

การศึกษากระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติบนผ้าฝ้าย
The Study of natural indigo dyeing processic on cotton

พรพิมา ปรีชา
Pronpima Precha

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Bachelor of Science Project in Chemistry
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

2552

ชื่อโครงการวิจัย กระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติบนผ้าฝ้าย

ผู้ทำวิจัย นางสาวพรพินา ปรีชา

สาขาวิชา เคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดกมล ลาโสภา)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดกมล ลาโสภา)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปวีณา ปรวัฒน์กุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์อานันท์นิตย์ คู่ขยอกสุข)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี

.....

(อาจารย์เน่งน้อย แสงเสนห์)

ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง กระบวนการซ่อมสักรามธรรมชาติบนผ้าฝ้าย ได้พิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากหลายฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาเคมี เจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ ได้ช่วยเหลือส่งเสริมสนับสนุน อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุกกมล ลาโสภา ให้คำปรึกษาข้อมูล คำแนะนำในการวิจัย ตลอดจนได้ตรวจ แก้ไขรูปเล่มวิจัย

ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือซึ่งไม่ได้กล่าวถึง ตลอดจนขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับบิดามารดาและเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดเวลาในการทำวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

พรพินา ปรีชา

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
ระยะเวลาทำการวิจัย	3
แผนการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
สีย้อม	4
สีย้อมธรรมชาติ	4
สีย้อมสังเคราะห์	4
คราม	5
ลักษณะทั่วไปของต้นคราม	5
วิธีการปลูกครามและการเก็บเกี่ยว	5
เคมีของสีคราม	6
จลนพลศาสตร์	7
กระบวนการย้อมสีคราม	10
การเตรียมเนื้อคราม	10
การเตรียมสีคราม	10
การย้อมสีคราม	13
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสีกับเส้นใย	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
อัตราการใช้ของสี	15
ปัจจัยที่มีผลในกระบวนการย้อมสี	15
UV – Spectrophotometer	16
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	21
อุปกรณ์ – เครื่องมือและสารเคมี	21
วิธีการทดลอง	22
การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง	22
การเตรียมครามผง	22
การเตรียมน้ำจืด	22
สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักใบคราม	23
ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	23
ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	23
ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	23
เวลาที่ใช้ในการทำให้สีครามเกิดปฏิกิริยารีดักชันอย่างสมบูรณ์	24
ศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักใบคราม	24
เตรียมกราฟมาตรฐานของอินดิโก	24
การหมักใบครามที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	25
วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	25
ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมสีคราม	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	26
การปลูกคราม	26
การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง	26
สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักใบคราม	27
สภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	27
ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	28
ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	28
เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	29
เตรียมกราฟมาตรฐานของอินดิโก	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
น้ำหนักใบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ	30
วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ	31
จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการหมักใบครามให้ได้อินดิโก	33
สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมสีคราม	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	45
ประวัติผู้ทำวิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ผลผลิตไบคราม	24
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและน้ำหนักต่อไบครามสดของคราม	24
ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำจืดได้ไม้สดแต่ละชนิด	25
ตารางที่ 4 ผลของน้ำหนักห่อในการหมักไบครามรูปแบบต่าง ๆ	28
ตารางที่ 5 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	39
ตารางที่ 6 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์	39
ตารางที่ 7 เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	40
ตาราง 8 น้ำหนักไบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ	40
ตารางที่ 9 น้ำหนักไบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ (ต่อ)	41
ตารางที่ 10 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	42
ตารางที่ 10 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิแคนที่หายไปในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ	43
ตารางที่ 11 หาความเข้มข้นของสีฟ้าในการเตรียมสีครามที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 ลักษณะของไบคราม	5
รูปที่ 2 ปฏิกริยาทั้งหมดของกระบวนการทำสีคราม	7
รูปที่ 3 กลไกการย้อมสีแบบรวมกลุ่มของสีที่ไม่ละลายในโพรงของเส้นใย	12
รูปที่ 4 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer	16
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสง ของสีอินดิโกมาตรฐาน	27
รูปที่ 6 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีอินดิโกมาตรฐาน	28
รูปที่ 7 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีอินดิโกมาตรฐาน	28
รูปที่ 8 เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	29
รูปที่ 9 กราฟมาตรฐานของสีอินดิโก	29
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครามกับเวลาในการหมักที่อุณหภูมิต่าง ๆ	28
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการหมักไบครามกับปริมาณอินดิโกที่เวลาต่างๆ	30
รูปที่ 12 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการหมักไบครามให้ได้อินดิโก	32
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงอินดิเคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิห้อง	33
รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอินดิเคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงอินดิเคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 16 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	34
รูปที่ 17 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	35
รูปที่ 18 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	35

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีว่าสีนิกโกหรือสีครามเป็นสีย้อมธรรมชาติที่เก่าแก่มาก พบหลักฐานในหลุมฝังศพของคนจีนที่มีอายุประมาณ 6000 ปี ประชากรที่อาศัยในเขตร้อนของโลกล้วนเคยทำสีครามจากต้นไม้นานาชนิดต่างๆ ตามภูมิภาคนั้นๆ สีครามเป็นสีที่ใช้กันมากในสมัยก่อน เพราะสีครามเป็นสีที่สวยและสด ต่อมาในปี 1914 โลกมีการใช้สีครามลดลง เนื่องจากได้พัฒนาไปสู่ยุคของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การย้อมสีจึงนิยมใช้สีย้อมสังเคราะห์มากกว่าสีย้อมธรรมชาติเพราะสีย้อมสังเคราะห์เป็นสีที่สามารถติดเนื้อผ้าได้ดี ทนต่อการซักและแสงแดด สะดวกรวดเร็วในการย้อม แต่มีราคาแพง และที่สำคัญ คือ น้ำย้อมสีที่เหลือจากกระบวนการย้อมสีก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น โครเมียม ดีบุก และตะกั่ว ต่อได้มีการสำรวจตามหมู่บ้านที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมสังเคราะห์ พบว่าชาวบ้านน้ำย้อมที่เหลือลงลำธารณะหรือไปรวมไว้ที่บ่อพักโดยไม่มีการบำบัดอย่างถูกวิธี นอกจากนี้ผู้ย้อมยังละเลยเรื่องความปลอดภัยต่อสุขภาพของตัวเองและผู้ใกล้ชิด โดยไม่มีการป้องกันการรับสารพิษจากสีย้อมทั้งการสัมผัสโดยตรงและสูดดม เนื่องจากการย้อมต่อเนื่องเป็นเวลานาน 10 ปี ทำให้ปัญหาเหล่านี้เกิดผลในภายหลัง นอกจากนี้อาจมีปัญหามาจากสารเคมีตกค้างในเนื้อผ้าทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้

สำหรับการย้อมสีธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิมที่ชาวบ้านใช้ย้อมผ้ามาแต่โบราณ แต่หลังจากมีการผลิตสีสังเคราะห์ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 (Smith และ Wagner, 1991) และมีการพัฒนาจนเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางไปทั่วโลก รวมทั้งในประเทศด้วย ซึ่งมีผลทำให้การย้อมสีธรรมชาติได้รับความนิยมน้อยลงอย่างมาก สาเหตุหลักสรุปได้ว่า สืบเนื่องมาจากการขาดองค์ความรู้ทางด้านกระบวนการย้อม ทำให้การย้อมส่วนใหญ่เป็นการลองผิดลองถูก เป็นความลับเฉพาะกลุ่มขาดการสืบทอดที่ดี คุณภาพของสีที่ได้ยังไม่อยู่ในระดับที่สูงพอ เป็นที่ยอมรับเชิงการค้า โดยเฉพาะความคงทนต่อแสงแดด คุณภาพที่ได้ไม่สม่ำเสมอ และยากที่จะทำซ้ำเป็นจำนวนมากได้

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจอย่างมากที่จะศึกษาแนวทางกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ โดยได้มุ่งเน้นความสนใจไปที่การย้อมผ้าฝ้ายและสีย้อมน้ำเงินจากต้นคราม เนื่องจากเป็นสีที่พบว่ามีปัญหาทางด้านเทคนิคการย้อมมากที่สุด และยังเป็นสีที่ชาวบ้านนิยมย้อมมาก

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาจลนพลศาสตร์และสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักไบโอการาม
2. ศึกษาชนิดของสารที่ช่วยในการเกิดสีคราม
3. ศึกษาสภาวะในการดูดซับสีครามบนผ้าฝ้าย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงข้อมูลพื้นฐานทางจลนพลศาสตร์ ของปฏิกิริยาการหมักไบโอการาม
2. สามารถเลือกใช้สารที่เหมาะสม และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในกระบวนการย้อมสีคราม
3. สามารถนำข้อมูลจากการทดลองไปพัฒนากระบวนการย้อมสีคราม

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา โดยแบ่งงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การปลูกคราม

ขั้นที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

2.1 การเตรียมครามผง

2.2 การเตรียมน้ำขี้เถ้า

ขั้นที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักไบโอการาม

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

3.1.1 ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max})

3.1.2 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

3.1.3 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

3.1.4 เวลาที่เหมาะสม

3.2 เตรียมกราฟมาตรฐานของอินดิโก

3.3 ศึกษาน้ำหนักไบโอการามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

3.4 หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

ขั้นที่ 4 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสีคราม

นิยามศัพท์เฉพาะ

ครามผง หมายถึง ได้จากการหมักใบครามแล้วนำน้ำครามมาปั่นเหวี่ยงเอาตะกอนครามไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็งครามผงที่ได้มีลักษณะสีน้ำเงิน

น้ำจี้เถ้า หมายถึง เถ้าที่ได้จากการเผาไม้ 11 ชนิด และในขั้นตอนการเผาจะต้องใช้น้ำดับก่อนไฟจะมอดร่อนเอาเศษถ่านออก ละลายน้ำแล้วกรองจะได้ น้ำจี้เถ้า

ตัวรีดิวซ์ หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อเปลี่ยนสารอินดิโกเป็นลิวโค-อินดิโก

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระหว่าง เดือน มกราคม 2552 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ 2553

แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรมการวิจัย	2552												2553	
	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ
1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←→													
2. เค้าโครงการวิจัย			←→											
3. วิธีการทดลอง														
- การปลูกคราม	←→													
- การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง		←→												
- สภาพที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักใบคราม				←→										
- สภาพที่เหมาะสมการเตรียมสีคราม					←→									
4. วิเคราะห์ข้อมูล และแปลผลงานวิจัย								←→						
5. จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนองานวิจัย								←→						

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สีย้อม

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอหรือเส้นใยของผ้า ทั้งนี้สีย้อมอาจจะเป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดไม่สามารถละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ ทั้งนี้สามารถแบ่งสีย้อมออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.1 สีย้อมธรรมชาติ (natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบพืช เช่น ส่วนลำต้น ส่วนดอก ส่วนที่เป็นเปลือก ส่วนที่เป็นใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีน้ำเงินจากต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้ไผ่ สีแดงจากดอกกระดังงา สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ตัวอย่างเช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

1.2 สีย้อมสังเคราะห์ (synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีให้มีโครงสร้างที่เกิดสีต่างๆ มีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีสดได้มากมาย มีสีที่หลากหลาย คงทนต่อการซักล้าง ทนต่อแสงแดด ทนร้อน ย้อมติดสีต่อเส้นใยทุกชนิด ผลิตได้ทีละมากๆ ใช้ง่าย เก็บรักษาง่ายราคาถูก ทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วง 5-10 ปีที่ผ่านมา มีการวิจัยพบว่าสีย้อมเคมีบางชนิดเป็นสารที่ก่อมะเร็ง ทั้งระหว่างการย้อมและในน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนจากดิน น้ำ พืช และสัตว์ เมื่อคนได้รับสารตกค้างเหล่านี้ก็ได้รับสารก่อมะเร็ง โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญมากในการย้อมสีเพราะ วัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมสีย้อมได้เพียงชนิดเดียว หรือสามารถย้อมสีได้หลายชนิดต่างกันไป

2. คราม



รูปที่ 1 ลักษณะของใบคราม

2.1 ลักษณะทั่วไปของต้นคราม

ต้นครามเป็นพืชวงศ์ถั่ว จะมีลักษณะหลากหลายสายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Logwood แต่สายพันธุ์ที่นิยมในการย้อมสีในประเทศไทยได้แก่สายพันธุ์ *Indigofera tinctoria* เพราะเป็นสายพันธุ์ที่หาง่ายตามท้องถื่น เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กมีการแตกกิ่งก้านสาขา ครามจะชอบอากาศร้อนชื้น มีอายุประมาณ 2-3 ปี เจริญได้ดีในดินร่วนปนทรายที่ระบายน้ำได้ดี ชอบแดดจัดไม่ชอบร่มเงา ชอบน้ำปานกลาง ออกฝักเป็นกระจุก ภายในฝักมี 7-12 เมล็ด เมล็ดมีขนาดเล็กสีครีมอมเหลืองและสีน้ำตาล ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด

2.2 วิธีการปลูกครามและการเก็บเกี่ยว

พื้นที่ปลูกคราม ที่เหมาะสมควรเป็นบริเวณที่มีแสงแดดเพียงพอ น้ำไม่ควรท่วมขัง เช่นที่ดอน ส่วนมากจะเป็น ตามหัวไร่ปลายนาซึ่งชาวบ้านนิยมปลูกครามมากที่สุด ในการปลูกครามควรไถดินกลบเพื่อให้วัชพืชกลายเป็นปุ๋ยพืชสดในดิน ควรตากดินไว้ประมาณ 2-3 วัน เหมือนการปลูกพืชไร่ทั่วไป ขุดและย่อยดินแล้วคราดให้หน้าดินเรียบเสมอกันหว่านเมล็ดครามที่เตรียมไว้ให้กระจายตัวสม่ำเสมอทั่วๆ แปลง ทำเช่นเดียวกับการหว่านเมล็ดข้าวในนา การปลูกจะปลูกกัน 2 ช่วง คือ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง การปลูกในฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน (ถ้าปลายเดือนมีนาคม มีฝนตกชุกก็หว่านเมล็ดได้) ก่อนการหว่านเมล็ดทุกครั้งควรทำให้ดินชุ่มน้ำก่อน หากวันที่เราปลูกฝนไม่ตกก็ควรรดน้ำก่อนหว่านเมล็ดครามลงไปแต่หากฝนตกก็ให้หว่านเมล็ดครามลงแปลงเลย การหว่านเมล็ดครามควรหว่านให้ระยะห่างพอสมควร หลังจากหว่านเมล็ดเสร็จแล้วให้หมั่นรดน้ำทุกวันจนกว่าต้นครามจะงอก เมื่อต้นครามงอกแล้วประมาณความสูงของต้นไม่เกิน 10 เซนติเมตร หากเราเห็นว่าต้นครามที่งอกนั้นมีระยะระหว่างต้นใกล้กันมากเกินไปก็ให้ถอนทิ้งบ้างเพื่อให้มีระยะห่างของต้นพอสมควร ต้นครามจะได้แตกกิ่งก้านได้ดี เมื่อต้นครามโตได้ประมาณ 2 สัปดาห์ ให้สังเกตการณ์เจริญเติบโตหากเห็นว่า ต้นครามโตช้าก็ควรใส่ปุ๋ย อาจเป็นปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยเคมีก็ได้ ให้รดน้ำอย่างสม่ำเสมอทุกวัน นับตั้งแต่เริ่มหว่านเมล็ด หากเราใส่ปุ๋ยให้น้ำอย่าง

