แบบรายงานความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการวิจัย (Project)
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2557

รายงานครั้งที่ .....2..... (○ 6 เดือนแรก ● 6 เดือนหลัง ของการวิจัยปีที่ 2557)
รายงานในช่วงตั้งแต่ วัน / เดือน / ปี 1 เมษายน 2557 ถึง วัน / เดือน / ปี 30 กันยายน 2557
วัน / เดือน / ปี ทำสัญญารับทุน 2557

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการวิจัย

1.1 รหัส ว-ท(พ-ท(ด) 94.56) ชื่อโครงการ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมด้วยสีแวตธรรมชาติ:สีคราม
Optimization of silk dyeing with natural vat dyes : Indigo dyes

1.2 ลักษณะโครงการ ● เป็นโครงการวิจัยเดี่ยว
○ เป็นโครงการย่อยในชุดโครงการวิจัย (ระบุชื่อชุดโครงการวิจัย) .....

1.3 ชื่อหัวหน้าโครงการ นาง สุชาดา อุชชิน

1.4 หน่วยงานต้นสังกัด ฝ่ายเทคโนโลยีชีวมวลและพลังงานชีวภาพ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กทม. 10900

1.5 ประเภทโครงการ ● โครงการวิจัย 3 สาขา □ เกษตรศาสตร์ ■ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี □ สังคมศาสตร์ฯ
○ โครงการวิจัยสถาบันเพื่อพัฒนาคุณภาพ
○ โครงการวิจัยเชิงพื้นที่ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
○ โครงการเสริมและสร้างความเข้มแข็งด้านการวิจัย
○ โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาหน่วยปฏิบัติการวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะ (SRU)
○ โครงการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพเชิงบูรณาการเพื่อการแข่งขันฯ
○ โครงการวิจัยพัฒนาร่วมภาครัฐและเอกชน

1.6 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ 2 ปี ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556 ถึงปีงบประมาณ 2557

1.7 สถานที่ดำเนินงานวิจัย/เก็บข้อมูล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8 งบประมาณได้รับ 500,000 บาท การเบิกเงิน ● งวดที่ 1 เบิกแล้ว 237,500 บาท
● งวดที่ 2 เบิกแล้ว 237,500 บาท ○ งวดที่ 3 เบิกแล้ว 25,000 บาท

1.9 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมด้วยครามธรรมชาติระดับชุมชน
2. การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีคราม
3. ถ่ายทอดเทคโนโลยี

1.10 เป้าหมายผลงานวิจัยตลอดโครงการ

ปีที่	เดือนที่	ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้
1	1-6	ทราบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของคราม

1	1-6	รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1
1	7-12	ทราบสภาวะเหมาะสมในการย้อมสีครามในไหม
1	7-12	ทราบอิทธิพลของจำนวนการย้อมซ้ำที่มีต่อความสามารถต่อการติดสีของครามในไหม
1	7-12	รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2
2	1-12	การออบแบบและสร้างเครื่องมือย้อมสีครามระดับหัตถอุตสาหกรรม
2	1-12	รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3
2	1-12	ถ่ายทอดเทคโนโลยี
2	7-12	รายงานฉบับสมบูรณ์

1.11 ความก้าวหน้าการดำเนินงานวิจัยในรอบ 6 เดือน เทียบกับแผนการวิจัย

วัตถุประสงค์ (ตามแผน)	**เป้าหมาย / ผลที่คาด (ตามแผน)**	**ผลการดำเนินงาน (ปฏิบัติได้จริง)**
ศึกษาออกแบบและการสร้างเครื่องมือย้อมสีครามระดับหัตถอุตสาหกรรม	ได้เครื่องมือย้อมสีครามระดับหัตถอุตสาหกรรม	ได้เครื่องมือย้อมสีครามระดับหัตถอุตสาหกรรม

1.12 ผลการดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามแผนหรือไม่ อย่างไร โปรดระบุปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

เป็นไปตามแผน และไม่มีปัญหา อุปสรรค

1.13 ปัญหา อุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย และแนวทางแก้ไข

เป็นไปตามแผน และไม่มีปัญหา อุปสรรค

1.14 งานที่ดำเนินงานวิจัยไปแล้ว คิดเป็นร้อยละ 100 ของงานวิจัยของปีงบประมาณและเป็นร้อยละ 100 ของงานวิจัยตลอดโครงการ

1.15 ผลผลิต/ สิ่งที่ได้จากการวิจัย (Outputs) (โปรดระบุรายละเอียด)

- ● องค์ความรู้/ข้อมูลพื้นฐาน เทคโนโลยีการย้อมครามระดับชุมชน และสามารถพัฒนาสู่ระบบอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมได้
- ○ สายพันธุ์พืช/สัตว์/จุลินทรีย์
- ● ผลิตภัณฑ์ เส้นไหมย้อมสีคราม พร้อมค่าสีระบบ CIELAB และสมบัติการติดสีครามในไหม และเครื่องมือย้อมครามระดับชุมชน
- ● สิ่งประดิษฐ์ เครื่องย้อมครามระดับชุมชน
- ● เทคโนโลยี/นวัตกรรม ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ในเรื่องปฏิกิริยา reduction หรือ ก่อหม้อครามโดยใช้สารธรรมชาติ และ เครื่องย้อมครามระดับชุมชน
- ● ฐานข้อมูล/ซอฟแวร์ -

- ● คู่มือ การใช้เครื่องย้อมสีคราม
- ○ วิดีทัศน์ .....
- ○ การสร้างนักวิจัย/สนับสนุนนิสิตปริญญาตรี ..... คน ปริญญาโท ..... คน ปริญญาเอก ..... คน
- ○ สนับสนุนการศึกษาปัญหาพิเศษ ..... เรื่อง (ระบุ) ..... วิทยานิพนธ์ ..... เรื่อง (ระบุ) .....
- ○ อื่นๆ (ระบุ) .....

1.16 จุดเด่นของผลงานวิจัย / ผลผลิต / สิ่งที่ได้จากการวิจัย (Output)

1) เทคโนโลยีการเกิดกระบวนการรีดักชั่นของครามโดยใช้สารธรรมชาติในเวลาที่กำหนด และ 2) เครื่องย้อมครามระดับชุมชน

1.17 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ (Outcomes)

(1) เป้าหมายการนำไปใช้ประโยชน์ (ระบุกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัยเชิงปริมาณ/คุณภาพ)

- ● ด้านการศึกษา/เสริมการเรียนการสอน เทคโนโลยีการเกิดกระบวนการรีดักชั่นของครามหรือการก่อหม้อคราม และการย้อมครามที่สามารถถ่ายทอดในเชิงวิชาการ และ เครื่องย้อมครามระดับชุมชน
- ● ด้านการเกษตร -
- ● ด้านอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการเกิดกระบวนการรีดักชั่นของคราม และการย้อมครามที่สามารถถ่ายทอดในเชิงวิชาการและสามารถทำซ้ำได้ และ เครื่องย้อมครามระดับชุมชนที่สามารถขยายกำลังการผลิตได้
- ○ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ/สิ่งแวดล้อม .....
- ○ ด้านคุณภาพชีวิต สุขภาพอนามัย .....
- ● ด้านเศรษฐกิจ เครื่องย้อมครามระดับชุมชน สามารถย้อมคราม ซึ่งเป็นการพัฒนาเข้าสู่ระบบเชิงพาณิชย์มากขึ้น รายได้เพิ่มขึ้น
- ○ ด้านสังคม .....
- ● ด้านการทำนุบำรุงศิลป ศาสนา วัฒนธรรมเส้นไหมที่ได้จากโครงการนี้ สามารถนำไปใช้ทอเป็นผืนผ้าที่มีลวดลายที่อนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมได้
- ● ด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี/ฝึกอบรมแก่กลุ่มเป้าหมาย กลุ่มย้อมคราม และ ผู้สนใจเข้ารับการอบรมย้อมครามในไหม จำนวน 7 กลุ่ม
- ○ เสนอภาครัฐ เพื่อใช้กำหนดแผน/นโยบาย ฯลฯ .....
- ○ นำความรู้ไปวิจัย/พัฒนาขั้นต่อไป - .....
- ○ ก่อให้เกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน/การสร้างเครือข่าย .....
- ○ อื่นๆ (ระบุ) .....

(2) การนำผลการวิจัยไปเผยแพร่/ถ่ายทอด (ระบุรายละเอียด อยู่ระหว่างดำเนินการส่งตีพิมพ์/ตีพิมพ์แล้ว ในรูปแบบเอกสารอ้างอิงและแนบสำเนาเป็นภาคผนวกของรายงาน)

● ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ 1 เรื่อง (ระบุ) Ujjin,S and S. Jantip. 2014. OptimiZed vatting condition study for natural indigo dyeing on silk yarn, Applied Mechanics and materials. 2014, Vol. 535. p 749-752.

○ ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ เรื่อง (ระบุ)

● นำเสนอในการประชุม/สัมมนา ต่างประเทศ เรื่อง (ระบุ) "Optimized vatting condition study for natural indigo dyeing on silk yarn", International Conferrence on Energy Engineering and Environment (ICEEEE), Hongkong, China, 10-11 January 2014

○ นำเสนอในการประชุม/สัมมนา ในประเทศ 1 เรื่อง (ระบุ)

○ นำเสนอทางวิทยุ/โทรทัศน์/Website เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)

○ นำเสนอทางนิทรรศการ เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)

○ บทความ/เอกสารสิ่งพิมพ์/วีดีทัศน์ เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)

○ ถ่ายทอด/ฝึกอบรมแก่เกษตรกร/ผู้สนใจ เรื่อง/ครั้ง (ระบุ)

○ ถ่ายทอดสู่ภาคเอกชน/อุตสาหกรรม/ผู้ประกอบการ (ประโยชน์เชิงพาณิชย์) เรื่อง/ครั้ง(ระบุ)

○ ภาครัฐนำไปใช้กำหนดแผน/นโยบาย ฯลฯ (ระบุ)

○ มีผู้นำผลงานวิจัยไปอ้างอิง (ระบุ)

○ อื่นๆ (ระบุ)

1.18 ผลกระทบ (Impact) ที่เกิดจากการนำผลการวิจัยไปใช้ (ระบุว่าก่อให้เกิดผลกระทบอย่างไร)

○ ด้านความมั่นคง อาทิ การเมืองการปกครอง กฎหมาย การต่างประเทศ โครงสร้างพื้นฐาน และบริการโทรคมนาคม ฯลฯ (ระบุ)

● ด้านการเศรษฐกิจ อาทิ การพาณิชยกรรม การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พลังงาน ฯลฯ (ระบุ) หัตถกรรมไหมไทย

○ ด้านคุณภาพชีวิตและสังคม ศักยภาพของคนและการศึกษา การแพทย์และสาธารณสุข หลักประกันความมั่นคง สวัสดิการสังคม วัฒนธรรม จริยธรรมและค่านิยม ฯลฯ (ระบุ)

○ ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การบริการจัดการการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ การป้องกันการทำลาย ลดการสูญเสีย การฟื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ฯลฯ

○ อื่นๆ (ระบุ)

ผลการดำเนินงานวิจัยสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ ในด้าน

- (/) ยุทธศาสตร์การขจัดความยากจน
- ( ) ยุทธศาสตร์การพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพ
- ( ) ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุล และแข่งขันได้
- ( ) ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- ( ) ยุทธศาสตร์การต่างประเทศและเศรษฐกิจระหว่างประเทศ
- ( ) ยุทธศาสตร์การพัฒนากฎหมายและส่งเสริมการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี
- ( ) ยุทธศาสตร์การส่งเสริมประชาธิปไตยและกระบวนการประชาสังคม
- ( ) ยุทธศาสตร์การรักษาความมั่งคงของรัฐ
- ( ) ยุทธศาสตร์การรองรับการเปลี่ยนแปลงและพลวัตโลก
- ( ) อื่นๆ โปรดระบุ .....

1.19 การยื่นจด ( ) สิทธิบัตร (●) อนุสิทธิบัตร ( ) ลิขสิทธิ์ ( ) เครื่องหมายการค้า
( ) มีศักยภาพที่จะยื่นจด (ระบุ)..... ( ) ยื่นจดแล้ว เมื่อ .....

1.20 การได้รับรางวัล

.....

1.21 งานตามแผนที่จะทำต่อไป

-

1.22 คำชี้แจงเพิ่มเติม ไม่มี

1.23 รายงานความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการวิจัย (Project) ตามหัวข้อในส่วนที่ 2 (หน้าถัดไป) มาด้วยแล้ว โดย

1. กรณี 6 เดือนแรกของปีงบประมาณ ให้รายงานผลเท่าที่ดำเนินการได้
2. กรณี 6 เดือนหลังของปีงบประมาณ ให้รายงานผลให้ครอบคลุม การดำเนินงานใน 6 เดือนแรกด้วย พร้อมบทคัดย่อ ไทย-อังกฤษ (แทนรายงานประจำปีเดิม)

ลงชื่อ.....หัวหน้าโครงการ

(นางสุชาดา อุชชิน)

30 / กันยายน / 2557 วัน/เดือน/ปี ที่รายงาน

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง 8

สารบัญรูป 8

บทคัดย่อ 10

ABSTRACT 11

บทนำ 12

วัสดุ 14

ส่วน A. การศึกษากระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติเพื่อการย้อมไหม (Reduction method) 16

วิธีการ 16

ผลและวิจารณ์ผล 18

1. ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ (Reduction method) 18

1.1 อุณหภูมิของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม 18

1.2 ระยะเวลาของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม 21

1.3 อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม 23

1.4 ระดับความเป็นด่างของกระบวนการรีดักชั่น ที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม 26

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของจำนวนการย้อมซ้ำที่มีต่อความสามารถต่อการติดสีของครามในไหม (Top repeated dyeing) 31

สรุปและเสนอแนะ 37

ส่วน B. การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหมระดับชุมชน 38

วิธีการ 38

ผลและวิจารณ์ผล 38

1. ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกรรมวิธีการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน 38

2. ผลการวิเคราะห์ปัญหาของการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน (Analysis of the Problem) 42

3. ผลการออกแบบเครื่องย้อมสีคราม 42

4. ผลการสร้างเครื่องย้อมสีคราม 54

5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องย้อมสีครามที่มีผลต่อสมบัติการติดสีในไหมตามระบบ CIELAB 56

6. ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหม 59

สรุปและเสนอแนะ 61

ส่วน C. การถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม **62**
วิธีการ 62
ผลและวิจารณ์ผล 62
สรุปและเสนอแนะ 65

สรุปและเสนอแนะ (ภาพรวม) 66
เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก **68**
คู่มือการใช้เครื่องย้อมสีคราม 68

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 อุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม 20
ตารางที่ 2 เวลาในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม.....23
ตารางที่ 3 อัตราส่วนระหว่างครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม 26
ตารางที่ 4 ระดับความเป็นด่างและอัตราส่วนผสมของครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ ที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่น 27
ตารางที่ 5 ระดับความเป็นด่างในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม 30
ตารางที่ 6 จำนวนครั้งที่ย้อมเส้นไหมด้วยสีครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB.....32
ตารางที่ 7 ความคงทนของสีต่อการซักของครามที่ต่างจำนวนครั้งที่ย้อมทับ 33
ตารางที่ 8 สมบัติความคงทนของสีครามในเส้นไหม.....36
ตารางที่ 9 การทดสอบเปรียบเทียบเวลาการย้อมที่มีผลต่อค่าการติดสีของเครื่องย้อมสีครามในไหม 56
ตารางที่ 10 ข้อมูลการเปรียบเทียบข้อดีระหว่างการย้อมครามธรรมชาติในเส้นไหมด้วยมือกับการใช้เครื่อง 59
ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้แรงคนและเครื่องย้อมสีครามในไหม.....60

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ปฏิกิริยาของกระบวนการย้อมสีคราม 13
รูปที่ 2 กระบวนการรีดักชั่นต่างอุณหภูมิ (ซ้าย) 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ 20
รูปที่ 3 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างอุณหภูมิ (ซ้าย) 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ.20
รูปที่ 4 อุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อการติดสีในเส้นไหม.....21
รูปที่ 5 กระบวนการรีดักชั่นของครามต่างเวลา (ซ้าย) 10, 20, 30 และ 40 นาที.....22
รูปที่ 6 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างเวลา (ซ้าย) 10, 20, 30 และ 40 นาที.....23
รูปที่ 7 เวลาในกระบวนการรีดักชั่นของสีครามที่มีต่อการติดสีครามในเส้นไหม.....23
รูปที่ 8 กระบวนการรีดักชั่นต่างอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 25
รูปที่ 9 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 25
รูปที่ 10 (ซ้าย) ผลของอัตราส่วนน้ำมะขามที่มีต่อค่าการติดสี (ขวา) ผลของอัตราส่วนน้ำด่างธรรมชาติที่มีต่อค่าการติดสี 26
รูปที่ 11 ปริมาณครามเปียกและค่า buffering capacity 27

รูปที่ 12 กระบวนการรีดักชั่นของครามต่างระดับความเป็นด่าง (จากซ้าย) pH 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 27
รูปที่ 13 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างระดับ pH (ซ้าย) pH 9, 10, 11, 12, 12และ12.....28
รูปที่ 14 ระดับความเป็นด่างในกระบวนการรีดักชั่นของสีครามที่มีต่อค่าการติดสีในเส้นไหม.....30
รูปที่ 15 Leuco indigo form ของกระบวนการรีดักชั่นสีครามธรรมชาติ 32
รูปที่ 16 เส้นไหมย้อมสีคราม (ซ้าย) ย้อม 1 ครั้ง (ขวา) ย้อม 2 ครั้ง 32
รูปที่ 17 ความคงทนของสีครามต่อการซัก เหงื่อสภาวะกรดและด่าง น้ำ และการกดทับด้วยความร้อน 35
รูปที่ 18 การทดสอบความคงทนของสีครามต่อแสงซีนอนอาร์กในระยะเวลา 20 ชั่วโมง 36
รูปที่ 19 แผนภูมิกระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม 41
รูปที่ 20 วิธีการแขวนไจไหมบนแกนไจไหมและลักษณะการทำงานของเครื่อง.....43
รูปที่ 21 แสดงการรับแรงของชิ้นส่วนเพลาขับ 46
รูปที่ 22 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพขาวดำ) 47
รูปที่ 23 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี).....48
รูปที่ 24 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี).....49
รูปที่ 25 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี).....50
รูปที่ 26 แบบแยกชิ้นส่วนประกอบเครื่องย้อมสีคราม 51
รูปที่ 27 ลักษณะภายนอกของเครื่องย้อมสีครามในไหม.....54
รูปที่ 28 ลักษณะภายนอกของเครื่องย้อมสีครามในไหม.....55
รูปที่ 29 (ซ้ายบน) น้ำครามที่พร้อมย้อม (ซ้ายล่าง) เส้นไหมหลังย้อมสีคราม (ขวา) เครื่องย้อมสีครามในไหม 57
รูปที่ 30 ถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมครามด้วยมือแก่เกษตรกร 65

ส่วนที่ 2 **รายงานความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการวิจัย (Project)**

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2557

โครงการวิจัยรหัส ว-ท(พ-ท(ด) 94.56)

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมด้วยสีแวตธรรมชาติ: สีคราม

Optimization of silk dyeing with natural vat dyes : Indigo dyes

สุชาดา อุชชิน[1] ศรันยา คุณะดิลก[2] ไชยยงค์ หาราช[3]
จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์[4] และ สาริมา สุนทรารชุน[1]
Suchada Ujjin[1] Sarunya Kunadilok[2] Chaiyong Harach[3]
Jantip Setthayanond[4] and Sarima Sundararjun[1]

บทคัดย่อ

ในปี 2556 ได้ทำการศึกษาสภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ หรือ สภาวะเหมาะสมในการก่อหม้อคราม เพื่อเปลี่ยนเนื้อครามสีน้ำเงินให้เป็นสาร Leuco–indigo ซึ่งมีสีเหลืองปนเขียว และสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นไหมได้ในกระบวนการย้อม โดยศึกษา 4 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนครามเปียก:น้ำมะขาม:น้ำ ด่างธรรมชาติ และระดับความเป็นด่าง การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม นอกจากนี้ได้ทำการย้อมทับสีครามบนเส้นไหม (Top repeated dyeing) แล้วทำการทดสอบสมบัติความคงทนของสี ผลการศึกษาพบว่า สภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ (ก่อหม้อคราม) คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิ 90°ซ เวลา 30 นาที และมีอัตราส่วนของครามเปียก:น้ำมะขาม(pH 2.6):น้ำด่างธรรมชาติ(pH 10.3) ที่เหมาะสมจำนวน 3 ระดับ คือ 1:1.50:0.50, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 และเมื่อนำมาย้อมเส้นไหมพบว่าเส้นไหมมีสมบัติความคงทนของสีต่อการซัก ต่อเหงื่อ สภาวะด่างและสภาวะกรด ต่อน้ำ และ การกดทับด้วยความร้อน ในเกณฑ์ดีมากระดับ 5 ส่วนความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์กที่ 20 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าเกณฑ์ดีพอใช้ (Fair good) ระดับมากกว่า 4

ในปี 2557 ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องย้อมสีคราม วัตถุประสงค์เพื่อลดแรงงาน ชำนาญและเวลาในการย้อมลง โดยสีย้อมที่ได้ยังคงมีสมบัติความคงทนของสีต่อการซักเหมือนเดิม คือ ในเกณฑ์ดีมากระดับ 5 ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องย้อมสีครามประกอบด้วย โครงเครื่องเหล็กเหนียว เตาคราม หม้อย้อมคราม แกนใจไหม ก้านยกแกนใจไหม มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลัง กล่องป้องกันมอเตอร์ ฝากล่อง และ กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน เครื่องย้อมครามมีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นแหล่งความร้อน และ ใช้ไฟฟ้าบ้านเป็นแหล่งพลังงานของมอเตอร์ ช่างในท้องถิ่นสามารถสร้างและซ่อมบำรุงได้เอง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องนี้ได้ในกระบวนการอื่น เช่น การลอกกาวไหม การย้อมสีเคมี การย้อมสีธรรมชาติอื่นๆ เช่น สีแดงจากครั่ง และสีเหลืองจากมะพูด เป็นต้น

คำสำคัญ : ย้อมสี คราม สีธรรมชาติ ก่อหม้อคราม ไหม สีแวต เครื่องย้อมคราม

ABSTRACT

The research being done in the previous year (2013) investigated the optimum reduction condition (vatting) of natural Indigo dye by varying 4 different parameters which were temperature, time, ratio of indigo dye paste : tamarind juice solution : natural alkali solution and alkalinity level. The optimum reduction condition was chosen based on the color properties (CIELAB) of the dye obtained on the silk yarns. In addition, the top repeated dyeing of the Indigo dye on the silk yarns was studied and its color fastness properties were evaluated. The results found that the reduction process of natural Indigo dye could be optimally performed at L.R. of 1:30, pH 12 at 90^{o}C for 30 minutes. Three optimum ratios of Indigo dye paste : tamarind juice solution : natural alkali solution were 1:1.50:0.50, 1:1.75:0.25 and 1:2:0. Under such conditions, the water-insoluble indigo dye was converted into its water-soluble leuco form which is in greenish yellow color and it is silk dyeable. The color fastnesses to washing, perspiration both acid and alkaline, water and hot pressing were excellent (grey scale rating of 5). The light fastness (under xenon arc lamp for 20 hours) was fairly good (blue wool scale rating > 4)

In this year (2014), the research was carried on in order to develop the dyeing machine for dyeing silk yarn with natural Indigo dye. The dyeing machine model was designed and built with the purpose to reduce human labour and save dyeing time while maintaining an excellent color fastness to washing of the dyed silk yarns. The key components of the dyeing machine composed of steel structure, burner, dyeing pot, silk hanger set, rop coil, motor and transmission gear, motor box, motor cover and motor control unit. This dyeing machine was not complicated. LPG is applied as a heating energy source and household electricity is used for motor power supply. The manufacturing and maintenance can be done by the local technical skill workers. Moreover, as a versatile equipment, this dyeing machine can be used in the other processes, for instance, silk degumming, dyeing synthetic dyes and other types of natural dyes like red dye from Lac and yellow dye from Garcinia etc.

