมป์ (Pilot Lamp) คืออะไร” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://mall.factomart.com/what-is-a-pilot-lamp/.

[38] Homepro. “สายไฟ THW IEC01 BCC 1x25 ตร.มม. 100 ม. สีดำ” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.homepro.co.th/p/.

[39] Lazada. “MITSUBISHI MCCB เบรคเกอร์ มิตซู No Fuse Breaker NF30CS 2P 10A 20A 30A รุ่น NF30-CS ของแท้มีแสตมป์ที่ตัวกล่อง” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.lazada.co.th/products/mitsubishi-mccb-no-fuse-breaker.

[40] Lazada. “MITSUBISHI ชุด แมกเนติก + โอเวอร์โหลดรีเลย์ รุ่น MSO-T25” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://shopee.co.th/MITSUBISHI.

[41] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด. “หลักการทำงานของฟิวส์ (Fuse)” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://mall.factomart.com/principle-of-fuse/.

[42] บริษัท ไพรมัส จำกัด. “Solid State Timer ต่างจาก Timer Relay อย่างไร?” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/.

[43] Instrumentic. “Arduino” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://instrumentic.info/th/hardware/arduino.

[44] shopee. “สวิตช์จับเวลาถอยหลัง สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้า AC 220V 30/60/120 นาที” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://shopee.co.th/.

[45] “มัลติมิเตอร์ (Multimeter)” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: http://www.kyoritsu-meter.com/.

[46] เกษตรฟิวชั่นShop. “เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: http://kasetfusion.lnwshop.com/product/.

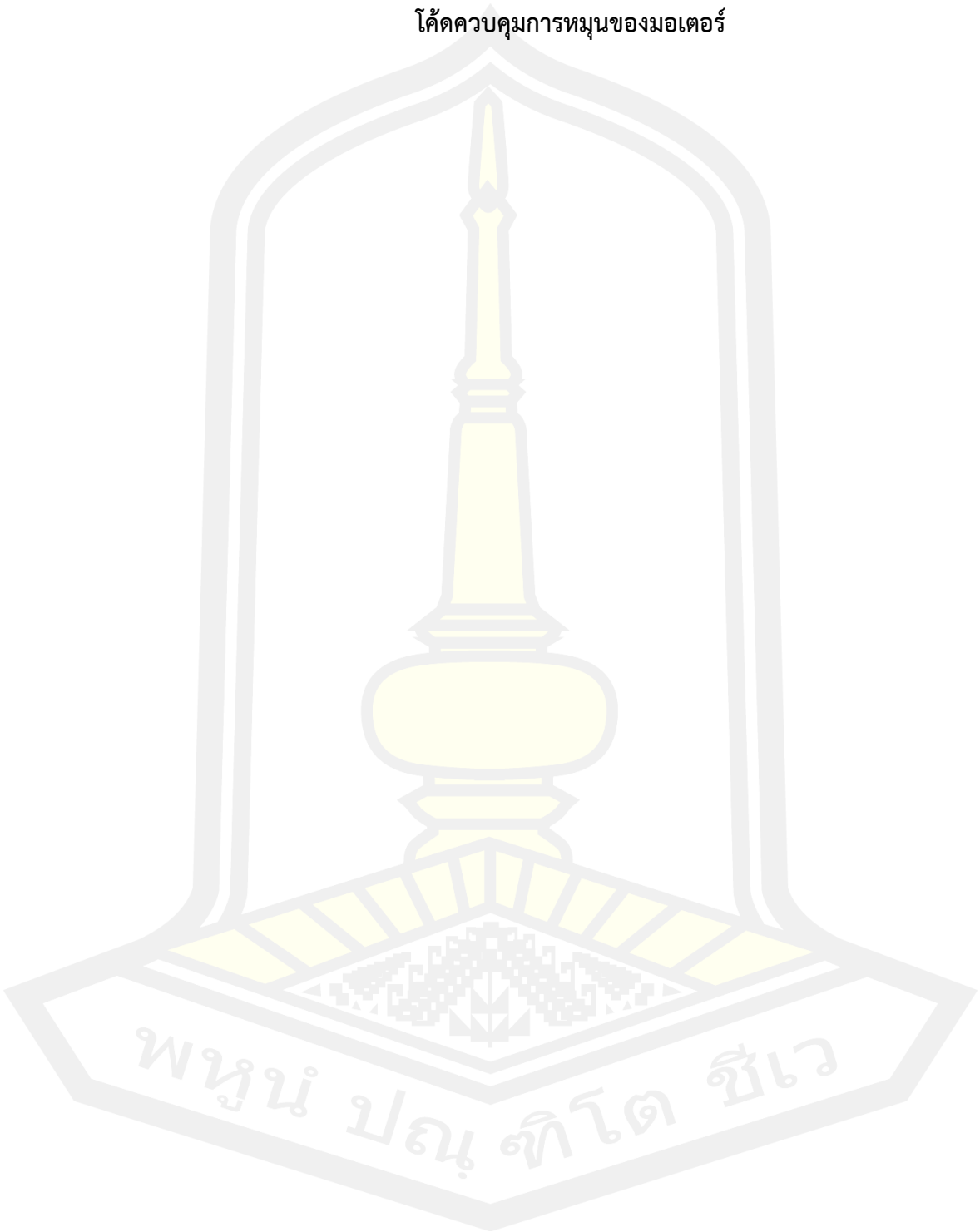
[47] Lazada. “เครื่องวัดความเร็วรอบ” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www.lazada.co.th/products/.

[48] RG Instruments. “เครื่อง HunterLab” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://www-rgstrumenti-it.translate.goog/en/prova-inglese/

[49] Jacci Howard Bear. “สิ่งที่ต้องทราบเกี่ยวกับการใช้สีครามในแบบของคุณ” [Online]. [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564]. ได้จาก: https://th.eyewated.com/

ภาคผนวก ก

โค้ดควบคุมการหมุนของมอเตอร์



```
#include <avr/wdt.h>


unsigned long resetTime = 0;
#define TIMEOUTPERIOD 20000             // You can make this time as long as you want,
void(* resetFunc) (void) = 0;

ISR(WDT_vect) // Watchdog timer interrupt.
{
  if(millis() - resetTime > TIMEOUTPERIOD){
    resetFunc();
    resetTime = millis();
  }
}

int in1 = 2;
int relay1 = 3;
int in2 = 10;
int relay2 = 9;
int relayM = 12;

int mode = 0;
int k1 = 0;
unsigned long x1 = 0;

void setup() {
  cli();                    // disable all interrupts
  wdt_reset();                 // reset the WDT timer
  MCUSR &= ~(1<<WDRF);
  WDTCSR = (1<<WDCE) | (1<<WDE);
  WDTCSR = (1<<WDIE) | (0<<WDP3) | (1<<WDP2) | (1<<WDP1) | (0<<WDP0);
```

ภาพประกอบ ก.1 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code)

```
  sei();
  pinMode(in1, INPUT);
  pinMode(in2, INPUT);
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
  pinMode(relayM, OUTPUT);
  digitalWrite(relay1, LOW);
  digitalWrite(relay2, LOW);
  digitalWrite(relayM, HIGH);
  delay(1000);
}
void loop() {
  unsigned long x2 = millis();
  if(x2 - x1 >= 1000) {
    ////////////// เริ่มต้น CW//////////////////////////
    if(mode == 0){
      k1 = 0;
      if(digitalRead(in1) == 0){
        digitalWrite(relay1, HIGH);
        digitalWrite(relay2, LOW);
        digitalWrite(relayM, LOW);
      }
      if(digitalRead(in1) == 1){
        digitalWrite(relay1, LOW);
        digitalWrite(relay2, LOW);
        digitalWrite(relayM, HIGH);
        mode = 1;
      }
    }
```

ภาพประกอบ ก.1 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code) ต่อ

```
    /////////////// Delay ระหว่างหมุนกลับทิศ ////////////////////////////
    if(mode == 1){
      k1++;
      digitalWrite(relay1, LOW);
      digitalWrite(relay2, LOW);
      digitalWrite(relayM, HIGH);
      if(k1 >= 15){       //15 sec
        mode = 2;
        k1 = 0;
      }
    }
     ///////////////  CCW////////////////////////////
    if(mode == 2){
      k1 = 0;
      if(digitalRead(in2) == 0){
        digitalWrite(relay2, HIGH);
        digitalWrite(relay1, LOW);
        digitalWrite(relayM, LOW);
      }
      if(digitalRead(in2) == 1){
        digitalWrite(relay2, LOW);
        digitalWrite(relay1, LOW);
        digitalWrite(relayM, HIGH);
        mode = 3;
      }
    }
  /////////////// Delay ระหว่างหมุนกลับทิศ ////////////////////////////
    if(mode == 3){
      k1++;
      digitalWrite(relay1, LOW);
      digitalWrite(relay2, LOW);
      digitalWrite(relayM, HIGH);
      if(k1 >= 15){     //15 sec
        mode = 0;
        k1 = 0;
      }
    }
       x1 = x2;
  }
 delay(300);
  wdt_reset();
}
```

ภาพประกอบ ก.1 โปรแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์ (motor control source code)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลสรุปการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 5 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.1)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	Mean
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	Red =0
Quality	2	2	2	2	2	2	Green = 125-165
							Blue = 166-206
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 2
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 10 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.2)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	Mean
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	Red =0
Quality	2	2	2	2	2	2	Green = 125-165
							Blue = 166-206
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 2
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 15 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.3)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	Mean
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	Red =0
Quality	2	2	2	2	2	2	Green = 125-165
							Blue = 166-206
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 2
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 20 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.4)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	Mean
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	Red =0
Quality	2	2	2	2	2	2	Green = 125-165
							Blue = 166-206
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 2
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 25 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.5)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	Mean
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	Red =0
Quality	2	2	2	2	2	2	Green = 125-165
							Blue = 166-206
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 2
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165	
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206	
Quality	2	2	2	2	2	2	

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 30 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.6)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	Mean
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	

Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 35 นาที (ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว) (รูปในภาคผนวก ค.7)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 5 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.8)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 10 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.9)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 15 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.10)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 20 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.11)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 25 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.12)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	Mean
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 30 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศา) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.13)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	<u>Mean</u>
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 35 นาที (โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา (รูปในภาคผนวก ค.14)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	Mean
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	

Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.15 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (รูปในภาคผนวก ค.15)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	

Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 25 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.26 เมตรต่อวินาที (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (รูปในภาคผนวก ค.16)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 30 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.31 เมตรต่อวินาที (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (รูปในภาคผนวก ค.17)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	Mean
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

Item	25	26	27	28	29	30	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.18 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 35 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.36 เมตรต่อวินาที (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (รูปในภาคผนวก ค.18)

Item	1	2	3	4	5	6	Summary
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	Mean
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	7	8	9	10	11	12	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	13	14	15	16	17	18	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	19	20	21	22	23	24	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	

Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.19 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 40 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.42 เมตรต่อวินาที (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) (รูปในภาคผนวก ค.19)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	<u>Mean</u>
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.20 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 21 องศาเซลเซียส (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3) (รูปในภาคผนวก ค.20)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.21 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3) (รูปในภาคผนวก ค.21)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	<u>Mean</u>
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	Red =0
Quality	3	3	3	3	3	3	Green = 75-115
							Blue = 116-156
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 3
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	

Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115	
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156	
Quality	3	3	3	3	3	3	

ตารางที่ ข.22 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3) (รูปในภาคผนวก ค.22)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	<u>Mean</u>
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.23 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 27 องศาเซลเซียส (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3) (รูปในภาคผนวก ค.23)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	<u>Mean</u>
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

ตารางที่ ข.24 ข้อมูลสรุปการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 29 องศาเซลเซียส (โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3) (รูปในภาคผนวก ค.24)

Item	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Summary**
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	<u>Mean</u>
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	Red =0
Quality	4	4	4	4	4	4	Green = 25-65
							Blue = 66-106
Item	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	Quality = 4
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	

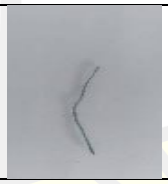
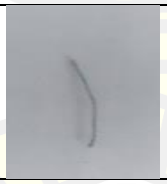
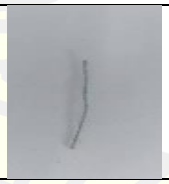
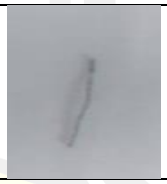
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	
Item	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65	
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106	
Quality	4	4	4	4	4	4	

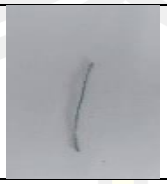
ภาคผนวก ค

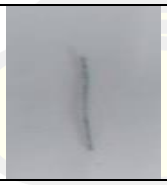
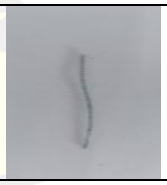
ผลการทดสอบระดีบสีและค่า RGB