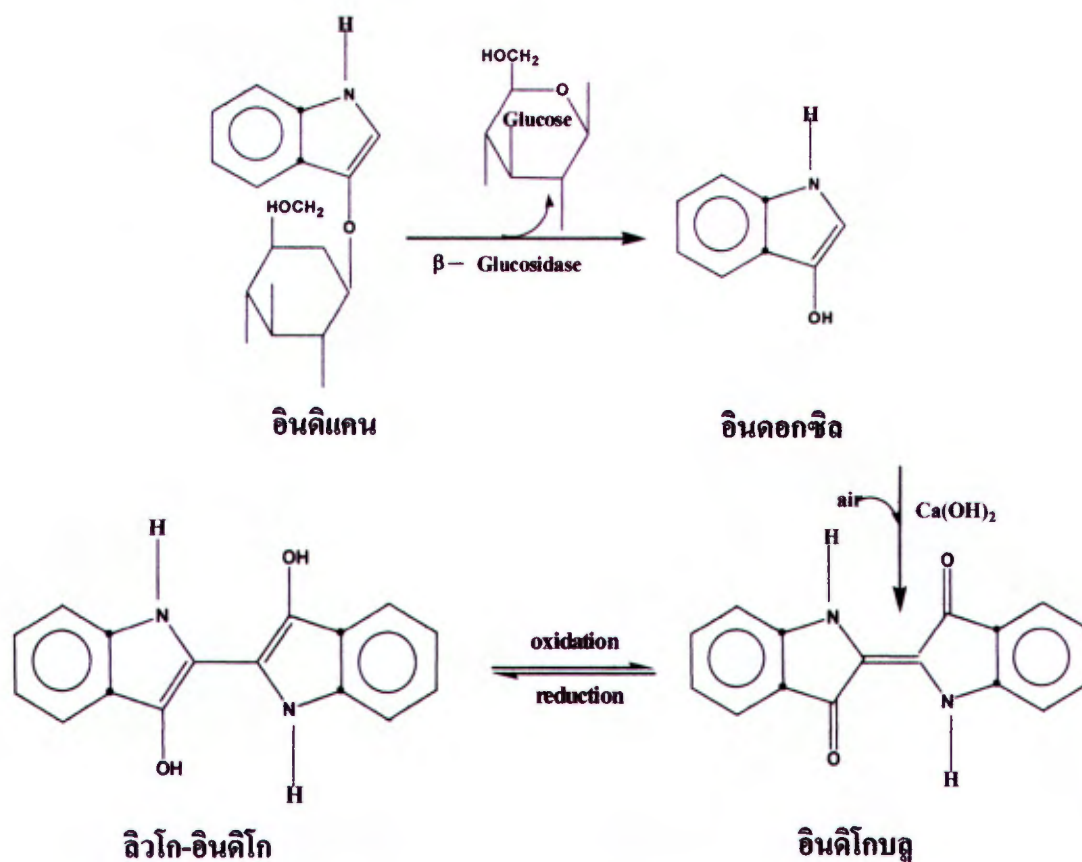
สม่ำเสมอจะทำให้คันครามมีใบขนาดใหญ่ สีเข้ม จนกระทั่งมีอายุได้ 3-4 เดือน ก็ทำการเก็บเกี่ยว ก่อนการเก็บเกี่ยวทุกครั้ง ผู้เก็บครามควรต้องสวมเสื้อผ้ามิดชิด เพราะใบครามมีขนาดเล็ก ที่มองไม่เห็นจะติดเนื้อผ้า เมื่อสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้ระคายเคือง และคันตามร่างกาย การเก็บเกี่ยว ครามนิยมเก็บครามในเวลาเช้ามีดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น เนื่องจากจะทำให้ได้ปริมาณครามมาก หาก เก็บในเวลาทีพระอาทิตย์ขึ้นแล้วจะทำให้ครามที่เก็บเกี่ยวส่งผลให้ได้ปริมาณครามน้อย

3. เคมีของสีคราม

สีครามมีชื่อทางเคมีคือ (1-2,3-dihydro-3-oxo-2H-indol-2-ylid-ene)-1,2- dihydro-3H-indol-3-one ชื่อทั่วไปคือ Indigo blue หรือ Indigotin เป็นผลึกรูปเข็มสีม่วงหรือสีน้ำเงินระเหิดที่ 170 องศาเซลเซียส มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์และกรดเจือจาง แต่ละลายได้ดีมากในสารละลาย อะนิลีนและ ฟิริดีน เมื่อครามละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจะปรากฏสีม่วงแดง และเมื่อละลายในตัวทำละลายมีขั้วจะปรากฏสีน้ำเงิน สีครามทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเย็นจะเกิดกรดไดซัลโฟนิก ซึ่งทำให้อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมได้ง่าย เรียกว่า อินดิโกคาร์มิน ซึ่งมีสีน้ำเงินเข้มใช้ย้อมติดสีได้ดี

ต้นครามมีสารต้นคือ สารอินดิแกน (Indican หรือ indoxyl - β - D-glucoside) ซึ่งเป็นสาร ไม่มีสีและไม่ละลายน้ำ เมื่อนำใบครามาแช่ในน้ำ เอนไซม์ บีต้า – กลูโคซิเดส - β - glucosidase จะ หลุดออกจากอินดิแกน เหลือแต่ อินดอกซิล ปฏิกิริยาการเปลี่ยนอินดิแกนในใบครามไปเป็นอิน ดอกซิล เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน อินดอกซิลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยออกซิเจนในอากาศ กลายเป็นสารอินดิโกบลู ซึ่งไม่ละลายน้ำและจะตกตะกอนอยู่ก้นภาชนะ คุณสมบัติของอินดิโกบลู ทำให้ถูกย้อมสีได้โดยการละลายในน้ำค่างกลายเป็นอินดิโกไวท์ ที่ละลายน้ำได้ สังเกตได้จากสีของ น้ำย้อมจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวปนเหลือง จากนั้นจึงทำการย้อมโดยนำผ้าฝ้ายมาชุบน้ำบิด จนหมาดลงย้อมในหม้อย้อม อินดิโกไวท์ ที่ละลายในน้ำย้อมจะแทรกซึมเข้าเนื้อผ้า ยับเซลล์ลูไลส ของใยผ้าด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เมื่อยกผ้าขึ้นสัมผัสกับอากาศ อินดิโกไวท์ จะ กลับเป็นอินดิโกบลู

การทำสีครามธรรมชาติเป็นปฏิกิริยาเคมีทุกขั้นตอนจากสารต้นที่มีในใบคราม เอนไซม์ ในใบคราม ออกซิเจนในอากาศ แบคทีเรียบาซิลลัสในธรรมชาติ น้ำย้อม และปูนขาว ปฏิกิริยา ต่อเนื่องในกระบวนการทำสีครามและการย้อมคราม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปฏิกริยาทั้งหมดของกระบวนการทำสีคราม

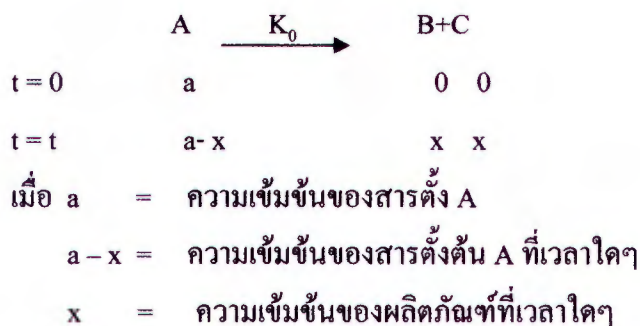
3.1 จลนพลศาสตร์

ปฏิกริยาทุกปฏิกริยามีอัตราการเกิดปฏิกริยาขึ้นอยู่กับสถานะที่ทดลอง ซึ่งสถานะที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกริยา ได้แก่ ความเข้มข้น (หรือความดันในกรณีของแก๊ส) ชนิดของสารตั้งต้น อุณหภูมิ สารละลายและสารเติมแต่ง

อัตราการเกิดปฏิกริยา คือ อัตราซึ่งสารตั้งต้น (reactant) ทำปฏิกริยาไป หรืออัตราซึ่งสารผลิตภัณฑ์ (product) เกิดขึ้นจากปฏิกริยาต่อหน่วยเวลา (t) ในทางจลนพลศาสตร์อันดับปฏิกริยา อาจจะเป็นปฏิกริยาอันดับ 0, 1, 2 และ 3 ก็ได้ บางกรณีอาจเป็นเศษส่วน ซึ่งอันดับของปฏิกริยาอาจเป็นผลรวมของตัวเลขยกกำลังที่อยู่ในเทอมความเข้มข้นในสมการอัตรา โดยความหมายของอันดับปฏิกริยาดังนี้

1) ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับศูนย์จะคงที่เสมอ ไม่ว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะมากน้อยเท่าใดก็ตาม ปฏิกิริยาอันดับศูนย์จะพล็อตระหว่าง ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A ที่เวลาใดๆ กับเวลา จะได้กราฟเส้นตรง ความชันเท่ากับ $-K_0$

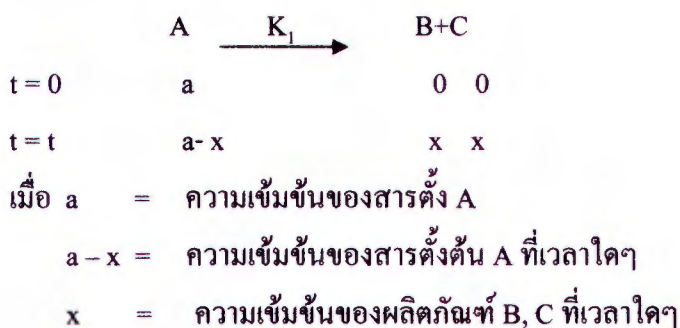
พิจารณาปฏิกิริยา



$$a-x = -k_0t + a$$

2) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ อัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งจะพล็อตระหว่าง ล็อกความเข้มข้นของสารตั้งต้น A ที่เวลาใดๆ กับเวลาจะได้กราฟเส้นตรง $-K$ หาด้วย 2.303

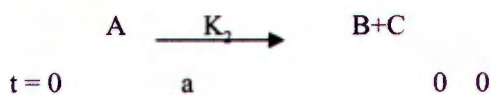
พิจารณาปฏิกิริยา



$$\log(a-x) = \frac{k_1t}{2.303} + \log a$$

3) ปฏิกิริยาอันดับสอง คือ สารตั้งต้นทั้งสองอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ แต่ความเข้มข้นเท่ากัน ปฏิกิริยาอันดับสองจะพล็อตระหว่าง หนึ่งหารด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้น A, B ที่เวลาใดๆ กับเวลา จะได้กราฟเส้นตรง ความชันเท่ากับ K_2

พิจารณาปฏิกิริยา



$$t=0 \quad a \quad 0 \quad 0$$

$$t=t \quad a-x \quad x \quad x$$

เมื่อ a = ความเข้มข้นของสารตั้ง A, B

$a-x$ = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A, B ที่เวลาใดๆ

x = ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ C, D ที่เวลาใดๆ

$$\frac{1}{a-x} = k_2 t + \frac{1}{a}$$

4) ปฏิกิริยาอันดับสาม คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เท่ากันหมด ปฏิกิริยาอันดับสามจะพล็อตระหว่าง หนึ่งหารด้วยความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เวลาใดๆยกกำลังสอง กับเวลา จะได้กราฟเส้นตรง ความชันเท่ากับ K_3

พิจารณาปฏิกิริยา



$$t=0 \quad a \quad a \quad a \quad 0$$

$$t=t \quad a-x \quad a-x \quad a-x \quad x$$

เมื่อ a = ความเข้มข้นของสารตั้ง A, B

$a-x$ = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A, B ที่เวลาใดๆ

x = ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ C, D ที่เวลาใดๆ

$$\frac{1}{2(a-x)^2} = k_3 t + \frac{1}{2a^2}$$

4. กระบวนการย้อมสีคราม

4.1 การเตรียมเนื้อคราม

โดยการแช่ต้นครามสดในน้ำให้ได้น้ำครามซึ่งมีวิธีการต่างกันบ้าง บางแห่งแช่ 1 วัน บางแห่งแช่ 1-2 วัน หรือแช่จนครามเปื่อยอาจถึง 3 วันก็ได้ วิธีการโดยตัดต้นครามสดมามัดเป็นพ่อนพอดีกกับกำมือแล้วแล้วกิ่งของครามนั้นแหละมัด จากนั้นเรียงมัดครามให้เป็นระเบียบลงในโอ่งโดยไม่ต้องกดให้แน่น บรรจุจนครามเต็มโอ่ง เติมน้ำจนท่วมพ่อนครามใช้มือกดลงประมาณ $\frac{1}{4}$ ของโอ่ง แช่ไว้ 1 คืน จึงกลับครามส่วนบนลงแช่และเอาพ่อนครามข้างล่างขึ้นมาแช่ด้านบนแทนโดยใช้น้ำอันเดิมแช่ไว้อีก 1 วัน ส่วนกากครามทิ้งไป (เปลี่ยน ใกรบุดร 2543 : สัมภาษณ์) ถ้าเป็นครามบ้านใบจะบางให้ผลผลิตต่ำกว่าจะบรรจุไม่เต็มโอ่ง เติมน้ำระดับเดียวกันกับมัดครามใช้วัตถุหนักทับมัดครามแช่ 2-3 วัน จนใบครามเปื่อยร่วงหลุดจากกิ่งใบคราม จึงแยกกิ่งครามออกแล้วจึงใช้ครามสดชุดใหม่แช่ลงไปอีกชุดละ 1 วันหลาย ๆ ชุดจนกว่าจะได้น้ำครามเข้มข้น เมื่อได้น้ำครามสีเขียวปนเหลืองให้เติมปูนขาวผสมลงไป จนกระทั่งน้ำครามเป็นสีน้ำเงินและมีฟองให้หยุดเติมปูนขาวและทำการตีคราม การตีครามใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้หรือปริมาณเนื้อครามในน้ำคราม จากนั้นพักน้ำครามที่มีฟองแล้วนี้ไว้ 1-3 คืน โดยเนื้อครามจะแยกจมอยู่ชั้นล่าง ส่วนฟองที่แตกไม่หมดเกาะกันอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว รินของเหลวใสสีเหลืองทิ้ง เก็บเนื้อครามชั้นล่าง ซึ่งมีลักษณะสีน้ำเงินเหลว ๆ เหมือนโคลนเก็บไว้ในโอ่งอีกต่างหาก หมั่นคอยดูแลไม่ให้เนื้อครามแห้งเป็นผงโดยการเติมน้ำขึ้นถ้าเล็กน้อยให้ครามมีความชื้นอยู่ในลักษณะเหมือนแป้งขนมที่นวดแล้ว เนื้อครามลักษณะนี้เก็บไว้ใช้ได้ 2-3 ปี

4.2 การเตรียมสีคราม

- 1) การเก็บใบครามควรเก็บในตอนเช้ามีดเพื่อป้องกันการโดนแสงแดด
- 2) ตัดต้นครามอายุประมาณ 3-4 เดือน ชั่งน้ำหนักใบครามที่ได้ใส่ในกระป๋อง กระป๋องละ 150 กรัม เติมน้ำ 700 มิลลิลิตร
- 3) นำใบครามแช่ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนด นำใบครามกรองแยกเพื่อเอากากใบครามออก
- 4) นำใบครามที่ได้ทำการปั่นอากาศเพื่อออกซิไดซ์อินดอกซิลให้เป็นอินดิโกเป็นเวลา 30 นาที
- 5) นำน้ำครามที่ได้จากการปั่นอากาศไปทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงครามเร็วรอบ 3,500/นาที เป็นเวลา 15 นาที ทำด้วยกันทั้งหมด 3 ชั่วโมง น้ำใสๆด้านบนทิ้ง จะได้เนื้อครามเปียก
- 6) นำเนื้อครามเปียกที่ได้ทำการเคลือบแวกด้วยเครื่องเคลือบแวกที่อุณหภูมิติด -28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำครามที่ได้แช่ในตู้เย็น -80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

7) นำครามเปือกที่ได้ไปทำให้เป็นครามผงด้วยเครื่องเป่าลมความดันต่ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สีดครามที่ได้มีสีน้ำเงิน นำครามผงที่ได้ชั่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักคราม

4.3 การย้อมสี

1) การย้อมสีแวต

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการย้อมสีแวตเท่านั้น สีแวตส่วนใหญ่จำหน่ายในลักษณะผงที่ไม่ละลายน้ำ ขนาดของผงแตกต่างกัน นิยมรีดิวซ์ให้เป็นสารประกอบลิโว-อินดิโกเสียก่อนจึงย้อม โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ นิยมใช้เป็นสารรีดิวซ์มากที่สุด เดิมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือด่างชนิดอื่นเพื่อรักษาน้ำย้อมให้เป็นด่างอยู่ตลอดเวลา

กระบวนการย้อมมีทั้งหมด 3 กระบวนการ ได้แก่ การใช้เป็นเกลือโซเดียมของสารประกอบลิโว-อินดิโก การใช้เป็นแวตแอซิด หรือสารประกอบลิโวแอซิด และ การใช้เป็นฟิกเมนต์

กระบวนการย้อมแบบที่ การใช้เป็นเกลือโซเดียมของสารประกอบลิโว-อินดิโก เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุด และเป็นที่ยอมรับใช้มากที่สุด ส่วนอีก 2 วิธี ได้รับความนิยมน้อยลงมากขึ้น สีในรูปในรูปของแวตแอซิดและฟิกเมนต์ไม่ติดเส้นใย และสามารถแพร่กระจายไปได้สม่ำเสมอโดยไม่มีการดูดติด (affinity) มาขัดขวาง เมื่อให้ตัวสีกระจายอย่างสม่ำเสมอจึงรีดิวซ์ให้สีดูดซึมเข้าไปภายใน และติดเส้นใยได้ในที่สุด ไม่ว่าจะย้อมด้วยวิธีใดก็ตาม ภายหลังต้องออกซิไดส์ให้ตัวสีกลับเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำตามเดิม แล้วจึงทำให้ด่างที่คงเหลืออยู่เป็นกลาง ดมสบู่และอื่น ๆ

เกลือโซเดียมของสารประกอบลิโว การก่อรูปและความคงทนของสารประกอบลิโว-อินดิโก ในสารประกอบลิโว-อินดิโก เตรียมได้โดยปฏิกิริยาของโซดาไฟและไฮโดร ปริมาณสารไฮโดรที่ใช้ขึ้นอยู่กับกลุ่มคีโตซึ่งสามารถรีดิวซ์ได้ในโครงสร้างของตัวสี แต่เวลาใช้จริง ๆ ต้องใช้ให้มากกว่าหลักทฤษฎีเพราะให้เกิดสมดุลกับการที่ออกซิเจนในอากาศอาจจะละลายเข้าไปอยู่ในน้ำย้อมได้ เพราะผิวน้ำย้อมต้องสัมผัสกับอากาศตลอดเวลา และยังคงหมุ่นหรือคนน้ำย้อมให้เคลื่อนที่อยู่เสมอ ปริมาณโซดาไฟที่ใช้ขึ้นอยู่กับหมู่ คีโตที่รีดิวซ์ในตัวสีเช่นเดียวกันแต่ละหมู่ต้องการโซเดียม 1 เท่าสำหรับก่อรูปเป็นเกลือ ปริมาณไฮโดรที่ใช้ก็มีส่วนทำให้ปริมาณโซดาไฟเปลี่ยนแปลง

วิธีวัดความเข้มข้นของไฮโดรซัลไฟด์ ความเข้มข้นของไฮโดรซัลไฟด์วัดได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดโดยไม่ต้องการเครื่องมือใด ๆ คือวิธีการไตเตรต ให้ไตเตรตน้ำย้อมด้วยสารที่ออกซิไดส์ที่เหมาะสม เช่น โพแทสเซียม เพอร์ไอซแอนไนต์กับโซดาไฟ แต่ต้องไม่ให้อากาศสัมผัสกับน้ำยาที่ทำการไตเตรตโดยใช้ liquid paraffin ปิดหน้าเสียก่อน แล้วใช้บิวเรตหรือกระบอกฉีดยาฉีดยาน้ำย้อมสีผ่านเข้าไป เขย่าด้วยเครื่องเครื่องกวนแม่เหล็ก ใช้ caledon yellow GN เป็นอินดิเคเตอร์ ถ้าหากน้ำสี

เชื่อมกับสีกาลิคอนเป็นสีเดียวกันใช้ electrometric แทนได้โดยเปลี่ยนอิเล็กโทรดแก้วให้เป็นอิเล็กโทรดทองคำขาว การวัดด้วยอิเล็กโทรดรู้ผลช้า

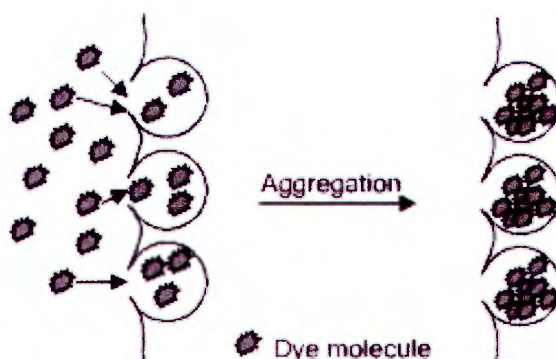
การดูดซึมสารประกอบไฮโดรเจนลิโกล-อินดิโก ของเส้นใยเซลลูโลส กระบวนการย้อมคือการทำให้โมเลกุลของสีซึมกระจายเข้าไปภายในเส้นใย โมเลกุลของสีนั้นก็ดูดติดเส้นใย ลักษณะสำคัญของกระบวนการย้อมแบบนี้คือความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบลิโกล/น้ำ/เส้นใยเซลลูโลส แต่ต้องพิจารณาคุณลักษณะเฉพาะบางประการของตัวสีที่ทำให้กระบวนการย้อมแบบนี้แตกต่างกับกระบวนการย้อมแบบอื่น ลักษณะการย้อมแบบลิโกล ระดับการย้อมเร็วมากแม้ว่าจะย้อมที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 40 องศาเซลเซียส การดูดซึมน้ำย้อมให้สมดุลได้สูง ผลการย้อมระยะแรกสีดูดซึมได้มากและเร็วเป็นเหตุให้เกิดการย้อมแบบวงแหวนภายในเส้นใย สีดูดติดเฉพาะที่ผิวเส้นใยโดยรอบซึมเข้าไปในกลางเส้นใยได้ยาก และย้อมไม่สม่ำเสมอ เพราะย้อมที่อุณหภูมิต่ำดูดซึมน้ำย้อมได้สูง

2) กลไกการย้อมสี (dyeing mechanism) แบ่งได้เป็น 5 รูปแบบ คือ

- 1) กลไกการย้อมสีแบบการดูดซึมทางกายภาพ (physical adsorption)
- 2) กลไกการย้อมสีแบบการละลายในสถานะของแข็ง (solid solution)
- 3) กลไกการย้อมแบบการรวมกลุ่มของสีที่ไม่ละลายในโพรงเส้นใย (insoluble aggregate within fiber)
- 4) กลไกการย้อมแบบเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond)
- 5) กลไกการย้อมแบบเกิดพันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

โดยที่ 3 รูปแบบแรกนั้นเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพ (physical interaction) และ 2 รูปแบบ หลังเกิดจากพันธะเคมี (chemical bonding)

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกลไกการย้อมสีแบบการรวมกลุ่มของสีที่ไม่ละลายในโพรงเส้นใยวิธีนี้ทำให้สีมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าโพรงของเส้นใยและเมื่อสีเข้าไปแล้วก็ทำให้เกิดการรวมตัวทำให้มีอนุภาคที่ใหญ่กว่าโพรงของเส้นใยทำให้สีถูกกักในเส้นใยได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กลไกการย้อมสีแบบการรวมกลุ่มของสีที่ไม่ละลายในโพรงของเส้นใย

4.4 การย้อมสีคราม

- 1) ทำการ โจงครามเพื่อคุณลักษณะของน้ำย้อมครามที่เตรียมไว้
- 2) นำเส้นใยที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วมาเตรียมไว้โดยมีการจับเป็นเส้นยาว
- 3) ทำการย้อมเส้นใยในน้ำครามโดยมีการคลายเส้นใยและหมุนไปรอบ ๆ
- 4) การแช่เส้นใยไว้ในหม้อย้อม ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที หรือสังเกตสีของน้ำย้อมจะใสขึ้น สีเหลืองจางลง สีเขียวเข้มขึ้น จึงหยุดย้อม
- 5) เมื่อย้อมเสร็จแล้วควรบิดเส้นใยให้หมาด แล้วนำเส้นใยขึ้นจากหม้อย้อมทำการกระตุก
- 6) การกระตุกเส้นใยหลังย้อมนั้นเพื่อเป็นการทำให้เส้นใยทุกเส้นที่ผ่านการย้อมแล้ว ได้สัมผัสกับแก๊สออกซิเจนเพื่อจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงินเข้ม
- 7) การล้างเส้นใย นำเส้นใยที่ได้จากการย้อมนั้นมาล้างในน้ำให้สะอาด โดยการซักเส้นใยจนหมดสีครามที่นำล้างเส้นใย เมื่อล้างเส้นใยเสร็จแล้วก็นำไปตากให้เส้นใยแห้ง
- 8) การนำเส้นใยที่ผ่านการย้อมแล้ว มาย้อมซ้ำเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีสีเข้มขึ้นตามต้องการ โดยการย้อมซ้ำต้องดูน้ำย้อมเพื่อให้ย้อมอยู่ในภาวะที่พร้อมจะย้อมด้วย เมื่อผ่านการย้อมจนได้สีที่ต้องการ ผึ่งลมหรือผึ่งแดดให้แห้ง
- 9) การตากเส้นใยครามหลังการย้อมในที่ร่มจะช่วยให้เส้นใยแห้งเสมอกัน และสีของเส้นใยยังคงจะสดอยู่
- 10) การตากเส้นครามหลังย้อมในที่แดดส่องถึง จะทำให้เส้นใยแห้งเร็วและลักษณะสีของเส้นใยจะเกิดรอยด่างที่เส้นใยการเก็บเส้นใยหลังย้อม เมื่อได้เส้นใยที่พร้อมจะนำไปทอแล้ว ควรเก็บในที่ร่ม

5. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสีกับเส้นใย

สีจะย้อมได้ดีเมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสีกับเส้นใยมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับสี คุณสมบัติเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของสีมีหมู่อะตอมที่เรียงตัวกันในลักษณะที่ทำให้สีเกิดภาวะคูติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่นพันธะที่ทำให้สียึดติดกับเส้นใยได้ แบ่งเป็น 4 ชนิด ได้แก่

- 1) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)
- 2) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van de Waals Forces)
- 3) แรงไอออนิก (Ionic Forces)
- 4) พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bond)

กำลังแรงเหล่านี้จะไม่ทำหน้าที่เพียงลำพัง จะมีอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็พร้อมกัน ทั้ง 4 ชนิด จึงจะทำให้สีกกับเส้นใยรวมตัวกันได้ ได้แก่

1) พันธะไฮโดรเจน คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากไฮโดรเจนอะตอมสร้างพันธะโคเวเลนต์ กับอะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงๆและมีขนาดเล็ก ได้แก่ F, O และ N แล้วเกิดพันธะโคเวเลนต์มีขั้วชนิดมีสภาพขั้วแรงมาก ทั้งนี้เนื่องจากพันธะที่เกิดขึ้นนี้อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะจะถูกดึงเข้ามาใกล้อะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง มากกว่าทางด้านอะตอมของไฮโดรเจนมาก และอะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ยังมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว จึงเกิดดึงดูดกันระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าบวกสูงของอีกโมเลกุลหนึ่ง ทำให้เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน

2) แรงแวนเดอร์วาลส์ หมายถึงแรงที่ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามามียึดติดกัน เนื่องจากการไม่อยู่นิ่งของอิเล็กตรอนในโมเลกุลสามารถเกิดกับสารที่มีประจุเป็นกลางได้ และโมเลกุลอาจมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนที่มีสมดุลกันทำให้เกิดเป็นแหล่งที่มีประจุตรงข้ามและเกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงนั้น แรงดึงดูดประเภทนี้เกิดขึ้นต่อเมื่อโมเลกุลของสีย้อมและเส้นใยเข้ามาอยู่ในระยะที่ใกล้กันมาก กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่สัมผัสกับโมเลกุลดังนั้นถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่กำลังของแรงดึงดูดประเภทนี้ก็จะมากด้วย

3) แรงไอออนิก หมายถึง พันธะระหว่างอะตอมที่อยู่ในสภาพไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกัน ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน 11 ตัว หรือมากกว่า จากอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง เพื่อให้จำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดครบออกเตต ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างอะตอมของโลหะกับอโลหะ โดยที่โลหะเป็นฝ่ายจ่ายอิเล็กตรอนในระดับพลังงานชั้นนอกสุดให้กับอโลหะ

เนื่องจากโลหะมีค่าพลังงานไอออนในเซชันต่ำ และอโลหะมีค่าพลังงานไอออนในเซชันสูง ดังนั้นพันธะไอออนิกจึงเกิดขึ้นระหว่างโลหะกับอโลหะได้ดี กล่าวคืออะตอมของโลหะให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนแก่อโลหะแล้วเกิดเป็นไอออนบวกและไอออนลบของอโลหะ เพื่อให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นแปด แบบแก๊สเฉื่อย ส่วนอโลหะรับเวเลนซ์อิเล็กตรอนมานั้นก็เพื่อปรับตัวเองให้เสถียรแบบแก๊สเฉื่อยเช่นกัน ไอออนบวกกับไอออนลบจึงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าต่างกันเกิดเป็นสารประกอบไอออนิก (Ionic compound)

4) พันธะโคเวเลนต์ หมายถึง เป็นแรงดึงดูดที่ทำให้สีย้อมสามารถยึดติดกับเส้นใยได้แน่นยิ่งกว่าการยึดติดใดๆ ที่กล่าวมาแล้วทั้งสิ้นทำให้แยกตัวออกจากกันได้ยาก

การเกาะติดในลักษณะนี้จะเกิดในกรณีที่มีสีย้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมที่ฟ โดยโมเลกุลของสีย้อมจะประกอบด้วยกลุ่มเคมีที่ไวต่อปฏิกิริยาซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรง

กับเส้นใยเซลลูโลสโดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์กับกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยเนื่องจากความคงทนต่อการซักสูงมาก

6. อัตราการย้อมสี (Rate of Dyeing)

อัตราการย้อมสี หมายถึง อัตราการดูดซับของสีเข้าไปภายในเส้นใยในช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้สีจะค่อย ๆ ซึมซาเข้าไปตามเส้นว่างของเส้นใยสู่ภายใน ถ้าเส้นใยมีโมเลกุลที่เป็นระเบียบ เรียงตัวแน่น สีจะแพร่เส้นใยเข้าสู่ภายในได้ช้า ต้องใช้เวลาในการย้อมนาน

7. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย้อมสี ได้แก่

อุณหภูมิ (Temperature)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการย้อมมีผลกระทบต่ออัตราการย้อม คือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้อัตราเร็วของการย้อมสีเพิ่มขึ้น ลดปริมาณสีที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลเนื่องจากส่วนใหญ่การดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน และทำให้สีซึมกระจายตัวจากส่วนที่ดูดสีไว้มากไปสู่ส่วนที่ดูดสีไว้น้อยทำให้ย้อมสีได้สม่ำเสมอ

สารช่วยย้อมติด (Modant dyeing)

การย้อมแบบนี้ต้องใช้สารช่วยย้อมติดสีหรือที่เรียกว่า มอร์แดนต์ เพื่อช่วยให้การย้อมติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยได้ดีขึ้น ทำให้สีที่ได้จากการย้อมโดยวิธีนี้มีคงทนไม่ตกสีหรือซีดง่าย

นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น คราบหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เกาะติดอยู่บนเนื้อผ้า หรือการย้อมอาจมาจากรอยด่างของผ้า เนื่องจากสีย้อมผ้าเป็นสีโปร่งแสง ถ้าผ้าที่จะย้อมสีมีความเข้มของสีไม่สม่ำเสมอสีที่ย้อมได้ก็จะไม่สม่ำเสมอ จึงควรใช้ยาฟอกสี DYGNON ปรับสีให้อ่อนลง และสม่ำเสมอแล้วจึงย้อม สีที่ต้องการระดับการย้อมที่ถูกต้องคือ สีจะต้องดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยและติดจนกระทั่งเมื่อตัดเส้นใยตามขวาง แล้วดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็นสีเดียวและเท่ากันตลอด ถ้าสีเกาะติดแต่เพียงรอบนอกของเส้นใยหรือซึมเข้าไปภายในเพียงบริเวณรอบนอกของเส้นใยเท่านั้น ภายในกึ่ง กลางยังคงเป็นสีขาวอยู่ เรียกการย้อมแบบนี้ว่า การย้อมแบบแหวน (Ring Dyeing) การย้อมได้ถึงระดับสมดุลหรือไม่จะสังเกตได้หลายทางด้วยกันที่ง่ายสุด คือ เมื่อย้อมไปนาน แล้วน้ำย้อมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างใด ความเข้มของสีที่ติดเส้นใยไม่เปลี่ยนแปลงอาจกล่าวได้ว่า การย้อมสีได้สมดุลแล้ว การย้อมได้เร็วหรือช้าล้วนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในวงการย้อมทั้งสิ้นเพราะถ้าย้อมได้เร็วเกินไปสีจะไม่สม่ำเสมอ ถ้าช้าเกินไปจะเสียเวลาและเชื้อเพลิง รวมทั้งค่าแรงงานจะเพิ่มขึ้น บางครั้งเส้นใยที่แช่น้ำย้อมอยู่นาน ๆ จะเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นเพื่อควบคุมระดับการย้อม ผู้ย้อมต้องควบคุมเวลาให้พอเหมาะหรือเติมสารช่วยย้อมบางชนิดเพื่อให้สีติดเส้นใยได้ ในระดับที่ต้องการและในช่วงเวลาที่กำหนด

ข้อควรแก้ไข มีดังนี้

- 1) ควรทำความสะอาดผ้าก่อนการย้อม เพื่อขจัดคราบไขมัน ควรทำให้ผ้าเปียกหมาดๆ ก่อนการย้อม เพื่อให้สีซึมเข้าผ้าได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่เกิดรอยด่าง
- 2) ควรใช้สีให้เหมาะสมกับชนิดของผ้า เช่น ผ้าเส้นใยธรรมชาติให้ใช้สีย้อมเส้นใยสังเคราะห์ ให้ใช้สีย้อมร้อน
- 3) ควรปฏิบัติตามวิธีการใช้ เพื่อให้ได้ผ้าที่สวยงามตามต้องการ

ถ้าสีที่ได้อ่อนเกินไป อาจเนื่องมาจาก

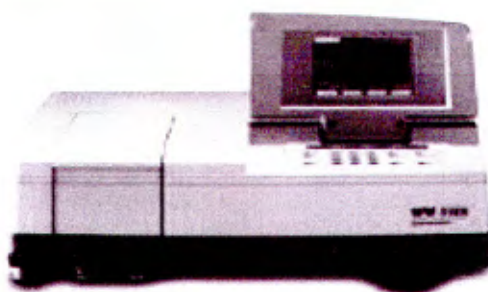
- ใช้เวลาในการย้อมน้อยเกินไป
- ใช้สีน้อยเกินไป
- ใช้น้ำมากเกินไป
- ไม่ได้ใช้เคมีช่วยย้อม (Cold Dye Fix) หรือใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไป (สำหรับสีย้อมเย็นเท่านั้น)
- อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ย้อมไม่เหมาะสม (สำหรับสีย้อมร้อน)

ถ้าผ้าด่างอาจเนื่องมาจาก

- ในขั้นตอนการละลายสีไม่ได้คนสีจนละลายหมด
- ไม่ได้ใช้เกลือ (เกลือช่วยให้อนุของสีกระจายไปทั่ว)
- ปริมาณของน้ำที่ใช้ย้อมน้อยเกินไป ทำให้น้ำไม่ท่วมผ้า
- คน หรือกลับผ้าไม่ทั่วถึง
- ไม่ได้นำผ้าที่จะย้อมไปทำให้เปียกก่อนย้อม

8. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

8.1 UV – Vis spectrophotometer



รูปที่ 4 เครื่อง UV – Vis spectrophotometer

หลักการ

เป็นเครื่องวิเคราะห์สารเคมีโดยใช้หลักการ การดูดกลืนแสงของสารประกอบ ที่สามารถตรวจวัดได้ในช่วงคลื่น UV-Visible เป็นระบบ ลำแสงคู่ (Double Beam) สามารถควบคุมและประมวลผลด้วยตัวเครื่องเอง (Standalone) ด้วยระบบ Micro-processor ที่สามารถ พิมพ์ผลการวิเคราะห์ออกทางเครื่อง Printer ภายนอกได้ หรือสามารถควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องถูกออกแบบ ให้มี ฟังก์ชันการใช้งานตรงตามมาตรฐาน EP , USP, JP Pharmacopoeias

คุณสมบัติ

สามารถใช้งานได้ในช่วง 190-1100 นาโนเมตร มีความกว้างของลำแสง (Spectral bandwidth) น้อยกว่า 1 นาโนเมตร ตามมาตรฐาน USP มี Mode ในการใช้งานมากถึง 7 Mode และมี Program Pack สำหรับในงานวิเคราะห์ต่างๆ เพิ่มเติมได้ในภายหลังและสามารถ แสดงผลการวิเคราะห์ และกราฟออกมาทางจอภาพชนิด LCD ขนาดใหญ่ สามารถปรับมุมมอง และความเข้มของจอภาพได้ มี Hardware Validation Function 9 item สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของตัวเครื่องมาตรฐานรวมทั้งสามารถตรวจเช็คเวลาการใช้งานของ D2 Lamp และ WI Lamp ได้ มีโปรแกรมขนาด 32 บิต ในกรณีที่ต้องการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน ซึ่งสามารถทำงานแบบ Multi-tasking และสามารถเขียนสมการในการคำนวณได้อย่างอิสระ มีโปรแกรมรองรับการทำ Validation และ GLP / GMP Compliance หรือ ISO ทำให้สะดวกและถูกต้องในการใช้งานตามมาตรฐาน สามารถเลือกรูปแบบการทำรายงานได้หลาย ลักษณะ (Report Template) เช่น การทำวิจัยในครั้งนี้ใช้เครื่อง UV – Vis spectrophotometer ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม และใช้ทำกราฟมาตรฐานของสีย้อมอินดิโก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิรินันท์ ห่อสมบัติ (2543) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยครามธรรมชาติ และ โซเดียมไฮโครซัลไฟต์ โดยศึกษาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าน้ำหนัก 6.25 กรัม ระยะเวลาย้อม 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ความสดใสของสี ความเข้มของสี

ไพศาล คงกาญจนาย (2543) ได้พัฒนาเทคนิคการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจากครามและ ครั่ง ในการศึกษาสีครามได้นำใบครามแช่แข็งหั่นในน้ำที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาที่นานมากพอที่อินดิแคนในใบครามสลายตัวเป็นอินดอกซิลอย่างสมบูรณ์ พบว่าปฏิกิริยาการสลายตัวเป็นอินดิแคนเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน มีพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 17.6 กิโลแคลอรีต่อโมล เมื่อย้อมเส้นไหมสีพันธุ์ผสมด้วยสีคราม พบว่าการดูดซับสีครามให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงซินอนอาร์กและความแตกต่างของสีของเส้นไหมที่ผ่าน

การย้อมด้วยสภาวะต่าง ๆ พบว่าย้อมที่ 33 องศาเซลเซียสนาน 15 นาที และย้อมซ้ำ 6 ครั้งให้ผลดีที่สุด

สกวรัตน์ หิรัญกิจมงคล (2543) ศึกษาจลนพลศาสตร์และอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีครามธรรมชาติ พบว่าปฏิกิริยาการสลายตัวของอินดิแคนเป็นปฏิกิริยาคูควมร้อน มีอัตราเร็วคือ $-r_{\text{indican}} = (3.42 \times 10^{11} \text{ h}^{-1}) \exp(-8,840.5/T) C_{\text{indican}}^{0.37}$ มีพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา (Ea) เท่ากับ 7.6 กิโลแคลอรี/โมล เมื่อย้อมเส้นไหมพันธุ์ถูกผสมด้วยสีครามที่ได้ พบว่าการดูดซับสีอินดิโกมีไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏที่ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.23×10^{-12} , 8.26×10^{-13} และ 4.26×10^{-13} ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ ค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากับ -9.50 กิโลแคลอรี/โมล และค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี เท่ากับ 23.10 แคลอรี/โมล หลังจากทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงซินอนอาร์กและความแตกต่างของสีเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสภาวะต่าง ๆ พบว่า การย้อมที่ 33 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ย้อมซ้ำ 6 ครั้งให้ผลดีที่สุด

อนรรตน์ สายทอง (2544) ได้ทำการศึกษาเรื่องการผลิตสีครามจากต้นครามซึ่งศึกษากระบวนการผลิตสีครามและศึกษาพืชที่เหมาะสม ในการเตรียมสีครามจากการวิเคราะห์ผล พบว่ากระบวนการผลิตสีครามจากต้นครามประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

- 1) การเตรียมน้ำครามโดยนำใบครามสดมาแช่น้ำ
- 2) การเตรียมเนื้อครามโดยการคดตะกอนด้วยปูนขาวในน้ำคราม
- 3) การเตรียมสีครามทำได้โดยการละลายในน้ำจืดแล้วและปูนขาว สัดส่วน 180 กรัมต่อน้ำจืด 500 มิลลิลิตร และปูนขาว 100 กรัม ที่พีเอช 10.5
- 4) การย้อมครามโดยการนำฝ้ายที่เหมาะสมนำแช่กับน้ำครามให้ฝ้ายถูกย้อมผสมกับอากาศจึงขยี้ซ้ำอีก ทำสลับกันไป

อนรรตน์ สายทอง (2545) ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาชุดความรู้ของภูมิปัญญาไทญ้อด้านสิ่งทอมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีทำครามผงธรรมชาติ และวิธีเตรียมสีครามจากครามผงธรรมชาติ ทำการวิจัยโดยแช่ใบครามสดในน้ำและเติมปูนขาวในน้ำคราม แยกเอาเนื้อครามไปผึ่งแดดให้หมดแล้วอบต่อไปในตู้อบ จนกระทั่งน้ำหมักครามแห้งคงที่ น้ำครามแห้งมาบดเป็นผงและเก็บไว้ในภาชนะปิด ทำการเตรียมสีครามจากครามผง 2 วิธี โดยวิธีแรก อุ่นครามผงผสมฝุ่นผงสังกะสีในน้ำปูนใส ทดสอบสีครามในสารละลายโดยดูสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 – 611 นาโนเมตร วิธีที่ 2 ผสมครามผงปริมาณต่าง ๆ ในน้ำจืดแล้ว ทดสอบสีครามโดยการย้อมเส้นฝ้ายทุกวัน เป็นเวลา 30 วัน เปรียบเทียบความเข้มของสีฝ้ายที่ย้อมในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังศึกษาประสิทธิภาพของสารต่างชนิดที่ใช้ปรับพีเอช ที่มีผลต่อระยะเวลาการเกิดสีและการติดสีของเส้นฝ้ายและไหม จากผลการวิจัยพบว่าเนื้อคราม 500 กรัมผึ่งแดด 2 วันและอบต่ออีก 1 วัน ที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ครามผง 134.84 กรัม สีครามที่ได้จากครามผงผสมฝุ่นผงสังกะสีแล้ว อุ่นในน้ำปูนใสที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส มี ($\lambda_{\max}$) 405 นาโนเมตร และสีครามที่ได้จาก ครามผงอย่างน้อย 12 กรัม ผสมน้ำจืด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำส้มสายชู 5 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอช เริ่มต้นที่ 10.5 ใช้เวลา 7 วัน จึงเกิดสีย้อมติดเส้นฝ้าย เมื่อเพิ่มปริมาณครามผงมากขึ้นแล้วปรับพีเอช เริ่มต้นเท่ากัน จะเกิดสีย้อมในวันที่ 7 เช่นกันและสีเข้มกว่า น้ำต้มมะขามเปรี้ยวเป็นสารที่ดี ที่สุด ที่ใช้ปรับพีเอช ทำให้เกิดสีครามเร็วและย้อมติดทั้งฝ้ายและไหม รองลงไปคือกรดทาร์ทาริก

นิตยา ชนะญาติ และคณะ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพในการสกัด *Indigofera tinctoria* Linn. และ *Baphicacanthus cusia* Brem. และวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ องค์ประกอบหลักในการสกัดด้วยน้ำจากพืชทั้งสองชนิดนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคการเตรียมสี ธรรมชาติที่พร้อมใช้งาน เทคนิคนี้ทำได้โดยการตัดวัตถุดิบออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นใส่ในถุงผ้าฝ้าย ก่อนที่จะนำไปแช่ลงในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และเป็นการง่ายที่จะ กำจัดกากของเสียสีครามจากใบสดของ *Baphicacanthus cusia* Brem. หมัก 24 ชั่วโมงจะให้สีคราม สูงสุด (0.005g/g ของใบสด) แยกสิ่งสกปรกที่ออกจากการสกัดโดยใช้ Thin Layer Chromatography (TLC) ใช้ตัวทำละลายเป็น chloroform/hexane/methanol (7:4:1v/v/v) ให้สีหลัก 2 สีของสีน้ำเงิน และสีแดง ซึ่งให้ค่า Rf เท่ากับ 0.69 และ 0.49 ตามลำดับ ค่า Rf ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจากยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี และ IR สเปกตรัมของสีน้ำเงินมีลักษณะเหมือนกับสีครามมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม สีแดงที่ได้จากการสกัดจาก *Baphicacanthus cusia* Brem. ถูกทำให้บริสุทธิ์และถูกวิเคราะห์โดย ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี mass spectrum ^{13}C NMR และ ^1H NMR แสดงสูตรเคมีเป็น $\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$ และ โครงสร้างทางเคมีเป็น indirubin และถูกนำมาใช้เป็น indirubin มาตรฐาน สีแดงจาก *indigofera tinctoria* Linn. ถูกทำให้บริสุทธิ์เหมือนกัน ให้ให้ค่า Rf เหมือนกัน การดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิล และ IR สเปกตรัม มีลักษณะเหมือนกับ indirubin มาตรฐาน ทั้งสีน้ำเงินและสีแดงละลายได้ใน คลอโรฟอร์ม ขณะที่ไม่มีเพียงสีแดงเท่านั้นที่ละลายได้ในเมทานอล วิธีการแยกสีน้ำเงิน และสีแดงจาก crude extract นำไปสู่การพัฒนาการทำให้เป็นผงสีแดงและสีน้ำเงิน ซึ่งนำมาใช้ในการเตรียมสี ธรรมชาติพร้อมใช้งาน

ปิยวรรณ ศิริสวัสดิ์ และ ภาณุวัฒน์ เชื้อกุล (2548) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของโลหะ ไอออนในน้ำจืดกับโทนสีน้ำเงินของผ้าย้อมคราม พบว่า ชนิดและปริมาณของโลหะไอออนในน้ำ จืดมีผลต่อสีน้ำเงินของผ้าย้อมสีคราม