Key words: Dyeing, Indigo, Natural Dye, Reduction, Silk, Vatting, Machine

---

(1) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 (Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan road, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand.)

(2) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 (Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan road, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand.)

(3) ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน 1 หมู่ 6 ถนนมาลัยแมน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 (The National Agricultural Machinery Center, 1 Moo 6 Malaiman Rd. Kasetsart University (Kamphaengsaen Campus) Nakorn Pathom, 73140, Thailand.)

(4) ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 (Department of Textile Science, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan road, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand)

บทนำ

สีครามเป็นสีที่เก่าแก่ที่สุดในโลกสีหนึ่ง มีการใช้มากเนื่องจากความนิยมสวมใส่กางเกงยีนซึ่งย้อมด้วยสีคราม ปริมาณการใช้สีครามและสีแวตอื่นๆประมาณ 3.3 ล้านกิโลกรัมต่อปี และอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ให้ความสำคัญมากต่อปฏิกิริยารีดักชั่น ซึ่งเปลี่ยนเนื้อครามสีน้ำเงินให้เป็นสาร Leuco–indigo เดิมในยุโรปมีการปลูกต้น dyer's wood (*Isatis tinctoria* L.) เพื่อผลิตสีคราม ต่อมาในศตวรรษที่ 17 ประเทศอินเดียมีการปลูกต้นคราม (indigo plant, *Indigofera tinctoria linn.*) อย่างแพร่หลายเพื่อใช้ประโยชน์ทางการค้า มีการผลิตสีครามส่งออกไปยังประเทศแถบยุโรป และ เป็นผู้นำในการผลิตสีครามธรรมชาติ ในศตวรรษที่ 19 เป็นยุคที่นิยมใช้สีสังเคราะห์ และสามารถผลิตสีครามสังเคราะห์จากผลพลอยได้ของกระบวนการผลิตพลังงานฟอสซิล ในปัจจุบันนี้สีครามธรรมชาติได้รับความนิยมอีกครั้งหนึ่ง ประเทศฟินแลนด์เริ่มศึกษาการปลูกต้น dyer's wood และในประเทศไทยมีการปลูกครามมากที่จังหวัดสกลนครและอุดรธานี

สีครามเป็นสีในกลุ่มสีแวต ซึ่งต้องผ่านกระบวนการรีดักชั่นสีครามซึ่งมีสีน้ำเงินม่วงเข้ม ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ (Leuco-Indigo form) และมีสีเหลืองปนเขียวก่อนการย้อมสี สาร Leuco-Indigo form เท่านั้นที่สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ และเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในภายหลัง จึงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ในการย้อมระดับชุมชนของประเทศไทยนิยมทำกระบวนการรีดักชั่นโดยการหมัก (Fermentation) ซึ่งใช้เวลานานและไม่มีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอในปัจจุบันทำโดยใช้สาร Sodium dithionite ซึ่งสารนี้ถูกจัดว่าเป็นสารไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเมื่อปนเปื้อนในน้ำเสียจะก่อให้เกิดสาร Sulphite, Sulphate, Thiosulphate และ สารพิษที่มีผลให้สารอื่นมีลักษณะทางเคมีกายภาพต่างจากสารตั้งต้น (Degradation product) ดังนั้น กระบวนการรีดักชั่นแบบใหม่จึงได้รับความสนใจนำมาศึกษา

ดังนั้นโครงการนี้ จึงได้มีแผนงานการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการก่อหม้อครามธรรมชาติ การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหม และ การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ผู้ย้อมไหมระดับชุมชน

ปฏิกิริยาของกระบวนการย้อมสีคราม

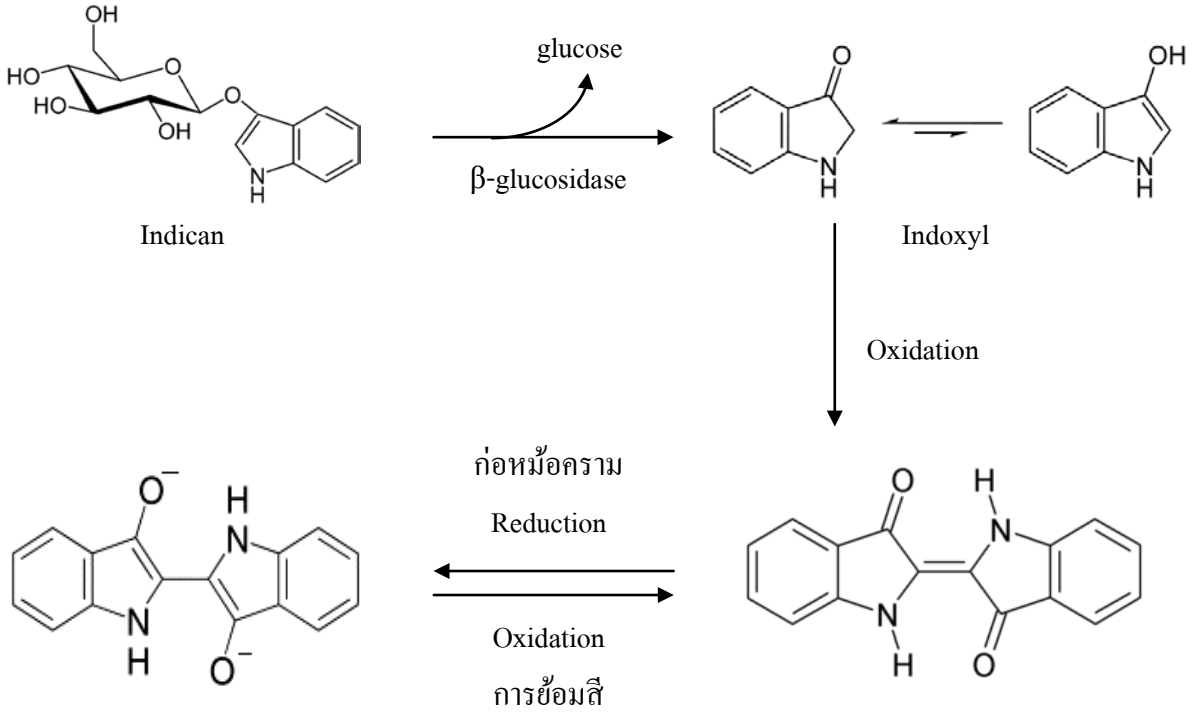
สีครามเป็นสีในกลุ่มสีแวต และสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอนที่สำคัญคือ 1. การผลิตครามเปียก (Indigo blue) 2. การก่อหม้อคราม (Reduction method) และ 3. กระบวนการย้อมสีคราม (Oxidation method)

การผลิตครามเปียก indigo blue เริ่มด้วยกระบวนการสกัดสีครามธรรมชาติออกจากส่วนที่เป็น ลำต้น กิ่งก้าน และใบสด สีครามในต้นครามเรียกว่า Indican หรือ สาร Indol-ß-D-glucoside ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่ละลายน้ำ เมื่อสีครามถูกแช่ในน้ำ จะถูกเอ็นไซม์ ß-glucosidase ทำการย่อยให้ Indican แตกตัวออกเป็น 2 ส่วน คือ Indoxyl และ Glucose ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสีแต่ละลายน้ำ และต่อมา สาร Indoxyl จะถูกออกซิไดซ์โดยการเติมปูนขาวในน้ำคราม และกวนแรงๆ จนเกิดฟอง ผลที่ได้คือ สาร blue Indigo ที่เกาะจับอยู่กับ

อนุภาคปูนขาว ตกตะกอนจมอยู่ใต้ภาชนะ สาร Indigo blue มีชื่อที่ผู้ย้อมเรียกว่า **ครามเปียก** และในปัจจุบันมีการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สำหรับผู้ย้อมไหม (รูปที่ 1)

กระบวนการรีดักชั่น (reduction method) เป็นกระบวนการเปลี่ยนครามเปียก (blue indigo) ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำเงินและไม่ละลายน้ำ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการรีดักชั่น (reduction method) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสาร white indigo ซึ่งละลายได้ในด่าง มีสีเขียวปนเหลือง ขั้นตอนนี้ผู้ย้อมสีเรียกว่า **การก่อหม้อคราม** การก่อหม้อคราม เริ่มจากการนำครามเปียก (blue Indigo) ซึ่งเป็นสารสีน้ำเงินและไม่ละลายน้ำ มาผ่านกระบวนการรีดักชั่น (Reduction method) ผลที่ได้เป็นสาร white Indigo หรือ Leuco-indigo ซึ่งละลายได้ในน้ำ มีสีเหลืองปนเขียว และเป็นสารเหมาะสมในการนำมาย้อมวัสดุสิ่งทอ (รูปที่ 1)

กระบวนการออกซิเดชั่น (oxidation method) เป็นขั้นตอนการย้อมสีคราม โดยการนำวัสดุย้อม เช่น เส้นไหม ลงนวดให้ Indigo white / Leuco-indigo ซึ่งละลายในด่างแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยไหม แล้วยกเส้นใยไหมขึ้นให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดกระบวนการ Oxidation method และเปลี่ยนสาร Leuco-indigo ที่มีสีเหลืองปนเขียวกลับเป็นสาร Indigo blue ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำเงินไม่ละลายน้ำ และ ยึดติดแน่นกับเส้นใย (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาของกระบวนการย้อมสีคราม

วัสดุ

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้คือ

- เส้นไหมขาวลอกกาวแล้ว ขนาด 120 Denier น้ำหนักไจละ 5 กรัม ของบริษัท จุลไหมไทย จำกัด
- ครามเปียก มีลักษณะเป็นของเหลวข้น(Paste) มีเนื้อครามส่วนที่เป็นของแข็ง 33.70.... %
- น้ำด่างธรรมชาติ ได้จากการนำขี้เถ้าจากต้นกล้วยมาใส่ในเปลผ้าดิบ 1-2 ชั้น แล้วค่อยๆเทน้ำบนขี้เถ้า ผ้าดิบจะกรองน้ำด่างธรรมชาติ มีระดับความเป็นด่าง(pH) ที่ 10.3
- น้ำมะขามเปียก ได้จากการนำมะขามเปียกมาต้มในน้ำเดือดอัตราส่วน 140 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ต้มที่ 100 ^{o}ซ นาน 10 นาที แล้วกรองผ่านผ้าดิบน้ำมะขามมีความเป็นกรด(pH) ที่ 2.6
- เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
- เครื่องชั่ง , เครื่องคนสาร (Mechnical stirrer), เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)
- เครื่องวัดค่าสีเส้นไหม Color-Eye 7000 Spectrophotometer, GretagMacbeth, USA
- สบู่ซักมาตรฐานที่ไม่มีส่วนผสมของสารฟอกนวล (2304 Standard soap without optical brightener ของ SDC Enterprises Ltd. Iso 105:1989:C01-C05)
- เกรย์สเกล(grey scale) ซึ่งเป็นแผ่นเทียบสีมาตรฐาน
- ผ้าหลายเส้นใย หรือ ผ้ามัลติไฟเบอร์ (Multifiber) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใย 6 ชนิด คือ อะซิเตท ฝ้าย ไนลอน ไหม วิสคอส ขนสัตว์
- เครื่องทดสอบซัก (Rotawash)
- เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Perspiration tester)
- เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน (Heating device)

เส้นไหมก่อนย้อมคราม

ครามเปียก pH 12

น้ำด่างขี้เถ้าต้นกล้วย pH 10.3

มะขามเปียก

การต้มน้ำมะขาม

น้ำมะขาม pH 2.6

สารส้ม

pH meter

ก่อหม้อครามโดยแสงแดดและใช้เวลานาน

วิธีการ

การศึกษาได้แยกออกเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วน A การศึกษากระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติเพื่อการย้อมไหม (Reduction method)

ส่วน B การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหมระดับชุมชน

ส่วน C การถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม

ส่วน A.
การศึกษากระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติเพื่อการย้อมไหม
(Reduction method)

วิธีการ

การศึกษาได้แยกออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ (Reduction method)
2. การศึกษาอิทธิพลของจำนวนการย้อมซ้ำที่มีต่อความสามารถต่อการติดสีของครามในไหม (Top repeated dyeing)

1. การศึกษาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ (Reduction method)

โดยการศึกษาตัวแปร 4 ปัจจัย ดังต่อไปนี้ คือ

1.1 อุณหภูมิของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

โดยศึกษาถึงอุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่น หรือการก่อหม้อคราม ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90^{o}ซ ปัจจัยคงที่ คือ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 1:1:1 LR1:30 pH 12 นาน 30 นาที เมื่อครบกำหนด จะได้น้ำครามที่ พร้อม สำหรับการทดลองย้อมสีเส้นไหม

วิธีย้อมสีครามในไหม มีดังนี้คือ นำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว มาแช่ในน้ำสารส้ม (5กรัมต่อลิตร) นาน 10 นาที แล้วบิดแห้งหมาด กระตุก ก่อนนำมาย้อมในน้ำครามที่ เตรียมไว้ สภาวะการย้อมคือ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50^{o}ซ นาน 5 นาที และใช้แท่งแก้วคนให้ไหมเคลื่อนที่เป็นวงกลม การเคลื่อนที่ของเส้นไหมและน้ำคราม มีผลให้สีครามแทรกซึมเข้าสู่เส้นไหมได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบเวลาทำการบิดแห้งหมาดแล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี เมื่อเส้นไหมแห้ง นำมาล้างน้ำ ให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) 5 กรัมต่อลิตร นาน 10 นาที ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดจัดที่มีการถ่ายเทอากาศดี

แล้วเลือก **อุณหภูมิที่**ให้ค่าการติดสี(K/S) สูงสุดเพื่อการทดลองขั้นต่อไป

1.2 ระยะเวลาของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

โดยศึกษาถึงระยะเวลาในกระบวนการรีดักชั่นหรือการก่อหม้อคราม ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 10, 20, 30 และ 40 นาที ปัจจัยคงที่ คือ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 1:1:1 LR 1:30 pH 12 **อุณหภูมิจากข้อที่ 1.1** เมื่อครบกำหนด จะได้น้ำครามที่ พร้อม สำหรับการทดลองย้อมสีเส้นไหม

วิธีการย้อม ตาม **ข้อที่ 1.1**

แล้วเลือก **ระยะเวลาที่**ให้ค่าการติดสี(K/S) สูงสุดเพื่อการทดลองขั้นต่อไป

1.3 อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

โดยศึกษาถึงระดับอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ ที่เหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 ปัจจัยคงที่ คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.1** เวลาที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.2** เมื่อครบกำหนด จะได้น้ำครามที่ พร้อม สำหรับการทดลองย้อมสีเส้นไหม

วิธีการย้อม ตาม **ข้อที่ 1.1**

แล้วเลือก ระดับ**อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ** ที่ให้ค่าการติดสี(K/S) สูงสุดเพื่อการทดลองขั้นต่อไป

1.4 ระดับความเป็นด่างของกระบวนการรีดักชั่น ที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

โดยศึกษาถึงระดับความเป็นด่างที่เหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ ได้แก่ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 ปัจจัยคงที่ คือ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ LR 1:30 อุณหภูมิที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.1** เวลาที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.2** เมื่อครบกำหนด จะได้น้ำครามที่ พร้อมสำหรับการทดลองย้อมสีเส้นไหม

วิธีการย้อม ตาม **ข้อที่ 1.1** แล้วเลือก **ระดับความเป็นด่าง**ที่ให้ค่าการติดสี(K/S) สูงสุด และสรุปสภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ เพื่อการทดลองขั้นต่อไป

2 การศึกษาอิทธิพลของจำนวนการย้อมซ้ำที่มีต่อความสามารถต่อการติดสีของครามในไหม (Top repeated dyeing)

น้ำครามที่ใช้ในกระบวนการนี้ คือ ครามที่ผ่านกระบวนการ reduction ในสภาวะเหมาะสมตามข้อ 1

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการย้อมซ้ำที่ 2 ระดับ คือ 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง

การย้อม 1 ครั้ง มีวิธีการย้อม ตาม **ข้อที่ 1.1**

การย้อม 2 ครั้ง มีขั้นตอนดังนี้ คือ

การย้อมครั้งที่ 1 นำเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว มาแช่ในน้ำสารส้ม (5กรัมต่อลิตร) นาน 10 นาที แล้วบิดแห้งหมาด กระตุก ก่อนนำมาย้อมในน้ำครามที่ เตรียมไว้ สภาวะการย้อมคือ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50°ซ นาน 5 นาที และใช้แท่งแก้วคนให้ไหมเคลื่อนที่เป็นวงกลม การเคลื่อนที่ของเส้นไหมและน้ำคราม มีผลให้สีครามแทรกซึมเข้าสู่เส้นไหมได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบเวลาทำการบิดแห้งหมาด แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี เมื่อเส้นไหมแห้ง กระตุก ให้เส้นไหมเรียงตัว

การย้อมครั้งที่ 2 นำเส้นไหมมาย้อมในน้ำครามที่ เตรียมไว้ สภาวะการย้อมคือ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50°ซ นาน 5 นาที และใช้แท่งแก้วคนให้ไหมเคลื่อนที่เป็นวงกลม การเคลื่อนที่ของเส้นไหมและน้ำคราม มีผลให้สีครามแทรกซึมเข้าสู่เส้นไหมได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบเวลาทำการบิดแห้งหมาด แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการ

ถ่ายเทอากาศดี เมื่อเส้นไหมแห้ง นำมาล้างน้ำ ให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) 5 กรัมต่อลิตร นาน 10 นาที ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดจัดที่มีการถ่ายเทอากาศดี

การวิเคราะห์ค่าหลังการย้อมสีครามในไหม ดังต่อไปนี้ คือ

1. สมบัติสีด้วยระบบ CIELAB โดยวัดค่า L*, a^*, b^*, C^* h^* และค่าการติดสี (K/S) ของเส้นไหมที่ผ่านการย้อม สีคราม ด้วยเครื่อง Color-Eye 7000 Spectrophotometer, GretagMacbeth, USA
2. ความคงทนของสีต่อการซัก (Washing fastness) ตาม ISO 105-C06
3. ความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก ในเวลา 20 ชั่วโมง ตาม ISO 105-B02:2013
4. ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ตาม ISO 105-E04 : 2008 (E)
5. ความคงทนของสีต่อน้ำ ตาม ISO 105-E01 : 2010 (E)
6. ความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน (Colour fastness to Hot press) ตาม ISO 105 – X11: 1994 (E)

ผลและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ(Reduction method)

กระบวนการรีดักชั่น เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนครามเปียก (Indigo blue) ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำเงินและไม่ละลายน้ำ ให้เป็นสาร Indigo white หรือ Leuco-indigo form ซึ่งมีสีเหลืองปนเขียว และ ละลายได้ในน้ำ เพื่อใช้ในการย้อมสีคราม ขั้นตอนนี้ผู้ย้อมสีเรียกว่า **การก่อหม้อคราม**

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ มีดังต่อไปนี้ คือ

1.1 อุณหภูมิของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของคราม โดยศึกษาถึงอุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 ^{o}ซ ปัจจัยคงที่ คือ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 1:1:1 LR 1:30 pH 12 เวลา 30 นาที

เมื่อครบกำหนด นำเส้นไหมมาย้อมสีคราม LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50 ^{o}ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี และได้ศึกษา สมบัติสีตามระบบ CIELAB โดยอ่าน 6 ค่า คือ L*, a^*, b^*, C^* h^* และค่าการติดสี (K/S) ผลการศึกษา มีดังนี้ คือ

ค่า L*(Lightness) เป็นค่าความสว่างของเฉดสีย้อม ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาวนวล พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น ที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50, 60,

70, 80 และ 90 °ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีย้อมที่ 48.17, 45.69, 45.30, 40.76, 40.05 และ 37.76 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการรีดักชั่นมากขึ้น มีผลให้สมบัติความสว่างของเฉดสีลดลง ลักษณะเช่นนี้ แสดงว่ามีสีติดกับเส้นไหมมากขึ้น เส้นไหมจึงมีสีขาวน้อยลง และที่อุณหภูมิ 90 °ซ เส้นไหมให้สมบัติค่าความสว่างของเฉดสีย้อมน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับว่าเส้นไหมติดสีครามมากที่สุด ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ค่า a* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดแดง – เขียว ถ้า a เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง และถ้า a* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90°ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า a* ที่ -9.58, -6.57, -6.47, -5.37, -5.04 และ -4.45 ค่า a* ที่ได้มีค่าลบ ซึ่งแสดงว่า สีครามย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวอยู่ด้วย และเมื่อกระบวนการรีดักชั่นมีอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้เฉดสีย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวน้อยลง และที่อุณหภูมิ 90°ซ เส้นไหมให้สมบัติเฉดเขียวน้อยที่สุด ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ค่า b* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดเหลือง - น้ำเงิน ถ้า b* เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง และถ้า b* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า b* ที่ -16.44, -20.99, -21.15, -22.40, -22.43 และ -22.86 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีครามที่ย้อมติดเส้นไหมออกเฉดน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น มีผลให้ค่า b* เป็นลบมากขึ้น หรือเรียกว่า ค่า b* ลดลงซึ่งทำให้สมบัติเฉดน้ำเงินเพิ่มขึ้นนั่นเอง ที่อุณหภูมิ 90°ซ เส้นไหมให้สมบัติเฉดน้ำเงินมากที่สุด ดังแสดงใน ตารางที่ 1