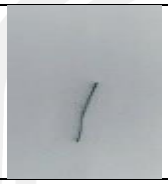
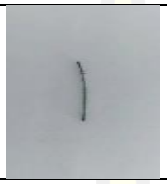
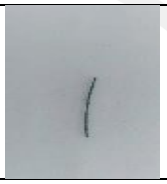
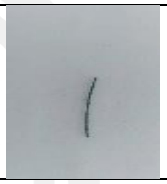
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 5 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

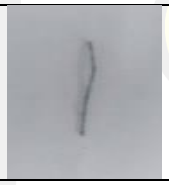
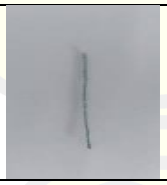
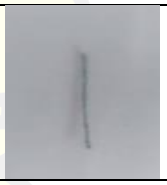
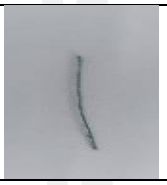
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

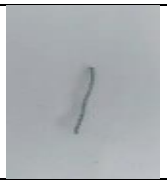
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

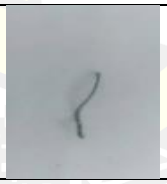
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

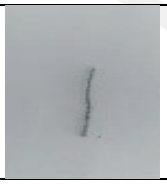
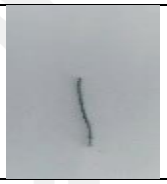
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

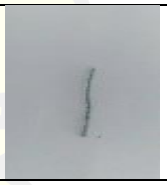
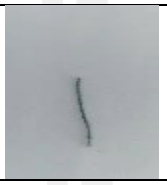
เฉลี่ย color shade	(0, 125-165', 166-206'')

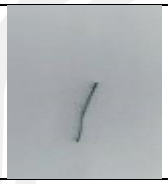
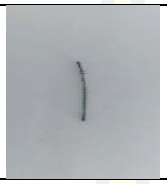
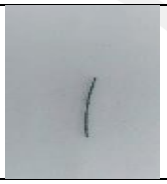
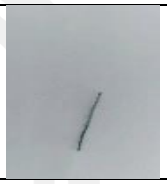
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 10 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

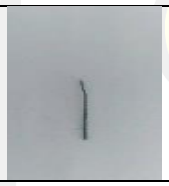
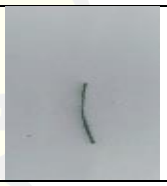
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

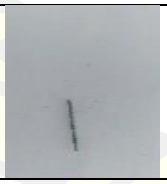
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

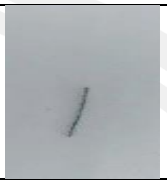
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

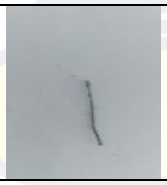
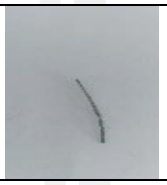
เฉลี่ย color shade	(0, 125-165', 166-206'')

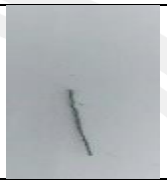
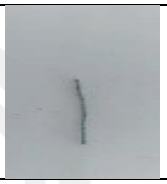
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 15 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

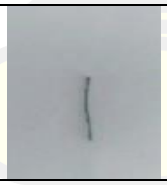
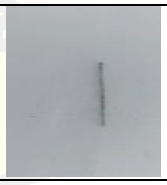
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

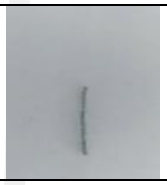
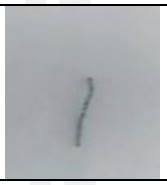
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

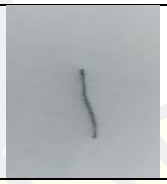
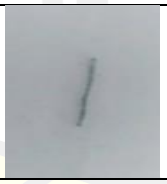
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

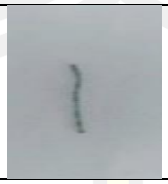
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

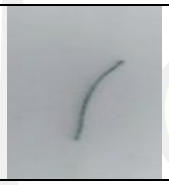
เฉลี่ย color shade	(0, 125-165', 166-206'')

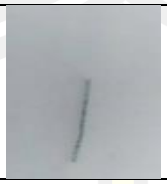
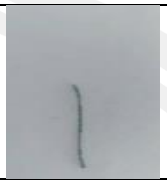
ตารางที่ ค.4 ผลกาทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 20 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

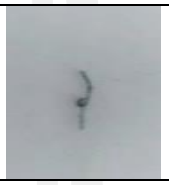
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

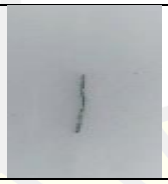
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

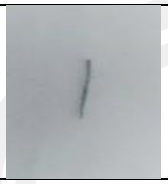
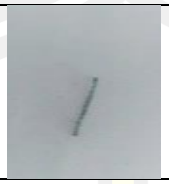
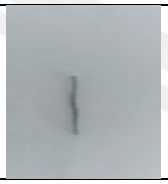
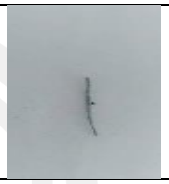
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

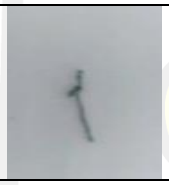
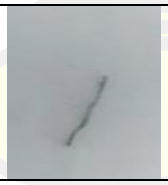
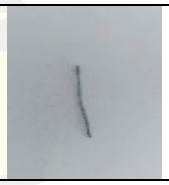
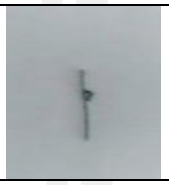
เฉลี่ย color shade	(0, 125-165', 166-206'')

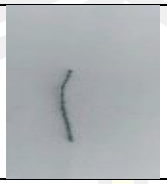
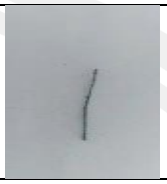
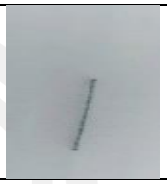
ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 25 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

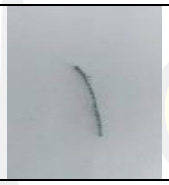
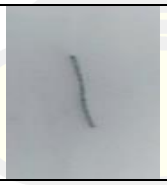
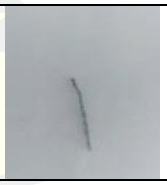
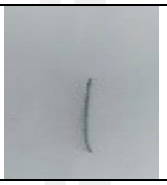
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

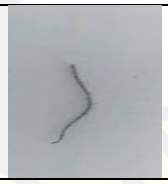
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

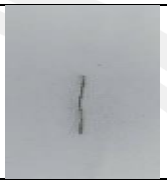
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	125-165	125-165	125-165	125-165	125-165
Blue	166-206	166-206	166-206	166-206	166-206

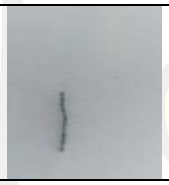
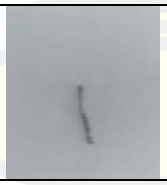
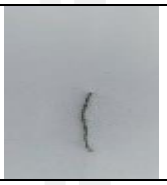
เฉลี่ย color shade	(0, 125-165', 166-206'')

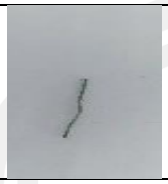
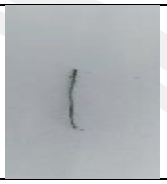
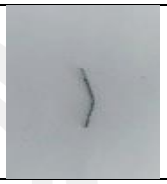
ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 30 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

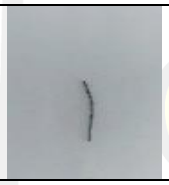
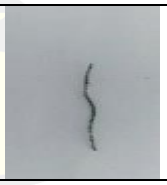
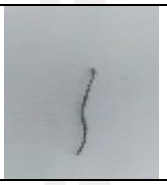
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

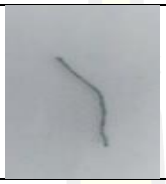
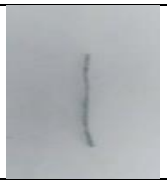
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

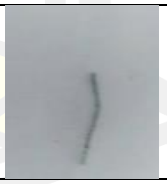
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

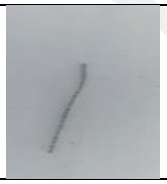
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

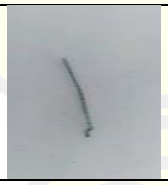
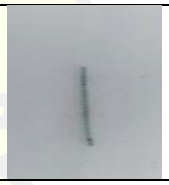
เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

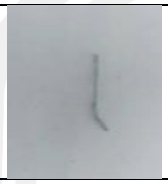
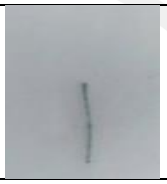
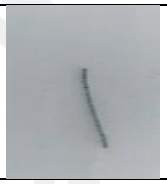
ตารางที่ ค.7 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 35 นาที ความเร็วมอเตอร์ 20 รอบต่อนาที หรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมอเตอร์หมุนในทิศทางเดียว

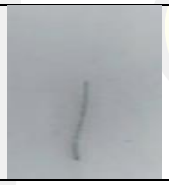
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

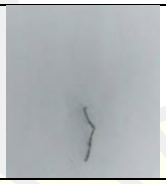
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.8 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 5 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

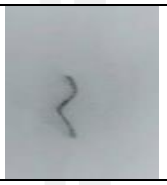
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

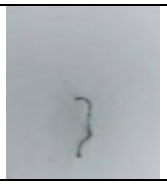
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.9 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 10 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.10 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 15 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

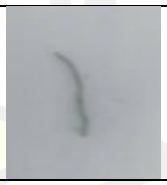
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.11 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 20 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

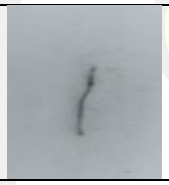
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

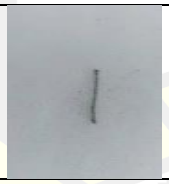
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

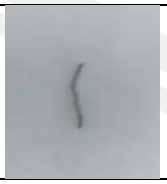
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

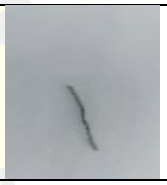
เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

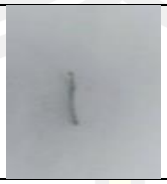
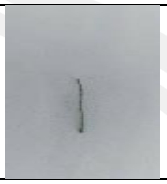
ตารางที่ ค.12 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 25 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

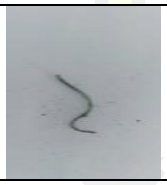
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

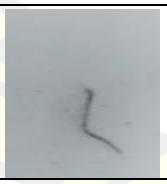
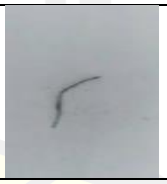
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

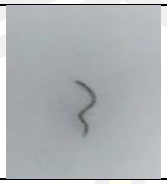
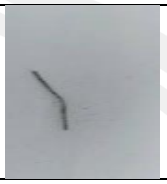
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

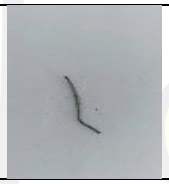
เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

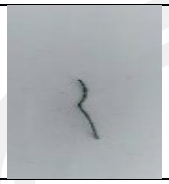
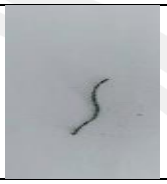
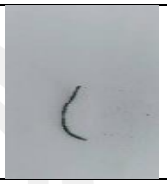
ตารางที่ ค.13 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 30 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้าย ม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

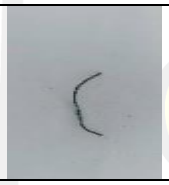
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

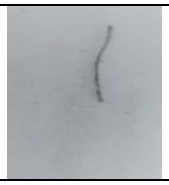
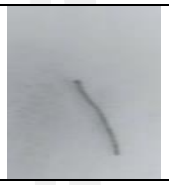
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

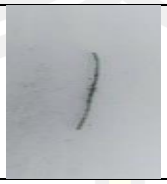
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

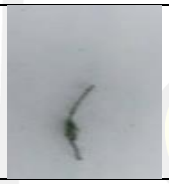
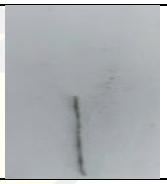
เฉลี่ย color shade	(0, 25-65', 66-106'')

ตารางที่ ค.14 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 35 นาที โดยทดสอบที่ความเร็วมอเตอร์ตามข้อ 1 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนนี้ใช้ด้ายม้วนอย่างน้อย 30 เส้น ทดสอบการหมุนทิศทางเดียว และกลับไปกลับมา

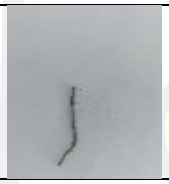
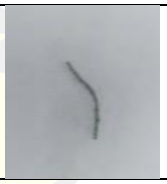
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

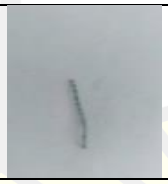
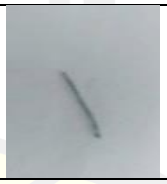
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

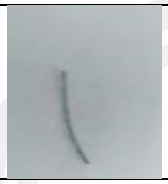
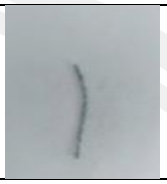
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

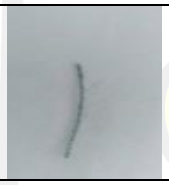
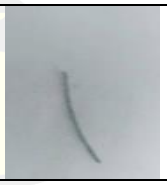
เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

ตารางที่ ค.15 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 20 รอบต่อนาทีหรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.20 เมตรต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

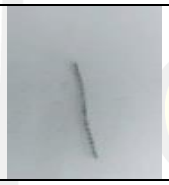
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

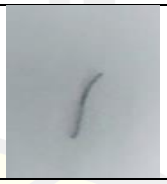
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

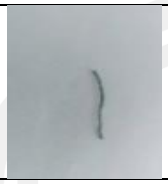
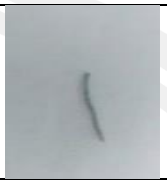
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

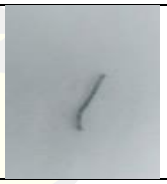
เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

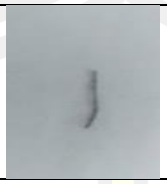
ตารางที่ ค.16 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 25 รอบต่อนาทีหรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.26 เมตรต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

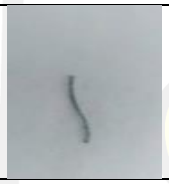
เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.17 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 30 รอบต่อนาทีหรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.31 เมตรต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

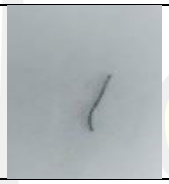
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

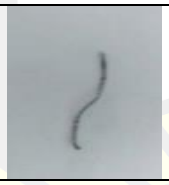
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

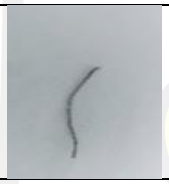
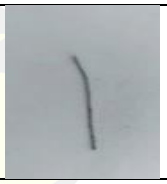
เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

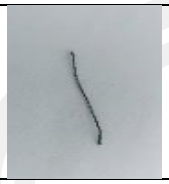
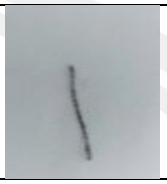
ตารางที่ ค.18 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 35 รอบต่อนาทีหรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.36 เมตรต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

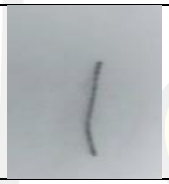
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

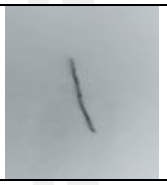
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

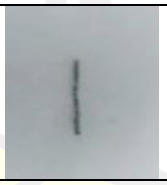
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

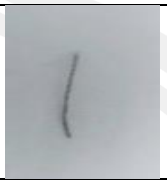
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

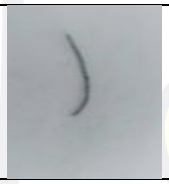
เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

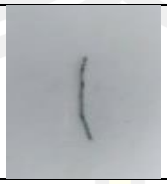
ตารางที่ ค.19 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่ความเร็วมอเตอร์ที่ 40 รอบต่อนาทีหรือความเร็วสัมผัสน้ำย้อมครามกับเส้นฝ้ายที่ 0.42 เมตรต่อวินาที โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

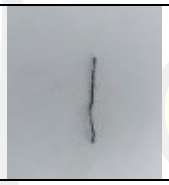
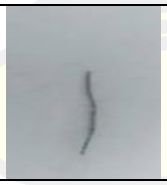
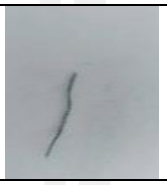
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

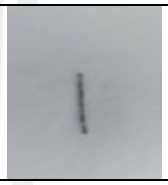
Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

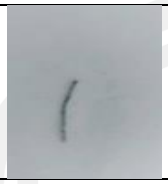
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

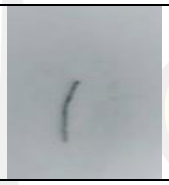
เฉลี่ย color shade	(0, 25-65', 66-106'')

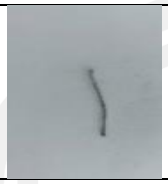
ตารางที่ ค.20 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 21 องศาเซลเซียส โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3

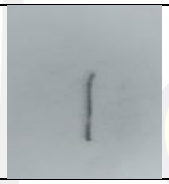
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

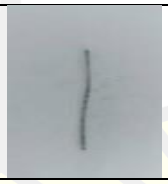
Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

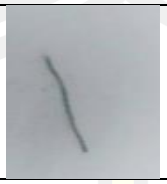
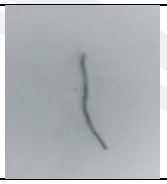
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

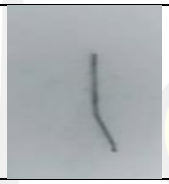
เฉลี่ย color shade	(0, 75-115’, 116-156’’)

ตารางที่ ค.21 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3

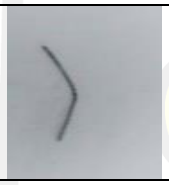
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	75-115	75-115	75-115	75-115	75-115
Blue	116-156	116-156	116-156	116-156	116-156

เฉลี่ย color shade	(0, 75-115', 116-156'')

ตารางที่ ค.22 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3

Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

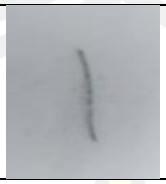
Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

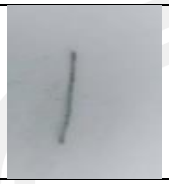
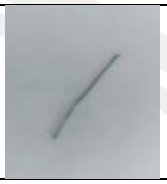
ตารางที่ ค.23 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 27 องศาเซลเซียส โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3

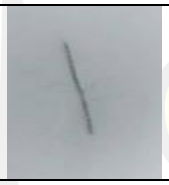
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

เฉลี่ย color shade	(0, 25-65', 66-106'')

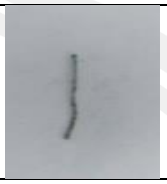
ตารางที่ ค.24 ผลการทดสอบระดับสีและค่า RGB ของตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 29 องศาเซลเซียส โดยใช้ทิศทางการหมุนแบบที่ดีสุดจากผลข้อ 2 และเวลาทดสอบที่เลือกจากข้อ 1 และความเร็วมอเตอร์จากข้อ 3

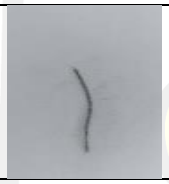
Test item	Sample No.				
	1	2	3	4	5
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	6	7	8	9	10
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	11	12	13	14	15
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	16	17	18	19	20
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	21	22	23	24	25
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

Test item	Sample No.				
	26	27	28	29	30
photo					
Color shade					
Red	0	0	0	0	0
Green	25-65	25-65	25-65	25-65	25-65
Blue	66-106	66-106	66-106	66-106	66-106

เฉลี่ย color shade	**(0, 25-65', 66-106'')**

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย พงศ์ศิริ สำราญมาก
วันเกิด	20 สิงหาคม 2541
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 26 หมู่ 13 บ้านคำปู่ตา ตำบลคำบ่อ อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	Electrical Maintenance Engineering
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทเบทาโกรเกษตรอุตสาหกรรมจำกัด โรงงานแปรรูปไก่มหาสารคาม บ้านเลขที่ 260 หมู่ที่ 7 ตำบลนาโพธิ์ อำเภอกุดรัง จังหวัดมหาสารคาม 44130
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนธรรมบวรวิทยา อำเภอวาริชภูมิ จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2564 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2565 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	“โครงการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมฐานรากหลังโควิดด้วยเศรษฐกิจ BCG (U2T for BCG and Regional Development)” หรือโครงการ “มหาวิทยาลัยสู่ตำบล U2T for BCG”