สุดกมล ลาโสภาและคณะ (2549) ศึกษาแบบการใช้งานของสีย้อมคราม พบว่าการ เตรียมครามผงด้วยวิธีการผึ่งแดด และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้ครามผงละเอียดสีเขียวใช้ เวลาในการเตรียม 7 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนครามผงที่เตรียมโดยวิธีเป่าแห้งให้คราม ผงละเอียดสีน้ำเงินใช้เวลาในการเตรียม 48 ชั่วโมง และจากการศึกษาการเตรียมสีครามด้วยครามผง

พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน โดยจะใช้ปริมาณครามผง 12 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบการเตรียมสีครามด้วยผงสังกะสีและน้ำขี้เถ้า พบว่าผงสังกะสีจะย้อมติดสีฝ้ายทันที ส่วนน้ำขี้เถ้าจะย้อมติดสีฝ้ายในวันที่ 7 หลังการเตรียมสีคราม ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมในการย้อมครามให้ได้สีน้ำเงินคือการใช้ครามผงในอัตราส่วน 12 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ต่อผงสังกะสี 0.05 กรัม

ทุเรียน ปัดสำราญ (2551) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของไอออนในดินโคลนและดินลูกรังที่มีผลต่อการย้อมสีคราม พบว่าดินลูกรัง มีผลทำให้สีของเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามทั้งก่อนและหลังทำมอร์แดนต์เป็นสีน้ำเงินเข้มกว่าเส้นใยฝ้ายที่ย้อมครามโดยไม่ใส่สารมอร์แดนต์ และเมื่อทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับปานกลางถึงดี และมีค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อแสงแดด อยู่ในระดับพอใช้ถึงปานกลาง และเมื่อใช้โลหะไอออน ได้แก่ Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} และ Na^{+} เป็นสารมอร์แดนต์ สามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับสี และการผนึกสีบนเส้นใยฝ้ายได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. อุปกรณ์ – เครื่องมือ และสารเคมี
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น UV-1601 ยี่ห้อ SHIMADZU
- 1.2 เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ KANDO
- 1.3 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น M 250327 ยี่ห้อ MATINI instruments
- 1.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AT 400 ยี่ห้อ METTLER
- 1.5 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลาย (Striper vertical)
- 1.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- 1.7 เครื่อง Freeze dry ยี่ห้อ EYELA รุ่น Fou-2100
- 1.8 ปิเปต (pipet)
- 1.9 หลอดทดสอบ (test tube)
- 1.10 บีกเกอร์ (beaker)
- 1.11 แท่งแก้วคน (stirring rod)
- 1.12 ไมโครปิเปตต์ (micro pipet)

2. วัสดุและสารเคมี

- 2.1 ฝ้าย (Cotton fiber)
- 2.2 ไบครามสด
- 2.3 โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (Sodium hydrosulphite; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)
- 2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH)
- 2.5 แก๊สไนโตรเจน บริสุทธิ์ 99.9 เปอร์เซนต์
- 2.6 น้ำกลั่น
- 2.7 ขี้เถ้า (Wood Ash) มี 11 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ข่อย ไม้ฝรั่ง ไม้ประดู่ ไม้

ขี้เหล็ก ไม้แก้ว ไม้หนุ่ย ไม้ยางพารา ไม้ปาล์ม ไม้กระถินยักษ์ กาบมะพร้าว

วิธีการทดลอง

1. การปลูกครามในแปลงทดลอง

ขั้นตอนการปลูก

- 1) โถกлубเพื่อทำลายวัชพืชให้กลายเป็นปุ๋ยพืชสดในดิน ตากดินไว้
- 2) ขุดแล้วคราดให้ดินเรียบเสมอกัน
- 3) คราม: เพาะเมล็ดในถุงเมืองออกเป็นต้นกล้ามีใบจริง 5 ใบขึ้นไปจึงนำมาปลูกในแปลงที่เตรียมไว้
- 4) คายหญ้า/ทำลายวัชพืชที่เกิดขึ้นมาใหม่ เพื่อไม่ให้แย่งน้ำแย่งอาหารจากต้นคราม
- 5) ใส่ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยน้ำชีวภาพเมื่อต้นครามมีอายุได้ประมาณ 3 สัปดาห์
- 6) การเก็บเกี่ยวคราม: เมื่ออายุต้นคราม 3-4 เดือน ใบครามแก่ และเริ่มมีดอก สามารถเก็บใบไปผลิตเป็นเนื้อครามได้ โดยเก็บในตอนเช้ามืดแล้วรีบนำไปหมักทันที การเก็บใบครามครั้งที่ 2 และครั้งต่อไป ควรทิ้งช่วงจากการเก็บครั้งแรก 2-3 สัปดาห์ ต้นครามจะเจริญงอกงามได้อีก หรือจะตัดเฉพาะแขนงให้เหลือส่วนใบไว้บ้าง เพื่อรักษาต้นครามไว้ เมื่อตัดแล้วจะปล่อยต้นครามไว้ประมาณ 2-3 สัปดาห์

2. การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

2.1 การเตรียมครามผง

- 1) เก็บใบครามสดหนัก 1 กิโลกรัม บรรจุในถังพลาสติก เติมน้ำให้ท่วม
- 2) แช่ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง แยกกากใบครามออกจะได้สารละลายสีเขียวอมฟ้า
- 3) เติมหากาสดลงไปในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง สารละลายจะเกิดเป็นฟองสีน้ำเงิน และเกิดการยุบตัว จากนั้นพักสารละลายไว้ จนสารละลายตกตะกอน แยกสารละลายใสชั้นบนทิ้ง
- 4) นำสารละลายจากข้อ 2.1.3 มาหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที รินสารละลายใสด้านบนทิ้ง
- 5) ทำซ้ำข้อ 2.1.4 อีก 2 ครั้ง จะได้ครามเปียก
- 6) นำครามเปียกไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่แข็ง ใช้เวลาในการทำให้แห้ง 20-30 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักครามต่อน้ำหนักใบครามสด

2.2 การเตรียมน้ำจี้เต้า

- 1) เลือกไม้สดที่หาได้ ปลูกและขยายพันธุ์ง่ายในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไม้จี้เต้า 11 ชนิด ได้แก่ ไม้มะขาม ไม้ข่อย ไม้ฝรั่ง ไม้ประดู่ ไม้จี้เหล็ก ไม้แก้ว ไม้หนูน ไม้ปาล์ม ไม้ยางพารา ไม้กระถินยักษ์ และกาบมะพร้าว

2) ตัดส่วนกิ่งและลำต้นสับเป็นชิ้นเล็กๆ กองไม้สดแต่ละชนิด จากนั้นเผาให้เป็นขี้เถ้า โดยใช้น้ำดับก่อนที่ไฟจะมอด

3) ขี้เถ้าที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงถี่ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บขี้เถ้าไว้ในขวดที่มีฝาปิดสนิท

4) ชั่งขี้เถ้าแต่ละชนิดหนัก 100 กรัมใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำ 700 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของน้ำขี้เถ้า 1:7) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

5) นำมากรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.1 เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็น

6) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 4-5 โดยเตรียมน้ำขี้เถ้าไม้ในอัตราส่วน 1:3, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:50

7) นำน้ำขี้เถ้าแต่ละชนิดมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

3. สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักไบโอคราม

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

3.1.1 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

1) ชั่งอินดิโกมาตรฐาน 0.01 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำมาละลายน้ำเล็กน้อย

2) ชั่ง NaOH เป็น 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร

3) นำสาร ข้อที่ 1 ผสมกับข้อที่ 2 เขย่าด้วยกันในขวดที่ต่อด้วยท่อona แก๊สเป่าแก๊สในโตรเจนประมาณ 70 นาที

4) ชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 2.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำในข้อที่ 3 แล้วเป่าแก๊สในโตรเจนต่อเนื่องอีก 70 นาที

5) นำสารละลายข้อที่ 4 วัดค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

6) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1- 5 โดยเปลี่ยนน้ำหนักของ NaOH เป็น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 กรัม

7) นำข้อที่ 6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดสูงสุด

3.1.2 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

1) ชั่งอินดิโกมาตรฐาน 0.01 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำมาละลายน้ำเล็กน้อย

2) ชั่ง NaOH 2.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายน้ำ 250 มิลลิลิตร

3) นำสาร ข้อที่ 1 ผสมกับข้อที่ 2 เข้าด้วยกัน ในขวดที่ต่อด้วยท่อ นำแก๊สเป่าแก๊ส ในโตรเจนประมาณ 70 นาที

4) ชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำในข้อที่ 2 แล้วเป่าแก๊สในโตรเจนต่อเนื่องอีก 70 นาที

5) นำสารละลายข้อที่ 4 วัดค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

6) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1- 5 โดยเปลี่ยนน้ำหนักของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ เป็น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม

7) นำข้อที่ 6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด

3.1.3 เวลาที่ใช้ในการทำให้สีครามเกิดปฏิกิริยารีดักชันอย่างสมบูรณ์

1) ชั่งครามผง, NaOH ตามผลการทดลองที่ 3.1.1 ชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำ 250 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่ต่อด้วยท่อ นำแก๊ส เป่าในโตรเจนเป็นเวลา 70 นาที

2) ชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ตามผลการทดลองในข้อที่ 3.1.2 ใส่ในขวดที่ต่อด้วยท่อ นำแก๊ส เป่าในโตรเจนเป็นเวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 นาที

3) เมื่อครบตามเวลาให้บีบเปิดสารละลายจากขวด (ให้ได้น้ำน้อยที่สุด) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ (λ_{max}) ที่ความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุด

3.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักไบโคราม

3.2.1 กราฟมาตรฐานอินดิโก

1) ชั่งอินดิโกมาตรฐาน 0.01 กรัม, NaOH 0.5 กรัม, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 2.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร

2) นำสารจากข้อที่ 1 ผสมเข้ากัน ใส่ในขวดที่ต่อด้วยท่อ นำแก๊ส เป่าในโตรเจนเป็นเวลา 70 นาที

3) เตรียมน้ำกลั่น 4 ขวด ขวดละ 25 มิลลิลิตร เป่าแก๊สในโตรเจน 30 นาที

4) บีบเปิดสารละลายจากข้อที่ 3 มา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่ 1 เป่าแก๊สในโตรเจนต่อเนื่อง เป็นเวลา 70 นาที

5) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 โดยบีบเปิดสารจากข้อที่ 1 มา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่ 2, 3, และ 4 ตามลำดับ

6) นำสารละลายที่ได้จากข้อ 5) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.2.2 การหมักใบครามที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

1) เก็บใบครามอายุประมาณ 3 เดือน หรือใบครามที่เริ่มออกฝัก เก็บในตอนเช้ามีด เพื่อป้องกันไม่ให้ใบครามโดนแสงแดด

2) ชั่งใบครามหนัก 150 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งใส่ในขวด เติมน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เตรียมทั้งหมด 18 ตัวอย่าง

3) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, - 36 ชั่วโมงตามลำดับ

4) เมื่อครบตามเวลาในข้อที่ 3 กรองแยกกากใบครามออก จากนั้นพ่นอากาศเพื่อออกซิไดส์อินดอกซิลเป็นอินดิโกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5) นำน้ำครามจากข้อที่ 4 ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง 3,500 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 15 นาที เทน้ำใสๆด้านบนทิ้ง ให้เหลือตะกอนคราม เติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อล้างตะกอนคราม และปั่นเหวี่ยงอีก 2 ครั้ง เพื่อล้างตะกอนครามให้สะอาดชั่งน้ำหนักตะกอนครามด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งบันทึกน้ำหนักตะกอนคราม

6) ทำซ้ำจากข้อที่ 1) – 5) โดยเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องไปเป็นอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

3.3 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

3.3.1 ชั่งครามเปียกที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ ในข้อที่ 3.2.2.5 มาประมาณ 0.2 กรัม ชั่ง NaOH (ปริมาณตามผลการทดลองในหัวข้อ 3.1.1) และ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (ปริมาณตามผลการทดลองในหัวข้อ 3.1.2) ชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3.2 เป่าแก๊สไนโตรเจน 70 นาที สารละลายที่ได้มีสีเหลือง

3.3.3 นำสารละลายสีเหลืองที่ได้วัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด เทียบหาปริมาณอินดิโกจากกราฟมาตรฐาน

3.3.4 นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาทางจลนพลศาสตร์

4. สภาพที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมสีคราม

4.1 หาความเข้มข้นของสีผ้าฝ้ายในการเตรียมสีครามที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

1) ชั่งครามผง 1 กรัมด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติมน้ำจืดแล้วปั่นราว 600 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน วัดพีเอช

2) นำสารละลายในข้อที่ 1) ทำการทดลองในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้ 1, 3, 6, 12, 18, 24, 30, 36 และ 42 นาที

3) เมื่อครบตามเวลา จุ่มผ้าฝ้ายที่เปียกน้ำแล้วขนาด 6X6 เซนติเมตร ในสารละลายนาน 3 นาที

4) ยกผ้าฝ้ายออก ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำจากก๊อก ผึ่งลมให้แห้ง

5) วัดความเข้มของสีผ้า (K/S) ด้วยเครื่อง color flash

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การปลูกคราม

การปลูกครามที่แปลงทดลอง ในพื้นที่ 100 ตารางวา โดยวิธีการหว่านเมล็ด ดันคราม เจริญเติบโตดี ให้ใบครามมาก สามารถเก็บผลผลิตได้เมื่อต้นครามอายุ 3 เดือนครึ่งจากนั้นทั้งช่วงจากการเก็บครั้งแรก 2-3 สัปดาห์ สังเกตจากใบครามจะมีสีเขียวเข้ม เก็บผลผลิตต่อเนื่องได้อีก 4 ครั้ง แต่ละครั้งจะให้ผลผลิตใบครามน้อยลง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลผลิตใบคราม

การเก็บเกี่ยวคราม	น้ำหนักใบคราม (กิโลกรัม)
ครั้งที่ 1	16
ครั้งที่ 2	14
ครั้งที่ 3	10
ครั้งที่ 4	4

2. การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

2.1 การเตรียมครามผง

ครามผงที่เตรียมได้จากใบครามมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำเงิน ให้ น้ำหนักต่อใบครามสดเฉลี่ย 12.40 g/kg ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและน้ำหนักต่อใบครามสดของคราม

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนักต่อใบครามสด (g/kg)
<u>ครามผง</u>	 เป็นผงละเอียดเบา สีน้ำเงิน	
ตัวอย่างที่ 1		12.51
ตัวอย่างที่ 2		12.64
ตัวอย่างที่ 3		12.06
น้ำหนักเฉลี่ย 12.40 g/kg		

2.2 การเตรียมน้ำจืด

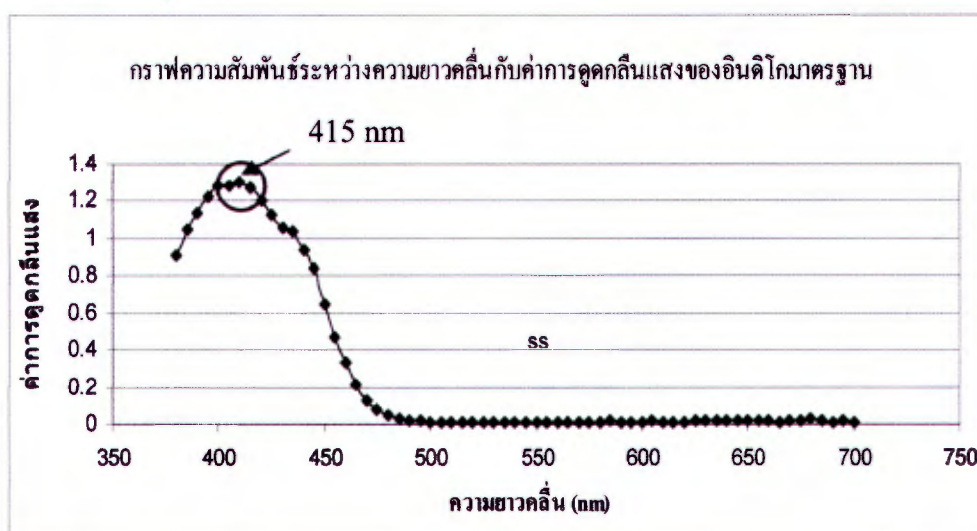
ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำจืดไม้สดแต่ละชนิด