C*(Chroma) เป็นค่าที่บอกความสดใสของสี ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90°ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า C* ที่ 19.03, 22.00, 22.12, 23.04, 22.99 และ 23.29 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น มีผลให้สมบัติความสดใสของเฉดสีเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 1

h* เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งของเฉดสีในพื้นที่สี(Color space) มีหน่วยเป็นองศา ถ้า h* เท่ากับ 0 องศา หรือ 360 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง ถ้า h* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า h* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว ถ้า h* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90°ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า h* ที่ 239.73, 252.60, 253.00, 256.52, 257.34 และ 258.98 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า 270 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมด้วย สีครามอยู่ในพื้นที่สีน้ำเงินออกเขียว ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ค่าการติดสี (K/S) ของสีย้อมบนเส้นไหมถือเป็นค่าสมบัติด้านการย้อมสีที่สำคัญมาก และมักใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสี ค่าการติดสี (K/S) เป็นค่าที่บอกความเข้มของสีที่ย้อมติดกับเส้นไหม (Colour strength) ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 40, 50,

60, 70, 80 และ 90°ซ แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าการติดสี (K/S) ที่ 4.41, 5.61, 5.81, 8.08, 8.57 และ 9.88 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น มีผลให้ไหมติดสีเข้มขึ้น และค่าการติดสีจากการทดลองนี้พบว่าสูงกว่าการย้อมสีแบบดั้งเดิม ซึ่งมีค่าการติดสีเพียง 3.55 เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 1

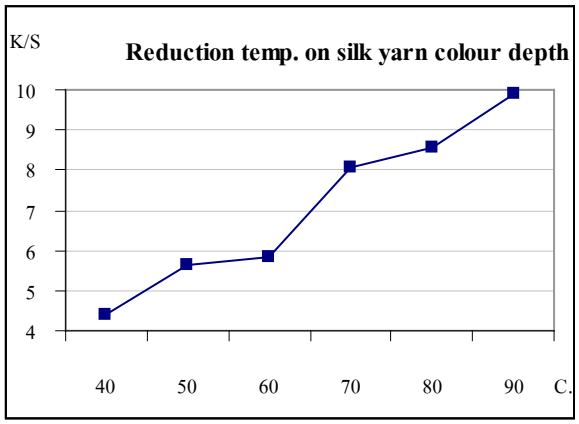
ดังนั้น ในขั้นนี้**อุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่น**ของครามธรรมชาติที่ถูกเลือกเพื่อการศึกษาขั้นต่อไป คือ 90°ซ

รูปที่ 2 กระบวนการรีดักชั่นต่างอุณหภูมิ (ซ้าย) 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ

รูปที่ 3 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างอุณหภูมิ (ซ้าย) 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °ซ

ตารางที่ 1 อุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม

No.	Temp. (°C)	L*	a*	b*	C*	h*	K/S	Lamda
Control	Sunlight	50.93	-9.09	-16.00	18.41	240.40	3.55	640
1	40	48.17	-9.58	-16.44	19.03	239.73	4.41	637
2	50	45.69	-6.57	-20.99	22.00	252.60	5.61	640
3	60	45.30	-6.47	-21.15	22.12	253.00	5.81	640
4	70	40.76	-5.37	-22.40	23.04	256.52	8.08	640
5	80	40.05	-5.04	-22.43	22.99	257.34	8.57	647
6	90	37.76	-4.45	-22.86	23.29	258.98	9.88	640



รูปที่ 4 อุณหภูมิในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อการติดสีในเส้นไหม

1.2 ระยะเวลาของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการรีดักชั่นของคราม โดยศึกษาถึงเวลาในกระบวนการรีดักชั่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที ปัจจัยคงที่ คือ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม: น้ำด่างธรรมชาติ 1:1:1 LR 1:30 pH 12 **อุณหภูมิจากข้อที่ 1.1 คือ 90 °ซ**

เมื่อครบกำหนด นำเส้นไหมมาย้อมที่ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50 °ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี และได้ศึกษา สมบัติสีตามระบบ CIELAB โดยอ่าน 6 ค่า คือ L* a* b* C* h* และ K/S ผลการศึกษามีดังนี้ คือ

ค่า L*(Lightness) เป็นค่าความสว่างของเฉดสีย้อม ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาวนวล ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีย้อมที่ 48.32, 35.52, 34.10 และ 35.99 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาของกระบวนการรีดักชั่นมากขึ้นมีผลให้สมบัติความสว่างของเฉดสีลดลง ลักษณะเช่นนี้ แสดงว่ามีสีติดกับเส้นไหมมากขึ้น เส้นไหมจึงมีสีขาวน้อยลง และ ที่เวลา 30 นาทีให้สมบัติค่าความสว่างของเฉดสีย้อมน้อยที่สุด แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 40 นาทีค่าความสว่างกลับมากขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ค่า a* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดแดง – เขียว ถ้า a เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง และถ้า a* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า a* ที่ -10.15, -4.61, -4.17 และ -4.48 ค่า a* ที่ได้มีค่าลบ ซึ่งแสดงว่า สีครามที่ย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวอยู่ด้วย และเมื่อเวลาในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น เฉดสีย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวน้อยลง ที่เวลา 30 นาทีให้สมบัติค่า a* ลบน้อยที่สุด แสดงว่ามีโทนเขียวน้อยที่สุด แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 40 นาทีค่า a* โทนเขียวกลับเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 2

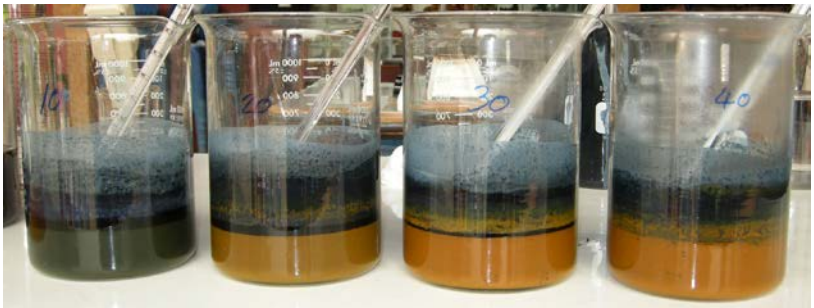
ค่า b* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดเหลือง - น้ำเงิน ถ้า b* เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง และถ้า b* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า b* ที่ -13.56, -21.35, -21. 54 และ -21.32 ตามลำดับ ค่า b* เป็นค่าลบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีครามที่ย้อมติดเส้นไหมออกเฉดน้ำเงิน และเมื่อเวลาที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่นมากขึ้น มีแนวโน้มให้ค่า b* เป็นลบมากขึ้น เวลา 30 นาทีให้สมบัติค่า b* น้อยที่สุด แสดงว่ามีเฉดน้ำเงินมากที่สุด ซึ่งเป็นค่าสีที่ต้องการในกระบวนการย้อมคราม แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 40 นาที ค่า b* เฉดสีน้ำเงินกลับเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 2

C* (Chroma) เป็นค่าที่บอกความสดใสของสี ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า C* ที่ 16.95, 21.76 , 22.04 และ 21.78 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น มีผลให้สมบัติความสดใสของเฉดสีเพิ่มขึ้น เวลา 30 นาทีให้สมบัติความสดใสมากที่สุด ดังแสดงใน **ตารางที่ 2**

h* เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งของเฉดสีในพื้นที่สี(Color space) มีหน่วยเป็นองศา ถ้า h* เท่ากับ 0 องศา หรือ 360 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง ถ้า h* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า h* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว ถ้า h* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 และ 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า h* ที่ 233.16, 257.91, 258.92 และ 258.13 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า 270 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมด้วย สีครามอยู่ในพื้นที่สีน้ำเงินออกเขียว ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ค่าการติดสี (K/S) เป็นค่าที่บอกความเข้มของสีที่ย้อมติดกับเส้นไหม (Colour strength)ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่เวลา 4 ระดับ คือ 10, 20, 30 แล 40 นาที แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าการติดสี K/S ที่ 4.20, 11.12, 12.15 และ 11.3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาของกระบวนการรีดักชั่นมากขึ้นมีผลให้ไหมติดสีเข้มขึ้น เวลา 30 นาทีให้สมบัติค่าการติดสีเข้มที่สุด แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 40 นาที ค่าการติดสีกลับลดลง ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ในขั้นนี้ **เวลาที่** ถูกเลือกเพื่อการศึกษาขั้นต่อไป คือ 30 นาที

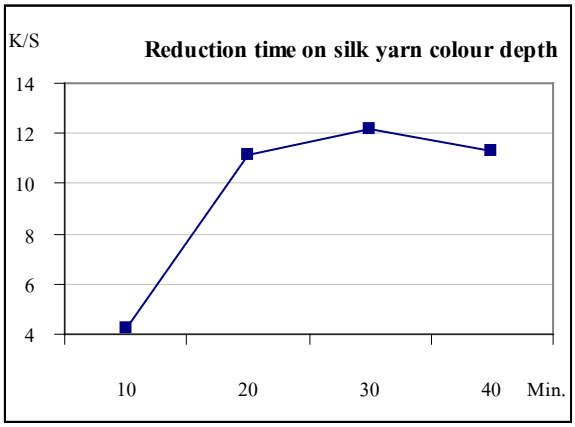


รูปที่ 5 กระบวนการรีดักชั่นของครามต่างเวลา (ซ้าย) 10, 20, 30 และ 40 นาที

รูปที่ 6 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างเวลา (ซ้าย) 10, 20, 30 และ 40 นาที

ตารางที่ 2 เวลาในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม

No.	Time (min.)	CIELAB Value						
		L*	a*	b*	C*	h*	K/S	Lamda
1	10	48.32	-10.15	-13.56	16.95	233.16	4.20	630
2	20	35.52	-4.61	-21.35	21.76	257.91	11.12	640
3	**30**	**34.10**	**-4.17**	**-21.54**	**22.04**	**258.92**	**12.15**	**637**
4	40	35.99	-4.48	-21.32	21.78	258.13	11.30	640



รูปที่ 7 เวลาในกระบวนการรีดักชั่นของสีครามที่มีต่อการติดสีครามในเส้นไหม

1.3 อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติของกระบวนการรีดักชั่นที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

ในกระบวนการรีดักชั่น ซึ่งอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 ปัจจัยคงที่ คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิจากข้อที่ 1.1 คือที่ 90 °ซ เวลาจากข้อที่ 1.2 คือ 30 นาที

เมื่อครบกำหนด นำเส้นไหมมาย้อมที่ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50 °ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี และได้ศึกษา สมบัติสีตามระบบ CIELAB โดยอ่าน 6 ค่า คือ L* a* b* C* h* และ K/S ผลการศึกษา มีดังนี้ คือ

ค่า L*(Lightness) เป็นค่าความสว่างของเฉดสีย้อม ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาวนวล ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า ความสว่างของสีย้อมที่ 40.89, 39.07, 34.90 , 34.85 และ 32.75 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนกรดมากขึ้นมีผลให้สมบัติความสว่างของเฉดสีลดลง ลักษณะเช่นนี้ แสดงว่ามีสีติดกับเส้นไหมมากขึ้น เส้นไหมจึงมีสีขาวน้อยลง ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ค่า a* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดแดง – เขียว ถ้า a เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง และถ้า a* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า a* ที่ -6.40, -5.35, -3.92, -3.30 และ -2.60 ตามลำดับ ค่า a* ที่ได้มีค่าลบ ซึ่งแสดงว่า สีครามที่ย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวอยู่ด้วย และเมื่ออัตราส่วนกรดมากขึ้น เฉดสีย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวน้อยลง ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ค่า b* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดเหลือง - น้ำเงิน ถ้า b* เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง และถ้า b* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า b* ที่ -21.05, -21.68, -22.95, -23.45 และ -23.66 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีครามที่ย้อมติดเส้นไหมออกเฉดน้ำเงิน และเมื่ออัตราส่วนกรดมากขึ้นมีแนวโน้มให้ค่า b* เป็นลบมากขึ้นซึ่งหมายถึงการติดสีน้ำเงินเข้มขึ้นนั่นเอง ดังแสดงใน ตารางที่ 3

C* (Chroma) เป็นค่าที่บอกความสดใสของสี ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่ครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า C* ที่ 22.00, 22.33, 23.19, 23.78 และ 23.80 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราส่วนกรดมากขึ้น มีผลให้สมบัติความสดใสของเฉดสีเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 3

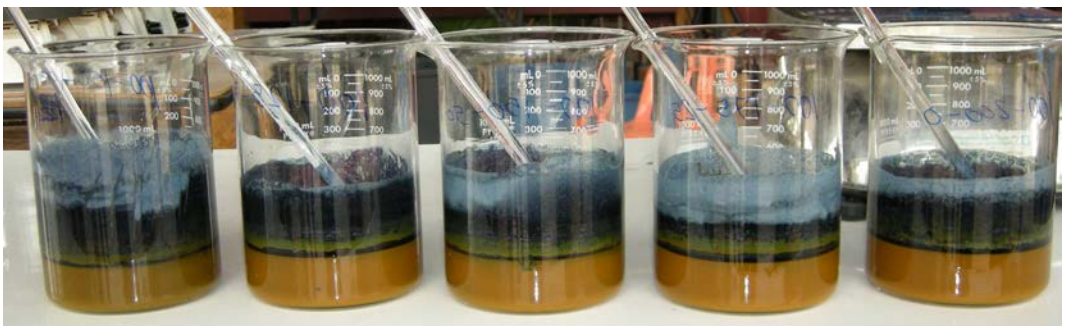
h* เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งของเฉดสีในพื้นที่สี(Color space) มีหน่วยเป็นองศา ถ้า h* เท่ากับ 0 องศา หรือ 360 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง ถ้า h* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า h* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว ถ้า h* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อัตราส่วนครามเปียก :น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1,

1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า h* ที่ 253.10, 256.13, 260.49, 261.95 และ 263.73 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า 270 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมด้วย สีครามอยู่ในพื้นที่สีน้ำเงินออกเขียว ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ค่าการติดสี (K/S) เป็นค่าที่บอกความเข้มของสีที่ย้อมติดกับเส้นไหม (Colour strength)ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่นที่อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ 5 ระดับ คือ 1:1:1, 1:1.25:0.75, 1:1.5:0.5, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าการติดสี (K/S) ที่ 7.69, 8.77, 12.07, 12.22 และ 12.59 ตามลำดับ อัตราส่วนครามเปียก :กรด: ด่าง ที่ให้ค่าการติดสีใกล้เคียงกัน 3 ระดับ คือ 1 : 1.5 : 0.5, 1 : 1.75 : 0.25 และ 1 : 2 : 0 ให้ ค่าการติดสีระหว่าง 12.07 – 12.59 ดังแสดงใน ตารางที่ 3

หลังปฏิกิริยารีดักชั่น สีครามเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเขียวทุกการทดลอง แต่อัตราส่วน 1:1:1 ให้สีเหลือเขียวน้อยที่สุด ความเหลืองได้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับตามสัดส่วนของปริมาณด่างที่ลดลงและน้ำมะขามเปียกที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่ากรรมวิธีที่ไม่เติมด่างก็ยังคงให้สภาวะความเป็นด่างเท่ากับกรรมวิธีอื่นคือที่ pH 12 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการผลิตครามได้เติมปูนขาวที่เพียงพอต่อการนำเข้าสู่กระบวนการรีดักชั่น ส่วนกรรมวิธีที่ใส่น้ำมะขามต้มมากถึง 2 ส่วนได้ให้สีเหลืองเขียวมากที่สุด และค่าการติดสีบนเส้นไหมมากที่สุด อาจเนื่องจากน้ำมะขามมีส่วนผสมของกลูโคสซึ่งเป็นสารรีดิวซิ่งซึ่งจะไปเพิ่มปฏิกิริยารีดักชั่นให้สูงขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 8

ในขั้นนี้ อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ จำนวน 3 ระดับที่ถูกเลือกเพื่อการศึกษาขั้นต่อไป คือ 1 : 1.5 : 0.5, 1 : 1.75 : 0.25 และ 1 : 2 : 0



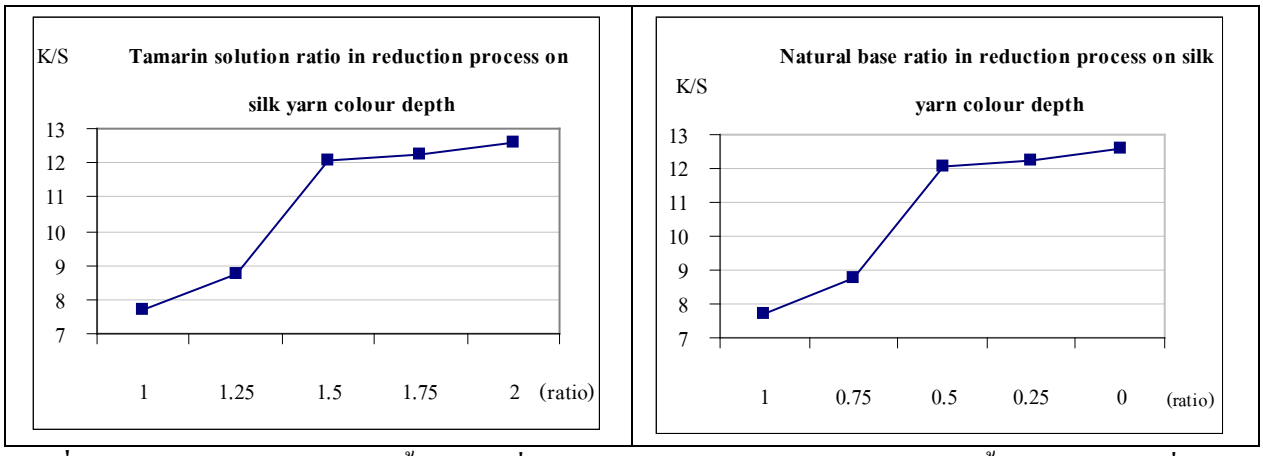
Indigo: acid : base 1:1:1 1:1.25:0.75 1:1.50:0.50 1:1.75:0.25 1:2:0

รูปที่ 8 กระบวนการรีดักชั่นต่างอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ

รูปที่ 9 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างอัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ

ตารางที่ 3 อัตราส่วนระหว่างครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม

ที่	pH	คราม	กรด	ด่าง	L*	a*	b*	C*	h*	K/S	Lamda
1.	12	1	1	1	40.89	-6.40	-21.05	22.00	253.10	7.69	640
2.	12	1	1.25	0.75	39.07	-5.35	-21.68	22.33	256.13	8.77	640
3.	12	1	1.5	0.5	34.90	-3.92	-22.95	23.19	260.49	12.07	640
4.	12	1	1.75	0.25	34.85	-3.30	-23.45	23.78	261.95	12.22	640
5.	12	1	2	0	32.75	-2.60	-23.66	23.80	263.73	12.59	640



รูปที่ 10 (ซ้าย) ผลของอัตราส่วนน้ำมะขามที่มีต่อค่าการติดสี (ขวา) ผลของอัตราส่วนน้ำด่างธรรมชาติที่มีต่อค่าการติดสี

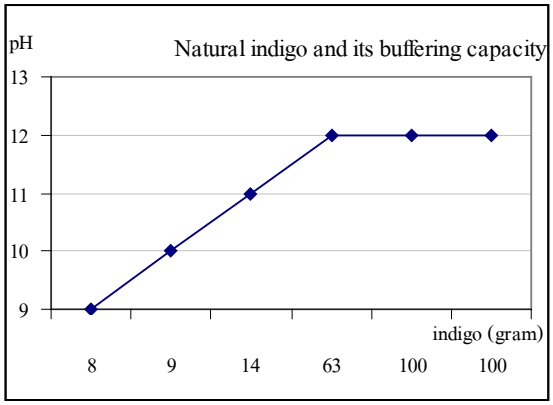
1.4 ระดับความเป็นด่างของกระบวนการรีดักชั่น ที่มีผลต่อการติดสีในเส้นไหม

ในการศึกษากระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12

กรรมวิธีที่ 1, 2, 3 และ 4 มีระดับ pH ที่ 9, 10, 11 และ 12 และมีการเตรียมของเหลวในการศึกษา โดยใช้น้ำมะขามที่มี pH 2.6 จำนวน 200 ซีซีเป็นสารเริ่มต้น แล้วใช้ครามเปียกเป็นตัวปรับระดับความเป็นด่าง พบว่าปริมาณครามเปียกที่ใช้ คือ 8, 9, 14 และ 63 กรัมตามลำดับ สำหรับกรรมวิธีที่ 5 เป็นกรรมวิธีที่มีการใช้ปริมาณครามเปียกเพิ่มเป็น 100 กรัม สารประกอบยังคงมีค่าความเป็นด่างที่ pH 12 ส่วนกรรมวิธีที่ 6 เป็นกรรมวิธีที่มีการเติมด่างธรรมชาติ 50 ซีซีลงในคราม 100 กรัม และ น้ำต้มมะขาม 150 ซีซี สารประกอบเริ่มต้นก็ยังคงมีค่าความเป็นด่างที่ pH 12 ดังแสดงใน ตารางที่ 4 และ รูปที่ 11

ตารางที่ 4 ระดับความเป็นด่างและอัตราส่วนผสมของครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างธรรมชาติ ที่ใช้ในกระบวนการรีดักชั่น

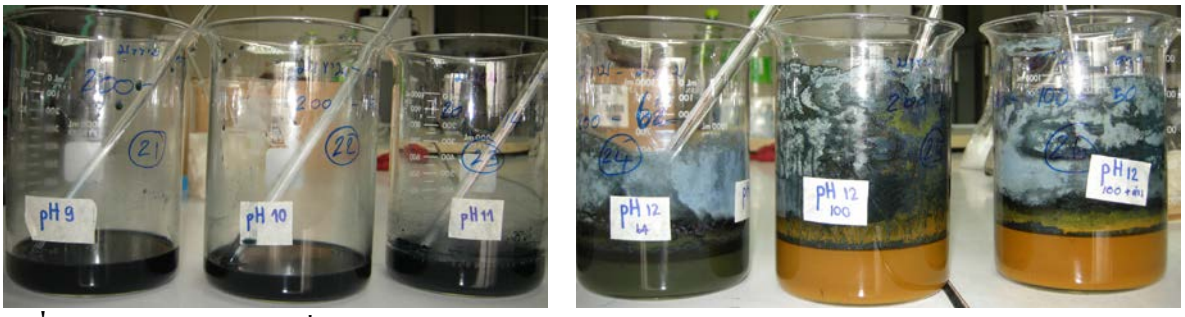
ที่	pH	ครามเปียก (กรัม)	น้ำต้มมะขาม pH 2.6 (ซีซี)	น้ำด่าง pH 10.3 (ซีซี)
1.	9	8	200	0
2.	10	9	200	0
3.	11	14	200	0
4.	12	63	200	0
5.	12	100	200	0
6.	12	100	150	50



รูปที่ 11 ปริมาณครามเปียกและค่า buffering capacity

จากการนำ สารประกอบทั้ง 6 กรรมวิธี เข้าสู่กระบวนการรีดักชั่น ปัจจัยคงที่ LR 1:30 อุณหภูมิที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.1 คือ 90** °ซ เวลาที่เหมาะสมตาม**ข้อ 1.2** คือ 30 นาที

เมื่อครบกำหนด นำเส้นไหมมาย้อมสีคราม ที่ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50 °ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี



รูปที่ 12 กระบวนการรีดักชั่นของครามต่างระดับความเป็นด่าง (จากซ้าย) pH 9, 10, 11, 12, 12 และ 12

รูปที่ 13 เส้นไหมย้อมสีครามจากกระบวนการรีดักชั่นต่างระดับ pH (ซ้าย) pH 9, 10, 11, 12, 12และ12

ผลการศึกษา มีดังนี้ คือ

ค่า L*(Lightness) เป็นค่าความสว่างของเฉดสีย้อม ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาวนวล ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีย้อมที่ 79.33, 79.90, 78.52 , 61.77, 32.75 และ 34.90 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับความเป็นด่างของกระบวนการรีดักชั่นมากขึ้นมีผลให้สมบัติความสว่างของเฉดสีลดลง ลักษณะเช่นนี้แสดงว่ามีสีติดกับเส้นไหมมากขึ้น เส้นไหมจึงมีสีขาวน้อยลง ดังแสดงใน ตารางที่ 5

ค่า a* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดแดง – เขียว ถ้า a เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง และถ้า a* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า a* ที่ -1.99, -1.92, -2.98, -2.73, -2.60 และ -3.92 ตามลำดับ ค่า a* ที่ได้มีค่าลบ ซึ่งแสดงว่า สีครามที่ย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวอยู่ด้วย และเมื่อ pH ในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น เฉดสีย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวมากขึ้น และระหว่าง pH11-12 ให้โทนเขียวไม่แตกต่างกัน ดังแสดงใน ตารางที่ 5

ค่า b* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดเหลือง - น้ำเงิน ถ้า b* เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง และถ้า b* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า b* ที่ 5.27, 4.89, 4.09, 4.07, -23.66 และ -23.95 ตามลำดับ pH 9 ถึง pH 12 ที่มีเนื้อครามเพียง 63 กรัม ให้ค่าb* เป็นบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีครามที่ย้อมติดเส้นไหมออกเฉดเหลือง ส่วนpH 12 ที่มีการใส่เนื้อคราม 100 กรัม และ มีการเพิ่มน้ำด่างธรรมชาติ พบว่า มีผลให้เส้นไหมออกเฉดน้ำเงินซึ่งเป็นสีที่ต้องการในการย้อมคราม ดังแสดงใน ตารางที่ 5

C* (Chroma) เป็นค่าที่บอกความสดใสของสี ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า C* ที่ 5.06, 5.28, 5.62, 8.74, 23.80 และ 23.19 ตามลำดับ ซึ่งแสดง

ให้เห็นว่า เมื่อความเป็นด่างในกระบวนการรีดักชั่นสูงขึ้น มีผลให้สมบัติความสดใสของเฉดสีเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 5

h* เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งของเฉดสีในพื้นที่สี(Color space) มีหน่วยเป็นองศา ถ้า h* เท่ากับ 0 องศา หรือ 360 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง ถ้า h* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า h* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว ถ้า h* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่า h* ที่ 110.3, 112.35, 126.13, 179.64, 263.73 และ 260.49 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าที่ pH 9-11 ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า 90 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมด้วยสีครามอยู่ในพื้นที่สีเหลือง แต่เมื่อเพิ่มครามเป็น63 กรัมและระดับ pH 12 ระยะเริ่มต้น เฉดสีย้อมที่ได้เข้าใกล้เฉดสีเขียว แต่เมื่อเพิ่มเนื้อครามจาก 63 กรัม เป็น 100 กรัม เฉดสีย้อมที่ได้จะอยู่ในเฉดน้ำเงินมากขึ้น ดังแสดงใน ตารางที่ 5

แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในอัตราส่วนสารประกอบของปฏิกิริยารีดักชั่นมีความสำคัญมากกว่าค่าความเป็นด่าง(pH) เนื่องจากเมื่อครามอยู่ในสภาวะด่างสูงจะมีค่า Buffering capacity สูงตามไปด้วย ซึ่งหมายถึง ครามมีความสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นด่างได้สูงกว่าครามที่อยู่ในสภาวะความเป็นด่างต่ำ

ค่าการติดสี (K/S) เป็นค่าที่บอกความเข้มของสีที่ย้อมติดกับเส้นไหม (Colour strength)ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สีครามที่ผ่านกระบวนการรีดักชั่น โดยผันแปรระดับความเป็นด่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 9, 10, 11, 12, 12 และ 12 แล้วนำมาย้อมไหม มีผลทำให้ค่าการติดสี (K/S) ที่ 0.40, 0.40, 0.42, 1.24, 12.59 และ 12.07 ตามลำดับ ระดับความเป็นด่าง 9-11 ให้ค่าการติดสีต่ำมากใกล้เคียงกัน คือให้ค่าการติดสี (K/S)ระหว่าง 0.40-0.42 ส่วนระดับความเป็นด่างที่ pH 12 ด้วยการใช้เนื้อคราม 63 กรัม ได้ให้ค่าสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 1.24 เมื่อเพิ่มเนื้อครามในกระบวนการรีดักชั่นเป็น 100 กรัมและ pH 12 พบว่าค่าการติดสีสูงขึ้นที่ 12.07-12.59 ดังแสดงใน ตารางที่ 5

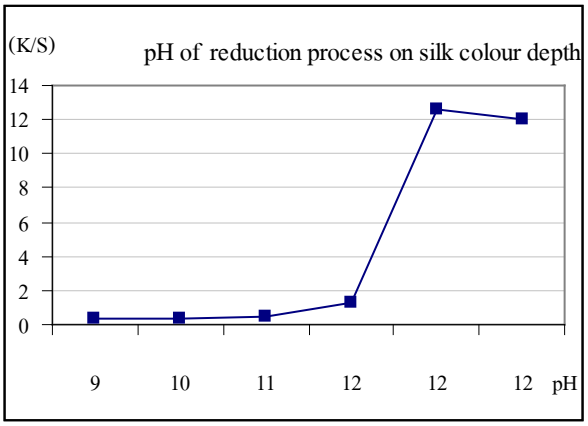
หลังปฏิกิริยารีดักชั่น กรรมวิธีที่ 5 และ กรรมวิธีที่ 6 ซึ่งมีการใส่คราม 100 กรัม และน้ำมะขามและ น้ำด่าง มีผลให้สีครามเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเขียว ซึ่งสอดคล้องกับค่าการติดสีที่ได้ที่ 12.59 และ 12.07 ตามลำดับ

ในขั้นนี้ ระดับความเป็นด่างของกระบวนการรีดักชั่นที่เหมาะสม คือ pH 12

ตารางที่ 5 ระดับความเป็นด่างในกระบวนการรีดักชั่นของครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม

No.	pH	CIELAB Value						
		L*	a*	b*	C*	h*	K/S	Lamda
1	pH 9	79.33	-1.99	5.27	5.06	110.3	0.40	400
2	pH 10	79.90	-1.92	4.89	5.28	112.35	0.40	400
3	pH 11	78.52	-2.98	4.09	5.62	126.13	0.42	400
4	pH12-63*	61.77	-2.73	4.07	8.74	179.64	1.24	630
5	pH12 -100**	32.75	-2.60	-23.66	23.80	263.73	12.59	640
6	pH12 -100***	34.90	-3.92	-22.95	23.19	260.49	12.07	640

หมายเหตุ อัตราส่วนครามเปียก:น้ำมะขาม:น้ำด่างธรรมชาติ * 63:200:0, **100:200:0, ***100:150:50



รูปที่ 14 ระดับความเป็นด่างในกระบวนการรีดักชั่นของสีครามที่มีต่อค่าการติดสีในเส้นไหม

สรุปวิธีการทำปฏิกริยารีดักชั่นหรือการก่อหม้อครามที่เหมาะสม คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิ 90°ซ เวลา 30 นาที โดยมีอัตราส่วนของครามเปียก:น้ำมะขาม :น้ำด่างธรรมชาติที่เหมาะสมจำนวน 3 อัตราส่วนคือ 1:1.50:0.50, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0

ส่วนวิธีการย้อมสีคราม คือ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50°ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดจัดที่มีการถ่ายเทอากาศดี

2. ผลการศึกษาอิทธิพลของจำนวนการย้อมซ้ำที่มีต่อความสามารถต่อการติดสีของครามในไหม (Top repeated dyeing)

การทำปฏิกิริยารีดักชั่นหรือการก่อหม้อคราม ได้ใช้อัตราส่วนของครามเปียก:น้ำมะขาม(pH 2.6) ที่ 1:2 pH 12 ในขั้นนี้ น้ำครามมีสีน้ำเงิน (Blue Indigo) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ 90°ซ เป็นเวลา 30 นาที น้ำคราม ได้เปลี่ยนเป็นสารสีเหลืองปนเขียว (White Indigo หรือ Leuco-Indigo) ซึ่งเป็นสภาวะที่เนื้อครามละลายน้ำได้ และเหมาะสมในการนำมาย้อมวัสดุสิ่งทอ

ผลการศึกษาอิทธิพลของจำนวนครั้งที่ย้อมซ้ำที่เหมาะสมในกระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติ ในไหม ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง มีดังนี้ คือ

ค่า L*(Lightness) เป็นค่าความสว่างของเฉดสีย้อม ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงสีดำ ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงสีขาวนวล ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหมย้อมด้วยสีคราม จำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่า ความสว่างของสีย้อมที่ 33.55 และ 24.32 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จำนวนครั้งที่ไหมถูกนำมาย้อมครามมากขึ้นมีผลให้สมบัติความสว่างของเฉดสีลดลง ลักษณะเช่นนี้แสดงว่ามีสีติดกับเส้นไหมมากขึ้น เส้นไหมจึงมีสีขาวน้อยลง ดังแสดงใน ตารางที่ 6

ค่า a* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดแดง – เขียว ถ้า a เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง และ ถ้า a* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกเขียว ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหมย้อมด้วยสีครามจำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่า a* ที่ -3.36 และ 1.49 ตามลำดับ ค่า a* ที่ได้มีค่าลบ และค่าบวก ซึ่งแสดงว่า สีครามที่ย้อมติดเส้นไหมมีโทนเขียวเมื่อย้อมครั้งเดียว แต่เมื่อย้อมทับ เส้นไหมสามารถดูดสีแดงได้เพิ่มขึ้นจึงแสดงโทนแดงออกมาในค่าที่เป็น บวก 1.49 ดังแสดงใน ตารางที่ 6

ค่า b* เป็นค่าที่บอกความเป็นเฉดเหลือง – น้ำเงิน ถ้า b* เป็นค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง และถ้า b* เป็นค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีออกน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหมย้อมด้วยสีคราม จำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่า b* ที่ -22.39 และ -19.47 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีครามที่ย้อมติดเส้นไหมออกเฉดน้ำเงิน การย้อมคราม 1 ครั้งเส้นไหมสามารถดูดสีน้ำเงินได้มากที่ -22.39 แต่เมื่อย้อมทับเส้นไหม สามารถดูดสีแดงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าสีน้ำเงินลดลงเป็น -19.47 ในภาพรวมเฉดสีน้ำเงินและแดงมีผลให้ค่าการติดสีของเส้นไหมที่ย้อมคราม 2 ครั้งยังมากกว่าการย้อม 1ครั้ง คือ ค่าการติดสี (K/S) ที่เพิ่มขึ้นจาก 12.28 เป็น 17.12 ดังแสดงใน ตารางที่ 6

C* (Chroma) เป็นค่าที่บอกความสดใสของสี ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหมย้อมด้วยสีคราม จำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่า C* ที่ 22.65 และ 19.53 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การย้อมสีคราม 1 ครั้งได้สีสดใสมากกว่า การย้อมคราม 2 ครั้ง ซึ่งหมายถึง การย้อมครามทับ 2 ครั้งได้สีที่ทึบมากกว่านั่นเอง ดังแสดงใน ตารางที่ 6

h* เป็นตัวเลขที่บอกตำแหน่งของเฉดสีในพื้นที่สี(Color space) มีหน่วยเป็นองศา ถ้า h* เท่ากับ 0 องศา หรือ 360 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง ถ้า h* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า h* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว ถ้า h* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหม

ย้อมด้วยสีครามจำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่า h* ที่ 261.48 และ 274.38 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า 270 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมด้วย สีคราม 1 ครั้งอยู่ในพื้นที่สีน้ำเงิน-เขียวและเฉดสีย้อมที่ได้จากการย้อมคราม 2 ครั้งอยู่ในพื้นที่สีน้ำเงิน แดง ดังแสดงใน ตารางที่ 6

ค่าการติดสี (K/S) เป็นค่าที่บอกความเข้มของสีที่ย้อมติดกับเส้นไหม (Colour strength)ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ไหมย้อมด้วยสีครามจำนวน 2 ระดับ คือ การย้อม 1 ครั้ง และ การย้อม 2 ครั้ง มีผลทำให้ค่าการติดสี (K/S) ที่ 12.28 และ 17.12 ตามลำดับ การย้อมครามทับสีบนเส้นไหม มีผลให้ได้สีเข้มขึ้น ดังนั้น ผู้ย้อมไหมจึงนิยมย้อมทับจำนวนหลายครั้งเพื่อให้ได้สีที่เข้มขึ้นดังแสดงใน ตารางที่ 6

รูปที่ 15 Leuco indigo form ของกระบวนการรีดักชั่นสีครามธรรมชาติ

รูปที่ 16 เส้นไหมย้อมสีคราม (ซ้าย) ย้อม 1 ครั้ง (ขวา) ย้อม 2 ครั้ง

ตารางที่ 6 จำนวนครั้งที่ย้อมเส้นไหมด้วยสีครามที่มีต่อสมบัติสีระบบ CIELAB

No.	**Top repeated dyeing**	CIELAB value						
	(time)	L*	a*	b*	C*	h*	K/S	Lamda
1.	1	33.55	-3.36	-22.39	22.65	261.48	12.28	640
2.	2	24.32	1.49	-19.47	19.53	274.38	17.12	620

สมบัติความคงทนของสีครามในเส้นไหม

จากการนำเส้นไหมย้อมครามมาทดสอบสมบัติความคงทนของสี 5 สมบัติ ผลการศึกษามีดังนี้คือ

1. ความคงทนของสีต่อการซักด้วยสบู่ ตาม ISO 105-C06

การประเมินค่าความคงทนของสีต่อการซักด้วยสบู่ หรือสบู่และโซดา แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

ระดับ(Rating)	ความคงทนของสีต่อการซัก
1	ต่ำมาก (Very poor)
2	ต่ำ (Poor)
3	ปานกลาง (Fair)
4	ดี (Good)
5	ดีมาก (Excellent)
แต่ละระดับยังแบ่งย่อยออกเป็นระหว่าง 1-2, 2-3, 3-4, และ 4-5	

ผลการศึกษาค่าความคงทนของสีต่อการซัก ของเส้นไหมย้อมคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า ค่าการเปลี่ยนสี (Colour change) และ ค่าการเปื้อนสี (Staining) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความคงทนของสีต่อการซักของครามที่ต่างจำนวนครั้งที่ย้อมทับ

No.	การย้อม (ครั้ง)	Grey scale for multifiber staining						Grey scale for color change
		Acetate	Cotton	Nylon	Silk	Viscose	Wool	
1.	1	5	5	5	5	5	5	5
2.	2	5	5	5	5	5	5	5

2. ความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก ตาม ISO 105-B02:2013

การประเมินค่าความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก ของชิ้นทดสอบ แบ่งเป็น 8 ระดับ ดังนี้คือ

ระดับ(Rating)	ความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก (Properties)
1	ต่ำสุด (Very poor)
2	ต่ำ (Poor)
3	กลาง (Moderate)
4	ดีพอใช้ (Fair good)
5	ดี (Good)
6	ดีมาก (Very good)
7	ดีเยี่ยม (Excellent)
8	สูงสุด (Outstanding)

ผลการศึกษาค่าความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์กในระยะเวลา 20 ชั่วโมง ของเส้นไหมที่ผ่านการย้อมสีคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า ความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์ก อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า ดีพอใช้ (Fair good) ระดับ 4 ดังแสดงใน ตารางที่ 8

3. ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ตาม ISO 105-E04 : 2008 (E)

การประเมินค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อ แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

ระดับ(Rating)	ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Properties)
1	ต่ำมาก (Very poor)
2	ต่ำ (Poor)
3	ปานกลาง (Fair)
4	ดี (Good)
5	ดีมาก (Excellent)
แต่ละระดับยังแบ่งย่อยออกเป็นระหว่าง 1-2, 2-3, 3-4, และ 4-5	

ผลการศึกษาค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อสภาวะด่าง pH 8 ของเส้นไหมย้อมคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า ค่าการเปลี่ยนสี (Colour change) และ ค่าการเปื้อนสี (Staining) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5

ส่วนค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อสภาวะกรด pH 5.5 ของเส้นไหมย้อมคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า ค่าการเปลี่ยนสี (Colour change) และ ค่าการเปื้อนสี (Staining) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5 ดังแสดงใน ตารางที่ 8

4. ความคงทนของสีต่อน้ำ ตาม ISO 105-E01 : 2010 (E)

การประเมินค่าความคงทนของสีต่อน้ำ แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

ระดับ(Rating)	ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Properties)
1	ต่ำมาก (Very poor)
2	ต่ำ (Poor)
3	ปานกลาง (Fair)
4	ดี (Good)
5	ดีมาก (Excellent)
แต่ละระดับยังแบ่งย่อยออกเป็นระหว่าง 1-2, 2-3, 3-4, และ 4-5	

ผลการศึกษาค่าความคงทนของสีต่อน้ำของเส้นไหมย้อมคราม 1 ครั้งและ 2 ครั้ง พบว่า ค่าการเปลี่ยนสี (Colour change) และ ค่าการเปื้อนสี (Staining) อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5 ดังแสดงใน ตารางที่ 8

5. ความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน(Colour fastness to Hot press) ตาม ISO 105 – X11: 1994(E)

การประเมินค่าความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

ระดับ(Rating)	ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Properties)
1	ต่ำมาก (Very poor)
2	ต่ำ (Poor)
3	ปานกลาง (Fair)
4	ดี (Good)
5	ดีมาก (Excellent)
แต่ละระดับยังแบ่งย่อยออกเป็นระหว่าง 1-2, 2-3, 3-4, และ 4-5	

ผลการศึกษาค่าความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน ของเส้นไหมย้อมคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า ค่าความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อนสภาวะแห้ง สภาวะชื้น และ สภาวะ เปียก อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5 ดังแสดงใน **ตารางที่ 8**

รูปที่ 17 ความคงทนของสีครามต่อการซัก เหงื่อสภาวะกรดและด่าง น้ำ และการกดทับด้วยความร้อน

รูปที่ 18 การทดสอบความคงทนของสีครามต่อแสงซีนอนอาร์กในระยะเวลา 20 ชั่วโมง

ตารางที่ 8 สมบัติความคงทนของสีครามในเส้นไหม

ที่	ความคงทนของสี	สีครามย้อม 1 ครั้ง K/S 12.28	สีคราม ย้อม 2 ครั้ง K/S 17.12
1.	การซัก		
	- การเปลี่ยนสี	5	5
	- การเปื้อนสี	5	5
2.	แสงซีนอนอาร์ก		
	- ในระยะเวลา 20 ชั่วโมง	> 4	> 4
3.	เหงื่อ สภาวะด่าง		
	- การเปลี่ยนสี	5	5
	- การเปื้อนสี	5	5
	เหงื่อสภาวะกรด		
	- การเปลี่ยนสี	5	5
	- การเปื้อนสี	5	5
4.	น้ำ		
	- การเปลี่ยนสี	5	5
	- การเปื้อนสี	5	5
5.	การกดทับด้วยความร้อน		
	- สภาพแห้ง	5	5
	- สภาพชื้น	5	5
	- สภาพเปียก	5	5

สรุปและเสนอแนะ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมด้วยครามธรรมชาติระดับหัตถอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาสภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ หรือสภาวะเหมาะสมในการก่อหม้อคราม โดยศึกษา 4 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนครามเปียก : น้ำมะขาม : น้ำด่างจากขี้เถ้าธรรมชาติ และระดับความเป็นด่าง แล้วทำการเปรียบเทียบสมบัติสีของเส้นไหมระบบ CIELAB

จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่าสภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนเนื้อครามสีน้ำเงินให้เป็นสาร Leuco–indigo ซึ่งมีสีเหลืองปนเขียว คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิ 90^{o}ซ เวลา 30 นาที และมีอัตราส่วนของครามเปียก:น้ำมะขาม(pH 2.6):น้ำด่างธรรมชาติ(pH 10.3) ที่เหมาะสมจำนวน 3 ระดับ คือ 1:1.50:0.50, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0

ส่วนวิธีการย้อมสีคราม คือ LR 1:30 อุณหภูมิ 40-50^{o}ซ นาน 5 นาที แล้วนำเส้นไหมตากแดดที่มีการถ่ายเทอากาศดี จนกระทั่งแห้ง นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปรับสภาพเป็นกลางด้วยสารส้ม (alum, aluminium chlorohydrate, $Al_2Cl(OH)_5$) ตามด้วยล้างน้ำให้สะอาด กระตุก และ ตากแดดจัดที่มีการถ่ายเทอากาศดี

เมื่อนำเส้นไหมย้อมด้วยสีครามจำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง พบว่า การย้อมสีคราม 1 ครั้งมีค่าการติดสี (K/S) น้อยกว่าการย้อม 2 ครั้งที่ 12.28 และ 17.12 ตามลำดับ และเมื่อนำมาทดสอบความคงทนของสี พบว่า การย้อมคราม 1 ครั้ง และ 2 ครั้งไม่มีความแตกต่างกัน ค่าความคงทนของสีต่อการซักในเรื่องการเปลี่ยนสีและค่าการเปื้อนสีอยู่ในเกณฑ์ดีมากระดับ 5 ส่วนความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์กที่ 20 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าเกณฑ์ดีพอใช้ (Fair good) ระดับมากกว่า 4 ค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อสภาวะด่างและสภาวะกรด ค่าความคงทนของสีต่อน้ำ และค่าความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน ทั้งการเปลี่ยนสีและการเปื้อนสีอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ระดับ 5

ส่วน B.
การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหมระดับชุมชน

วิธีการ

มีวิธีการศึกษาดังนี้ คือ

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกรรมวิธีการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน
2. การวิเคราะห์ปัญหาของการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน (Analysis of the Problem)
3. การออกแบบเครื่องย้อมสีคราม
4. การสร้างเครื่องย้อมสีคราม
5. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องย้อมสีครามที่มีผลต่อสมบัติการติดสีในไหมตามระบบ CIELAB
6. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหม

ผลและวิจารณ์ผล

ผลการดำเนินงานการออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหมระดับชุมชน มีดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของกรรมวิธีการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน

โครงการนี้ได้ศึกษากรรมวิธีการย้อมสีครามในเส้นไหม ณ กลุ่มมัดหมี่โฮลโบราณบ้านนาตัง 4 ม.8 ต. เขวาสินรินทร์ อ. เขวาสินรินทร์ จ. สุรินทร์ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- ในปัจจุบันใช้แรงงานคนเป็นหลักในทุกขั้นตอนการผลิต เริ่มตั้งแต่การก่อหม้อคราม จนถึงขั้นตอนการบรรจุเพื่อจำหน่าย อุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้แก่ โอ่งดินเผาเคลือบ กะละมัง และภาชนะรองรับอื่น ๆ
- จากการเก็บข้อมูลการย้อมสีเส้นไหมด้วยครามธรรมชาติ พบว่า กำลังการผลิตเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อวัน โดยใช้แรงงานจำนวน 1 คน
- ขั้นตอนการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน มี 4 ขั้นตอน คือ
    - ก. การก่อหม้อคราม
    - ข. การเตรียมเส้นไหมก่อนย้อม – การแช่สารส้ม
    - ค. การย้อมสีครามธรรมชาติในไหมด้วยแรงคน
    - ง. การผนึกสีคราม

รายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม 1 กิโลกรัม มีดังนี้ คือ

ก. การก่อหม้อคราม

1. ชั่งครามเปียก 10 กิโลกรัม ใส่ลงในโอ่งดินเผาเคลือบ
2. ตวงน้ำด่างธรรมชาติ ปริมาตร 10 ลิตร เทใส่โอ่งดินเผาเคลือบใช้กระบวยกวนให้ครามและน้ำด่างธรรมชาติ รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ตวงน้ำมะขามเปียก ปริมาตร 10 ลิตร เทใส่โอ่งดินเผาเคลือบใช้กระบวยกวนให้คราม น้ำด่างธรรมชาติ และ น้ำมะขามเปียก รวมเป็นเนื้อเดียวกัน
4. นำโอ่งเคลือบดินเผาไปตากแดด

ข. การเตรียมเส้นไหมก่อนย้อม – การแช่สารส้ม

5. ชั่งเส้นไหม 1 กิโลกรัม
6. นำเส้นไหมมาแช่ในน้ำสารส้ม 10 ลิตร โดยใช้สารส้ม 50 กรัมต่อไหม 1 กิโลกรัม นาน 10 นาที
7. เมื่อครบเวลานำขึ้น แล้วบิดน้ำหมาด ปั่นแห้งหมาด
8. กระตุกให้เส้นไหมเรียงตัว

ค. การย้อมสีครามธรรมชาติในไหมด้วยแรงคน

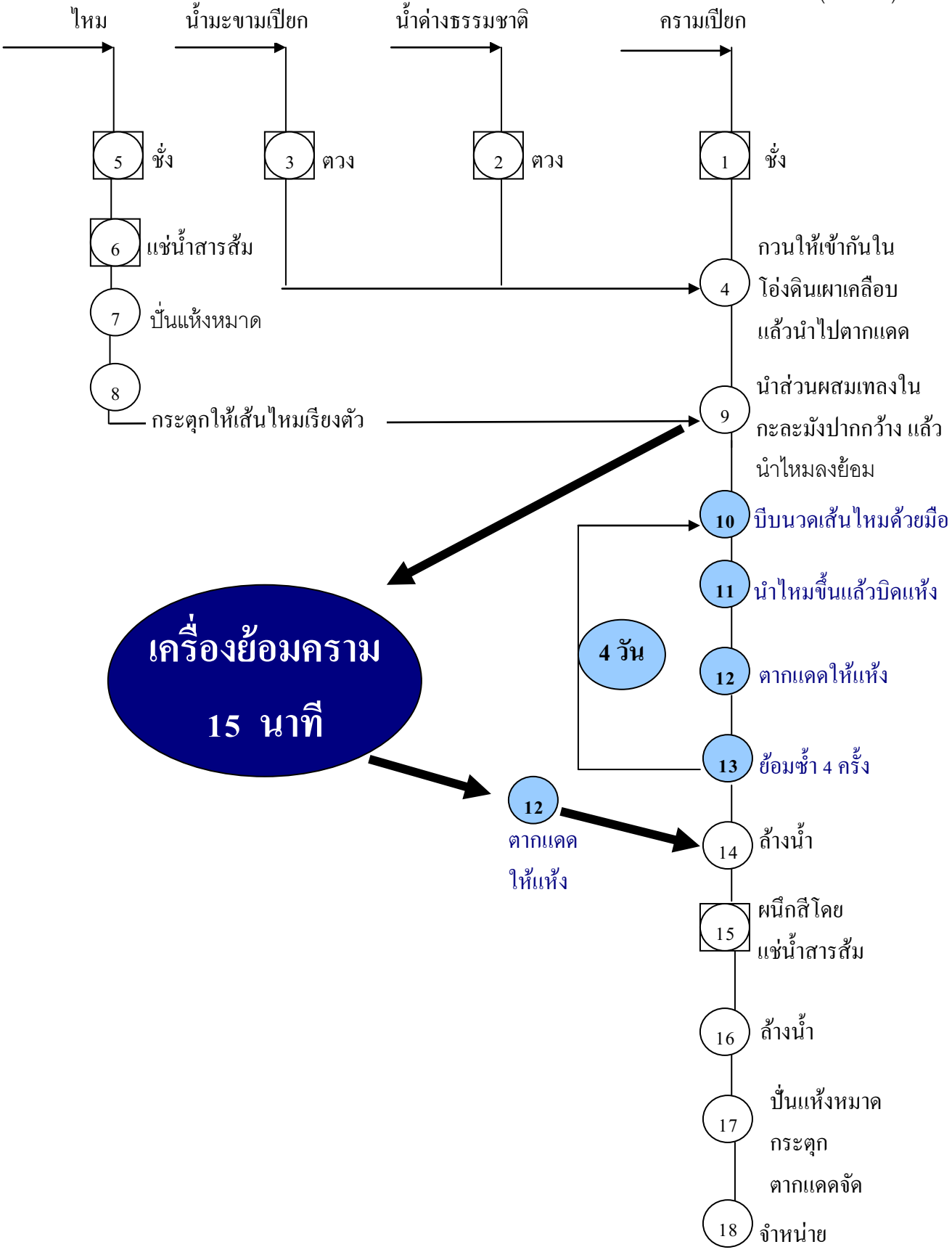
9. เทน้ำครามที่ได้จากการก่อหม้อครามจากข้อ 4 ลงในกะละมังปากกว้าง แล้วนำเส้นไหม จาก **ข้อ 8** ลงย้อมสีครามโดยใช้มือหนึ่งจับเข็ดไหม และใช้มืออีกข้างหนึ่งจับเส้นไหมจุ่มลงในกะละมังคราม นวดเส้นไหมสัมผัสกับน้ำครามอย่างทั่วถึง และ สม่ำเสมอ เป็นลำดับครบรอบไจ หมุนวงเข็ดไหมพร้อมเขย่าในน้ำย้อมคราม เพิ่มการนวดเฉพาะส่วนที่มีเชือกมัด ควรทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันสีด่าง ไจไหม 1 ไจใช้เวลาประมาณ 5 นาที

10. บิดเส้นไหมให้น้ำครามไหลกลับลงไปในกะละมังคราม ระวังอย่าให้เนื้อครามไหลออกนอกกะละมังเป็นการสูญเสียเนื้อคราม
11. กระตุกเส้นไหมให้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง นำไปตากแดด จนแห้งสนิท
12. หากต้องการสีเข้มมาก ให้นำเส้นไหมที่แห้งแล้ว ไปย้อมทับซ้ำอีก โดยไม่ต้องล้างครามเก่าออก แล้วนำไปตากแดด จนแห้งสนิท

ง. การผนึกสีคราม

13. นำเส้นไหมหลังการย้อมครามที่แห้งสนิทแล้ว ไปล้างน้ำจนใส
14. ผนึกสีคราม โดยนำไหมมาแช่ในน้ำสารส้ม 10 ลิตร โดยใช้สารส้ม 50 กรัมต่อไหม 1 กิโลกรัม นาน 10 นาที
15. เมื่อครบเวลา ล้างน้ำให้สะอาด บิดหมาด แล้วปั่นแห้งในเครื่องซักผ้า กระตุก ตากแดดจัด จะได้เส้นไหมสีคราม มัน และนุ่ม

สามารถแสดงเป็นแผนภูมิกระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม ดังแสดงใน **รูปที่ 19**



หมายเหตุ ○ หมายถึง การดำเนินงาน □ หมายถึง การตรวจสอบคุณภาพ และ ปริมาณ

รูปที่ 19 แผนภูมิกระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม

2. ผลการวิเคราะห์ปัญหาของการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน (Analysis of the Problem)

1. คุณภาพการย้อมไม่สม่ำเสมอ ย้อมไม่ติดสีหรือย้อมได้ไม่สมบูรณ์ สมบัติสีที่ได้ไม่คงทนต่อการซัก สิ้นเปลืองวัตถุดิบมาก
2. สิ้นเปลืองเวลาในการย้อม เกิดความเหนื่อยล้ามาก
3. ปริมาณการผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการ
4. ขาดแคลนช่างย้อมที่มีความชำนาญ เนื่องจากเป็นงานที่ต้องใช้ทักษะเฉพาะและประสบการณ์สูง
5. มีความเสี่ยงด้านสุขอนามัยของช่างย้อม

จากปัญหาที่พบในขั้นตอนการย้อมสีครามธรรมชาติ โครงการจึงเห็นว่า เครื่องย้อมครามมีความจำเป็นต่อขั้นตอนการย้อมครามในไหม ในขั้นตอนที่ 10 ถึงขั้นตอนที่ 13 ของ**รูปที่ 19** ซึ่งจะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

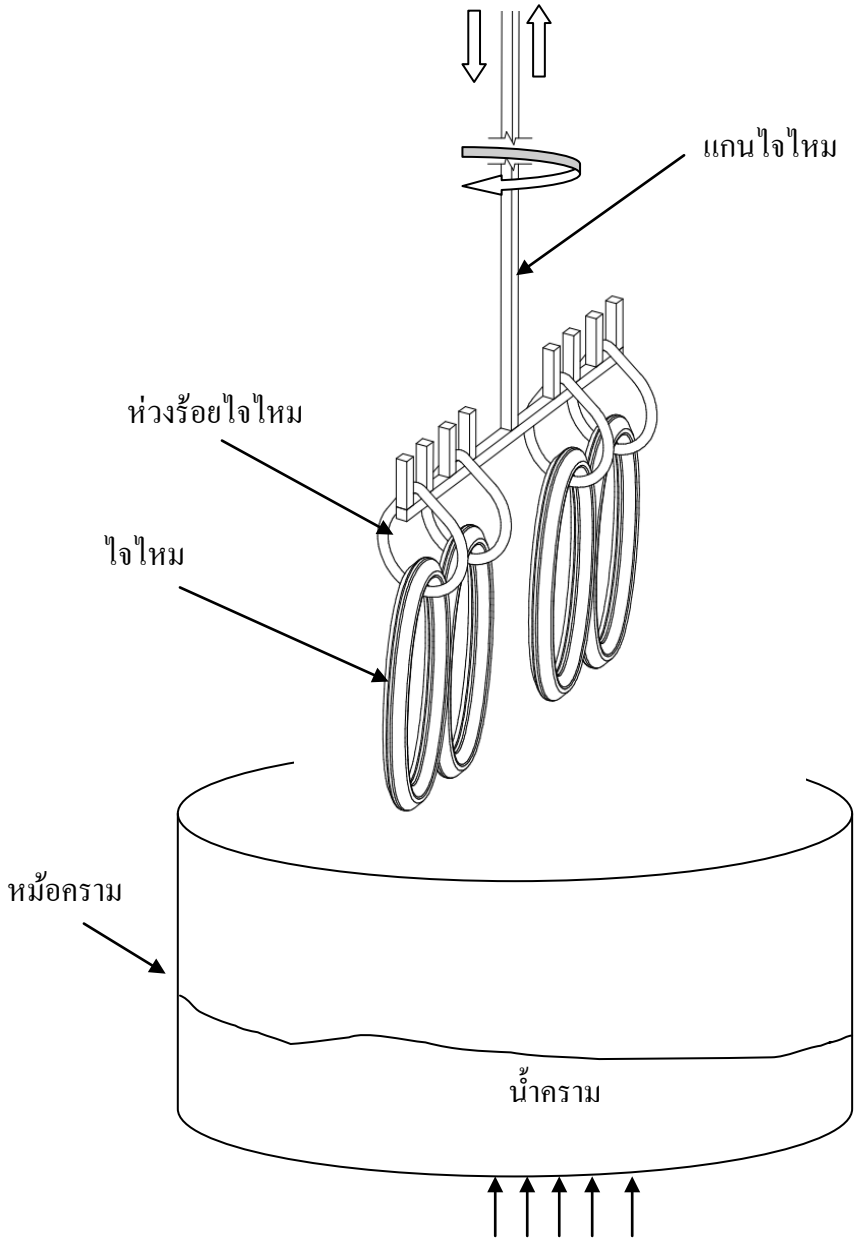
3. ผลการออกแบบเครื่องย้อมสีคราม

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการย้อมสีครามในไหมด้วยแรงคน พอสรุปได้ว่า คุณภาพของสีเส้นไหมหลังการย้อมคราม ขึ้นอยู่กับการควบคุมอุณหภูมิน้ำครามขณะย้อม จำนวนรอบที่นวดเส้นไหมให้น้ำครามเข้าสู่เส้นไหม การเคลื่อนที่เส้นไหมในน้ำคราม เวลาในการย้อมคราม และ การป้องกันไม่ให้อากาศสัมผัส ไหมซึ่งอยู่ใต้น้ำย้อม

โครงการจึงได้ออกแบบเครื่องย้อมครามในไหม ที่สามารถควบคุมคุณภาพการย้อมติดได้อย่างสม่ำเสมอ มีความคงทนของสีต่อการซักล้าง เพิ่มประสิทธิภาพการย้อมโดยที่ช่างย้อมไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์สูง และลดความเสี่ยงด้านสุขอนามัยของช่างย้อม โดยใช้แก๊สแอลพีจีเป็นแหล่งความร้อน และไฟฟ้าบ้านเป็นแหล่งพลังงานของมอเตอร์ต้นกำลัง เครื่องสามารถย้อมไหมได้ครั้งละ 4 ใจ หรือน้ำหนักตั้งแต่ 200 กรัมขึ้นไป และใช้คนทำงานเพียง 1 คน เครื่องย้อมครามในไหมมีส่วนประกอบหลัก 9 ส่วน คือ โครงเครื่องเหล็กเหนียว เตาคราม หม้อย้อมคราม แกนใจไหมที่ปรับระดับความสูงได้และสามารถหมุนได้ทั้งทิศตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกาแบบอัตโนมัติ ก้านยกแกนใจไหม มอเตอร์ต้นกำลัง และอุปกรณ์ส่งกำลัง กล่องป้องกันมอเตอร์ ฝากล่อง และ กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน

3.1 การออกแบบวิธีการแขวนไจไหมบนแกนไจไหม และลักษณะการทำงาน

การออกแบบวิธีการแขวนห่วงเส้นไหม ได้ทำเป็นแขนหมุนมีหลักและร่องแขวนห่วงไหมที่สะดวกต่อการใช้งาน ร่องใส่ห่วงแขวนไหมทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ห่วงไหมเลื่อนไป-มามากเกินไป สามารถแขวนไหมได้ตามปริมาณที่ต้องการ แกนสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ตามต้องการ ผู้ย้อมลดการสัมผัสกับน้ำครามโดยตรง เพื่อสุขอนามัยที่ดีขึ้น และสะดวกในการนำห่วงไหมเข้า-ออก และเพื่อให้เกิดการสมมาตรจึงได้ออกแบบให้มีภาระรับแรงได้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน ดัง **รูปที่ 20**



รูปที่ 20 วิธีการแขวนไจไหมบนแกนไจไหมและลักษณะการทำงานของเครื่อง

3.2 การออกแบบอุปกรณ์ต้นกำลัง

อุปกรณ์ต้นกำลัง มีให้เลือกใช้หลายระบบ แต่ละระบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน สำหรับเครื่องย้อมสีครามในไหมต้นแบบ การใช้มอเตอร์เกียร์ 120 วัตต์ ไฟฟ้า 220 โวลต์ ความเร็วรอบ 24 รอบ/นาที(ได้จากการทดลอง) เป็นชุดต้นกำลังที่เหมาะสม โดยนำข้อดีและข้อเสีย มาพิจารณาดังนี้

ข้อดี

1. ไม่ต้องการการหล่อลื่นตลอดอายุการใช้งาน
2. มีความเร็วรอบที่แน่นอน
3. ส่งกำลังที่เพลาอยู่ห่างกันมากได้
4. ใช้ได้กับกระแสไฟฟ้าตามบ้านเรือนทั่วไป
5. ส่งกำลังด้วยความเร็วรอบได้ตามที่ต้องการ
6. การบำรุงรักษาทำได้ง่าย

ข้อเสีย

1. มอเตอร์เกียร์ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไป

ขั้นตอนการศึกษาและคำนวณอุปกรณ์ต้นกำลัง มี 3 ขั้นตอน คือ

3.2.1 การหาแรงต้านเส้นไหมในหม้อย้อมสี

3.2.2 การหาโมเมนต์ฉุดสายพานที่เพลาส่งกำลัง

3.2.3 การหากำลังของมอเตอร์

3.2.1 การหาแรงต้านเส้นไหมในหม้อย้อมสี

แรงต้านระหว่างเส้นไหมกับน้ำคราม หรือแรง F ดัง **รูปที่ 21** สามารถหาได้จากการทดลอง โดยเลือกใช้ค่าตามแรงตัดเฉือนที่มากที่สุด คือ 0.25 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 0.25 x 9.81 = 2.45 นิวตัน ในการคำนวณจะใช้แรงตัดเฉือนที่ 2.45 นิวตัน

3.2.2 การหาโมเมนต์ฉุดสายพานที่เพลาส่งกำลัง

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$T = F \times r \qquad \ldots\ldots\ldots\

r คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของเพลาจนถึงจุดที่รับแรงต้าน

จะได้

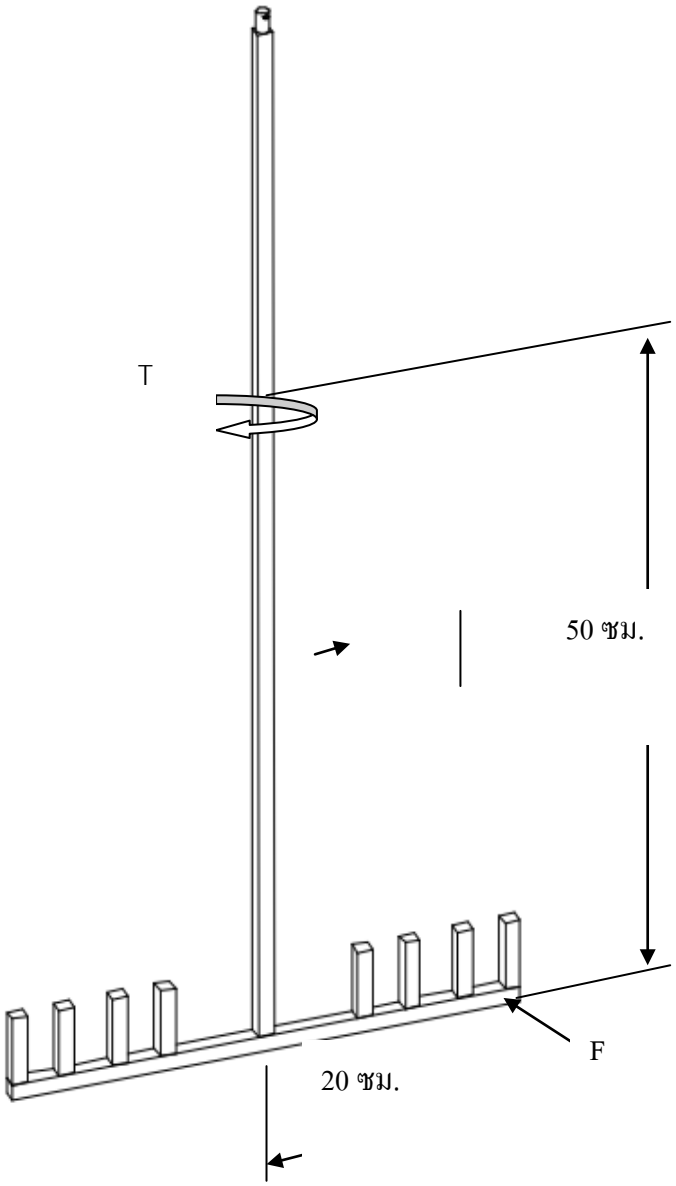
T = 2.45 x 200

= 490 นิวตัน มิลลิเมตร

3.2.3 การหากำลังของมอเตอร์

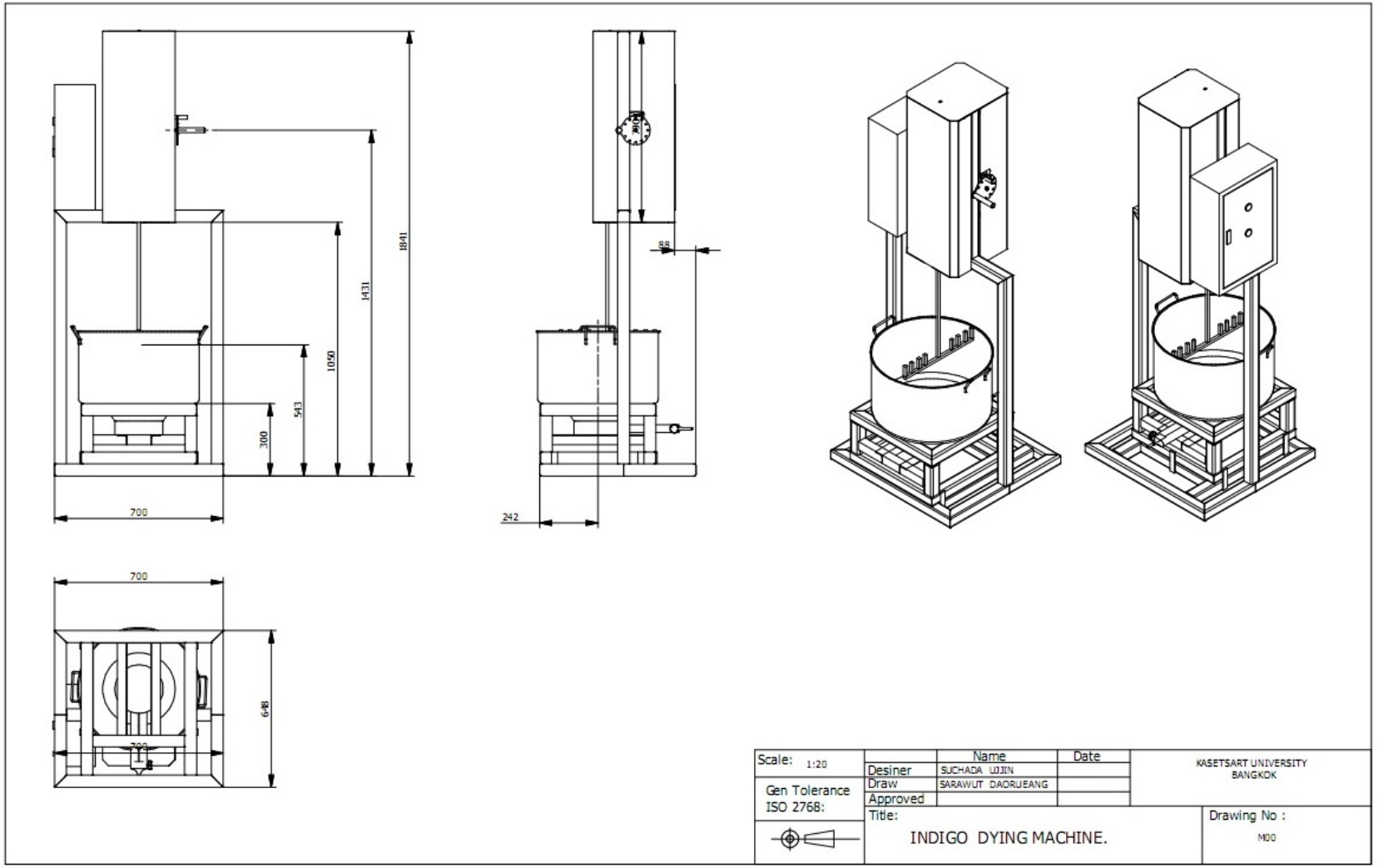
การหากำลังของมอเตอร์ สามารถหาได้ จาก**สมการที่ 2**

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \qquad \ldots\ldots\ldots\

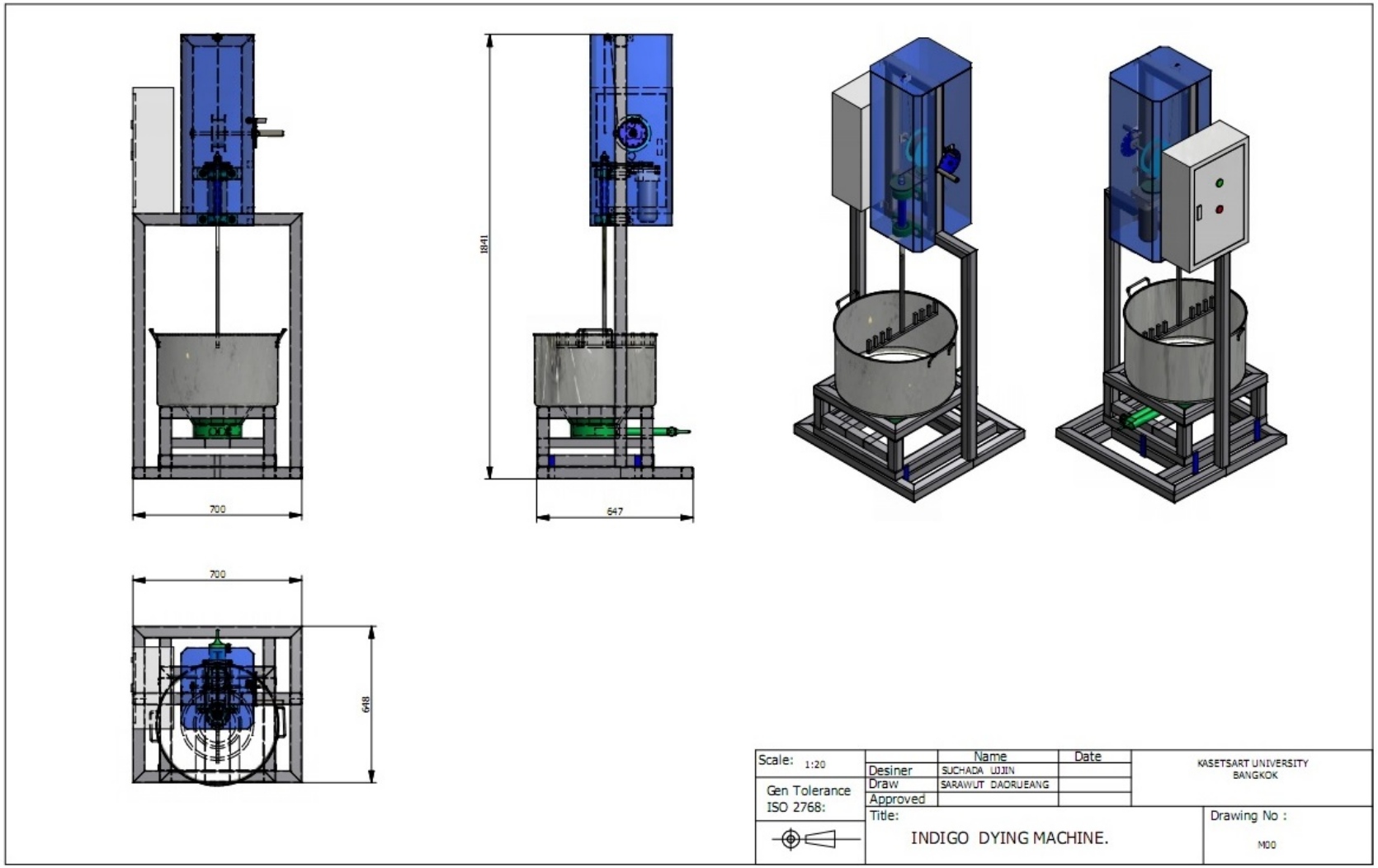


รูปที่ 21 แสดงการรับแรงของชิ้นส่วนเพลาขับ

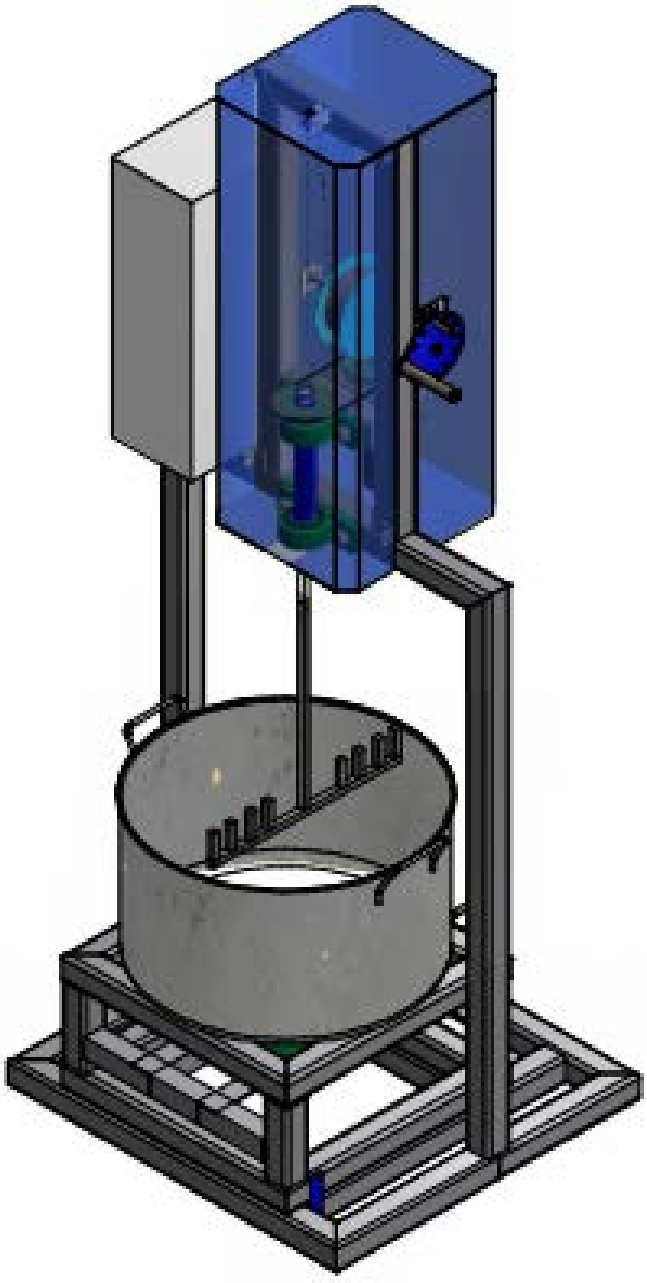
3.3 การเขียนแบบเครื่องย้อมสีคราม



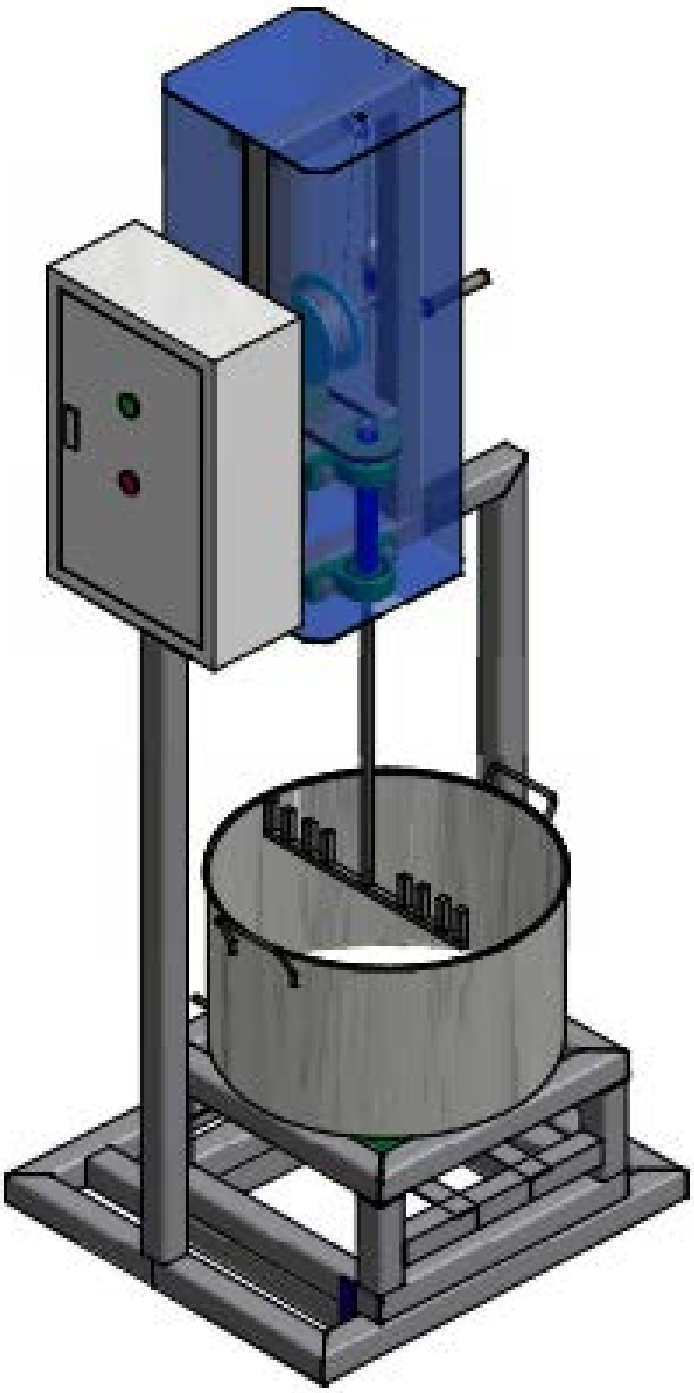
รูปที่ 22 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพขาวดำ)



รูปที่ 23 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี)

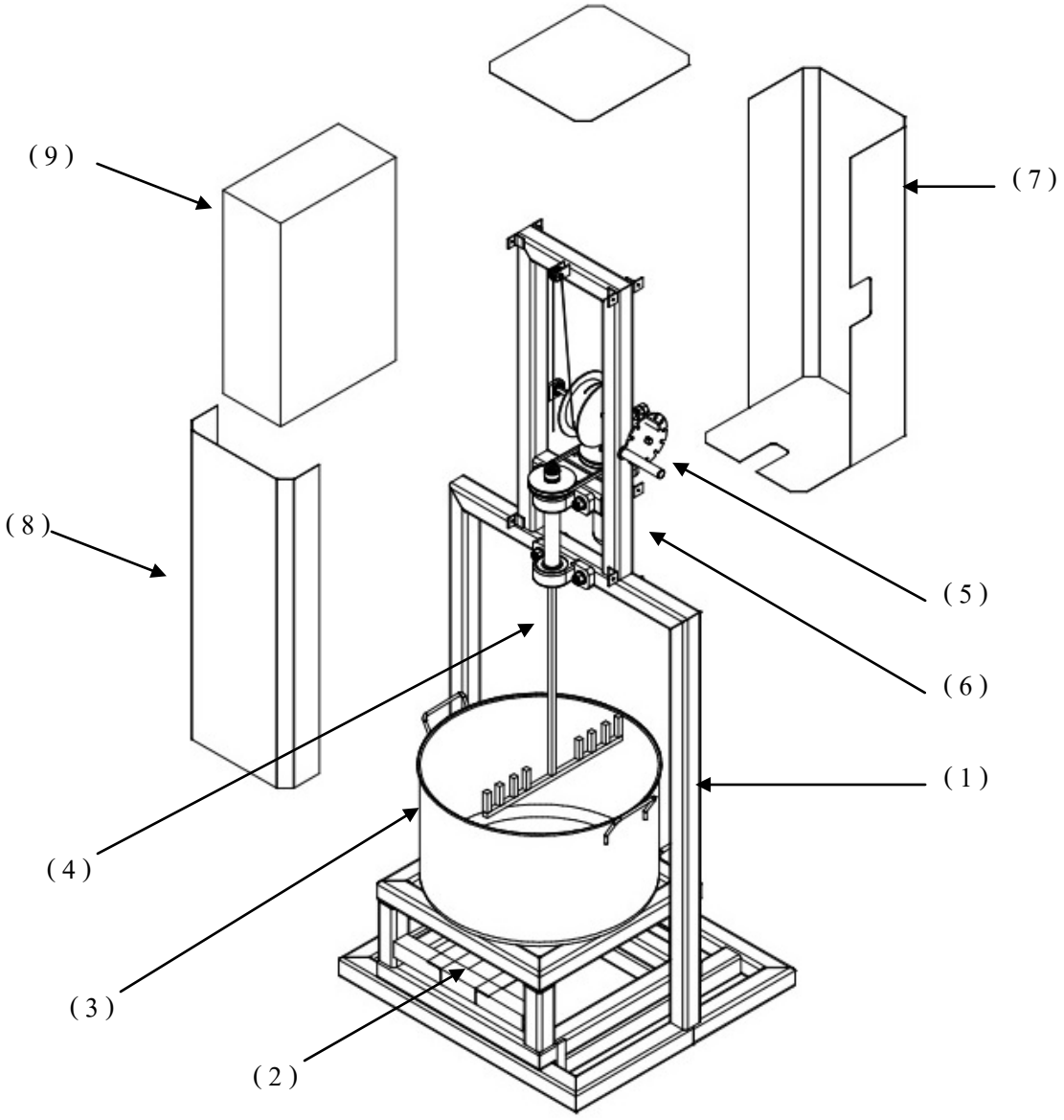


รูปที่ 24 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี)



รูปที่ 25 ลักษณะภาพด้านเครื่องย้อมสีครามในไหม (ภาพสี)

แบบแยกชิ้นส่วนประกอบ เครื่องย้อมสีคราม มีดังนี้



ชื่อส่วนประกอบ

1	โครงเครื่อง	6	มอเตอร์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลัง
2	เตาคราม	7	กล่องป้องกันมอเตอร์
3	หม้อคราม	8	ฝากล่อง
4	แกนไจไหม	9	กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน
5	ก้านยกแกนไจไหม		

รูปที่ 26 แบบแยกชิ้นส่วนประกอบเครื่องย้อมสีคราม

รายละเอียดชิ้นส่วนประกอบเครื่องย้อมสีครามในไหม

เครื่องย้อมสีครามในไหมมีขีดความสามารถย้อมไหมได้ครั้งละ 1 กก. ปริมาณที่ผลิตได้ต่อชั่วโมงเฉลี่ย เท่ากับ 1 กก.ไหม หรือ เท่ากับ 8 กก. ไหมต่อวัน

ลักษณะภาพชิ้นส่วนเครื่องย้อมสีครามในไหม และอุปกรณ์ ดังแสดงใน**รูปที่ 26** มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. **โครงเครื่อง (**Steel structure**)** โครงเครื่องเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ติดตั้ง เตาความร้อน หม้อย้อม ชุดแกนแขวนเส้นไหม มอเตอร์ต้นกำลัง และกล่องควบคุมการทำงาน พร้อมอุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ในระบบทั้งหมด

   คุณลักษณะทั่วไปของ**โครงเครื่อง** มีดังนี้

   - ทำจาก เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมโปร่งขนาด 2 นิ้ว หนา 3.2 มม. เชื่อมประกอบให้มีความคงทนแข็งแรง เป็นส่วนที่ไม่ได้สัมผัสน้ำคราม
   - ความสูง 1,841 มิลลิเมตร
   - ความกว้าง 700 มิลลิเมตร
   - ความยาว 648 มิลลิเมตร
   - ขนาดพื้นที่ใช้ในการติดตั้ง 800 x 800 มิลลิเมตร
   - น้ำหนัก 52 กิโลกรัม

2. **เตาคราม (**LPG burner**)** ทำจาก เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมโปร่งขนาด 2 นิ้ว หนา 3.2 มม. มีช่องสำหรับใส่เตาแก๊สเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อย้อม และมีฐานรองรับหม้อย้อมสี
3. **หม้อคราม (Dyeing Pot)** ทำจากสแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง 50ซม. สูง 35 ซม. มีหู 2 ข้าง มีความจุมากกว่า 30 ลิตร มีความคงทนต่อความเป็นด่างสูงที่ pH 12 และทนต่ออุณหภูมิสูงที่ 100°ซ
4. **แกนไจไหม (Silk Hanger Set)** ทำด้วยสเตนเลสตัน รูปสี่เหลี่ยมไม่เกิดสนิมขนาด 12 มม. ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแกนอยู่ในแนวตั้ง และส่วนแขนอยู่ในแนวนอน ความยาวแขน 400 มิลลิเมตร แขนมีหลักสำหรับยึดห่วงแขวนไหมข้างละ 4 หลัก หลักติดตั้งที่ปลายสุดของแขน หลักมีความสูงที่ 5 ซม. ห่างกัน 2.5 ซม. ความเร็วรอบในการหมุนซ้าย-ขวา 24 รอบต่อนาที
5. **ก้านยกแกนไจไหม (Rope Coil)** ทำจากเหล็ก ประกอบด้วยมือหมุน และ ล้อรองรับเส้นเชือก ซึ่งยึดติดกับแกนแขวนไหม **ชุดมือหมุน**ทำหน้าที่ปรับระดับความสูง ต่ำ ของแกนแขวนไหม และมีอุปกรณ์ล๊อกให้แกนแขวนไหมสูง – ต่ำอยู่ในระดับที่ต้องการ

6. มอร์เตอร์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลัง (Motor and transmission gear**)** มีคุณลักษณะทั่วไปดังนี้

6.1 มอเตอร์ขับ Single Phase Induction Motor 50 Hz. 220 V. 2.8 AMP.

6.2 ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,450 rpm.

6.3 ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 V. (4 POLE)

6.4 ต้นกำลังมอเตอร์เกียร์กระแสสลับ (AC) ขนาด 120 วัตต์

อุปกรณ์ชุดส่งกำลัง มีคุณลักษณะทั่วไปดังนี้

6.5 ชุดเกียร์ทดรอบ 1:55 รอบออกปลายเพลา 24 รอบต่อนาที

6.6 พลูเล่ขับ(Driver Pulley)ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว

6.7 พลูเล่ตาม (Driven Pulley) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว

6.8 ส่งกำลังด้วยสายพานลิ่มร่อง V Type E

7. กล่องป้องกันมอร์เตอร์ (Motor box) กล่อง ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุในขณะปฏิบัติงาน และสร้างความเรียบร้อย สวยงามให้แก่เครื่องย้อมสีคราม ทำจากเหล็ก หนา 1 มม.

8. ฝากล่อง (Motor cover) ฝากล่อง ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุในขณะปฏิบัติงาน และสร้างความเรียบร้อย สวยงามให้แก่เครื่องย้อมสีคราม ทำจากเหล็ก หนา 1 มม.

9. กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน (Motor control unit) ประกอบด้วย

9.1 ปุ่มเปิดการหมุนของแกนใจไหม

9.2 ลูกบิดปรับตั้งเวลาในการหมุนไปทางซ้าย

9.3 ลูกบิดปรับตั้งเวลาในการหมุนไปทางขวา

9.4 ปุ่มหยุดการหมุนของแกนใจไหม

4. ผลการสร้างเครื่องย้อมสีคราม สามารถแสดงใน **รูปที่ 27**

รูปที่ 27 ลักษณะภายนอกของเครื่องย้อมสีครามในไหม

รูปที่ 28 ลักษณะภายนอกของเครื่องย้อมสีครามในไหม

5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องย้อมสีครามที่มีผลต่อสมบัติการติดสีในไหมตามระบบ CIELAB

การทำงานของเครื่องย้อมสีครามในไหม มีขั้นตอนดังนี้

1. **<u>การเตรียมเครื่อง</u>** ยกแกนไจไหม ขึ้น ด้วยการหมุนก้านยกแกนไจไหม แล้วล็อคค้างไว้ ทำการเติมน้ำครามที่ผ่านกระบวนการก่อหม้อครามแล้ว ลงในหม้อย้อม และจุดแก๊สเตาครามให้อุณหภูมิที่ 40-50 องศาเซลเซียส
2. **<u>การบรรจุไจไหม</u>** ทำการห้อยยึดไจไหมที่ต้องการย้อมเข้ากับแกนไจไหม จากนั้นปลดล็อคและหมุนก้านยกแกนไจไหมลงให้แกนไจไหมและไจไหมจุ่มแช่ในน้ำครามธรรมชาติ
3. **<u>การย้อมสีคราม</u>** กดปุ่มเริ่มการย้อมคราม (START) ที่กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน มอเตอร์ต้นกำลังและอุปกรณ์ส่งกำลังจะส่งกำลังไปยังแกนไจไหม ให้หมุนต่อเนื่องโดยอัตโนมัติให้หมุนทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกาสลับกันไป โดยจะมีการหยุดการหมุนก่อนการกลับทิศการหมุนทุกครั้ง เมื่อหมุนครบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ มอเตอร์ต้นกำลังจะหยุดการหมุนและตัดไฟฟ้าเอง
4. **<u>การปลดไจไหมออก</u>** เมื่อเครื่องหยุดการทำงานแล้ว ทำการยกแกนไจไหมขึ้น ด้วยการหมุนก้านยกแกนไจไหมขึ้นแล้วล็อคค้างไว้ ปลดไจไหมออกจากแกนไจไหม เป็นอันเสร็จสิ้นรอบการย้อมครามธรรมชาติ และเครื่องย้อมครามจะพร้อมต่อการย้อมรอบต่อไป

ในการทดสอบและประเมินผลหลังการย้อมสีครามในไหม พบว่าการย้อมต้องใช้เวลาที่ 10-15 นาทีจะให้ผลการติดสีดีที่สุด **และ** เส้นไหมมีสมบัติความคงทนของสีต่อการซักในเกณฑ์ดีมากระดับ 5**ตารางที่ 9**

ตารางที่ 9 การทดสอบเปรียบเทียบเวลาการย้อมที่มีผลต่อค่าการติดสีของเครื่องย้อมสีครามในไหม

ชนิดวัตถุดิบ	กรรมวิธี	เวลาย้อม (นาที)	CIELAB Value					
			L*	a*	b*	h*	K/S	Lamda
เส้นไหม	เครื่อง	5	43.71 c	- 6.56 b	- 15.37 b	246.85 b	5.26 c	640
		10	38.31 a	- 5.38 a	- 16.46 a	251.92 a	7.58 a	640
		15	39.53 a	- 5.58 a	- 16.10 a	250.86 a	6.88 b	640
		20	42.02 b	- 6.31 b	- 15.11 b	247.35 b	5.77 c	640

น้ำครามที่พร้อมย้อม

น้ำครามในหม้อย้อม

ขณะย้อมคราม

รูปที่ 29 (ซ้ายบน) น้ำครามที่พร้อมย้อม (ซ้ายล่าง) เส้นไหมหลังย้อมสีคราม (ขวา) เครื่องย้อมสีครามในไหม

สภาวะที่เหมาะสมของการย้อมสีครามในไหมโดยใช้เครื่องต้นแบบ

- อุณหภูมิในการย้อม 40-50 องศาเซลเซียส
- เวลาในการย้อม ที่ 15 นาที
- ความเร็วรอบในการหมุนของแกนไจไหม ที่ 24 รอบต่อนาที
- วิธีการหมุนแกนไจไหม มี 3 ขั้นตอน คือ
    1. หมุนทวนเข็ม จำนวน 12 รอบ นาน 30 วินาที
    2. เวลาหยุดการหมุนก่อนการกลับทิศการหมุนทุกครั้งนาน 3-5 วินาที
    3. หมุนตามเข็มนาฬิกา 12 รอบ นาน 30 วินาที

6. ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหม

ในกรณีรับจ้างย้อมสีครามในไหม ผู้ย้อมได้แยกค่าวัตถุดิบไหมออกจากค่าจ้างย้อมสี ดังนั้น การศึกษาต้นทุนการผลิต จึงคิดเฉพาะค่าเครื่องย้อมสีครามในไหม สารช่วยย้อม ไฟฟ้า และ เชื้อเพลิงเท่านั้น

จากการเปรียบเทียบต้นทุนของการย้อมสีครามธรรมชาติในเส้นไหมด้วยมือกับการใช้เครื่องย้อมสีคราม โดยใช้คน 1 คน พบว่า มีค่าใช้จ่ายผันแปรที่ 325.92 และ 213.72 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายผันแปรของเครื่องย้อมสีครามได้ลดลงที่ร้อยละ 34.42 ส่วนกำลังการผลิตที่ 2 และ 8 กิโลกรัมต่อวันตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กำลังการผลิตของเครื่องย้อมเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 300 (**ตารางที่ 10**)

ตารางที่ 10 ข้อมูลการเปรียบเทียบข้อดีระหว่างการย้อมครามธรรมชาติในเส้นไหมด้วยมือกับการใช้เครื่อง

รายการที่เปรียบเทียบ	การย้อมสีครามด้วยมือ	การย้อมสีครามด้วยเครื่องจักร	เพิ่มขึ้น / ลดลง
1.จำนวนคนงาน	1 คน	1 คน	เท่าเดิม
2.ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อกิโลกรัม	325.92 บาท	213.72 บาท	ลดลง 34.42 %
3.กำลังการผลิตต่อวัน	2 กิโลกรัม	8 กิโลกรัม	เพิ่มขึ้น 300 %

หมายเหตุ : ไม่รวมค่าวัสดุไหม

ตารางที่ 11 แสดงรายละเอียดในการวิเคราห์หาต้นทุนการผลิต และในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหมครั้งนี้ พบว่า เครื่องย้อมสีครามในไหม ที่มีการใช้กำลังไฟฟ้า 120 วัตต์ สามารถย้อมสีครามไหมได้ 1 กิโลกรัม / ชั่วโมง หรือ 8 กิโลกรัมต่อวัน โดยใช้คนงานจำนวน 1 คน ค่าแรงงาน 300 บาทต่อวันโดย 1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง ดังนั้น ค่าแรงย้อมไหม 1 กิโลกรัมจึงมีค่าแรง 37.50 บาท ค่าสารส้ม 2 บาท ค่าครามเปียก 150 บาท ค่ามะขามเปียก 8.40 บาท ค่าแก๊ส 15.78 บาทต่อกก. ค่าไฟฟ้า 0.04 บาท/กก. รวมต้นทุนการรับจ้างย้อมไหม 1 กิโลกรัมที่ 213.72 บาท

หากในการนี้ได้รับค่าจ้างย้อม 600 บาทต่อกก. ทำให้ผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนผันแปร ที่ 386.28 บาทต่อกก. และหากต้นทุนคงที่ที่เป็นเครื่องมือและอุปกรณ์การย้อมที่ 30,700 บาท จะทำให้มีจุดคุ้มทุนที่ 10 วัน หรือ การย้อมไหมที่ 80 กิโลกรัม

สรุป จุดคุ้มทุนของเครื่องเมื่อทำงานเต็มประสิทธิภาพวันละ 8 ชั่วโมง จะทำการย้อมสีครามในไหมได้ 8 กิโลกรัม หากค่าจ้างย้อมไหมที่ 600 บาทต่อกิโลกรัม จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหมที่ 80 กิโลกรัม หรือ 10 วันทำงาน

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้แรงคนและเครื่องย้อมสีครามในไหม

การย้อมสีครามในไหมโดยใช้แรงคน 2 กก. ต่อวัน			
กำลังการผลิต	2	1	กก.
ค่าใช้จ่ายคงที่ หม้อเคลือบดินเผา กะละมัง กระบวย	2,700.00	2,700.00	บาท
ค่าใช้จ่ายผันแปร			
ค่าแรงงาน 1 คน	300.00	150.00	บาท
สารส้ม ใช้ 200 กรัม 20 บาท/กก.	4.00	2.00	บาท
ครามl0 กก/ไหม1กก,150บาท/กกใช้10%ไหม 2 กก.	300.00	150.00	บาท
มะขามเปียก 1.2 กก. 70 บาท/กก ใช้ 10% ไหม 2 กก.	16.80	8.40	บาท
แก๊ส 1.1กก/ชม.LPG19.13บาทเวลา30นาทีไหม 2 กก	21.04	10.52	บาท
น้ำด่างธรรมชาติ	10.00	5.00	บาท
รวมต้นทุน	651.84	325.92	บาท
ผลตอบแทน			
ค่าจ้างย้อมไหม 2 กก.ๆ ละ 600 บาท	1,200.00	600.00	บาท
ผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนผันแปร	548.16	274.08	บาท
ต้นทุนคงที่	2,700.00	2,700.00	บาท
รายได้ต่อวัน	548.16		บาท
ค่าจ้างย้อมครามธรรมชาติในไหม (บาท/กก)	600	600	บ./กก.
จุดคุ้มทุน	4.93		วัน
จุดคุ้มทุน ปรับเป็นวันทำงาน (วัน)	5		วัน
จุดคุ้มทุน การรับจ้างย้อมไหม (กก.)	10	10	กก.

การย้อมสีครามในไหมโดยเครื่องย้อมสีครามในไหม 8 กก./วัน			
กำลังการผลิต	8	1	กก.
ค่าใช้จ่ายคงที่เครื่องจักร กะละมัง กระบวย	30,700.00	30,700.00	บาท
ค่าใช้จ่ายผันแปร			
ค่าแรงงาน 1 คน	300	37.50	บาท
สารส้มใช้ 100 กรัม/กก 20 บาท/กก.ไหม 8 กก.	16	2.00	บาท
ครามl0กก/ไหม1กก, 150บาท/กกใช้10%ไหม 8 กก.	1,200.00	150.00	บาท
มะขามเปียก1.2 กก. 70 บาท/กก ใช้ 10%ไหม 8 กก.	67.2	8.40	บาท
แก๊ส 1.1กก/ชม.LPG19.13 บาทเวลา 45 นาทีไหม8กก	126.26	15.78	บาท
ไฟฟ้า 15นาที 120 วัตต์ 1.3576บาท/หน่วย ไหม 8 กก.	0.32	0.04	บาท
รวมต้นทุน	1,709.78	213.72	บาท
ผลตอบแทน		-	
ค่าจ้างย้อมไหม 8 กก.ๆ ละ 600 บาท	4,800.00	600.00	บาท
ผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนผันแปร	3,090.22	386.28	บาท
ต้นทุนคงที่	30,700.00	30,700.00	บาท
รายได้ต่อวัน	3,092.22		บาท
ค่าจ้างย้อมครามธรรมชาติในไหม (บาท/กก)	600	600	บ./กก.
จุดคุ้มทุน	9.93		วัน
จุดคุ้มทุน ปรับเป็นวันทำงาน (วัน)	10		วัน
จุดคุ้มทุน การรับจ้างย้อมไหม (กก.)	80	80	กก.

สรุปและเสนอแนะ

ในปี 2557 ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องย้อมสีครามในไหม ที่สามารถควบคุมคุณภาพการย้อมติดได้อย่างสม่ำเสมอ มีความคงทนของสีต่อการซัก เพิ่มประสิทธิภาพการย้อมโดยที่ช่างย้อมไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์สูง และลดความเสี่ยงด้านสุขอนามัยของช่างย้อม ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องประกอบด้วย โครงสร้างเหล็กเหนียว เตาคราม หม้อย้อมคราม แกนใจไหม ก้านยกแกนใจไหม มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง และอุปกรณ์ส่งกำลัง กล่องป้องกันมอเตอร์ ฝากล่อง และ กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ในการทำงานใช้แก๊สแอลพีจีเป็นแหล่งความร้อน และ ใช้ไฟฟ้าบ้านเป็นแหล่งพลังงานของมอเตอร์ เครื่องย้อมครามมีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน ทำให้การดูแลรักษาซ่อมบำรุงง่าย และสามารถสร้างโดยช่างในท้องถิ่นได้

จากการศึกษาจุดคุ้มทุนของเครื่องเมื่อทำงานเต็มประสิทธิภาพวันละ 8 ชั่วโมง จะทำการย้อมสีครามในไหมได้ 8 กิโลกรัม หากค่าจ้างย้อมไหมที่ 600 บาทต่อกิโลกรัม จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีครามในไหมที่ 80 กิโลกรัม หรือ 10 วันทำงาน

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างเครื่องย้อมสีครามในไหมให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตนี้ไปอย่างต่อเนื่อง เช่น

1. ปรับปรุงเครื่องย้อมสีครามในไหมให้มีรูปแบบกะทัดรัดมากขึ้น และราคาถูกลง
2. ถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับการย้อมครามทั้งในไหมและในฝ้ายเป็นวงกว้างมากขึ้น
3. เครื่องนี้สามารถใช้ได้ในกระบวนการอื่น ๆ อีก เช่น การลอกกาวไหม การย้อมสีเคมี และสีธรรมชาติอื่น เช่น สีแดงจากครั่ง และสีเหลืองจากมะพูด เป็นต้น

ส่วน C.

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีครามธรรมชาติในไหม

วิธีการ

ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีเหมาะสม “การก่อหม้อครามและการย้อมสีครามในไหม” สู่กลุ่มเป้าหมายจำนวน 11 กลุ่ม

ผลและวิจารณ์ผล

ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีเหมาะสม “การก่อหม้อครามและการย้อมสีครามในไหม” สู่จำนวน 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1

สถานที่จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การก่อหม้อครามและการย้อมสีครามในไหม” เป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีจาก ผลการวิจัยของโครงการ“สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมไหมด้วยสีแวตธรรมชาติ: สีคราม” ได้จัดขึ้นระหว่างวันพุธที่ 14 พฤษภาคม 2557 ถึงวันศุกร์ที่ 16 พฤษภาคม 2557 ณ กลุ่มมัดหมี่โฮลโบราณบ้านนาตัง 140 ม.8 ต. เขวาสินรินทร์ อ. เขวาสินรินทร์ จ. สุรินทร์

หลักสูตรในการฝึกอบรม มีรายละเอียดดังนี้

วันพุธ 14 พฤษภาคม 2557	8.30 - 12.00 13.00 - 16.30	- ลงทะเบียน เปิดการอบรม ชี้แจงโครงการ ทดสอบความรู้ - อบรมความรู้พื้นฐาน ไหม การลอกกาว การก่อหม้อคราม และย้อมครามด้วยมือ - สาธิตเทคนิคการก่อหม้อครา - สาธิตและฝึกปฏิบัติการย้อมสีครามในเส้นไหม โดยไม่ใช้สารเคมี
วันพฤหัสบดี 15 พฤษภาคม 2557	8.30 - 12.00 13.00 - 16.30	- สาธิตและฝึกปฏิบัติ(ต่อ) - สาธิตและฝึกปฏิบัติ(ต่อ)
วันศุกร์ 16 พฤษภาคม 2554	8.30 - 12.00 13.00 - 15.00 15.00-16.30	ทบทวนความรู้ ทบทวนความรู้ สรุปและปิดการฝึกอบรม

รายนามผู้เข้ารับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ “การก่อหม้อครามและการย้อมสีครามในไหม”

มีผู้เข้ารับการอบรม 30 คนจาก 7 กลุ่มดังนี้ คือ

ลำดับที่	กลุ่มที่	ชื่อ – สกุล	ชื่อกลุ่ม / ที่อยู่
1	1	นาง จารี เครือเนียม	กลุ่มมัดหมี่โฮลโบราณบ้านนาตัง
2		นางสาว สุนีย์ มุ่งดี	4 ม.8 ต. เขวาสินรินทร์ อ. เขวาสินรินทร์ จ.

3		นางไพโรจน์ ภาสุวรรณ์	สุรินทร์ กลุ่มมัดหมี่โฮลโบราณบ้านนาตัง
4		นางจำเนียร ภาสุวรรณ์	
5		นางสมศักดิ์ นุกสรรัมย์	
6		นางสาวปรางค์ทิพย์ พรหมบุตร	
7		นางสุเบ็ญ สติภา	
8	2	นาง พิมพนา ยืนยง	กลุ่มปลูกหม่อนเลี้ยงไหมบ้านพญาราม 25 หมู่ 9 บ้านพญาราม ต. เพี้ยราม อ. เมือง จ. สุรินทร์ 32000
9		นางสำบาย ยียง	
10		นางกาว กองทุน	
11		นางพจน์ ยืนยง	
12	3	นาง สายทอง เกาะรัมย์	กลุ่มปลูกหม่อนเลี้ยงไหมบ้านถนน 106 หมู่ 4 บ้านถนน ต. ชุมแสง จ. จอมพระ จ. สุรินทร์
13		นางสุวรรณ แสงกล้า	
14		นางอรุณี บุญมาก	
15		นางพลาย บุญเจริญ	
16	4	นางเมตตา ดัชถยาวัตร	กลุ่มปลูกหม่อนเลี้ยงไหมบ้านดู่ 25/1 หมู่ 5 ต.นารุ้ง อ. ศีขรภูมิ จ. สุรินทร์ 321101
17		นางทวี เนนกลาง	
18		นางสุวิน แสงเพชร	
19		นางนาง สุภนาง	
20	5	นางศิราพร จันนุบิน	กลุ่มทอผ้าไหมบ้านแยง 79/1 หมู่3 บ้านแยง อ. สังขะ จ. สุรินทร์ 32150
21		นางสาว กนิษฐา จันนุบิน	
22		นางจำนง จันนุบิน	
23		นาง กัลยา จันนุบิน	
24	6	นางสุดารัตน์ วังคะวิง	ศูนย์ศิลปาชีพกระสัง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์ บ้านบุ ต.ลำดวน อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์
25		นางสุทิษฐ์ รัตนวรรณ	
26	7	นางอรยา ผลสมหวัง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติฯ สุรินทร์ หมู่ที่ 4 ตำบลคอโค อำเภอเมือง จังหวัด สุรินทร์
27		นายสมศักดิ์ มะนู	
28		นายวิริยะ สุวรรณลา	
29		นางรจนา มะนู	
30		นางพฤหัส ตามเจริญ	

ครั้งที่ 2

สถานที่จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ได้จัดขึ้นระหว่าง" วันที่ 24 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2557 ณ กลุ่มผู้ประกอบการทอผ้าไหมและเขียนบาติก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา และ หลักสูตรในการฝึกอบรมดังนี้ คือ

เวลา	กิจกรรม
08.30 - 9.00	ลงทะเบียน
9.00 – 10.30	- เปิดการฝึกอบรม
	- ชี้แจงโครงการ
	- สอนความรู้การย้อมสีครามธรรมชาติในไหม โดยไม่ใช้สารเคมี
10.30 - 10.45	พัก น้ำชา - กาแฟ
10.45 - 12.00	- สาธิตและฝึกปฏิบัติการย้อมสีครามในเส้นไหม โดยไม่ใช้สารเคมี
12.00 - 13.00	รับประทานอาหารเที่ยง
13.00 - 14.30	- สาธิตและฝึกปฏิบัติการย้อมสีครามในเส้นไหม โดยไม่ใช้สารเคมี
14.30 - 14.45	พัก น้ำชา - กาแฟ
13.45 - 16.30	- สาธิตและฝึกปฏิบัติการย้อมสีครามในเส้นไหม โดยไม่ใช้สารเคมี - สรุปและปิดการฝึกอบรม

รายนามผู้เข้ารับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ มีผู้เข้ารับการอบรม 4 คนจาก 4 กลุ่มดังนี้ คือ

ลำดับที่	กลุ่มที่	ชื่อ – สกุล	ชื่อกลุ่ม / ที่อยู่
31	8	นาย สมยงค์ มงคล	กลุ่มผู้ประกอบการทอผ้าไหมและเขียนบาติก 143 หมู่ 7 ต. ตะคุ อำเภอปักธงชัย จ นครราชสีมา 30150
32	9	นาย สมศักดิ์ ปรีดาวิจิตรกุล	ศูนย์พัฒนาภูมิปัญญาอาชีพปักธงชัย 64 หมู่ 1 บ้านโคกศิลา ตำบลธงชัยเหนือ อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา 30150
33	10	นางศุภางค์ ต่างกล	กลุ่มไหมทองสุรนารี 189/5 หมู่ 2 ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา 30150
34	11	นายพัฒน์พงศ์ พาภักดี	กลุ่มหัตถกรรมผ้าไหมบ้านดู่29 หมู่ที่ 6 ตำบลเมืองปัก อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา 30150

รูปที่ 30 ถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมครามด้วยมือแก่เกษตรกร

สรุปและเสนอแนะ

ได้ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีการก่อหม้อครามแก่เกษตรกรจำนวน 34 ราย 11 กลุ่มใน 2 จังหวัด คือ จังหวัดสุรินทร์ และ จังหวัดนครราชสีมา

ข้อเสนอแนะ

โครงการกำลังดำเนินการจดอนุสิทธิบัตร เครื่องย้อมคราม เมื่อได้รับอนุสิทธิบัตรแล้ว ควรเผยแพร่และทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมครามโดยใช้เครื่องย้อมครามเป็นการต่อไป

สรุปและเสนอแนะ (ภาพรวม)

ในปี 2556 ได้ทำการศึกษาสภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติ หรือ สภาวะเหมาะสมในการก่อหม้อคราม โดยศึกษา 4 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนครามเปียก:น้ำมะขาม:น้ำด่างธรรมชาติ และระดับความเป็นด่าง การคัดเลือกสภาวะเหมาะสมโดยเปรียบเทียบสมบัติสีระบบ CIELAB ของเส้นไหม นอกจากนี้ได้ทำการย้อมทับสีครามบนเส้นไหม (Top repeated dyeing) แล้วทำการทดสอบสมบัติความคงทนของสี ผลการศึกษาพบว่า สภาวะเหมาะสมของกระบวนการรีดักชั่นของครามธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนเนื้อครามสีน้ำเงินให้เป็นสาร Leuco–indigo ซึ่งมีสีเหลืองปนเขียว และสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นไหมได้ในกระบวนการย้อม คือ LR 1:30 pH 12 อุณหภูมิ 90°ซ เวลา 30 นาที และมีอัตราส่วนของครามเปียก:น้ำมะขาม(pH 2.6):น้ำด่างธรรมชาติ(pH 10.3) ที่เหมาะสมจำนวน 3 ระดับ คือ 1:1.50:0.50, 1:1.75:0.25 และ 1:2:0 และเมื่อนำมาย้อมเส้นไหม พบว่าเส้นไหมมีสมบัติความคงทนของสีต่อการซัก ต่อเหงื่อ สภาวะด่างและสภาวะกรด ต่อน้ำ และ การกดทับด้วยความร้อน ในเกณฑ์ดีมากระดับ 5 ส่วนความคงทนของสีต่อแสงซีนอนอาร์กที่ 20 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าเกณฑ์ดีพอใช้ (Fair good) ระดับมากกว่า 4

ในปี 2557 ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องย้อมสีครามในไหม ที่สามารถควบคุมคุณภาพการย้อมติดได้อย่างสม่ำเสมอ มีความคงทนของสีต่อการซัก เพิ่มประสิทธิภาพการย้อมโดยที่ช่างย้อมไม่จำเป็นต้องมีประสบการณ์สูง และลดความเสี่ยงด้านสุขอนามัยของช่างย้อม ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องประกอบด้วย โครงสร้างเหล็กเหนียว เตาคราม หม้อย้อมคราม แกนใจไหม ก้านยกแกนใจไหม มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลัง และอุปกรณ์ส่งกำลัง กล่องป้องกันมอเตอร์ ฝากล่อง และ กล่องไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ในการทำงานใช้แก๊สแอลพีจีเป็นแหล่งความร้อน และ ใช้ไฟฟ้าบ้านเป็นแหล่งพลังงานของมอเตอร์ เครื่องย้อมสีครามมีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน ทำให้การดูแลรักษาซ่อมบำรุงง่าย และสามารถสร้างโดยช่างในท้องถิ่นได้ นอกจากนี้สามารถใช้เครื่องนี้ได้ในกระบวนการอื่นอีก เช่น การลอกกาวไหม การย้อม สีเคมี และสีธรรมชาติอื่น เช่นครั่งและมะพูด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ไพศาล คงคาฉุยฉาย, อรุณศิริ ชิตางกูร และ เฉลียว หมัดอิ๊ว. 2543. รายงานโครงการวิจัยการพัฒนาเทคนิคการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจากครามและครั่ง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

โมโตอิ มินะกาวะ, เออีอีชิ คาวาอิ และเข็มชัย เหมะจันทร. 2530. วิทยาการไหมเล่ม 1. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไทย. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

ลัดดา องอาจมณีรัตน์. 2537. สีแห่งอารยธรรม. บริษัทนิปปอนโปรดักส์ชั่นเซอร์วิส จำกัด (NPS)ช่อง 9 อสมท, กรุงเทพฯ.

วนิดา สุบรรณเสณี, สมควร ควิตชาติ และประเชิญ สร้อยทองคำ. 2531. สีธรรมชาติจากพืชและสัตว์ในประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ. 2528. สีย้อมธรรมชาติ (สีสมุนไพร). กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (8): 5-6.

สกาวรัตน์ หิรัญกิจมงคล. 2543. จลนพลศาสตร์และอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีครามธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาดา อุชชิน และ ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร. 2554. คู่มือเทคนิคการย้อมสีธรรมชาติในไหม. ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6 ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 156 หน้า

Milner, A. 1992. The Ashford Book of Dyeing. Hong Kong through Bookprint Consuktants Ltd. Wellington.

Gillow, J. and N. Bernard. 1994. Traditional Indian Textiles. Singapore National Printers Ltd., Singapore.

Sawada, K. and M. Ueda. 2007. Optimization of dyeing poly(lactic acid) fibers with vat dyes. Dyes and Pigments. Volume 74, Issue 1, 2007, Pages 81-84. Available Source: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143720806000490

Miyoko Kawahito. 2006. Natural and Synthetic Indigo Color in Silk and Cotton Cloth. Sen'i Gakkaishi, Vol. 62, No. 1, pp.1-5 .

Kongkachuichay, P., A. Shitangkoon and S. Hirunkimonkon. 2010. Thermodynamics study of natural indigo absorption on silk yarn. Chiang Mai Journal Science. 2010; 37Z2X : 363- 367.

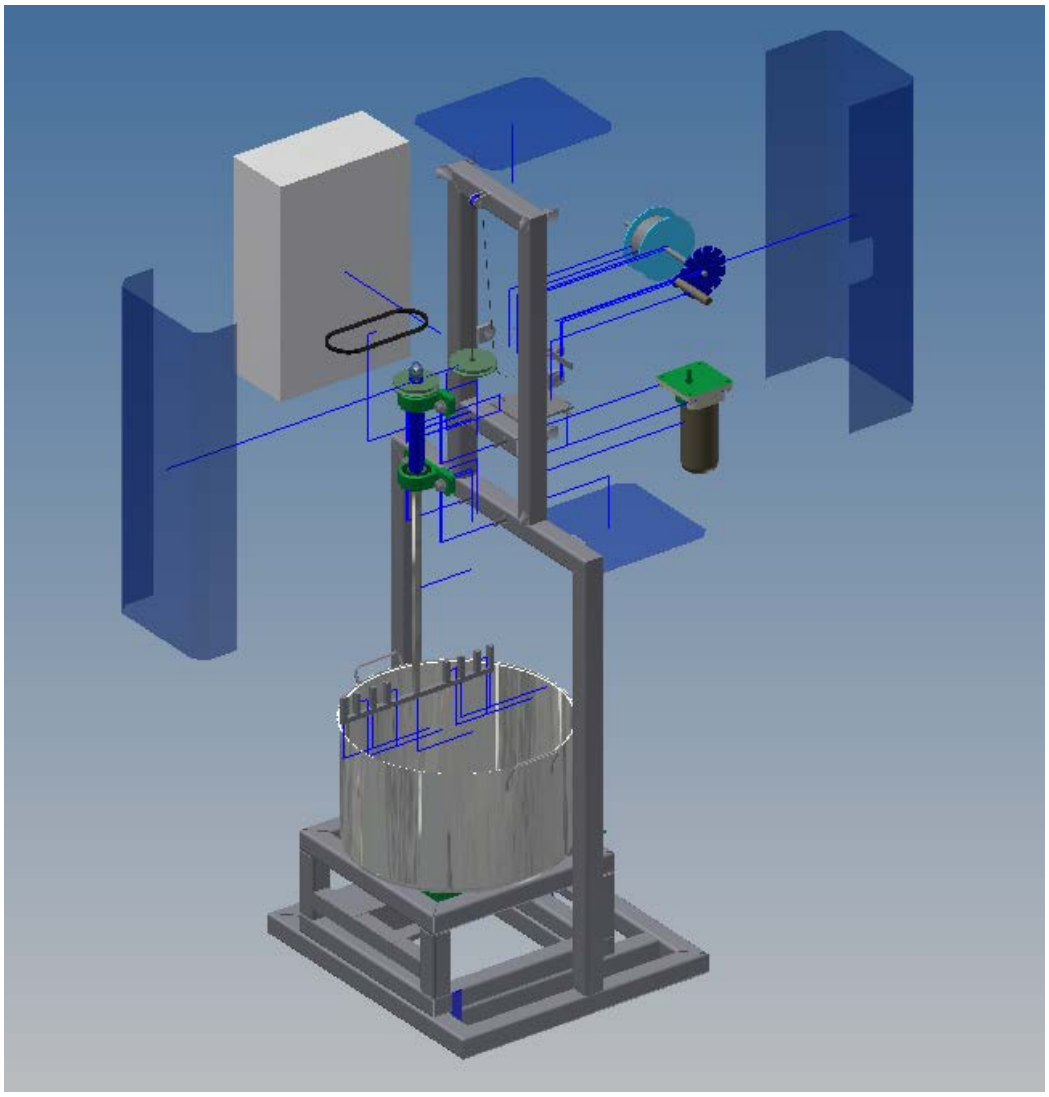
Standley, P.C. and J.A. Steyermark. 1964. Flor of Guatemala. Fieldiana, Bot.

Trotman, E.R. 1984. Textile Processing and Properties, Preparation Dyeing, Finishing and Performance Elasvier Sciene. B.V., Amsterdam.

……

ภาคผนวก

คู่มือแนะนำการใช้งาน เครื่องย้อมสีคราม



จัดทำโดย

สุชาดา อุชชิน และ คณะ

มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

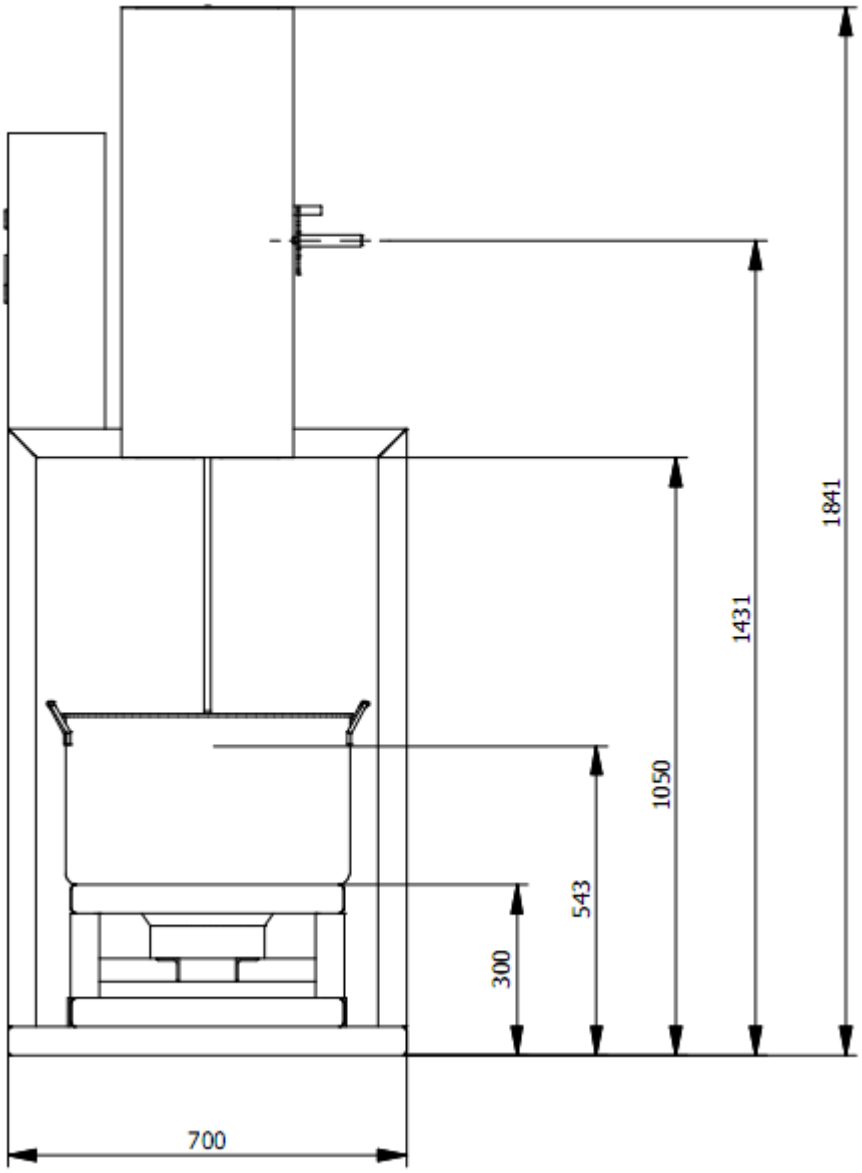
กรุงเทพมหานคร

2557

คุณลักษณะของเครื่องย้อมคราม

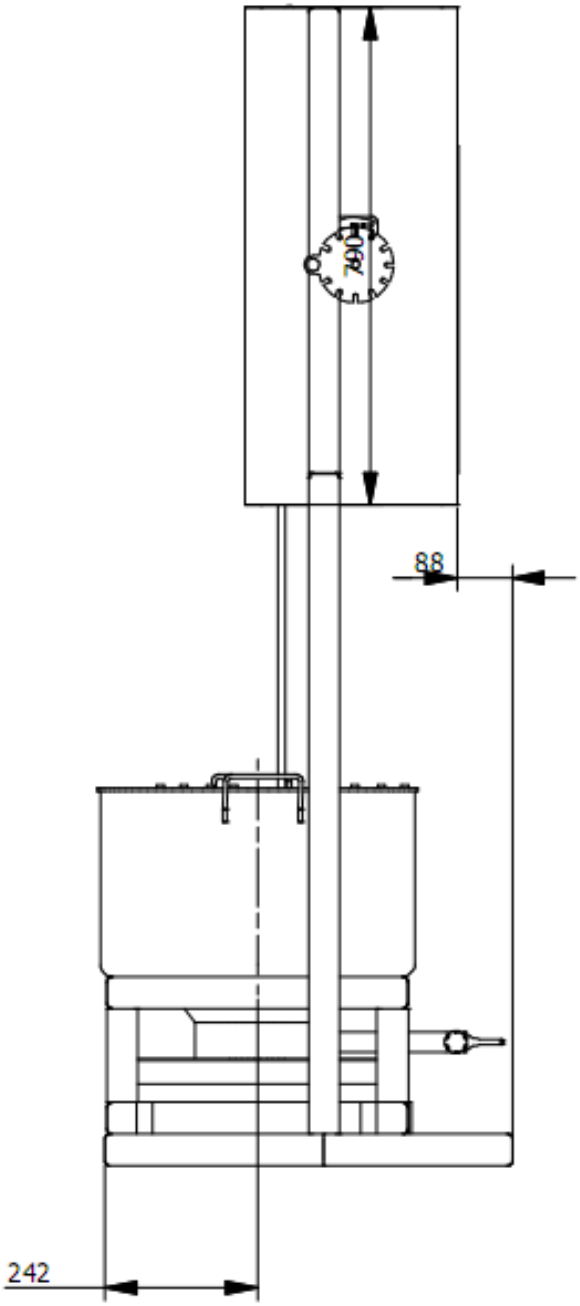
(SPECIFICATION)

ภาพด้านหน้า



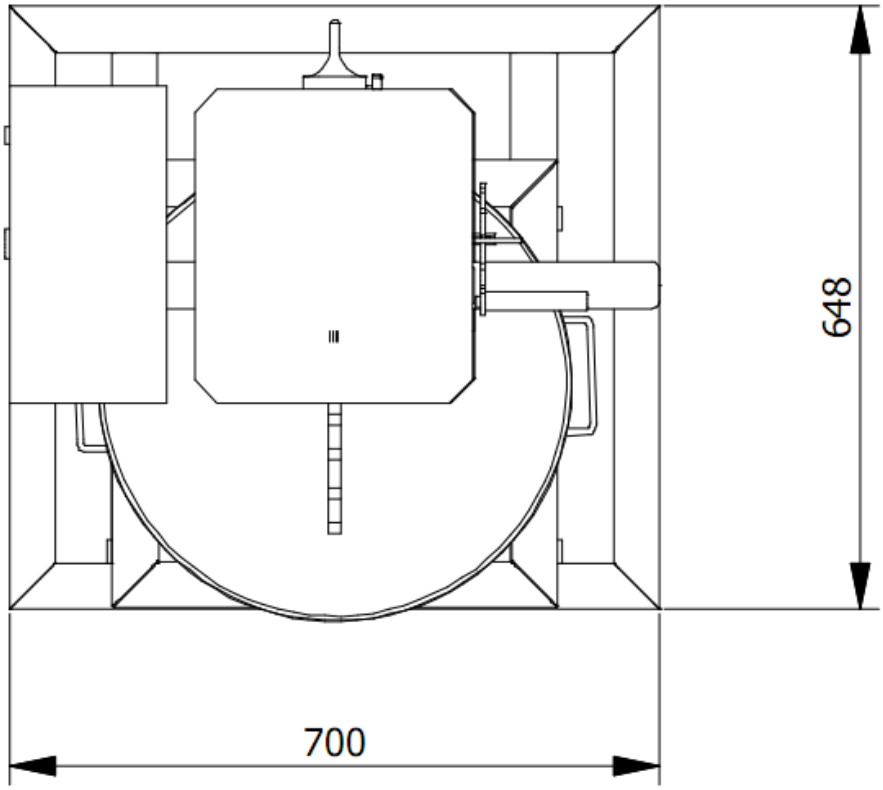
รูปผนวกที่ 1-1 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องย้อมคราม

ภาพด้านข้าง



รูปผนวกที่ 1-2 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องย้อมคราม

ภาพด้านบน



รูปผนวกที่ 1-3 แสดงภาพด้านบนของเครื่องย้อมสีคราม

คุณลักษณะทั่วไปของเครื่อง

เครื่องย้อมคราม	
ขีดความสามารถ	- ย้อมไหมได้ครั้งละ 1 กก. - ปริมาณการผลิตที่ผลิตได้ต่อชั่วโมงเฉลี่ย เท่ากับ 1 กก. ไหม - ปริมาณการผลิตที่ผลิตได้ต่อวันเฉลี่ย เท่ากับ 8 กก. ไหม
แกนไจไหม	- ความเร็วรอบในการหมุน 24 รอบต่อนาที - ความยาวบริเวณแขวนไหม 400 มิลลิเมตร - ทำด้วยสเตนเลส ไม่เกิดสนิม
มอเตอร์ไฟฟ้า	- มอเตอร์ขับ Single Phase Induction Motor 50 Hz. 220 V. 2.8 AMP. - ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,450 rpm. - ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 V. (4 POLE) - ต้นกำลังมอเตอร์เกียร์ ขนาด 120 วัตต์
ชุดส่งกำลัง	- ชุดเกียร์ทดรอบ 1:55 รอบออกปลายเพลา 25 รอบต่อนาที - พลูเล่ขับ 4 นิ้ว - พลูเล่ตาม 4 นิ้ว - ส่งกำลังด้วยสายพานลิ่มร่อง V Type E
ขนาดโครงเครื่อง	- ความสูง 1841 มิลลิเมตร - ความกว้าง 700 มิลลิเมตร - ความยาว 648 มิลลิเมตร - ขนาดพื้นที่ใช้ในการติดตั้ง 800x800 มิลลิเมตร - น้ำหนัก 52 กิโลกรัม

การติดตั้งและการบำรุงรักษา

1. การเลือกสถานที่ติดตั้งเครื่อง

เมื่อเลือกสถานที่ติดตั้งเครื่องย้อมสีคราม ควรที่จะปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 ควรเป็นสถานที่ง่ายต่อการซ่อมบำรุง

1.2 รอบๆเครื่องจักรไม่ควรวางสิ่งของต่างๆเกะกะ และกวาดพื้นให้แห้งและสะอาดอยู่เสมอ เพื่อป้องกันอันตรายอันเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

1.3 ในการติดตั้งควรปรับระดับเครื่องให้มีระดับเสมอกัน

2. กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า

ในการเดินสายไฟฟ้าจาก Main หลักเข้าเครื่องจักร ควรจะกระทำโดยช่างไฟฟ้าเท่านั้น และควรที่จะร้อยสายไฟฟ้าเข้าในท่อเพื่อป้องกันอันตราย

3. การติดตั้ง

พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งจะต้องเลือกให้ถูกต้อง เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีอายุการใช้งานที่ดียาวนาน มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

3.1 สถานที่ตั้ง

3.1.1 พื้นที่ติดตั้งเครื่องต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และเป็นพื้นที่ราบสม่ำเสมอ

3.1.2 การติดตั้งเครื่องควรห่างจากบริเวณที่เปียกชื้น และมีน้ำขังตลอดเวลา

3.1.3 ควรติดตั้งในสถานที่สะดวกต่อการซ่อมบำรุง

3.2 การปรับระดับ

ควรติดตั้งในบริเวณพื้นที่ราบเรียบ

3.3 การทำความสะอาด

ควรทำความสะอาดคราบสกปรก เศษฝุ่นละออง และสิ่งสกปรกออกจากตัวเครื่องก่อนใช้งาน

3.4 การต่อ/เดินสายดิน

การต่อ/เดินสายดินไม่ควรต่อร่วมกันกับเครื่องจักรชนิดอื่นๆ หรือเครื่องจักรที่เกิดประจุไฟฟ้า เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อื่นๆ โดยมากมักจะต่อกับโครงเหล็กของสถานที่ทำงานหรือโครงเหล็กของโรงงาน เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

การทำความสะอาดและการบำรุงรักษาหลังจากการใช้งาน

เมื่อใช้งานการย้อมครามด้วยเครื่องเรียบร้อยแล้ว ผู้ปฏิบัติงานควรปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิตช์เบรกเกอร์การทำงานของเครื่อง
2. ใช้ผ้าสะอาดเช็ดทำความสะอาดเครื่องทั้งภายใน และภายนอกให้แห้งสนิท
3. ใช้น้ำมันชโลมชิ้นส่วนที่มีการหมุน เช่น แบริ่ง
4. ล้างหม้อต้มให้สะอาด