ชนิดของไม้สด	ลักษณะทางกายภาพ		ค่าความเป็นกรด-ด่าง
	จืด	น้ำจืด	
ไม้มะขาม	ขาวเทา	ใสไม่มีสี	12.46
ไม้ข่อย	เทาดำ	เหลืองอ่อน	11.57
ไม้ฝรั่ง	ขาวเทา	ใสไม่มีสี	12.02
ไม้ประดู่	ขาวเทา	เหลืองอ่อน	12.36
ไม้จืดเหล็ก	ขาวเทา	ใสไม่มีสี	12.26
ไม้แก้ว	เทาดำ	เหลืองเข้ม	12.65
ไม้หนูน	ขาวเทา	ใสไม่มีสี	12.50
ไม้ยางพารา	ขาวเทา	เหลืองปานกลาง	11.85
ไม้ปาล์ม	ขาว	ใสไม่มีสี	10.91
ไม้กระถินยักษ์	เทาดำ	เหลืองอ่อน	12.14
ก้ามมะพร้าว	เทาดำ	เหลืองเข้ม	11.19

3. สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักไบโครม

3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

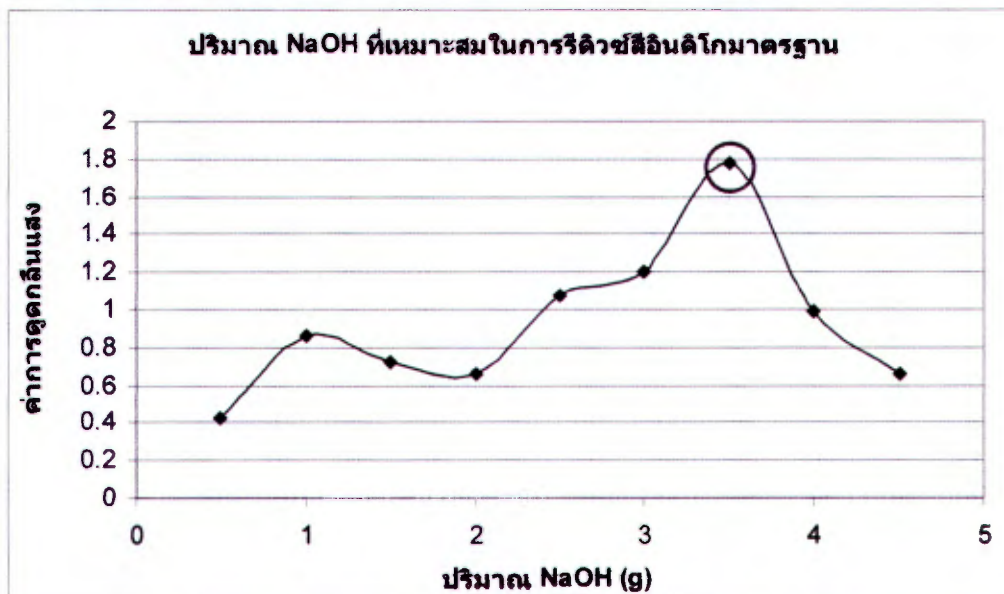
ค่าความยาวคลื่นที่ทำให้การดูดกลืนแสงสูงสุดของสีอินดิโกมาตรฐานที่ถูกรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ คือ 415 nm แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงของสีอินดิโกมาตรฐาน

3.1.1 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

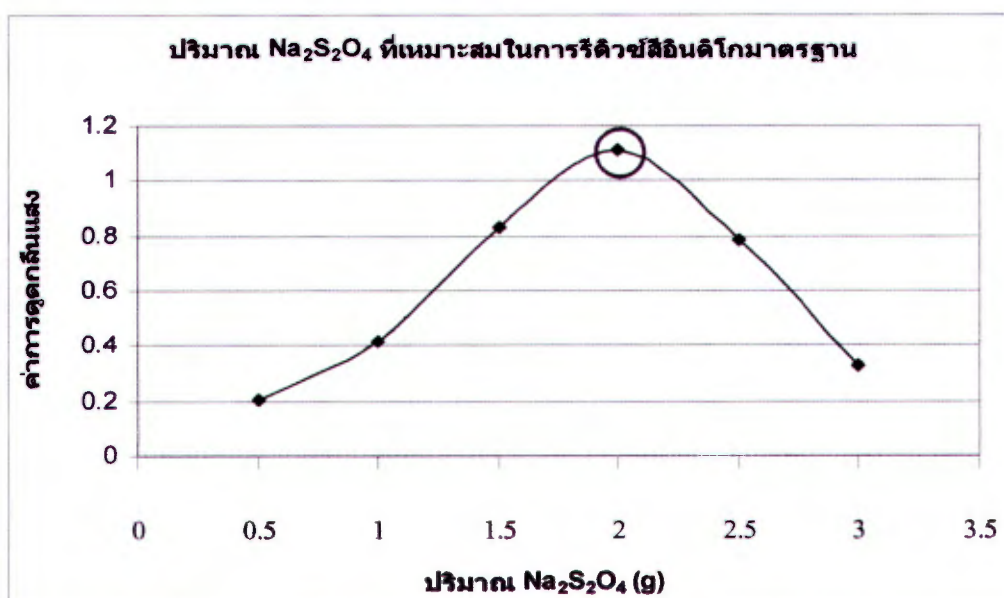
ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ คือ 3.5 กรัม แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีอินดิโกมาตรฐาน

3.1.2 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

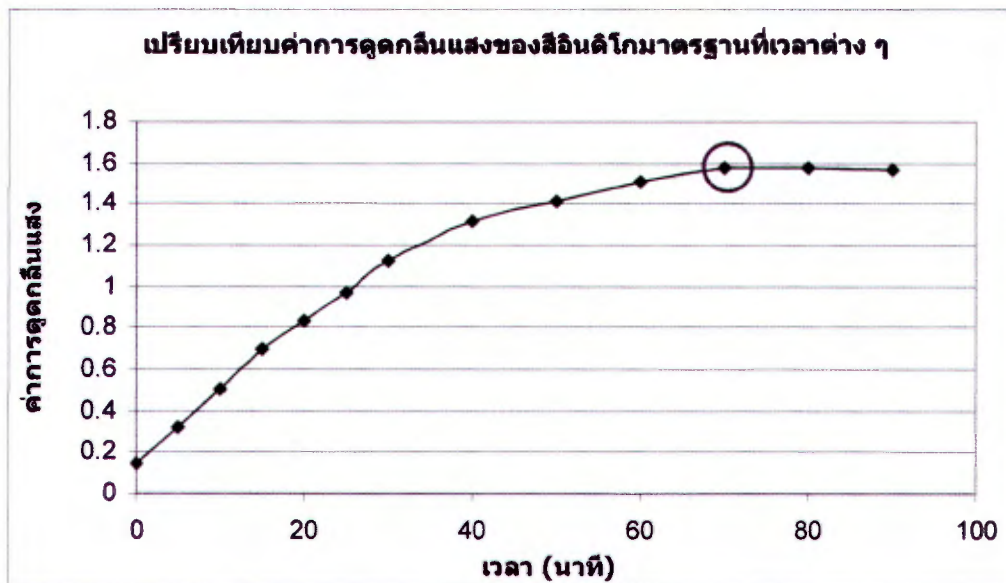
ค่าปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่ให้การดูดกลืนแสงสูงสุดของสีอินดิโกมาตรฐานที่ถูกรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ คือ 2.0 กรัม แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีอินดิโกมาตรฐาน

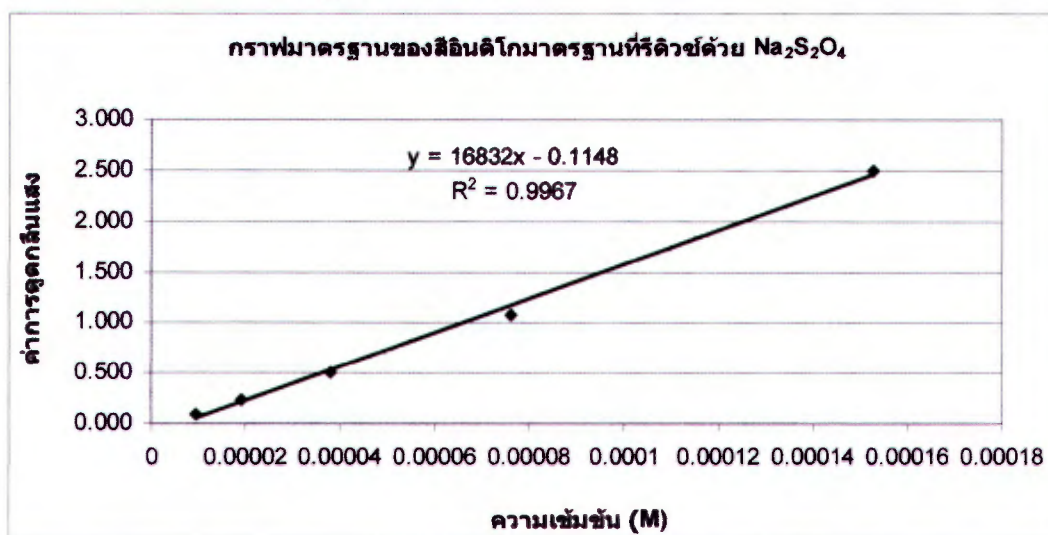
3.1.3 เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

เวลาที่เกิดการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ อย่างสมบูรณ์ คือที่ 70 นาที แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าดูดกลืนแสงของสียอินดิโกมาตรฐานที่เวลาต่าง ๆ

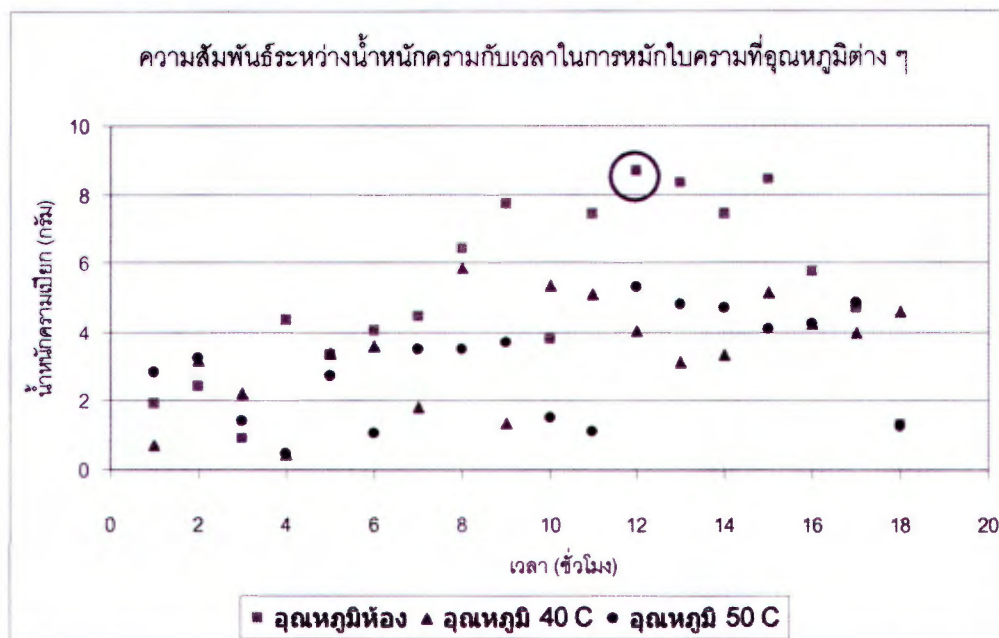
3.2 เตรียมกราฟมาตรฐานของอินดิโก



รูปที่ 9 กราฟมาตรฐานของสียอินดิโก

3.3 น้ำหนักใบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

ผลการศึกษาเวลาและอุณหภูมิในการหมักใบคราม พบว่าการหมักใบครามที่อุณหภูมิห้องใช้เวลา 12 ชั่วโมงให้น้ำหนักครามมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครามกับเวลาในการหมักที่อุณหภูมิต่าง ๆ

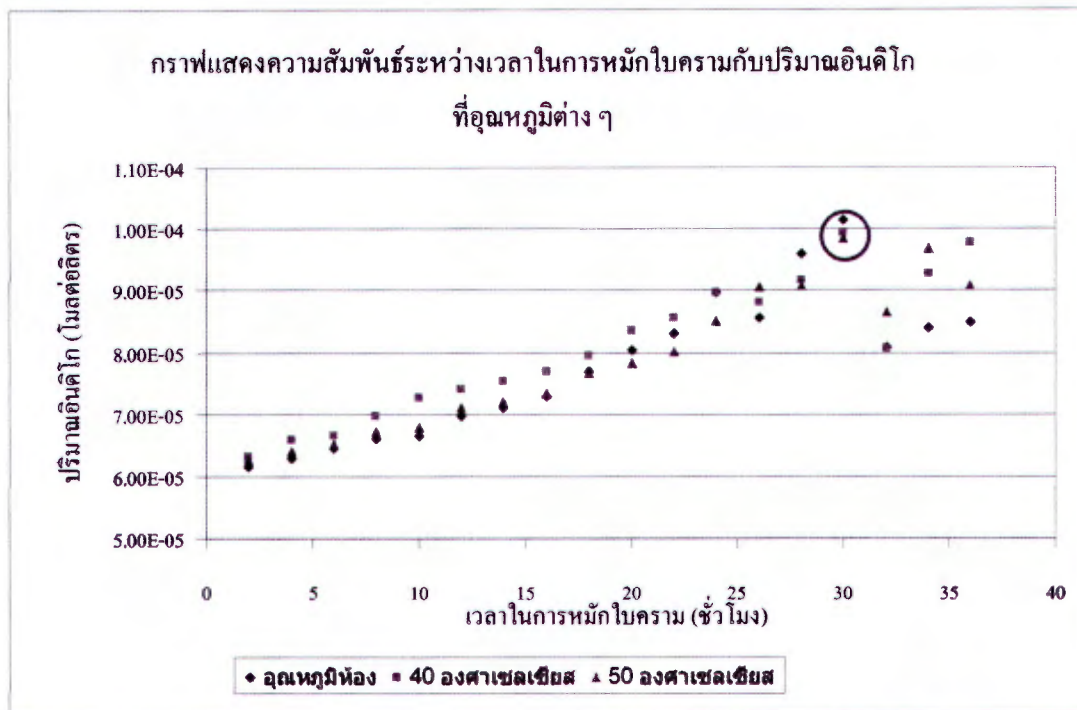
นอกจากนี้ยังพบว่าใบครามที่หมักทั้งใบจะให้น้ำหนักใบครามเปียกต่อใบครามสดน้อยกว่าใบครามที่หั่นละเอียดที่แช่น้ำร้อนก่อนการหมัก 1 นาที่ จะให้น้ำหนักครามเปียกต่อใบครามสดมากที่สุด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของน้ำหนักใบครามในการหมักใบครามรูปแบบต่าง ๆ

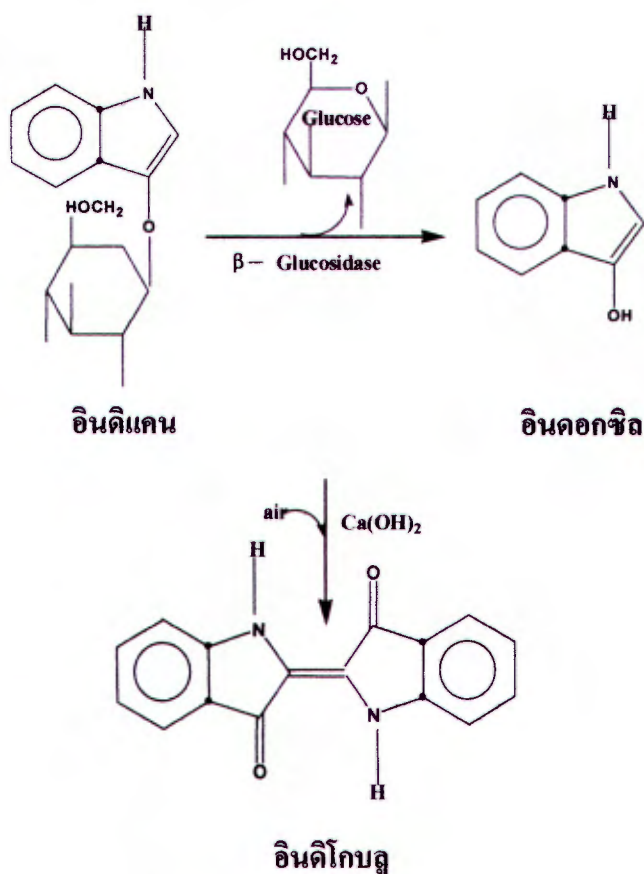
ตัวอย่างคราม (เวลาในการหมัก 12 ชั่วโมง)	น้ำหนักครามเปียก ต่อใบครามสด (g/kg)
ใบคราม	12.77
ใบครามหั่นละเอียด	19.58
ใบครามหั่นละเอียด แช่น้ำร้อนก่อนการหมัก 1 นาที่	24.23

3.4 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณอินดิโกมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้เวลาในการหมักนาน 30 ชั่วโมงในทุกอุณหภูมิ และการหมักที่ทุกอุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง 40, 50 องศาเซลเซียส) ให้ปริมาณอินดิโกแตกต่างกันไม่นับสำคัญ



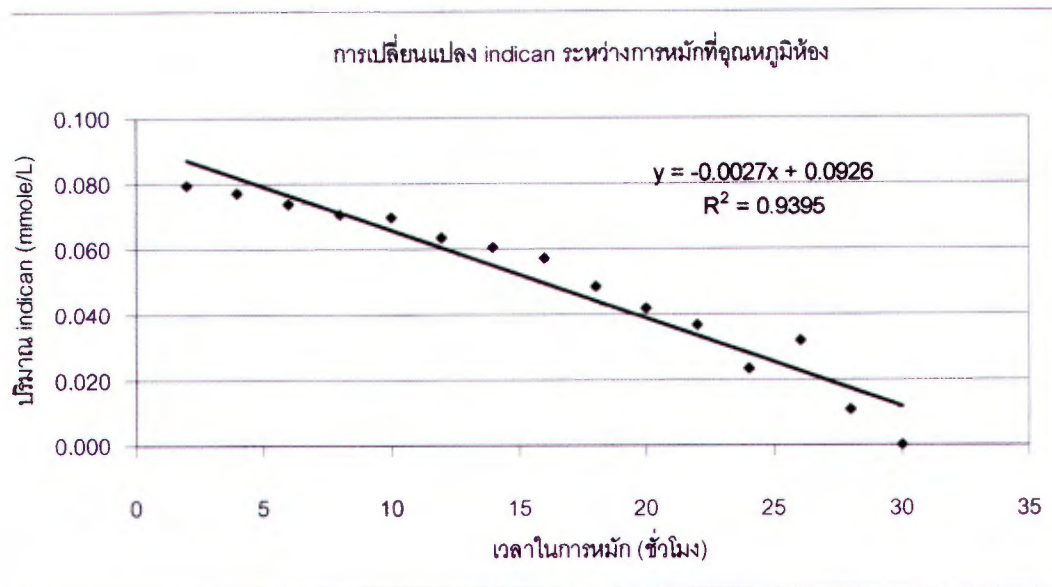
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการหมักโดยรวมกับปริมาณอินดิโกที่เวลาต่างๆ



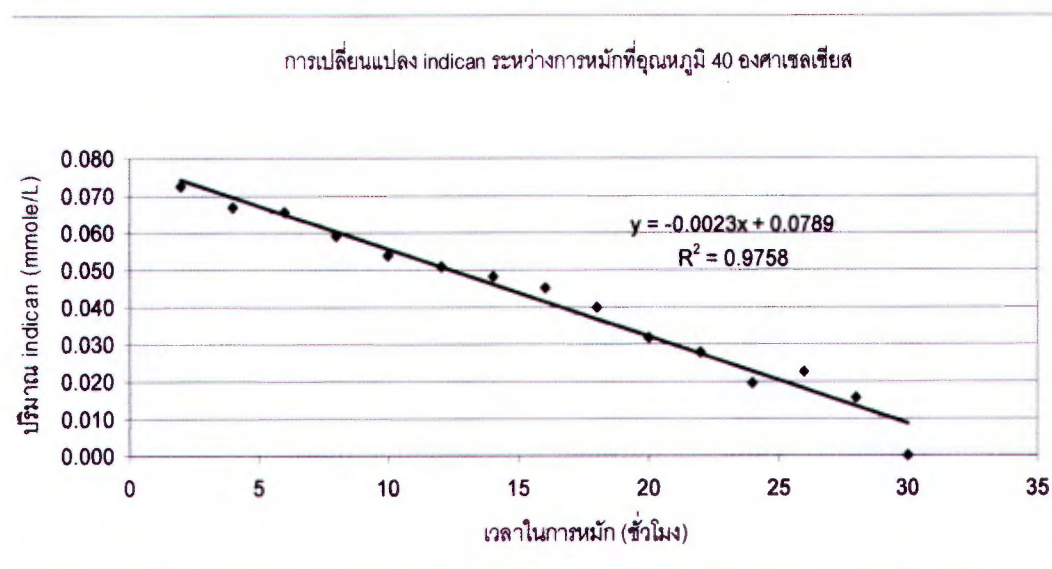
รูปที่ 12 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการหมักใบครามให้ได้อินดิโกจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

จากสมการการเกิดสีอินดิโกพบว่าเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาแรกเป็นการเปลี่ยนสารอินดิแคนในใบครามเป็นอินดอลซิล ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ศึกษาจลนพลศาสตร์ ส่วนปฏิกิริยาที่สองเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันอินดอลซิลเป็นอินดิโกที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นปริมาณอินดอลซิลที่เกิดขึ้นจะเป็นสองเท่าของอินดิโกที่วัดได้

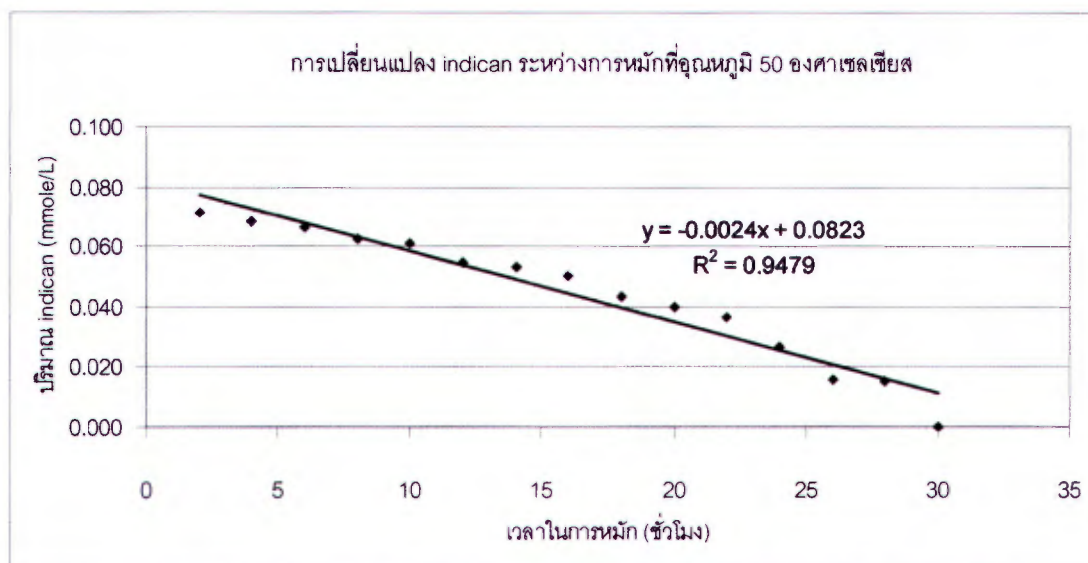
จากปริมาณอินดิโกที่วัดได้ข้างต้นสามารถคำนวณหาปริมาณอินดิแคนที่หายไป จากนั้นพล็อตกราฟหาอันดับปฏิกิริยา พบว่าที่อันดับปฏิกิริยาเท่ากับศูนย์ให้กราฟเป็นเส้นตรง (กราฟระหว่างปริมาณอินดิแคนที่หายไปกับอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 13 14 และ 15)



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงอินดิแคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิห้อง



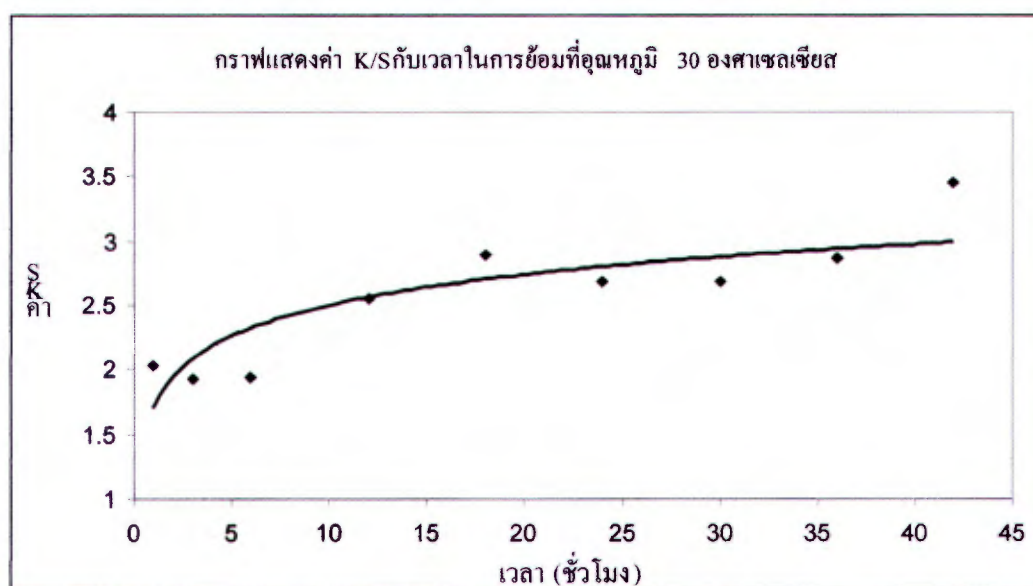
รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงอินดิแคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



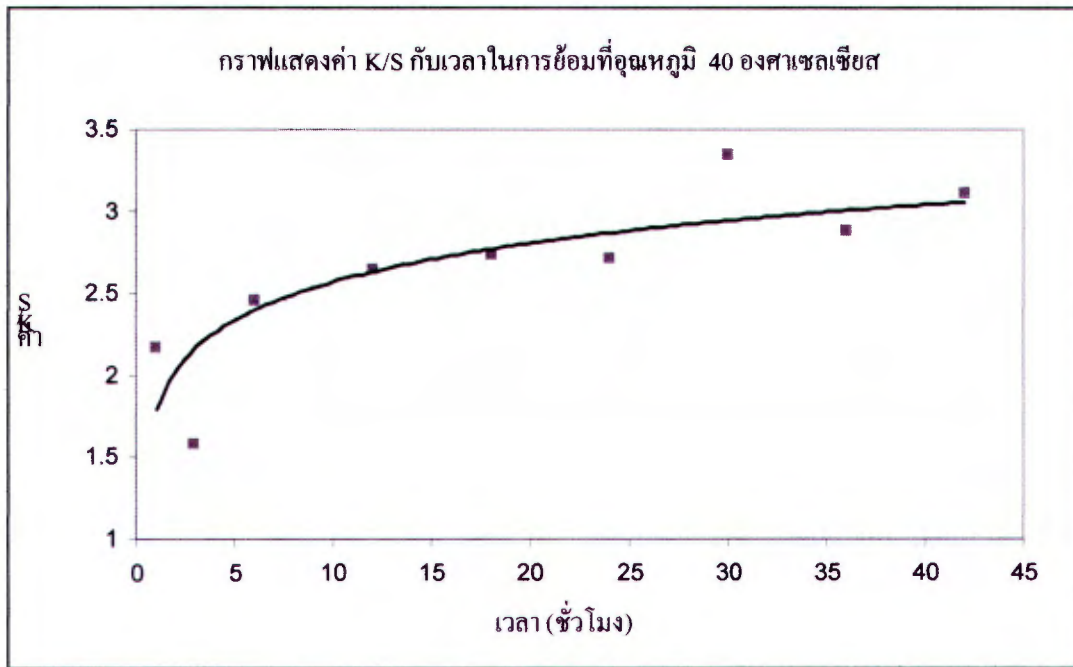
รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงอินดิแคนระหว่างการหมักที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4. สภาพที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมสักราม

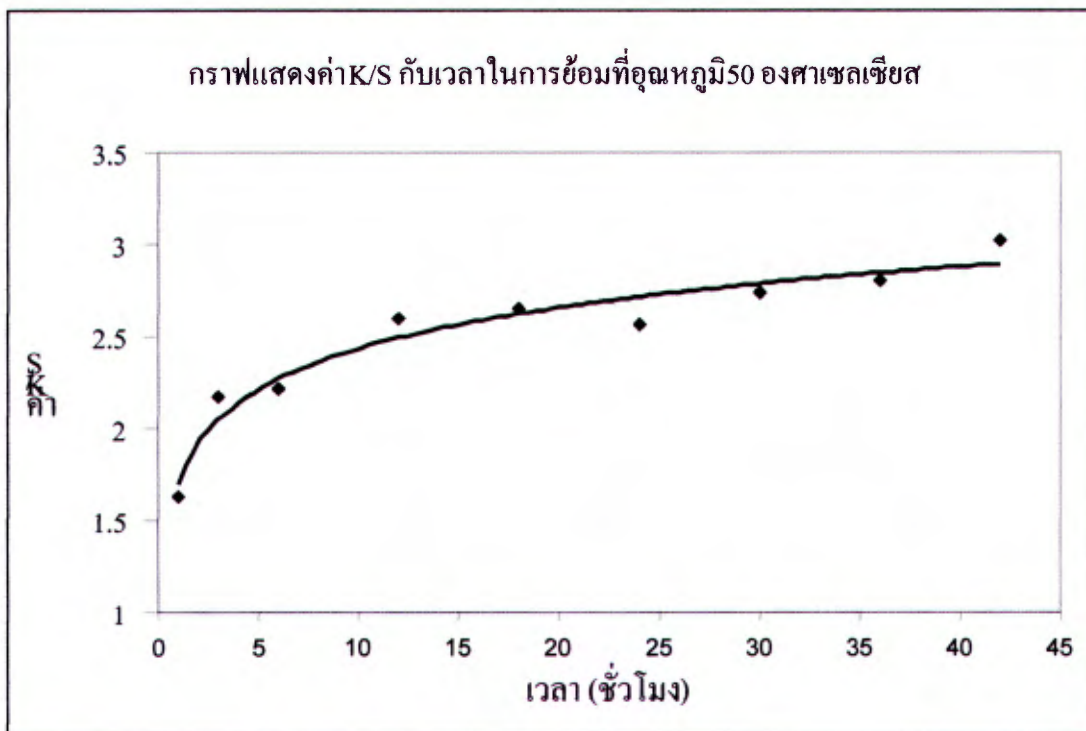
กระบวนการย้อมสีพิจารณาอัตราเร็วในการย้อมสี นำผ้าฝ้ายลงย้อม หาค่าความเข้มข้นผ้าฝ้าย (K/S) ผลของความเข้มสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 16 17 และ 18 จากการทดลองในช่วงแรกความเข้มสีบนผ้าฝ้ายจะเข้มข้นตามเวลาในการย้อม เพราะในช่วงแรกที่ผิวของผ้าฝ้ายยังมีอยู่มากทำให้โมเลกุลสีพื้นที่ในการเลือกเกาะติดได้มาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสีที่เกาะติดผ้าฝ้ายมีค่าลดลงจนคงที่ เนื่องจากพื้นผิวของผ้าฝ้ายค่อย ๆ ถูกใช้หมดไป



รูปที่ 16 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 17 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 18 ค่า K/S กับเวลาในการย้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการย้อมสีครามธรรมชาติบนผ้าฝ้ายได้ศึกษาเกี่ยวกับการปลูกคราม จลนพลศาสตร์และสภาวะที่เหมาะสมการหมักใบครามและการย้อมสีคราม ได้ผลการวิจัยดังนี้

การปลูกครามได้มาเป็นผลผลิตใบคราม พบว่า การเก็บครามในครั้งแรกให้น้ำหนักสูงสุด 16 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร และปริมาณใบครามที่เก็บในครั้งที่ 2 3 และ 4 มีปริมาณของ ใบครามลดลงถึง 50% ในกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยจะทำให้ได้ปริมาณใบครามเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการ ใส่ปุ๋ยจะช่วยให้การเจริญเติบโตของต้นครามได้ดีขึ้น

จลนพลศาสตร์และสภาวะที่เหมาะสมในการหมักใบคราม พบว่า การหั่นใบครามให้ละเอียด แช่น้ำร้อน 1 นาที จากนั้นหมักต่อด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 ชั่วโมง จะให้ครามผง มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการหั่นใบครามให้ละเอียดจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของสารกับตัวสกัด และการแช่น้ำร้อนจะช่วยในการล้างไขจากใบคราม จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการหมัก พบว่า เป็น ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ แสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาการหมักไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณใบคราม

การย้อมสีคราม พบว่า ใช้เวลาในการย้อม 30 ชั่วโมง และ อุณหภูมิห้องผ้าฝ้ายจะดูดซับสี ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส อย่างไม่มีนัยสำคัญ

บรรณานุกรม

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. 2525. สีส้อมธรรมชาติ. วารสารศิลปากร, 26 : 96-123.

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม. 2538. เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง ความคงทนของสีย้อมต่อการซัก. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 20 น.

กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2522. การย้อมสีฝ้ายและไหม. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร. 30 น. (โรเนียว)

อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เทคนิค 19 การพิมพ์, 2527.

ชโลมพร รื่นฤทัย. การย้อมผ้าด้วยสีที่ได้จากธรรมชาติ. อุตสาหกรรมสาร, ปีที่ 20 ฉบับที่ 6.

กลุ่มงานพัฒนาไหมไทย. 2530. การฟอกย้อมไหมไทย. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 12น. (โรเนียว)

คิคุโอะ โมริโมโต้. 2528. สีธรรมชาติ. สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, กรุงเทพฯ. 9 น.

อัจฉราพร ไสละสูต. 2526. ความรู้เรื่องผ้า. เทคนิค 19 การพิมพ์, กรุงเทพฯ. 357 น.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักไบโอคราม

ตารางที่ 5 ปริมาณ NaOH ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

ปริมาณ NaOH (g)	ความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการดูดกลืนแสง
0.5	12.40	0.426
1.0	12.64	0.863
1.5	12.66	0.723
2.0	12.70	0.659
2.5	12.73	1.078
3.0	12.75	1.200
3.5	12.90	1.776
4.0	12.94	0.989
4.5	12.81	0.661

ตารางที่ 6 ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ที่เหมาะสมในการรีดิวซ์

ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (g)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.5	0.202
1.0	0.418
1.5	0.833
2.0	1.109
2.5	0.783
3.0	0.324

ตารางที่ 7 เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

เวลา (นาทีก)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.143
5	0.324
10	0.501
15	0.694
20	0.834
25	0.969
30	1.118
40	1.315
50	1.413
60	1.510
70	1.579
80	1.580
90	1.568

ตาราง 8 น้ำหนักใบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักคราม		
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 50 °C
2	1.94	0.69	2.81
4	2.40	3.19	3.23
6	0.89	2.22	1.39
8	4.33	0.46	0.45
10	3.35	3.36	2.71
12	4.02	3.58	1.04
14	4.42	1.83	3.50
16	6.42	5.84	3.47
18	7.74	1.37	3.70
20	3.78	5.37	1.49

ตารางที่ 9 น้ำหนักใบครามในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักคราม		
	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 50 °C
22	7.41	5.12	1.11
24	8.70	4.03	5.31
26	8.31	3.14	4.81
28	7.40	3.32	4.71
30	8.45	5.15	4.10
32	5.75	4.25	4.23
34	4.68	3.97	4.87
36	1.30	4.62	1.25

ตารางที่ 10 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ

เวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสง			ปริมาณ indigo (mole/L)		
	อุณหภูมิห้อง	40 °C	50 °C	อุณหภูมิห้อง	40 °C	50 °C
2	0.502	0.514	0.511	6.15×10^{-5}	6.31×10^{-5}	6.27×10^{-5}
4	0.512	0.536	0.522	6.28×10^{-5}	6.58×10^{-5}	6.41×10^{-5}
6	0.525	0.542	0.531	6.44×10^{-5}	6.66×10^{-5}	6.52×10^{-5}
8	0.538	0.567	0.547	6.61×10^{-5}	6.98×10^{-5}	6.72×10^{-5}
10	0.542	0.589	0.552	6.66×10^{-5}	7.26×10^{-5}	6.79×10^{-5}
12	0.566	0.601	0.578	6.96×10^{-5}	7.41×10^{-5}	7.12×10^{-5}
14	0.578	0.611	0.584	7.12×10^{-5}	7.53×10^{-5}	7.19×10^{-5}
16	0.591	0.623	0.595	7.28×10^{-5}	7.69×10^{-5}	7.33×10^{-5}
18	0.624	0.643	0.621	7.70×10^{-5}	7.94×10^{-5}	7.66×10^{-5}
20	0.651	0.675	0.635	8.04×10^{-5}	8.35×10^{-5}	7.84×10^{-5}
22	0.671	0.691	0.649	8.29×10^{-5}	8.55×10^{-5}	8.02×10^{-5}
24	0.723	0.723	0.688	8.95×10^{-5}	8.95×10^{-5}	8.51×10^{-5}
26	0.691	0.711	0.731	8.55×10^{-5}	8.80×10^{-5}	9.05×10^{-5}
28	0.773	0.739	0.733	9.59×10^{-5}	9.16×10^{-5}	9.08×10^{-5}
30	0.816	0.801	0.793	1.01×10^{-5}	9.94×10^{-5}	9.84×10^{-5}
32	0.654	0.652	0.698	8.08×10^{-5}	8.05×10^{-5}	8.64×10^{-5}
34	0.679	0.748	0.781	8.40×10^{-5}	9.27×10^{-5}	9.69×10^{-5}
36	0.687	0.788	0.732	8.50×10^{-5}	9.78×10^{-5}	9.07×10^{-5}

ตารางที่ 10 วิเคราะห์หาปริมาณอินดิแคนที่หายไปในการหมักที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

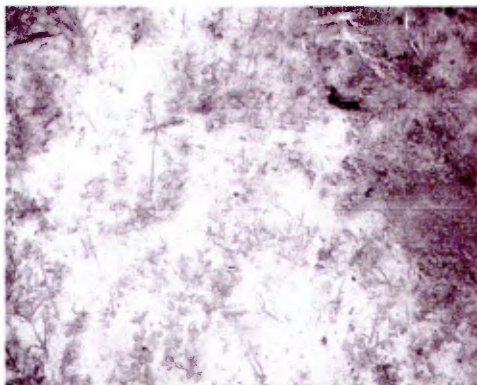
เวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ปริมาณ indican ที่หายไป (mmole/L)		
	อุณหภูมิห้อง	40 °C	50 °C
0	2.03E-01	1.99E-01	1.97E-01
2	0.080	0.073	0.071
4	0.077	0.067	0.069
6	0.074	0.066	0.066
8	0.070	0.059	0.062
10	0.069	0.054	0.061
12	0.063	0.051	0.054
14	0.060	0.048	0.053
16	0.057	0.045	0.050
18	0.049	0.040	0.044
20	0.042	0.032	0.040
22	0.037	0.028	0.036
24	0.024	0.020	0.027
26	0.032	0.023	0.016
28	0.011	0.016	0.015
30	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 11 หาความเข้มของสีฟ้าในการเตรียมสีกรามที่เวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ

เวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	ค่า (K/S)		
	อุณหภูมิห้อง	40 °C	50 °C
1	2.03	2.17	1.63
3	1.92	1.58	2.17
6	1.94	2.46	2.22
12	2.43	2.64	2.60
18	2.89	2.73	2.65
24	2.68	2.71	1.90
30	2.68	3.35	2.29
36	2.86	2.88	2.35
42	3.45	3.11	1.83

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบงานวิจัย

1. การปลูกคราม



การเพาะต้นกล้า



ต้นครามที่กำลังจะงอก



ครามกำลังเจริญเติบโต



ครามที่เก็บเกี่ยวได้แล้ว

2. การเตรียมวัตถุดิบในการทดลอง

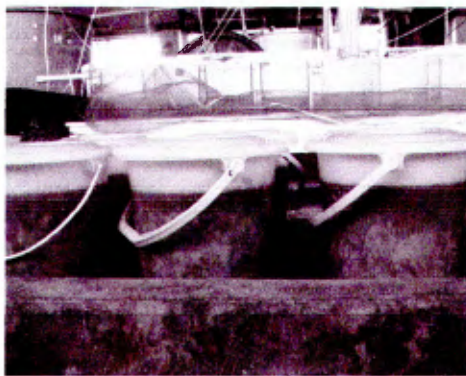
2.1 การเตรียมครามผง



ตัดกิ่งครามตอนเช้าตรู่



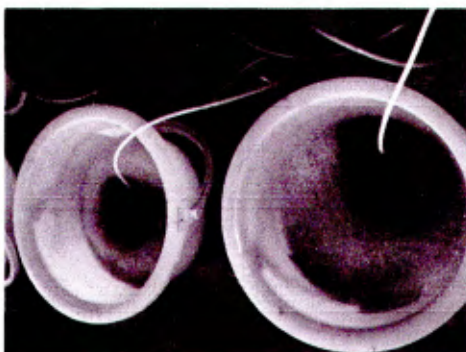
ตัดเอาเฉพาะใบครามที่มีสีเขียวสด



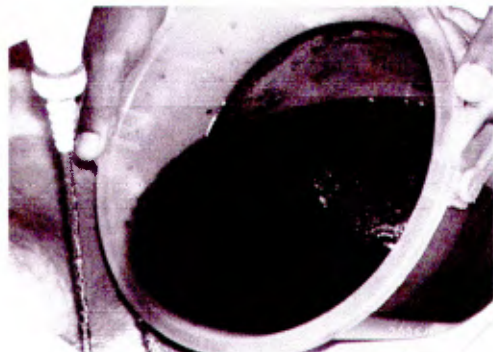
แช่ใบครามเติมน้ำให้ท่วม



แยกกากออก สารละลายจะมีสีเขียวอมฟ้า



เติมหากาศนาน 1 ชั่วโมง



ตะกอนคราม (แยกสารละลายสีทิ้ง)



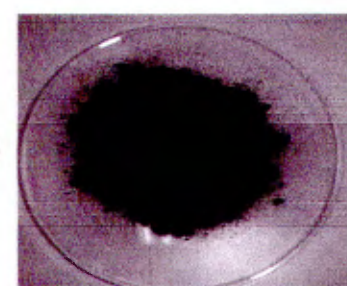
เหวี่ยงตะกอน



แยกตะกอนคราม



เข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เย็น

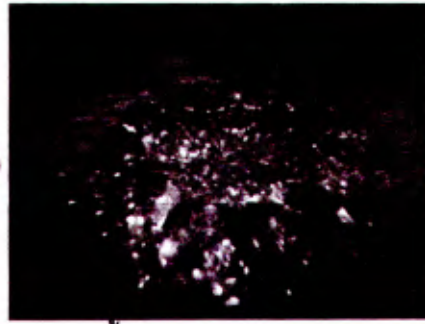


ได้ครามผง

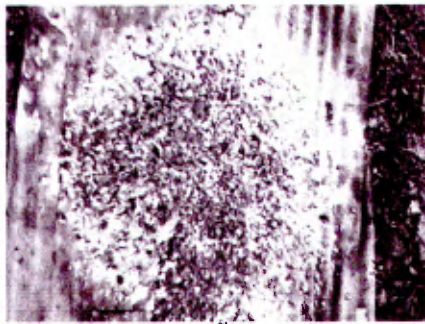
2.2 การเตรียมน้ำขี้เถ้า



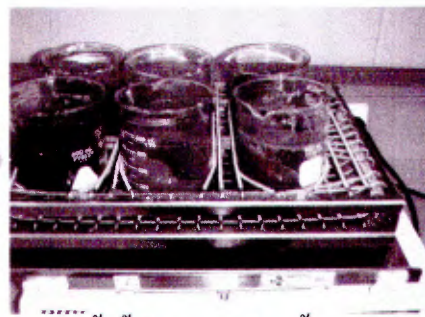
การบ่มข้าวแผ



ขี้เถ้าหลังจากการเผา



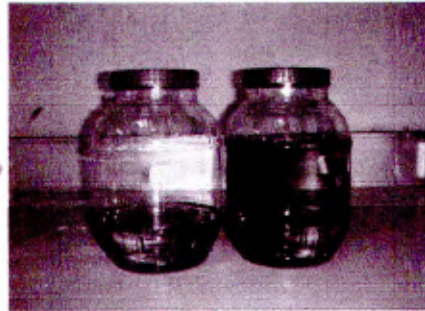
ผงขี้เถ้า



น้ำขี้เถ้าละลายด้วยน้ำ



พักน้ำขี้เถ้า 24 ชั่วโมง



น้ำขี้เถ้า

3. ทดสอบปริมาณสีคราม



ทดสอบในรูปของสารละลายลิโค-อินดิโก

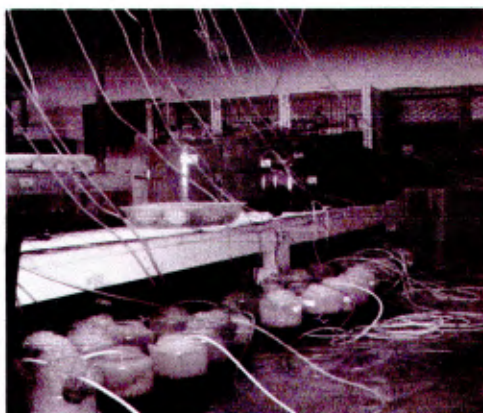
4. ศึกษาปัจจัย ได้แก่ เวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักใบคราม



ใบครามที่หมักในเวลาและอุณหภูมิต่าง ๆ



น้ำหมักหลังการหมักใบคราม



เติมอากาศ 1 ชั่วโมง



ตะกอนครามที่ได้

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวพรพริมา ปรีชา
เกิด	วันที่ 30 พฤษภาคม 2530
อายุ	23 ปี
ภูมิลำเนา	161 หมู่ 9 ตำบลยางค้อม อำเภอพิบูล จังหวัดนครศรีธรรมราช 80270
ประวัติการศึกษา	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านป่าพาด ตำบลละอาย อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80250 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนละอายพิทยานุสรณ์ ตำบลละอาย อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80250 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนละอายพิทยานุสรณ์ ตำบลละอาย อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80250 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช