การรีดิวซ์สีซัลเฟอร์โดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากสารละลายหลังกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

นายณรงค์กร ตรีสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF SULFUR DYE USING REDUCING SUGARS FROM SPENT SCOURING SOLUTION OF PINEAPPLE YARN

Mr. Narongkorn Trisan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology
Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรีดิวซ์สีซัลเฟอร์โดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากสารละลายหลังกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด
โดย	นายณรงค์กร ตรีสาร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ธิดารัตน์ นิ่มเชื้อ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ธิดารัตน์ นิ่มเชื้อ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.นราพร รังสิมันตกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณรงค์กร ตรีสาร : การรีดิวซ์สีซัลเฟอร์โดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากสารละลายหลังกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด. (
REDUCTION OF SULFUR DYE USING REDUCING SUGARS FROM SPENT SCOURING SOLUTION OF PINEAPPLE YARN) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ธิดารัตน์ นิ่มเชื้อ

ในงานวิจัยนี้สารละลายหลังจากการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ (มีน้ำตาลรีดิวซ์) ถูกใช้เพื่อรีดิวซ์สี Sulfur Black BR สำหรับการย้อมเส้นด้ายสับปะรด ขั้นตอนแรกเส้นด้ายสับปะรดดิบถูกกำจัดสิ่งสกปรกด้วยมัลติเอนไซม์ (เพกติเนส เซลลูเลส และไซแลนเนส) ณ ภาวะที่เหมาะสมจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ จากนั้นนำสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ ค่าศักย์การเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction potential, ORP) ที่พีเอช 11 ณ เวลาต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ สูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สีและการย้อมสีถูกวิเคราะห์รวมทั้งศึกษาสมบัติต่างๆของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี เช่น ความเข้มสี ค่าสี ร้อยละการผนึกสี ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความแข็งแรงของเส้นด้ายเปรียบเทียบกับเส้นด้ายสับปะรดย้อมด้วยสีที่ถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์และด้วยกลูโคสจากภาวะที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่า สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณ 153.43 มิลลิกรัม/50 มิลลิลิตร/ด้าย 1 กรัม หลังการรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์นี้ และย้อมสีบนเส้นด้ายสับปะรด พบว่า เส้นด้ายนี้มีสีเข้มกว่า (K/S= 14.35) เส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์(K/S= 13.22) ในขณะที่เส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสมีสีเข้มมากที่สุด (K/S= 20.42) เส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสและน้ำตาลรีดิวซ์ (สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก) ต่างมีร้อยละการผนึกสีสูงกว่า สีคงทนการซักล้างมากกว่าและเส้นด้ายหลังย้อมแข็งแรงมากกว่าเส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ นอกจากนี้ พบว่า ในระหว่างการรีดิวซ์สีด้วยสารรีดิวซ์ทั้งสามชนิด สารละลายสีต่างมีค่า ORP อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ คือ ระหว่าง -450 ถึง -680 มิลลิโวลต์ ณ พีเอช 11 ส่วนเวลาที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR คือ เวลา 10 นาที สำหรับการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์และด้วยกลูโคส และเวลา 20 นาที สำหรับการรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การรีดิวซ์สี Sulfur Black BR สามารถใช้กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์แทนการใช้โซเดียมซัลไฟด์ โดยสามารถใช้รีดิวซ์สี และย้อมสีได้เส้นด้ายสมบัติต่างๆ ดีมาก อีกทั้งยังเป็นการใช้น้ำเสียจากการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นวัตถุดิบในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ และสามารถทำการกำจัดสิ่งสกปรก รีดิวซ์สี และย้อมสีบนเส้นด้ายสับปะรดในอ่างเดียวกัน โดยไม่ต้องทิ้งน้ำเสียเลย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5971950023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORD: PINEAPPLE YARN, REDUCING SUGARS, REDUCTION, SCOURING

Narongkorn Trisan :

REDUCTION OF SULFUR DYE USING REDUCING SUGARS FROM SPENT SCOURING SOLUTION O F PINEAPPLE YARN. Advisor: Asst. Prof. USA SANGWATANAROJ, Ph.D. Co-advisor: Thidarat Nimchua, Ph.D.

In this research, spent enzymatic scouring solution (containing reducing sugars) was used for reduction of Sulfur Black BR dye during dyeing of pineapple yarn. Firstly, raw pineapple yarn was scoured with local produced multi-enzyme (pectinase, cellulase, and xylanase) at an optimal condition according to our previous research. Then spent scouring solution was analyzed for amount of reducing sugars and for its oxidation-reduction potential (ORP) at pH 11 at various times which were important factors for sulfur dye reduction. Optimal conditions for reduction of Sulfur Black BR dye and for pineapple yarn dyeing were determined along with properties of dyed yarn such as color strength, color value, %dye fixation, colorfastness to washing, and yarn strength. For comparison, this sulfur dye was also reduced with sodium sulfide as well as with glucose during pineapple yarn dyeing. After dye reduction with reducing sugars found in spent scouring solution and reduced dye was dyed on pineapple yarn, this yarn showed a slight higher color strength (K/S= 14.35) than the yarn dyed with sodium sulfide reduced dye (K/S = 13.22) while the yarn dyed with glucose reduced dye showed the highest color strength (K/S= 20.42). Yarn dyed with glucose and reducing sugars reduced dyes showed higher dye fixation, better colorfastness to washing and higher yarn strength than yarn dyed with sodium sulfide reduced dye. During dye reduction, all three dye solutions reduced with three reducing agents (sodium sulfide, glucose and reducing sugars) showed the required ORP between -450 to -680 mV at pH 11. The required times for dye reduction were 10 minutes for reduction with sodium sulfide and glucose, and 20 minutes for reduction with reducing sugars. It can be concluded that glucose and reducing sugars in enzymatic scouring solution can be used as reducing agents for sulfur dye reduction in addition to sodium sulfide. Dyed yarns showed dark color and great properties. Moreover, less amount of wastewater was generated in this two-step (scouring+ dyeing) one-bath process.

Field of Study:	Applied Polymer Science and Textile Technology	Student's Signature .....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รับคำแนะนำรวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาในการทำงานวิจัย ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์ด้วยความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. ธิดารัตน์ นิ่มเชื้อ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา และ ดร.นราพร รังสิมันตกุล ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวปวีณา ทองเกร็ด ผู้ช่วย นักวิจัยห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานทุกท่านที่ให้ ความรู้ คำแนะนำ และการช่วยเหลือสำหรับการผลิตมัลติเอนไซม์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ไทยนำโชคเท็กซ์ไทล์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นด้ายใยสับปะรดสำหรับการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (PETROMAT) สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ สนับสนุนเครื่องมือ สารเคมี และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับการช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจ และแรงผลักดันให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

ณรงค์กร ตรีสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สีซัลเฟอร์ 4

2.1.1 ความเป็นมาของสีซัลเฟอร์ 4

2.1.2 โครงสร้างสีซัลเฟอร์ 4

2.1.3 คุณลักษณะและสมบัติของสีซัลเฟอร์ 5

2.1.4 การย้อมสีซัลเฟอร์ 5

2.2 เส้นใยใบสับปะรด 6

2.2.1 ความเป็นมาเส้นใยใบสับปะรด 6

2.2.2 การแยกเส้นใยสับปะรดจากใบ 7

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยสับปะรด 9

2.2.3.1 เซลลูโลส 9

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3.3 ลิกนิน 11
2.2.3.4 เพกติน 11
2.3 การกำจัดสิ่งสกปรกบนสิ่งทอ 12
2.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมี 12
2.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกทางชีวภาพ 13
2.4 เอนไซม์ 13
2.4.1 นิยามของเอนไซม์ 13
2.4.2 กลไกลการทำงานของเอนไซม์ 13
2.4.3 ประเภทของเอนไซม์ 14
2.4.4 ทฤษฎีความจำเพาะของเอนไซม์ 16
2.4.4.1 ทฤษฎีแม่กุญแจ และลูกกุญแจ 16
2.4.4.2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ 16
2.4.5 เซลลูเลส 17
2.4.6 เพกติเนส 18
2.4.7 ไซแลนเนส 19
2.5 ปฏิกิริยารีดอกซ์ 20
2.5.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน 20
2.5.2 ปฏิกิริยารีดักชัน 20
2.6 น้ำตาลรีดิวซ์ 21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 การทดลองและการดำเนินงานวิจัย 25
3.1 วัสดุและสารเคมี 25
3.1.1 เส้นด้าย 25
3.1.2 สีซัลเฟอร์ 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3 มัลติเอนไซม์ 25
3.1.4 สารเคมี 25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 26
3.3 วิธีการทดลองและการดำเนินงานวิจัย 27
3.3.1 การเพาะเชื้อราและการผลิตเอนไซม์ 28
3.3.1.1 การเพาะเชื้อ 28
3.3.1.2 การผลิตเอนไซม์ 28
3.3.1.3 การสกัดและการเพิ่มความเข้มข้นของมัลติเอนไซม์ 28
3.3.1.4 การวัดค่าแอกทิวิตีของมัลติเอนไซม์ 29
3.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด 31
3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 32
3.3.4 การรีดิวซ์สี Sulfur Black BR 33
3.3.4.1 การรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ 34
3.3.4.2 การรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 34
3.3.4.3 การรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 34
3.3.5 การย้อมสี Sulfur Black BR 35
3.3.6 การออกซิไดส์สี Sulfur Black BR หลังการย้อม 36
3.3.7 การล้างเส้นด้ายหลังย้อมด้วยน้ำสบู่ 36
3.4. การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี 36
3.4.1 การวัดความเข้มสีและค่าสีบนเส้นด้าย 36
3.4.2 การวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้าย 37
3.4.3 การทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้าง 38
3.4.4 การทดสอบความคงทนต่อแรงดึงของเส้นด้าย 40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ 42
4.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ชนิดต่างๆ และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี 43
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วย โซเดียมซัลไฟด์และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม 43
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสและค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม 46
4.2.2.1 ผลการศึกษาเมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร 46
4.2.2.2 ผลการศึกษาเมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร 48
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม 52
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ORP ของสารละลายสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม 55
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสีผสมน้ำ และของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 57
4.5 ผลการวัดค่าสีของเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ด้วยกลูโคส และด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ณ ภาวะที่เหมาะสม 59
4.6 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสี (%dye fixation) บนเส้นด้ายหลังย้อม 60
4.7 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซัก 61
4.8 ผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดึง และการยืดตัวของเส้นด้ายก่อนและหลังย้อม 62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุปผลการทดลอง 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ 67
บรรณานุกรม 68
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 76
ภาคผนวก ค 78
ภาคผนวก ง 83
ภาคผนวก จ 88
ภาคผนวก ฉ 90
ภาคผนวก ช 92
ภาคผนวก ซ 97
ประวัติผู้เขียน 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและขนาดของเส้นใยสับปะรดหลังกระบวนการแยกออกจากใบ 7
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชชนิดต่างๆ 9
ตารางที่ 2.3 ประเภทและลักษณะการทำงานของเอนไซม์ 14
ตารางที่ 3.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารต่างๆ ในการศึกษาภาวะการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ 35
ตารางที่ 3.2 ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงของสี ระดับการเปื้อนติดสีของ และความหมาย 40
ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด กลูโคส และไซโลสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด 43
ตารางที่ 4.2 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารต่างๆ ณ ภาวะที่เหมาะสม 60
ตารางที่ 4.3 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารต่างๆ ณ ภาวะที่เหมาะสม 60
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี ... 61
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นดายต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี 61
ตารางที่ 4.6 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นด้ายก่อนและหลังย้อม 62
ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 76
ตารางที่ ข.2 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 76
ตารางที่ ข.3 ปริมาณน้ำตาลไซโลสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 77
ตารางที่ ค.1 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที ... 78
ตารางที่ ค.2 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที ... 78
ตารางที่ ค.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที ... 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.4 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 79
ตารางที่ ค.5 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 79
ตารางที่ ค.6 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 79
ตารางที่ ค.7 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 80
ตารางที่ ค.8 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 80
ตารางที่ ค.9 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 80
ตารางที่ ค.10 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 81
ตารางที่ ค.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที 81
ตารางที่ ค.12 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.13 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 82
ตารางที่ ง.1 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 83
ตารางที่ ง.2 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที 83
ตารางที่ ง.3 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที 83
ตารางที่ ง.4 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที .. 84
ตารางที่ ง.5 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 84
ตารางที่ ง.6 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 84
ตารางที่ ง.7 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที..... 85
ตารางที่ ง.8 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที ... 85
ตารางที่ ง.9 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที ... 85
ตารางที่ ง.10 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 86
ตารางที่ ง.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง.12 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที 86
ตารางที่ ง.13 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที 87
ตารางที่ จ.1 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ 88
ตารางที่ จ.2 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ 88
ตารางที่ จ.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ .. 88
ตารางที่ จ.4 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ 89
ตารางที่ จ.5 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ 89
ตารางที่ จ.6 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่ 89
ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี 90
ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี 90
ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี 90
ตารางที่ ฉ.4 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี 91
ตารางที่ ฉ.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ฉ.6 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี 91
ตารางที่ ช.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายดิบ 92
ตารางที่ ช.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายหลังกำจัดสิ่งสกปรก 93
ตารางที่ ช.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ในสูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี 94
ตารางที่ ช.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสในสูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี 95
ตารางที่ ช.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 96
ตารางที่ ซ.1 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงดึง ณ จุดขาดของเส้นด้ายที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้วิธี Paired-Samples T-Test 97
ตารางที่ ซ.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นด้ายที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้วิธี Paired-Samples T-Test 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของ C.I Sulfur Black 1 4
รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างสีซัลเฟอร์หลังการรีดิวซ์ 5
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างสีซัลเฟอร์หลังการออกซิไดส์ 6
รูปที่ 2.4 ลักษณะและองค์ประกอบของต้นสับปะรด 7
รูปที่ 2.5 การขูดแยกเส้นใยสับปะรดออกจากใบ 8
รูปที่ 2.6 การแยกเส้นใยจากใบสับปะรดแบบเชิงกล 8
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเซลลูโลส 10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส 10
รูปที่ 2.9 โครงสร้างเคมีของลิกนิน 11
รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีและลักษณะของเพกตินในเส้นใย 12
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเอนไซม์ 14
รูปที่ 2.12 ทฤษฎีแม่กุญแจ และลูกกุญแจ 16
รูปที่ 2.13 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ 16
รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของเซลลูโลสโดยเซลลูเลส 17
รูปที่ 2.15 การทำงานย่อยสลายเพกติเนส 18
รูปที่ 2.16 การทำงานย่อยสลายไซแลนเนส 19
รูปที่ 2.17 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน 20
รูปที่ 2.18 โครงสร้างน้ำตาลรีดิวซ์ชนิดต่างๆ 21
รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการทดลองและการดำเนินงานวิจัย 27
รูปที่ 3.2 เครื่องย้อมระดับห้องปฏิบัติการ 32
รูปที่ 3.3 UV-Visible spectrophotometer 33
รูปที่ 3.4 ORP Tester 10 และ pH tester 20 33
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการย้อมสี Sulfur Black BR บนเส้นด้ายสับปะรด 36
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดสีรุ่น Macbeth Color-Eye 7000 38
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบการซักระดับห้องปฏิบัติการ (Gyro wash) 39
รูปที่ 3.8 Gray Scale for Color Staining (ก) และ Gray Scale for Color Change (ข) 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.9 ตู้แสงมาตรฐาน..... 39
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความคงทนต่อแรงดึงของวัสดุสิ่งทอ 41
รูปที่ 4.1 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร 44
รูปที่ 4.2 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร 44
รูปที่ 4.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่เวลาต่างๆ..... 45
รูปที่ 4.4 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร 46
รูปที่ 4.5 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร..... 47
รูปที่ 4.6 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ 10 นาทีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร 48
รูปที่ 4.7 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร 49
รูปที่ 4.8 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร..... 49
รูปที่ 4.9 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ 10 นาที ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร..... 50
รูปที่ 4.10 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ 51
รูปที่ 4.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อมสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ..... 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.12 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยน้ำตารีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร 52
รูปที่ 4.13 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร 53
รูปที่ 4.14 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 10-30 นาที ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 10 กรัมต่อลิตร 54
รูปที่ 4.15 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก โดยใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม 56
รูปที่ 4.16 ความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BRที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ต่างๆ ในภาวะที่เหมาะสม 56
รูปที่ 4.17 ORP ของสี Sulfur Black BR ผสมน้ำ ณ เวลา 1-30 นาที 57
รูปที่ 4.18 พีเอชของสี Sulfur Black BR ผสมน้ำ ณ เวลา 1-30 นาที 58
รูปที่ 4.19 ORP ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ณ เวลา 1-30 นาที 58
รูปที่ 4.20 พีเอชของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ณ เวลา 1-30 นาที 59
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์เพกติเนส 74
รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไซโลสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์ไซแลนเนส 74
รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์เซลลูเลส 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dye) ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1873 จากการผสมระหว่างรำข้าวกับขี้เลื่อย และด่างซัลไฟด์ โดยสีซัลเฟอร์เป็นสีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการย้อมบนเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยฝ้าย เนื่องจากมีความคงทนต่อการซักล้างที่ดี และมีราคาถูก สีซัลเฟอร์มีโครงสร้างทางเคมีขนาดใหญ่ที่มีหมู่ซัลไฟด์ 2 หมู่ (-S-S-) เชื่อมติดกันระหว่างกลางโครงสร้างซึ่งแต่ละโมเลกุลของซัลไฟด์ถูกเชื่อมติดกับหมู่โครโมฟอร์ (chromophore) ซึ่งเป็นหมู่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสง และทำให้เกิดสีแก่โครงสร้างสี โดยลักษณะของสีซัลเฟอร์มีเฉดสีเข้ม เช่น สีดำ (black) สีกรมท่า (navy blue) และน้ำตาล (brown) และมีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกับสีแวต (vat dye) สมบัติพื้นฐานของสีซัลเฟอร์เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ (water insoluble dye) โดยก่อนย้อมทุกครั้งจำเป็นต้องรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ภายใต้ภาวะด่างเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างสีให้อยู่ในรูปแบบละลายน้ำ (water soluble dye) และเพื่อทำให้โมเลกุลสีสามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในของเส้นใยได้ในขั้นตอนของการย้อมสี หลังจากนั้นสีที่อยู่ภายในเส้นใยจะผ่านการออกซิไดส์ทำให้โมเลกุลสีเปลี่ยนกลับไปเป็นรูปแบบไม่ละลายน้ำ เพื่อจะทำให้โมเลกุลของสีถูกกักเก็บภายในเส้นใย และเพิ่มความคงทนต่อการซักล้างของสี [1] ในเส้นใยโดยสารรีดิวซ์ที่นิยมใช้มากในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ทางอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) และโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (sodium hydrosulfite) แต่ข้อเสียคือ เมื่อใช้สารเหล่านี้ในการรีดิวซ์สีในภาวะด่างสามารถเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งส่งผลอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และส่งผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่าน้ำตาลกลูโคสมีประสิทธิภาพในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ และทำให้สีละลายน้ำพร้อมสำหรับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส โดยให้ผลการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ และความเข้มสีของวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมเทียบเคียงผลการรีดิวซ์สีด้วยสารเคมีชนิดโซเดียมซัลไฟด์ [2-4]

เส้นใยสับปะรด (pineapple leaf fibers หรือ PALF) ได้จากการแยกเส้นใยออกจากใบสับปะรดที่เกิดจากการเหลือทิ้งหลังกระบวนการเก็บเกี่ยวทางการเกษตร โดยลักษณะเส้นใยมีสีขาว มีความอ่อนนุ่ม และความมันเงาคล้ายคลึงกับเส้นใยไหม ซึ่งวิธีการแยกเส้นใยออกจากใบสับปะรดสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การแยกแบบแช่ใบ (retting method) และ การแยกแบบเชิงกล (mechanical method) [5, 6] เส้นใยสับปะรดมีองค์ประกอบทางเคมี คือ เซลลูโลส (cellulose) 68.5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนอื่นๆที่เป็นสิ่งเจือปน เช่น เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 18.8 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน (lignin) 6.04 เปอร์เซ็นต์ เพกติน (pectin) 1.1 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน (protein) กับขี้ผึ้ง (wax)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า (ash) 0.9 เปอร์เซ็นต์ [7, 8] การทำให้เส้นใยสับประรด หรือ เส้นใยพืชอื่นๆ มีสมบัติที่ดูดซึมน้ำ สี และสารเคมีได้ดีขึ้นจำเป็นที่เส้นใยต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนบนเส้นใย ซึ่งในปัจจุบันสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้สองวิธี คือ วิธีที่หนึ่งการกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมีโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพราะมีราคาถูก แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงจากการใช้พลังงาน และน้ำ รวมทั้งส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ส่วนวิธีที่สองเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ ข้อดีของการใช้เอนไซม์ในการกำจัดสิ่งสกปรก คือ ใช้เวลาน้อย พลังงานต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเลือกกำจัดสิ่งสกปรกได้แบบจำเพาะเจาะจง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเส้นใย [9] จากงานวิจัยของ Niramon และคณะ [10] พบว่า การกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ (ประกอบด้วยเพกติเนส ไซแลนเนส และเซลลูเลส) สามารถทำให้เส้นด้ายดูดซึมน้ำได้ดีเทียบเท่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และงานวิจัยของ Sae-be และคณะ [11] พบว่า ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ (เพกติเนสและเซลลูเลส) มีน้ำตาลรีดิวซ์เกิดขึ้นในปริมาณต่างๆ ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ ได้แก่ กลูโคส เซลโลไบโอส ไซโลส กาแล็กโทส และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดอื่นๆ

จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาการนำน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ ซึ่งประกอบด้วยเพกติเนส เซลลูเลส และไซแลนเนส มารีดิวซ์สี Sulfur Black BR โดยปรับภาวะให้เหมาะสมสำหรับใช้รีดิวซ์สีซัลเฟอร์ เช่น พีเอชของสารละลายสี เวลาในการรีดิวซ์สี ความเข้มข้นของสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่า ORP หรือ oxidation-reduction potential ของสารละลายสี จากนั้นจะย้อมสีซัลเฟอร์ที่ผ่านการรีดิวซ์บนเส้นด้ายสับปะรด เปรียบเทียบกับการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ด้วยกลูโคส และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เส้นด้ายย้อมสีจะถูกวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความเข้มสีและค่าสีของเส้นด้าย ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้าย ความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้าง และความคงทนต่อแรงดึง และการยืดตัวของเส้นด้าย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากน้ำเสียที่ได้จากสารละลายหลังกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์เป็นวัตถุดิบสำหรับการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ในขั้นตอนการย้อม

2. พัฒนากระบวนการย้อมสีซัลเฟอร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยนำน้ำเสียที่ได้จากสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นสารรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ทดแทนการใช้โซเดียมซัลไฟด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีซัลเฟอร์ [1, 4]

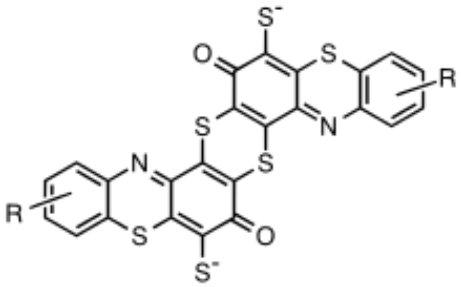
2.1.1 ความเป็นมาของสีซัลเฟอร์

สีซัลเฟอร์ (sulfur dye) ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1873 โดย Croissant และBretonnierew ได้คิดค้นสีซัลเฟอร์โดยใช้ขี้เลื่อย (sawdust) และรำข้าว (bran) ผสมกับด่างซัลไฟด์ (alkaline sulfides) นำไปให้ความร้อนได้เฉดของสีซัลเฟอร์เป็นสีน้ำตาลชื่อว่า Cachou de Lava 1 ในปัจจุบันถูกเรียกว่า C.I Sulfur brown 1 สีซัลเฟอร์ได้รับความนิยมในการย้อมสีบนเส้นใยฝ้าย โดยเฉดสีซัลเฟอร์ส่วนใหญ่มีเฉดสีเข้ม เช่น สีดำ (black) สีกรมท่า (navy blue) น้ำตาล (brown) และเทาอมเขียว (olive green) สีซัลเฟอร์มีลักษณะที่คล้ายคลึงสีแวต (vat dye)

2.1.2 โครงสร้างสีซัลเฟอร์

สีซัลเฟอร์มีโครงสร้างทางเคมีที่ยังไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากสีมีโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยทั่วไปโครงสร้างทางเคมีเบื้องต้นของสีซัลเฟอร์มีลักษณะของการเชื่อมต่อกันด้วยหมู่ซัลไฟด์ (sulfide) โดยอาจอยู่ในรูปแบบของ ซัลไฟด์ (sulfide, -S-), ไดซัลไฟด์ (disulfide, -S-S-) หรือ พอลิซัลไฟด์ (polysulfide, $-S_n-$) มีการเชื่อมกันอยู่ระหว่างวงแหวนแอโรแมติก (aromatic ring) เช่น thiazole, thiazone และthianthrene โดยวงแหวนแอโรแมติกเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นกลุ่มให้สีแก่โครงสร้างของสีที่เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์ (chromophore) มีลักษณะโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันขนาดใหญ่ และมีสมบัติไม่ละลายในน้ำ ตัวอย่างเช่น สีซัลเฟอร์ C.I Sulfur black 1 ที่มีโครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของ C.I Sulfur Black 1 [12]

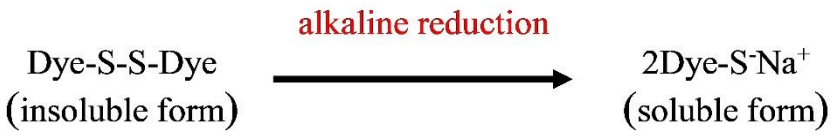
2.1.3 คุณลักษณะและสมบัติของสีซัลเฟอร์

สีซัลเฟอร์มีลักษณะที่ไม่ละลายในน้ำ (water insoluble form) ส่งผลทำให้โมเลกุลของสีไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้ ก่อนการย้อมทุกครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีซัลเฟอร์ให้อยู่ในรูปแบบของสีที่ละลายน้ำ (leuco form) ผ่านปฏิกิริยารีดักชันโดยการใช้สารเคมีที่เรียกว่า สารรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (sodium hydrosulfide) โซเดียมไดไทโอไนต์ (sodium dithionite) หรือใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส (glucose) ส่งผลทำให้โมเลกุลของสีสามารถละลายน้ำและแทรกซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้ หลังการย้อมด้วยสีซัลเฟอร์สีบนสิ่งทอจะมีความคงทนต่อเหงื่อ ความคงทนต่อการซักล้าง และความคงทนต่อแสงแดด แต่จะไม่คงทนต่อสารเคมีที่เป็นสารคลอรีน(chlorine) โดยเฉพาะสารฟอกขาว (bleaching agent) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite)

2.1.4 การย้อมสีซัลเฟอร์

จากลักษณะเบื้องต้นของสีซัลเฟอร์ที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้ จำเป็นต้องใช้สารรีดิวซ์เพื่อทำให้โมเลกุลสีเกิดการละลายน้ำ โดยปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการละลายของสีในน้ำ คือ ค่า oxidation reduction potential (ORP) ที่เหมาะสมต่อการละลายน้ำของสีซัลเฟอร์แสดงอยู่ในช่วงระหว่าง -400 ถึง –500 mV [13] โดยกระบวนการและขั้นตอนการย้อมสีซัลเฟอร์มีดังนี้

1. ขั้นตอนการทำให้โมเลกุลของสีเกิดการละลายน้ำโดยใช้สารรีดิวซ์ ตัวอย่างเช่น โซเดียมซัลไฟด์ใช้ร่วมกับสารละลายด่างเพื่อปรับพีเอชในระบบ โดยสารรีดิวซ์ทำปฏิกิริยารีดักชันส่งผลทำให้เกิดการแยกโมเลกุลของซัลไฟด์ออกเป็นสองโมเลกุล (leuco anion หรือ Dye-S^-Na^+) โดยลักษณะแต่ละโมเลกุลซัลไฟด์มีการเชื่อมกับโซเดียมแคทไอออน (sodium cation) ซึ่งเป็นรูปแบบของสีที่มีการละลายน้ำ จึงทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างสีซัลเฟอร์หลังการรีดิวซ์

2. ขั้นตอนการย้อมสีซัลเฟอร์ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีซัลเฟอร์หลังการย้อม การย้อมสีซัลเฟอร์ใช้อุณหภูมิในการย้อมประมาณ 80-95 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาย้อมประมาณ 30-35 นาที เมื่อเสร็จสิ้นจากกระบวนการย้อม สิ่งทอย้อมสีจะถูกนำมาล้างด้วยน้ำอุ่นเพื่อขจัดสีส่วนเกินที่ผิวเส้นด้าย การย้อมสีซัลเฟอร์ที่สมบูรณ์จำเป็นต้องทำให้สีซัลเฟอร์ละลายน้ำและที่แพร่เข้าไปในเส้นใยแล้วเกิดการเปลี่ยนรูปแบบเป็นไม่ละลายน้ำด้วยออกซิเจนในอากาศ หรือ ด้วยสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เพื่อทำให้โมเลกุลของสีถูกกักอยู่ภายในเส้นใยและยังช่วยให้สีในเส้นใยมีสมบัติที่คงทนในด้านต่าง ๆ

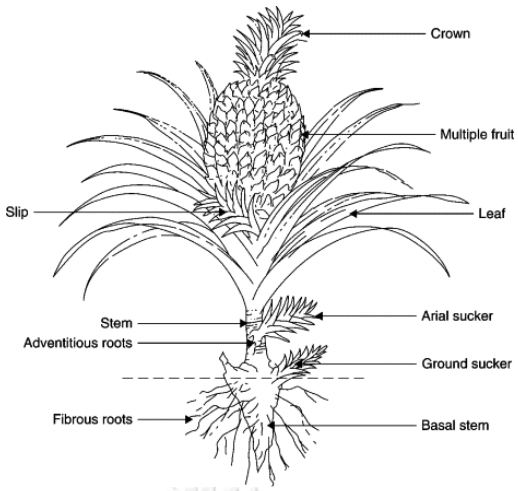
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างสีซัลเฟอร์หลังการออกซิไดส์

2.2 เส้นใยใบสับปะรด [5-7]

2.2.1 ความเป็นมาเส้นใยใบสับปะรด

เส้นใยใบสับปะรด (pineapple leaf fibers หรือ PALF) ได้จากการแยกเส้นใยออกจากใบ (leaf) ของต้นสับปะรด (รูปที่ 2.4) ที่เกิดจากการเหลือทิ้งหลังกระบวนการเก็บเกี่ยวทางการเกษตร มีความยาวเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ที่ประมาณ 25-30 เซนติเมตร ความยาวเส้นใยขึ้นอยู่กับพื้นที่การเพาะปลูก สภาพอากาศ และแสงแดด เส้นใยสับปะรดมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลสประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของใบสดของสับปะรดมีเส้นใยประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเส้นใยมีสีขาว มีความอ่อนนุ่ม ความหนาแน่น และความมันเงาคล้ายคลึงกับเส้นใยไหม มีการดูดซึมสีได้ดี และมีความแข็งแรงทางเชิงกลที่ดีกว่าเส้นใยปอเมื่อเปรียบเทียบกันในรูปแบบของเส้นด้าย เส้นใยจากใบสับปะรดได้รับความนิยมในประเทศฟิลิปปินส์ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าที่เรียกว่า ผ้าพีนา (pina) ซึ่งเป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาวฟิลิปปินส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.4 ลักษณะและองค์ประกอบของต้นสับปะรด [14]

2.2.2 การแยกเส้นใยสับปะรดจากใบ [5, 6]

การแยกเส้นใยจากใบสับปะรดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพและสมบัติทางกายภาพของเส้นใย กระบวนการแยกเส้นใยจากใบสับปะรดสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีการหลัก ได้แก่ การแยกแบบแช่ใบ (retting method) และการแยกด้วยเชิงกล (mechanical method)

1. การแยกแบบแช่ใบ เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายให้ปริมาณผลผลิตของเส้นใยสูงและได้สมบัติเส้นใยที่ดีมีขนาดเล็กกว่าวิธีการแยกแบบเชิงกลดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยวิธีการแยกแบบแช่เป็นการใช้สารเคมีผสมกับน้ำ เช่น ยูเรีย (urea) หรือ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphates) เพื่อที่จะช่วยย่อยสลายองค์ประกอบทางเคมีในส่วนที่ไม่ใช้เส้นใย เช่น เพนโตซาน (pentosan) ลิกนิน (lignin) ขี้ผึ้ง (wax) และเพกติน (pectin) หลังจากกระบวนการแช่เส้นใยจะถูกแยกออกจากใบด้วยเครื่องจักรใช้การตี หรือขูดด้วยของแข็งด้วยมือดังแสดงในรูปที่ 2.5 นำเส้นใยที่ได้ล้างสะอาดด้วยน้ำ และผึ่งแห้ง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและขนาดของเส้นใยสับปะรดหลังกระบวนการแยกออกจากใบ [15]

วิธีการ	**ปริมาณเส้นใย (%)**	**เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)**
การแยกแบบแช่ใบ	1.8	5-166
การแยกด้วยเชิงกล	1.4	5-129

รูปที่ 2.5 การขูดแยกเส้นใยสับปะรดออกจากใบ [16]

2. การแยกด้วยเชิงกล การแยกเส้นใยจากใบด้วยวิธีนี้เป็นการใช้เครื่องจักรกลเรียกว่า scrapping machine (รูปที่ 2.6) ส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วย ลูกกลิ้งลำเลียง (feed roller) ลูกกลิ้งแยก (scratching roller) และลูกกลิ้งฟันปลา (serrated roller) โดยลูกกลิ้งลำเลียงทำหน้าที่ป้อนใบสับปะรดผ่านเข้าไปยังลูกกลิ้งแยกซึ่งทำหน้าที่ขูดพื้นที่บริเวณผิวของใบเพื่อขจัดส่วนของไขมัน และขี้ผึ้งออก หลังจากนั้นใบสับปะรดจะถูกส่งผ่านไปลูกกลิ้งฟันปลาเพื่อทำให้ใบเกิดการฉีกแยกออกจากกันเป็นเส้นใย หลังกระบวนการแยกเส้นใยถูกล้างด้วยน้ำ และตากแห้งเส้นใยในอากาศ

รูปที่ 2.6 การแยกเส้นใยจากใบสับปะรดแบบเชิงกล [6]

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยสับปะรด [7, 8]

เส้นใยสับปะรดเป็นเส้นใยธรรมชาติจากพืชโดยมีองค์ประกอบทางเคมีคือ เซลลูโลส (cellulose) 68.5 เปอร์เซ็นต์ และส่วนอื่นๆที่เป็นสิ่งเจือปน เช่น เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 18.8 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน (lignin) 6.04 เปอร์เซ็นต์ เพกติน (pectin) 1.1 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน (protein) กับขี้ผึ้ง (wax) 3.2 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า (ash) 0.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยสับปะรดเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ มีแสดงในตารางที่ 2.2

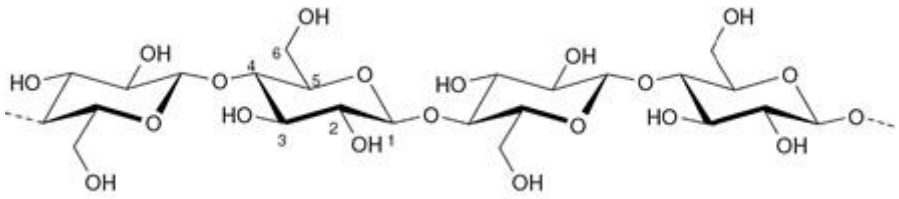
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชชนิดต่างๆ [7, 8]

เส้นใย	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Pectin (%)
ฝ้าย (cotton)	82-96	2-6	0.5-1	5-7
สับปะรด (pineapple)	68.5	18.8	6.04	1.1
กัญชง (hemp)	70-92	18-22	3-5	0.9
ป่าน (flax)	72-84	16-18	0.6-5	1.5
รามี (ramie)	68-76	13-15	0.6-1	1.9-2
กล้วย (banana)	60-65	6-19	5-10	3-5
ปอ (jute)	51-84	12-20	5-13	0.2
มะพร้าว (coir)	46	0.3	45	4
ป่านศรนารายณ์ (sisal)	43-78	10-13	4-12	0.8-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3.1 เซลลูโลส

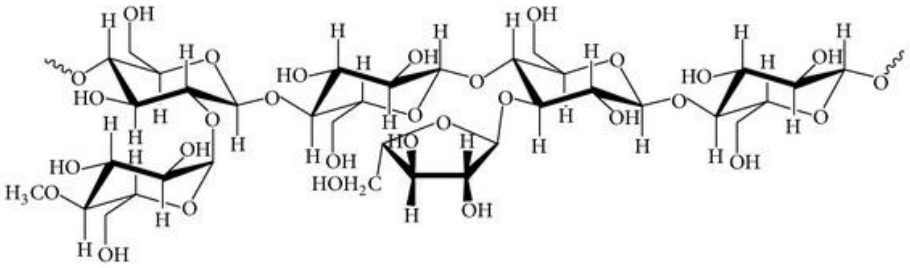
เซลลูโลส คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันประมาณ 100 ถึง 10,000 โมเลกุล แต่ละโมเลกุลกลูโคสเชื่อมระหว่างกันตรงตำแหน่งที่ บีตา 1,4 แต่ละสายโซ่เซลลูโลสภายในไมโครไฟบริลเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ สายโซ่เซลลูโลสที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ หรือ amourphous region สามารถถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลขนาดเล็กด้วยปฏิกิริยาแซ็กคาริฟิเคชันโดยการใช้เอนไซม์ การสลายตัวของเซลลูโลสอย่างสมบูรณ์จะเกิดผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส [17, 18] โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเซลลูโลส [18]

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส

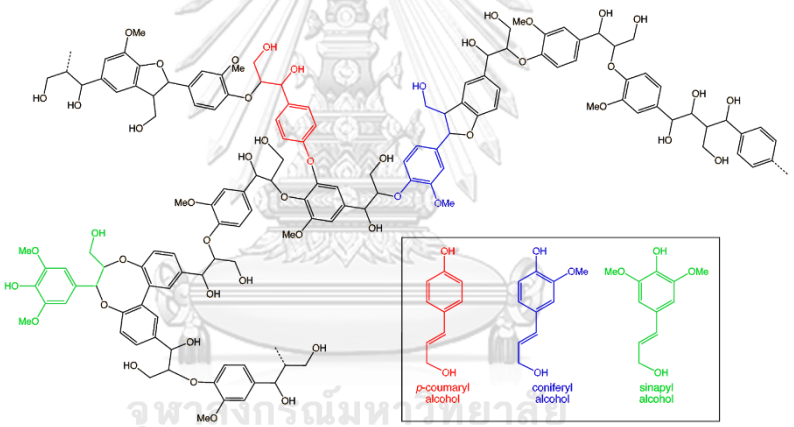
เฮมิเซลลูโลสจัดอยู่ในประเภทของพอลิแซ็กคาไรด์ องค์ประกอบทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วย 1) ไซแลน (xylan) ที่อยู่ในพืช เช่น หญ้า และแองจิโอสเปิร์ม (angiosperm) หรือที่เรียกว่า ไม้เนื้อแข็งที่เป็นพืชดอก 2) แมนแนน (mannan) ที่อยู่ภายในไม้เนื้ออ่อนที่เรียกว่า จิมโนสเปิร์ม (gymnosperms) มีอยู่ในพืชเมล็ดเปลือย และ 3) ไซโลกลูแคน (xyloglucan) อยู่ในพืชชนิดแองจิโอสเปิร์ม เฮมิเซลลูโลสเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ (heteropolymer) มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน ตัวอย่างไซแลนในไม้เนื้อแข็ง มีสายโซ่ของน้ำตาลไซโลส (xylose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งบีตา 1,4 และกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) เชื่อมต่อกันตรงตำแหน่งที่แอลฟ่า 1,2 เฮมิเซลลูโลสโดยทั่วไปสามารถถูกย่อยสลายตัวด้วยเอนไซม์ได้ง่ายกว่าเซลลูโลส โดยการย่อยสลายของเฮเมิเซลลูโลสนั้นจะได้เป็นน้ำตาลไซโลส และน้ำตาลชนิดอื่นๆ [17, 19]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส [19]

2.2.3.3 ลิกนิน

ลิกนินมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นวงแหวนเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย โมโนลิกนอล (monolignol) 3 โมเลกุล และmethoxylate ที่มีความหลากหลายของคูมาริลแอลกอฮอล์ (coumaryl alcohol) โคนิเฟอริลแอลกอฮอล์ (coniferyl alcohol) และไซนาพิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) ซึ่งโมโนลิกนอลเหล่านี้รวมกันอยู่ภายในลิกนินในรูปแบบของ ไกวซิล (guaiacyl) ไซริงจิล (syringyl) และ p-hydroxyphenyl ตามลำดับ จำนวนของโมโนลิกนอลจะมีความแตกต่างระหว่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของลิกนิน ลิกนินในเซลลูโลสเชื่อมกับโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เชื่อมด้วยพันธะอีเทอร์ หรือ พันธะเอสเทอร์ โดยทาง arabinose-ferulic acid หรือ glucuronic acid ลิกนินมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) [20, 21] โครงสร้างลิกนินอธิบายดังรูปที่ 2.9



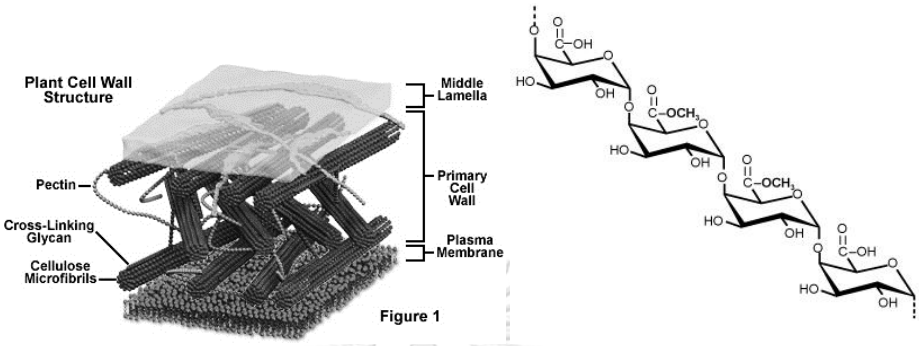
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.9 โครงสร้างเคมีของลิกนิน [22]

2.2.3.4 เพกติน

เพกตินเป็นสารที่มีองค์ประกอบเชิงซ้อนของพอลิแซ็กคาไรด์ในประเภทของเฮเทอโรพอลิเมอร์ โครงสร้างเพกตินเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลกรดกาแล็กทูโรนิก (galacturonic acid) ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ เชื่อมต่อกันประมาณ 100-1,000 โมเลกุล กรดกาแล็กทูโรนิกแต่ละโมเลกุลในโครงสร้างของ เพกตินถูกเชื่อมต่อกันตรงตำแหน่งบีตา 1,4 ด้วยพันธะไกลโคซิดิก และในโครงสร้างเพกตินยังประกอบด้วยโมเลกุลของเมทิลกาแล็กทูโรเนต และโมเลกุลน้ำตาลหลายชนิด เช่น แรมโนส (rhamnose) กาแล็กโทส (galactose) อะราบิโนส (arabinose) เพกตินถูกพบมากในผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ (primary cell wall) ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) และมิดเดิลลาเมลลา

(middle lamella) ของพืช รวมตัวอยู่กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งเพกตินทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะกับผนังเซลล์ทำให้เกิดความแข็งแรงให้แก่พืช [23] โครงสร้างทางเคมีและลักษณะของเพกตินในเส้นใยแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีและลักษณะของเพกตินในเส้นใย [24, 25]

2.3 การกำจัดสิ่งสกปรกบนสิ่งทอ [9, 26]

การกำจัดสิ่งสกปรกบนสิ่งทอ (scouring) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณ หรือ ขจัดสิ่งสกปรกบนวัสดุสิ่งทอ เช่น เส้นด้าย หรือ ผืนผ้า เนื่องจากวัสดุสิ่งทอที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติมักพบสิ่งสกปรก เช่น เพกติน ขี้ผึ้ง ไขมัน สิ่งเจือปนที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยว และแป้งจากการลงแป้งเส้นด้าย (desizing) หลังจากการกำจัดสิ่งสกปรกบนวัสดุทางสิ่งทอส่งผลทำให้วัสดุชนิดนั้นมีสมบัติ การดูดซึมน้ำ สีย้อม และสารเคมีได้สม่ำเสมอดียิ่งขึ้นปัจจุบันการกำจัดสิ่งสกปรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมี

การกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมี (chemical scouring) นิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกในส่วนผนังปฐมภูมิ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ แม้ว่าการกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมีมีประสิทธิภาพสูง และโซเดียมไฮดรอกไซด์มีราคาถูก แต่ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูง จากการใช้พลังงาน น้ำ และสารช่วยเปียก รวมทั้งเกิดน้ำเสียที่มีความเป็นด่างและอุณหภูมิสูงด้วย

2.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกทางชีวภาพ

การกำจัดสิ่งสกปรกทางชีวภาพ (bio-scouring) เป็นการใช้เอนไซม์แทนสารเคมีในการกำจัดสิ่งสกปรกบนสิ่งทอ เช่น การใช้เอนไซม์เซลลูเลส (celllulase) เพกติเนส (pectinase) โปรติเอส (protease) เอสเทอเรส (esterase) และไลเปส (lipase) เป็นต้น ข้อดีของการใช้เอนไซม์ในการกำจัดสิ่งสกปรก คือ พลังงานต่ำ ปริมาณการใช้น้ำลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการกำจัดสิ่งสกปรกประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส และสามารถเลือกการกำจัดสิ่งสกปรกได้แบบจำเพาะเจาะจง จึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง และน้ำหนักของเส้นใยเมื่อเปรียบเทียบกับการกำจัดสิ่งสกปรกทางเคมี

2.4 เอนไซม์ [27-29]

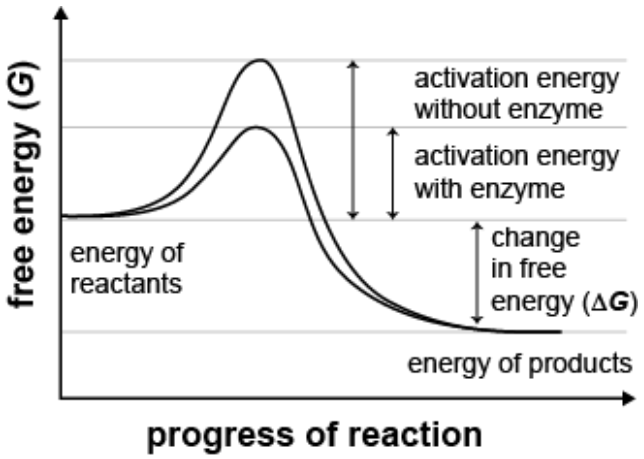
2.4.1 นิยามของเอนไซม์

เอนไซม์ (enzyme) มีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยโปรตีน 99 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการเรียงต่อกันของกรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bond) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 10,000 ถึง 1 ล้านดาลตัน การผลิตเอนไซม์เกิดจากสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์ พืช และจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อรา ตัวอย่างเชื้อราที่ใช้ในการผลิตเอนไซม์ ได้แก่กลุ่มของ *Aspergillus, Penicillium, Rhizopus* และ *Mucor* เป็นต้น

2.4.2 กลไกลการทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพโดยการลดพลังงานกระตุ้น (activation energy) ส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาในกระบวนการทางเคมีเร็วขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11 นอกจากนี้เอนไซม์มีลักษณะที่มีความจำเพาะสูงต่อสารตั้งต้น (reactant หรือ substrate) ที่เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยารวมกันที่บริเวณเร่งปฏิกิริยา (active site) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (enzyme substrate complex) และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ (product) ในที่สุด เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นเอนไซม์จะกลับคืนสู่รูปแบบเดิมก่อนเริ่มทำปฏิกิริยากับ substrate ปฏิกิริยานี้เกิด by-product หรือผลพลอยได้น้อยมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเอนไซม์ [30]

2.4.3 ประเภทของเอนไซม์

ประเภทของเอนไซม์ถูกแบ่งตามลักษณะของการทำงาน โดยสหภาพนานาชาติแห่งชีวเคมี (The International Union of Biochemistry หรือ IUB) ซึ่งแบ่งลักษณะการทำงานเอนไซม์ออกเป็น 6 ประเภท [29, 31] ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทและลักษณะการทำงานของเอนไซม์ [31]

ประเภท	ลักษณะการทำงาน
ออกซิโดรีดักเทส (Oxidoreductases)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งผ่านการออกซิเดชัน และรีดักชัน เอนไซม์กลุ่มนี้ได้แก่ ไฮดรอกซิเลส (hydroxylase) ออกซิเดส (oxidases) เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ออกซิจิเนส (oxygenase) และดีไฮโดรจิเนส (dehydrogenase) เป็นต้น
ทรานส์เฟอร์เรส (Transferases)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชัน เช่น เมทิล จากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง ตัวอย่างเอนไซม์ ได้แก่ ทรานสอัลโดเลส (transaldolase) ไกลโคซิลทรานสเฟอร์เรส (glycosyltransferase) และฟอสฟอริลซิลทรานสเฟอร์เรส (phosphoryl transferase) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

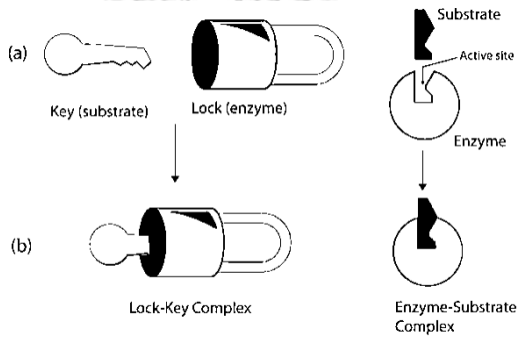
ไฮโดรเลส (Hydrolase)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายของโมเลกุล ผ่านการไฮโดรไลซิส เอนไซม์ในกลุ่มนี้ เช่น เซลลูเลส (cellulose) อะไมเลส (amylase) เพกติเนส (pectinase) ไลเพส (lipase) โปรตีเอส (protease) และ ไซแลนเนส (xylanase) เป็นต้น
ไลเอส (Lyases)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่โดยเติม หรือขจัดแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำในการเกิดปฏิกิริยา เอนไซม์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ แอลโดเลส (aldolase), hydratases, dehydratase, ซินเทส (synthase), และ ไลเอส (lyases) เป็นต้น
ไอโซเมอเรส (Isomerases)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่ใดหมู่หนึ่งภายในโมเลกุลเดียวกันทำให้เกิดเป็นไอโซเมอร์ (isomer) ชนิดเอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ มิวเทส (mutase) ราซีเมส (racemase) และ ไอโซเมอเรส (isomerase) เป็นต้น
ไลเกส (Ligase)	เอนไซม์กลุ่มนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาโดยการรวมตัวกันของโมเลกุล โดยการสร้างพันธะใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.4 ทฤษฎีความจำเพาะของเอนไซม์ [32]

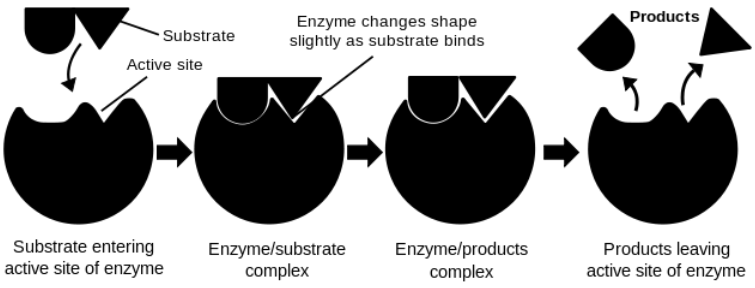
ความจำเพาะในการทำงานของเอนไซม์แต่ละประเภทสามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีของ Emil Fischer และ Daniel Koshland ดังนี้

2.4.4.1 ทฤษฎีแม่กุญแจ และลูกกุญแจ (Lock and Key model) ซึ่งถูกค้นพบโดย Emil Fischer ในปีคริสต์ศักราช 1895 อธิบายว่า รูปร่างของเอนไซม์มีบริเวณที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสารตั้งต้น ซึ่งสารตั้งต้นจะมีความพอดีในการเข้าสวมบริเวณพื้นที่ของเอนไซม์เปรียบเหมือนเอนไซม์ที่เป็นแม่กุญแจ (lock) และลูกกุญแจ (key) เป็นสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ทฤษฎีแม่กุญแจ และลูกกุญแจ [33]

2.4.4.2 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ (induced-fit model) เป็นทฤษฎีที่ถูกเสนอโดย Daniel Koshland ปีคริสต์ศักราช 1958 ได้อธิบายว่า เมื่อสารตั้งต้นได้เข้าร่วมกับบริเวณ หรือ พื้นที่เร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเอนไซม์ เพื่อเกิดความเหมาะสมระหว่างการรวมตัวของเอนไซม์กับสารตั้งต้นดีขึ้น และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ [34]

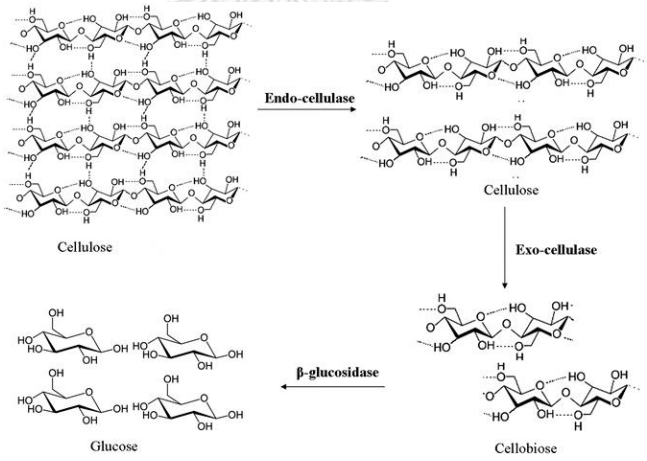
2.4.5 เซลลูเลส [35, 36]

เซลลูเลส (cellulase) คือ เอนไซม์มีทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสายโซ่เซลลูโลสโมเลกุลเป็นหลัก หลังจากการย่อยสลายของสายโซ่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา ได้แก่ เซลโลไบโอส (cellobiose) และน้ำตาลกลูโคส (glucose) เอนไซม์เซลลูเลสสามารถผลิตได้จาก จุลินทรีย์ สัตว์เซลล์เดียว (protozoan) และพืช โดยเอนไซม์เซลลูเลสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. เอนโดกลูแคเนส (Endo-glucanase) ทำหน้าที่ย่อยสลายสายโซ่เซลลูโลสโดยการซุ่มตัดภายในของสายโซ่โดยตำแหน่งของการย่อยสลายที่ β-glycosidic linkage ทำให้เกิดเป็นสายโซ่กลูแคน (glucan chain) ที่มีลักษณะความยาวที่แตกต่างกัน

2. เอกโซกลูแคเนส (Exo-glucanase) ทำหน้าที่ย่อยสลายปลายสายโซ่เซลลูโลส ซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลสในส่วนที่ไม่ใช่ผลึก (amorphous region) ได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ เซลโลไบโอส

3. บีตา-กลูโคซิเดส (β-Glucosidase) ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ย่อยสลายเซลโลโอลิโกแซ็คคาร์ไรด์ (cello-oligosaccharide) และเซลโลไบโอสโดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส (glucose)



รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของเซลลูโลสโดยเซลลูเลส [37]

2.4.6 เพกติเนส [38-40]

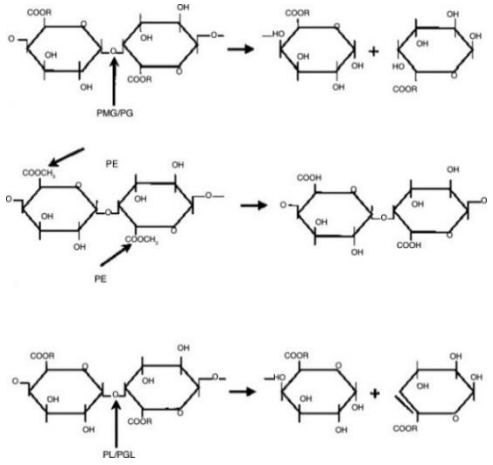
เพกติเนส (pectinase) อยู่ในกลุ่มเอนไซม์ไฮโดรเลส (hydrolases) ซึ่งผลิตจากแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ โดยเพกติเนสมีองค์ประกอบหลายส่วนประกอบด้วย เอนโดเพกติกเนส (Endo-pectinase) เอกโซเพกติเนส (Exo-pectinase) โอลิโกเพกติเนส (oligo pectinase) และพอลิเมทิวเพกติเนส (polymethyl pectinase) เอนไซม์เพกติเนสทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายโมเลกุลของเพกตินในผนังเซลล์ในพืช และสามารถย่อยสลายโมเลกุลของกรดพอลิกาแล็กทูโรนิกเป็นกรดกาแล็กทูโรนิกโดยการย่อยพันธะไกลโคซิดิก เอนไซม์เพกติเนสสามารถนำไปใช้ในอตุสาหกรรมสิ่งทอ อาหาร และอื่นๆอีกมากมาย สามารถแบ่งเอนไซม์เพกติเนสเบื้องต้นได้ 3 กลุ่มหลักได้แก่

1. ไฮโดรเลส (hydrolases) เอนไซม์เพกติเนสประเภทนี้ เช่น เอนโดเพกติเนส (Endo-pectinase) และเอกโซเพกติเนส (Exo-pectinase) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายกรดเพกติก (pectic acid)

2. ไลเอส (lyases) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดเพกติกผ่านปฏิกิริยาขจัด เอนไซม์ในประเภทนี้ได้แก่ เอนโดพอลิกาแล็กทูโรเนต ไลเอส (endo-polygalacturonate lyase), เอกโซพอลิกาแล็กทูโรเนต ไลเอส (exo-polygalacturonate lyase), เอนโดพอลิเมทิลกาแล็กทูโรเนตไลเอส (endo-polymethyl galacturonate lyase) และ เอกโซพอลิเมทิลกาแล็กทูโรเนตไลเอส (exo-polymethyl galacturonate lyase)

3. เอสเทอเรส (esterase) เอนไซม์ที่ใช้ในประเภทนี้ ได้แก่ เพกตินเมทิลเอสเทอร์เลส (pectin methylesterase) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการแยกพันธะเมทิลเอสเทอร์ (methylester bond) ในเพกติน

Chulalongkorn University



รูปที่ 2.15 การทำงานย่อยสลายเพกติเนส [41]

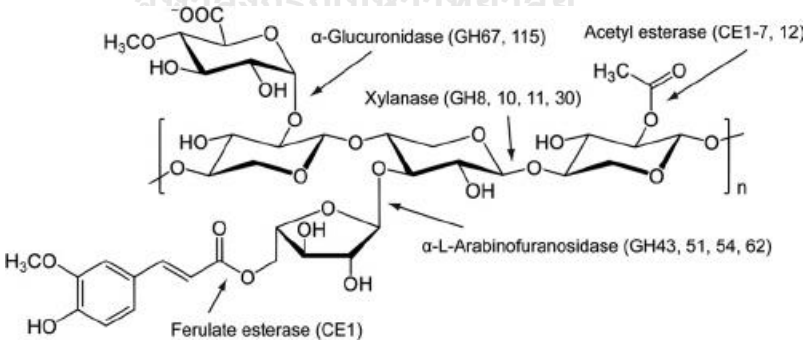
2.4.7 ไซแลนเนส [42, 43]

เอนไซม์ไซแลนเนส (xylanase) อยู่ในกลุ่มของเอนไซม์การทำงานประเภทเร่งปฏิกิริยาเพื่อย่อยสลาย (Hydrolyze) ไซแลนเนสผลิตได้จาก แบคทีเรีย และเชื้อรา เช่น เชื้อรา *Trichoderma Aspergillus*, *Bacillus* และ *Streptomyces* ไซแลนเนสสามารถแบ่งตามชนิดของการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ เอนโดไซแลนเนส (endo-xylanase), เอกโซไซแลนเนส (exo-xylanases) และ อะซีทิลไซแลนเอสเทอเรส (acetylxylan esterase) เอนไซม์เอกโซไซแลนเนสเป็นมัลติเอนไซม์ที่ประกอบด้วยเอนไซม์ เช่น บีตา-ไซโลซิเดส (β-xylosidase) เอกโซกลูแคนเนส (exo-glucanase) บีตา-กลูโคซิเดส (β-glucosidase) และแอลฟา-อะราบิโนฟิวราโนสิเดส (α-arabinofuranosidase) โดยแต่ละชนิดเอนไซม์ไซแลนเนสมีลักษณะในการย่อยสลายโมเลกุลแตกต่างกันดังนี้

1. เอนโดไซแลนเนส (endo-xylanase) เอนไซม์ชนิดนี้ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายพันธะไกลโคซิกดิกที่ตำแหน่งบีตา-1,4 ในสายโซ่โมเลกุลของไซแลนในเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ผนังเซลล์ของพืช หลังจากการย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โมเลกุลน้ำตาลไซโลส (xylose) และไซโลไบโอส (xylobiose)

2. เอกโซไซแลนเนส (exo-xylanase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยออลิโกแซ็กคาไรด์ที่ตำแหน่งปลายสายโซ่ทำให้สายโซ่สั้นลง

3. อะซีทิลไซแลนเอสเทอเรส (acetylxylan esterase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายกลุ่มอะเซทิล (acetyl) ในสายโซ่ไซแลน (xylan)



รูปที่ 2.16 การทำงานย่อยสลายไซแลนเนส [43]

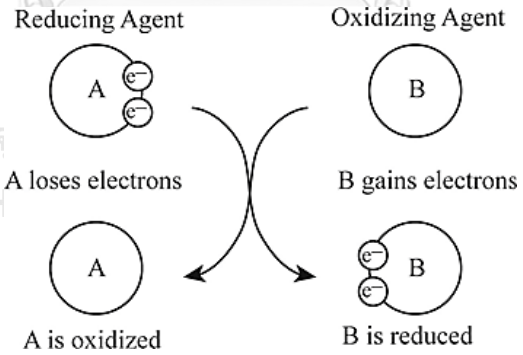
2.5 ปฏิกิริยารีดอกซ์ [44, 45]

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) หรือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน (oxidation-reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของ อะตอม โมเลกุล หรือ ไอออนที่มีการเปลี่ยนแปลงของเลขออกซิเดชันของธาตุในสารซึ่งปฏิกิริยารีดอกซ์กับออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดควบคู่ระหว่างกันเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

2.5.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) คือ ปฏิกิริยาที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนของอะตอม และทำให้เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น สารเคมีที่เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน เรียกว่า สารรีดิวซ์ (reducing agent)

2.5.2 ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อะตอม โมเลกุล หรือไอออนเกิดการรับอิเล็กตรอนเข้าหาตัวของสาร โดยมีการลดลงของเลขออกซิเดชัน สารที่สามารถรับอิเล็กตรอน เรียกว่า สารออกซิไดส์ (oxidizing agent)

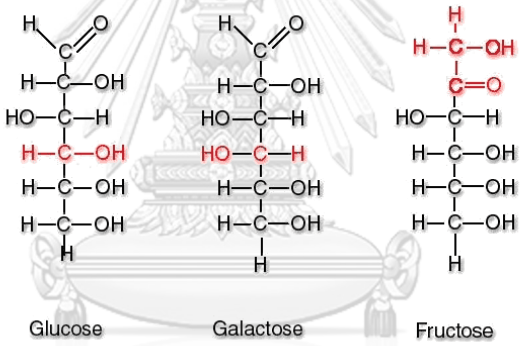
สมบัติที่ดีของสารรีดิวซ์ ต้องประกอบไปด้วยขนาดของอะตอมที่มีขนาดใหญ่ จึงส่งผลทำให้มีระยะห่างที่มากระหว่างนิวเคลียส กับอิเล็กตรอนในวงนอกสุด ส่งผลให้แรงดึงดูดอิเล็กตรอน (electronegativity) ที่ต่ำ ทำให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย



รูปที่ 2.17 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน [46]

2.6 น้ำตาลรีดิวซ์ [47, 48]

น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์มีลักษณะโครงสร้างเคมีและส่วนประกอบหลักที่เป็น กลุ่มคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ที่มีการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลน้ำตาลอาจอยู่ในรูปแบบของ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) และน้ำตาลที่มากกว่าสองโมเลกุลขึ้นไป เรียกว่า โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) หรือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว โดยน้ำตาลรีดิวซ์ส่วนใหญ่มักพบในรูปแบบของโมโนแซ็กคาไรด์ที่โครงสร้างประกอบด้วยหมู่อิสระในโครงสร้าง เช่น หมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde) หรือ หมู่คีโตน (ketone) หลังจากการเปิดวงของโมเลกุลน้ำตาล ชนิดของน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส (glucose) ฟรุกโตส (fructose) กาแล็กโทส (galactose) แล็กโทส (lactose) และมอลโทส (maltose) เป็นต้น ตัวอย่างโครงสร้างของน้ำตาลรีดิวซ์แสดงในรูปที่ 2.18



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.18 โครงสร้างน้ำตาลรีดิวซ์ชนิดต่างๆ [49]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Niramon และคณะ [10] ศึกษาการผลิตและการใช้มัลติเอนไซม์ (ประกอบด้วยเพกติเนส เซลลูเลสและไซลาเนส) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด โดยศึกษาชนิดอาหาร อุณหภูมิ และพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus* sp. เพื่อผลิตมัลติเอนไซม์ที่มีค่าแอกทิวิตีสูง และใช้มัลติเอนไซม์กำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรดด้วยภาวะที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า ชนิดอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus* sp. คือ รำข้าวสาลี เพปโทนและยีสต์สกัด และควรเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลซียส เป็นเวลา 7 วัน ส่วนการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรดที่เหมาะสมคือทำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลซียส พีเอช 4 เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของมัลติเอนไซม์ (crude enzyme) 20 เปอร์เซ็นต์และอัตราส่วนเส้นด้ายต่อสารละลายเอนไซม์เท่ากับ 1:50 พบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยมัลติเอนไซม์สามารถทำให้เส้นด้ายดูดซึมน้ำได้ทันทีและย้อมติดสีได้เข้มเทียบเท่าเส้นด้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

Sae-be และคณะ [11] ได้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เอนไซม์ทางการค้าชนิดต่างๆ ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายโดยใช้กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกแบบขั้นตอนเดียวด้วยเอนไซม์เพกติเนส และกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้เอนไซม์ 2-3 ชนิด (ไลเปส โปรตีเอสและเซลลูเลส) ดังนี้คือ การใช้ไลเพสในขั้นแรกแล้วตามด้วยเซลลูเลสในขั้นที่สอง การใช้โปรตีเอสในขั้นแรกแล้วตามด้วยเซลลูเลสในขั้นที่สอง และการใช้ไลเพสผสมโปรตีเอสในขั้นแรกแล้วตามด้วยเซลลูเลสในขั้นที่สอง เพื่อเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำและสีย้อมของผ้าฝ้าย การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-Vis spectrophotometry พบว่า การใช้เพกติเนสในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายแบบขั้นตอนเดียวจะให้ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ (จากเซลลูโลส) และกรดกาแล็กทูโรนิก (จากเพกทิน) 18 เท่ามากกว่าการใช้ไลเพส โปรตีเอส และเซลลูเลสในการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายแบบสองขั้นตอน โดยพบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เกิดขึ้น 647.37 μg/ml ต่อผ้าฝ้าย 1 กรัม

Zouhaier และคณะ [2] ศึกษาการใช้กลูโคสและสารเคมีต่างๆ เป็นสารรีดิวซ์สำหรับสี Leuco Sulphur Black B เพื่อย้อมบนผ้าฝ้าย โดยศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการรีดิวซ์สีและความเข้มสี (color strength, K/S) ของผ้าฝ้ายหลังย้อม ได้แก่ ชนิดของสารรีดิวซ์ ความเข้มข้นของสารรีดิวซ์ พีเอช อุณหภูมิและค่า ORP (oxidation-reduction potential) ที่ใช้ในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ ซึ่งสารรีดิวซ์ที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมไดไทโอไนต์ และกลูโคส จากผลการทดลองพบว่า สารรีดิวซ์ทั้ง 3 ชนิดมีค่า ORP ดังนี้ โซเดียมซัลไฟด์มีค่า ORP -838 mV ที่พีเอช 11.96 โซเดียมไดไทโอไนต์มีค่า ORP -558mV ที่พีเอช 12.13 และกลูโคสมีค่า ORP -618 mV ที่พีเอช12.17 ซึ่งกลูโคสมีค่า ORP ที่น้อยกว่าโซเดียมไดไทโอไนต์ แต่มีความเสถียร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในอ่างย้อมมากกว่าโซเดียมไดไทโอไนต์ เมื่อนำสีที่รีดิวซ์แล้วไปย้อมผ้าฝ้าย พบว่า สำหรับการใช้กลูโคสในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ชนิดนี้ที่ความเข้มข้นกลูโคส 6 g/l โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 15 g/l และค่า ORP -618 mV จะให้ผ้าฝ้ายมีความเข้มสีสูงสุด ซึ่งสามารถเทียบเคียงการย้อมสีซัลเฟอร์โดยใช้สารเคมีเป็นสารรีดิวซ์สี

Shukla และ Pai [50] ศึกษาการย้อมสีซัลเฟอร์บนเส้นด้ายฝ้ายโดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส และฟรุกโตส น้ำตาลอินเวิร์ต (สารให้ความหวาน) และโมลาส (กากน้ำตาล) เป็นสารรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ 3 ชนิดสี ได้แก่ Sulfur Military Green, Sulfur Slate Grey และ Sulfur Red Brown เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์สี จากผลการทดลองพบว่า เมื่อรีดิวซ์สีที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส น้ำตาลรีดิวซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นน้ำตาลไหม้และทำลายสี แต่เมื่อรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์น้ำตาลอินเวิร์ต และโมลาสที่พีเอช 12.5 จะได้ฝ้ายย้อมสีที่มีความเข้มสีสูงและเฉดสีที่ดี ปกติโมลาสมีความสามารถในการรีดิวซ์สูงกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ ประมาณ 1.5 เท่า แต่เมื่อนำมารีดิวซ์สีซัลเฟอร์เหล่านี้ กลับพบว่ามีประสิทธิภาพการรีดิวซ์สีต่ำกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ

Madhu และคณะ [3] ศึกษาการย้อมสีซัลเฟอร์บนผ้าฝ้ายโดยใช้กลูโคสและฟรุกโตสเป็นสารรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ ได้แก่ Sulfur Black 1 และ Sulfur Brown M เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์สี จากการวัดค่าความเข้มสีของผ้าพบว่า การรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสและฟรุกโตสให้ผ้าฝ้ายย้อมสีที่มีความเข้มสีใกล้เคียงกัน การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งสองชนิดในการรีดิวซ์สีจะทำให้ผ้าย้อมได้สีเข้มมากขึ้น ผลการทดลองสรุปได้ว่าการย้อมสีซัลเฟอร์ที่ความเข้มข้นสี 1.5-3 กรัมต่อลิตร และรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส ให้ประสิทธิภาพในการย้อมสีที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการย้อมโดยใช้ฟรุกโตสและโซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรีดิวซ์

Baffoun และคณะ [4] ศึกษาการใช้กลูโคสเป็นสารรีดิวซ์สี Leuco Sulphur Black 1 เพื่อย้อมผ้าฝ้าย เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมซัลไฟด์และโซเดียมไดไทโอไนต์เป็นสารรีดิวซ์ โดยศึกษาอิทธิพลของค่า ORP และค่าพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพของการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ จากผลการทดลองพบว่า ค่า ORP ของกลูโคสมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -647 ถึง -569 mV และมีความเสถียรเพียงพอสำหรับใช้ในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ เมื่อเปรียบเทียบสารรีดิวซ์ทั้งสามชนิด พบว่าโซเดียมไดไทโอไนต์มีความเสถียรมากที่สุด ตามมาด้วยกลูโคสและโซเดียมซัลไฟด์ที่มีความเสถียรน้อยที่สุด การรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสและด้วยโซเดียมซัลไฟด์ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 85 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรีดิวซ์สีได้เพียงเล็กน้อย และจากการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ

Chulalongkorn University

90 องศาเซลเซียส พบว่า ผ้าฝ้ายย้อมสีโดยมีโซเดียมไดไทโอไนต์เป็นสารรีดิวซ์มีความคงทนของสีต่อการซักล้างดีกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้โซเดียมซัลไฟด์และกลูโคสเป็นสารรีดิวซ์

Jaruhar และ Chakraborty [51] ศึกษาการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี Sulfur Black 1, Sulfur Blue 4 Sulfur Green 11 Sulfur Red 10 และ Sulfur Yellow 2 โดยใช้ไลเพสเป็นสารรีดิวซ์ที่พีเอช 12 (ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์) เทียบกับการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ จากผลการทดลองพบว่าสารละลายไลเพสมีค่า ORP ที่พีเอช 12 อยู่ระหว่าง -500 และ -550 mV ความเข้มข้นของไลเพสที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์คือ 0.5% และพบว่าค่า ORP ในสารละลายสีจะลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาการย้อม แต่ค่าพีเอชยังคงเดิมที่พีเอช 12 ตลอดช่วงการรีดิวซ์สีและการย้อมสี การรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ด้วยไลเพสและด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ตามด้วยการย้อมสีผ้าฝ้าย สีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยไลเพสให้ความเข้มของสีที่มากกว่าสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ โดยสารรีดิวซ์ทั้งสองชนิดนี้ไม่ทำให้ค่า ORP ของสารละลายสีเปลี่ยนแปลงไป

Bozic และ Kokol [52] ศึกษาการย้อมสีอินดิโกบนผ้าไนลอนโดยใช้เอนไซม์เป็นสารรีดิวซ์สีให้ละลายน้ำ ซึ่งในงานวิจัยใช้เอนไซม์ β-nicotinamide adenine dinucleotide disodium salt (NADH) จาก *Bacillus subtilis* เป็นสารรีดิวซ์สำหรับสี Vat Blue 1 เพื่อย้อมผ้าไนลอน 6 และไนลอน 6,6 โดยรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ พีเอชและความเข้มข้นสีต่างๆ วัดค่าความเข้มสีของผ้าย้อม และทดสอบความคงทนของสีบนผ้าต่อการซักล้าง ต่อแสงและต่อเหงื่อ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมไดไทโอไนต์ พบว่า ค่า ORP ของเอนไซม์ NADH ลดลงที่พีเอช 4-6 เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของเอนไซม์ที่พีเอชช่วงนี้ และค่า ORP ของเอนไซม์มีค่าสูงสุดที่พีเอช 9-11 และพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของการรีดิวซ์ให้สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์สีสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ที่อุณหภูมิสูง จึงเลือกการรีดิวซ์สีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยได้ค่า ORP ที่ -580 mV ซึ่งเป็นค่า ORP ที่สูงเพียงพอสำหรับการใช้รีดิวซ์สีอินดิโก ผ้าไนลอนย้อมสีให้ความคงทนของสีผ้าต่อเหงื่อดี แต่ให้ความคงทนของสีผ้าต่อแสงและต่อการซักล้างที่ไม่ดีนัก

บทที่ 3
การทดลองและการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการนำน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกบนด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ (เพกติเนส เซลลูเลส และไซแลนเนส) มาใช้เป็นสารรีดิวซ์สำหรับสีซัลเฟอร์ชนิด Sulfur Black BR ในขั้นตอนการย้อมสีซัลเฟอร์บนเส้นด้ายใยสับปะรด เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมซัลไฟด์ และการใช้กลูโคสเป็นสารรีดิวซ์ของสีซัลเฟอร์ โดยในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด ส่วนที่สองการศึกษาภาวะการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดสิ่งสกปรก เปรียบเทียบกับการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ส่วนที่สามการศึกษาสมบัติของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี เช่น ความเข้มสี ค่าสี ร้อยละการผนึกสี ความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความคงทนต่อแรงดึง และการยืดตัว

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 เส้นด้าย

ด้ายสับปะรดดิบ 100 เปอร์เซ็นต์ ขนาด 590.5 เท็กซ์ (Tex) จากบริษัท ไทยนำโชคเท็กซ์ไทล์ จำกัด

3.1.2 สีซัลเฟอร์

Sulfur Black BR 200% จากบริษัท Zhengding Shengguo Chemical Factory

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3 มัลติเอนไซม์

มัลติเอนไซม์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ประเทศไทย โดยมีค่าแอกทิวิตีของมัลติเอนไซม์ที่ประกอบด้วยค่ากิจกรรมของเพกติเนส ไซแลนเนส เซลลูเลสอยู่ที่ 502.3, 272.83 และ160.85 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

3.1.4 สารเคมี

Sodium sulfide

- Sodium sulfide 30% X-hydrate (บริษัท PanReac Applichem, Germany)

Glucose

- Monohydrate (บริษัท Ajax Finechem, Australia)

Sodium hydroxide

- Sodium hydroxide (บริษัท Scharlau, Spain)

Sodium carbonate

- Sodium carbonate anhydrous 99.5% (บริษัท Lobachemie, India)

Others

- สารช่วยเปียกไม่มีประจุ (nonionic wetting agent)
- สารซักฟอกมาตรฐานไม่มี OBA (optical brightening agent)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องวัดความต่างศักย์ออกซิเดชันและรีดักชัน (ORTestr10, Eutech Instrument)

2) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH tester20, Eutech Instrument)

3) เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balance, Ohaus Corporation, USA)

4) เครื่องวัดสี (Macbeth reflectance spectrophotometer, Color-Eye 7000)

5) เครื่องทดสอบความทนต่อแรงดึงของวัสดุสิ่งทอ (Tensile Strength Tester, Instron)

6) เครื่องย้อมระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory dyeing machine, Labtec Newave Equipments Co.Ltd.) ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรก

7) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert) ใช้ในการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกในตู้ดูดควัน

8) ตู้แสงมาตรฐานเพื่อวิประเมินสีบนวัสดุ (Color assessment cabinet, Verivide)

9) เครื่องซักมาตรฐาน (Gyrowash, Jame H.Heal & Co.Ltd.)

10) อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าแนวนอน (Water bath shaker, Labtec Newave Equipments Co.Ltd.) ใช้ในการย้อมสีโดยเขย่า 50 รอบต่อนาที

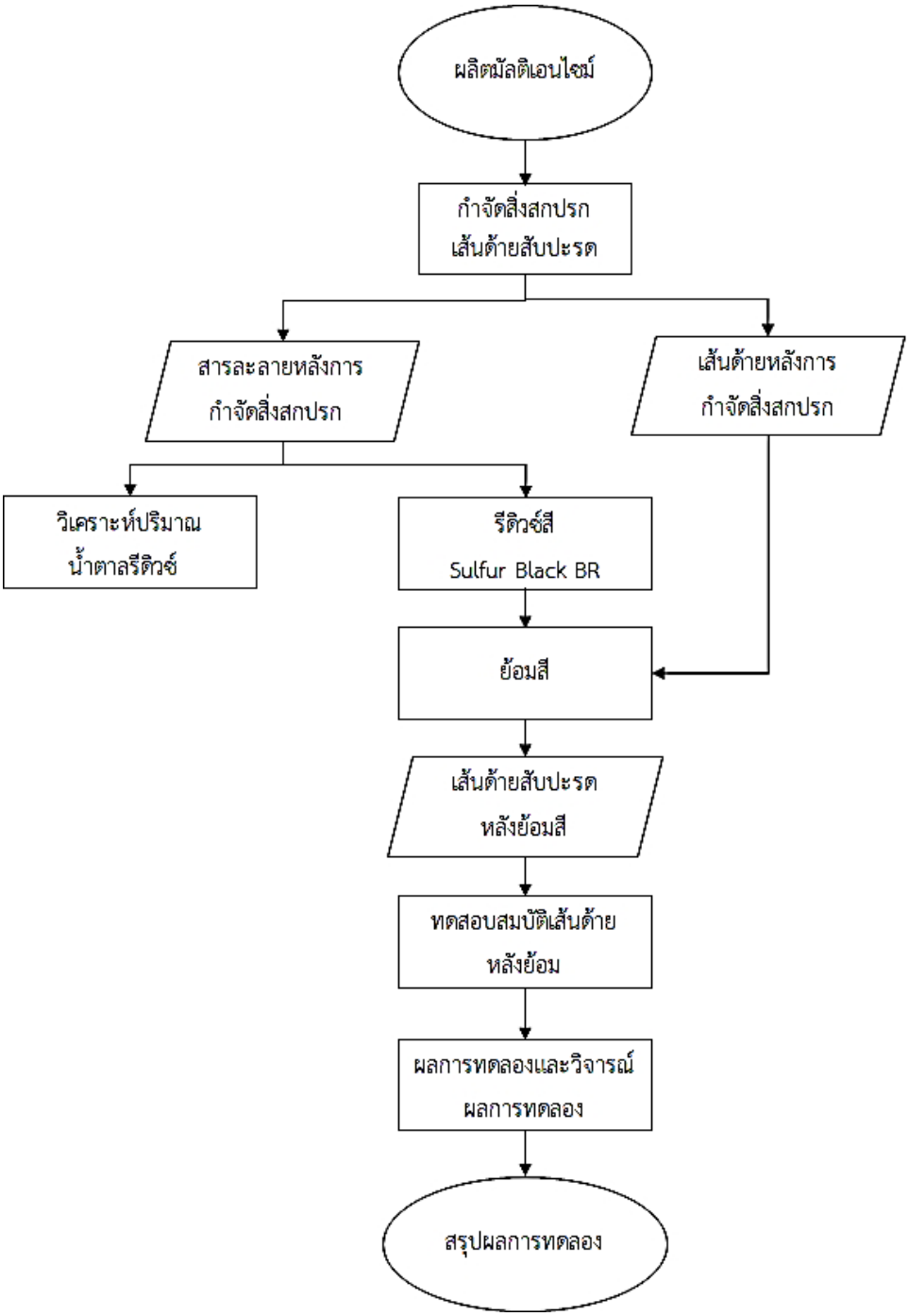
11) Biochemistry analyzers (Biochemistry analyzer YSI 2950, xylem) ใช้ในการวัดหาปริมาณน้ำตาลกลูโคส และไซโลสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

12) UV-Visible spectrophotometer (Mutiskan FC, Thermo scientific) ใช้ในการวัดหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

13) ตู้ดูดควัน (Fume Hood, Flexlab Official Equipment Manufacturing Co.Ltd.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3 วิธีการทดลองและการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเพาะเชื้อราและการผลิตเอนไซม์

การเพาะเชื้อราและการผลิตเอนไซม์ได้ดำเนินการตามงานวิจัยของ พิชญาภา นิรมล [10] โดยเลือกใช้สูตร และภาวะที่ดีที่สุดของการเพาะเชื้อ การผลิตเอนไซม์ และการสกัดเอนไซม์ เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ดังนี้

3.3.1.1 การเพาะเชื้อ

นำเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus sp*. เพาะเลี้ยงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรประกอบด้วย ข้าวสาร 20 กรัม และสารละลาย 20 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 1 เปอร์เซ็นต์ (%W/V) เพปโทน (peptone) 2 เปอร์เซ็นต์ (%W/V) โพแทสเซียมฟอสเฟต (Potassium phosphate) 2 เปอร์เซ็นต์ (%W/V) และสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) 2 เปอร์เซ็นต์ (%W/V) นำขวดชมพู่ที่ประกอบด้วยสารละลายและข้าวไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นจากนั้นนำเชื้อมาถ่ายลงในขวดชมพู่และปิดด้วยจุกสำลี จากนั้นนำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำมาสกัดสปอร์ของเชื้อราด้วย Tween 80 แล้วนับจำนวนสปอร์ที่ได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และคำนวณจำนวนสปอร์แล้วนำไปใช้ในการผลิตเอนไซม์

3.3.1.2 การผลิตเอนไซม์

การผลิตเอนไซม์ เริ่มจากการเตรียมอาหารแข็งในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ประกอบด้วย ข้าวสาลี 5 กรัม และสารละลายอาหารที่ประกอบด้วย สารสกัดจากยีสต์ 0.125 กรัม เพปโทน 0.25 กรัม สารละลายเกลือ 1.25 มิลลิลิตร และ trace element 0.05 มิลลิลิตร ที่ปริมาตรรวมที่ 50 มิลลิลิตร ปิดจุกสำลีก่อนนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งแรงดันที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำสปอร์ของเชื้อราเติมลงในขวดชมพู่ที่ความเข้มข้นของสปอร์ที่ 10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน และเขย่าที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.1.3 การสกัดและการเพิ่มความเข้มข้นของมัลติเอนไซม์

ทำการสกัดเอนไซม์จากเชื้อราหลังจากบ่มใช้เป็นเวลา 7 วัน โดยเริ่มจากการนำสารละลายแยกออกจากอาหารโดยนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำสารละลายไปตกตะกอนเพื่อเอาเศษอาหารที่เหลืออยู่ออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน ตามด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.2 ไมครอน อีกครั้ง เพื่อแยกเซลล์หรือสปอร์ของเชื้อราที่มีขนาด

เล็กออกจากสารละลายมัลติเอนไซม์ หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเพิ่มความเข้มข้นขึ้น 10 เท่า โดยการกรองแบบไหลขวาง (cross flow filtration) โดยใช้ชุดกรองแบบ tangential flow filtration (TFF) ที่มีแผ่นกรองขนาด 10 กิโลดาลตัน (kDa) (Minimate™ Tangential Flow Filtration Capsule, บริษัท Pall, USA) โดยให้ความดันขาเข้าคงที่ๆ 1 บาร์ (bar)

3.3.1.4 การวัดค่าแอกทิวิตีของมัลติเอนไซม์

การวัดค่าแอกทิวิตีของมัลติเอนไซม์โดยงานวิจัยนี้ได้วัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่ เพกติเนส ไซแลนเนส และเซลลูเลส โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เอนไซม์เพกติเนส

การวัดหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เพกติเนส ทำได้โดยการเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10, 25 และ 50 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่วัดได้จากวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) [53] ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเติมสารละลายกลูโคสแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเพกติน 0.5 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) ที่ละลายในโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4 ปริมาณ 320 ไมโครลิตร แล้วนำมาผสมกับสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาตร 680 ไมโครลิตร นำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (รูปที่ ก.1 ในภาคผนวก ก) ต่อไป

การวัดหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เพกติเนส เริ่มจากการเตรียมสารตั้งต้นของเพกตินที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) ซึ่งถูกเตรียมรวมกับสารละลายโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4 ผสมให้เข้ากันแล้วดูดสารละลาย 320 ไมโครลิตรใส่ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำหลอดไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยการเติมสารละลายมัลติเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ลงไปในหลอดทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมัลติเอนไซม์กับสารตั้งต้นของเพกติน หลังจากนั้นเติมสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) 680 ไมโครลิตร ผสมสารละลายทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วนำหลอดที่มีสารละลายไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นของเพกติน จากนั้นนำมาทำให้เย็นด้วยน้ำแข็งและนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลหลังการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์

และเพกติน โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสในกราฟมาตรฐานกลูโคสข้างต้น เพื่อหาแอกทิวิตีของเอนไซม์เพกติเนส

2) เอนไซม์ไซแลนเนส

การวัดหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ไซแลนเนส ทำได้โดยการเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายไซโลสที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10, 25 และ 50 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซโลสที่วัดได้จากวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) [53] ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเติมสารละลายไซแลนแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายไซแลน 1 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) ที่ละลายในโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4 ปริมาณ 320 ไมโครลิตร แล้วนำมาผสมกับสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาตร 680 ไมโครลิตร นำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (รูปที่ ก.2 ในภาคผนวก ก) ต่อไป

การวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ไซแลนเนส เริ่มจากการเตรียมสารตั้งต้นของไซแลนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) โดยเตรียมรวมกับสารละลายโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4 ผสมให้เข้ากันแล้วดูดสารละลาย 320 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำหลอดที่มีสารละลายไปบ่มเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมสารละลายมัลติเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ลงไปในหลอดทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมัลติเอนไซม์กับซับเตรทจากนั้นเติมสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid(DNS) 680 ไมโครลิตร ผสมสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันแล้วนำหลอดต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นของไซแลน จากนั้นนำหลอดที่มีสารละลายทำให้เย็นด้วยน้ำแข็ง และนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาคำนวณค่าความเข้มข้นสารละลายไซโลสในกราฟมาตรฐานไซโลส เพื่อหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ไซแลนเนส

3) เอนไซม์เซลลูเลส

การวัดหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส ทำได้โดยการเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10, 25 และ 50 ไมโครโมลต่อมิลลิลิตร และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่วัดได้จากวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) [53] ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเติมสารละลายกลูโคสแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 20 ไมโครลิตร

ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเซลลูโลส 1 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) ที่ละลายในโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 4 ปริมาณ 320 ไมโครลิตร แล้วนำมาผสมกับสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาตร 680 ไมโครลิตร นำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (รูปที่ ก.3 ในภาคผนวก ก) ต่อไป

การวัดค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส เริ่มจากการเตรียมสารตั้งต้นของเซลลูโลสที่ 1 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) โดยเตรียมรวมกับสารละลายโซเดียมแอซีเตตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่พีเอช 4 ผสมให้เข้ากันแล้วดูดสารละลายปริมาตร 320 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำหลอดไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยการเติมสารละลายมัลติเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ลงไปในหลอดแล้วทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นของเซลลูโลสหลังจากนั้นเติมสารละลาย 3,5– Dinitrosalicylic acid (DNS) 680 ไมโครลิตร ผสมสารละลายทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วนำหลอดต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้น หลังจากนั้นนำหลอดที่มีสารละลายทำให้เย็นด้วยน้ำแข็ง และนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.3) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงมาคำนวณค่าความเข้มข้นสารละลายกลูโคสในกราฟมาตรฐานกลูโคส เพื่อหาค่าแอกทิวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส

3.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด

การกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ได้ดำเนินการตามวิธีการและภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสิ่งสกปรกจากงานวิจัยของ พิชญาภา นิรมล [10] ขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกเริ่มจากการนำเส้นด้าย 1 กรัม มากำจัดสิ่งสกปรกด้วยมัลติเอนไซม์ (เพกติเนส ไซแลนเนส และเซลลูเลส) ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) ร่วมกับสารช่วยเปียกความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนของเส้นด้ายต่อสารละลายทั้งหมด คือ 1 ต่อ 50 โดยปรับสารละลายอยู่ในช่วงพีเอช 4 จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดเทลงในกระบอกย้อมแล้วนำกระบอกใส่ในเครื่องย้อม (รูปที่ 3.2) โดยใช้อุณหภูมิในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เมื่อสิ้นสุดกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกนำเส้นด้ายมาต้มในน้ำเดือดที่ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (%w/v) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ และเส้นด้าย จากนั้นนำเส้นด้ายล้างด้วยน้ำสะอาดจนค่าพีเอชของเส้นด้ายเป็นกลางทำให้แห้งในอากาศที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 3.2 เครื่องย้อมระดับห้องปฏิบัติการ

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ทำได้โดยการเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 กรัมต่อลิตร และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสที่วัดได้จากวิธี Dinitrosalicylic acid (DNS) [53] ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเติมสารละลายกลูโคสแต่ละความเข้มข้นปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 90 ไมโครลิตร แล้วนำมาผสมกับสารละลาย 3,5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาตร 300 ไมโครลิตร นำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (รูปที่ ก.4 ในภาคผนวก ก) ต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก เริ่มจากการดูดสารละลายหลังกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกของเส้นด้ายสับปะรดที่ปริมาณ 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 90 ไมโครลิตร แล้วนำมาผสมกับ 3, 5 – Dinitrosalicylic acid (DNS) ปริมาณ 300 ไมโครลิตร นำไปต้มด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (รูปที่ 3.3) นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์กับกราฟมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.3 UV-Visible spectrophotometer

3.3.4 การรีดิวซ์สี Sulfur Black BR

การศึกษาการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เป็นการศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีซึ่งส่งผลต่อความเข้มสีของเส้นด้ายใยสับปะรดหลังย้อมโดยงานวิจัยนี้ใช้สารรีดิวซ์ 3 ชนิดเปรียบเทียบกัน คือ โซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด และศึกษาภาวะต่างๆในการรีดิวซ์สี เช่น ค่า ORP (oxidation and reduction potential) ค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมขณะรีดิวซ์สี เวลาในการรีดิวซ์สี ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และของสารรีดิวซ์ ในการวัดค่า ORP ของสารละลายสีย้อมจะวัดด้วยเครื่องวัดความต่างศักย์ออกซิเดชันและรีดักชัน (ORP Tester10, Eutech Instrument) และวัดค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมด้วยเครื่องวัดพีเอช (pH tester 20) รายละเอียดมีแสดงในข้อ 3.3.4.1 ถึง 3.3.4.3 และตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.4 ORP Tester 10 และ pH tester 20

3.3.4.1 การรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟต์

การศึกษาการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยโซเดียมซัลไฟต์ ใช้ภาวะในการรีดิวซ์ที่ดัดแปลงจากภาวะที่ใช้ในโรงงาน และในบทความวิจัย [2, 4] เริ่มจากการเตรียมสารละลายสีในอัตราส่วนของน้ำหนักเส้นด้ายต่อสารละลายสีเท่ากับ 1 ต่อ 50 โดยในสารละลายสีประกอบด้วยสี 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นด้าย (%owf) และสารช่วยเปียก 2.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารรีดิวซ์ชนิดโซเดียมซัลไฟต์ที่ปริมาณสองเท่าของปริมาณสี และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร ผสมสารทั้งหมดให้เข้ากัน และใช้เวลาในการรีดิวซ์สีที่ 10, 20 และ 30 นาที โดยวัดและบันทึกค่า ORP และพีเอชของสารละลายสีทุกนาทีจาก 1-30 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายสีไปย้อมเส้นด้ายต่อไป

3.3.4.2 การรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส

การศึกษาการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยกลูโคสใช้ภาวะในการรีดิวซ์ที่ดัดแปลงจากบทความวิจัย [2, 4] เริ่มจากการเตรียมสารละลายสีความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเส้นด้าย (%owf) ในอัตราส่วนน้ำหนักเส้นด้ายต่อสารละลายสีเท่ากับ 1 ต่อ 50 สารช่วยเปียก 2.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติมสารรีดิวซ์ชนิดกลูโคสโดยศึกษาการใช้กลูโคสความเข้มข้นต่างกัน 2 ความเข้มข้น คือ 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5, 10, และ15 กรัมต่อลิตร ผสมให้สารทั้งหมดเข้ากัน และใช้เวลาในการรีดิวซ์สีที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที โดยวัดและบันทึกค่า ORP และพีเอชของสารละลายสีทุกนาทีจาก 1-30 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายสีไปย้อมเส้นด้ายต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.4.3 การรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

การรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก เริ่มจากการเตรียมสารละลายสีความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นด้าย (%owf) ในอัตราส่วนน้ำหนักเส้นด้ายต่อสารละลาย 1 ต่อ 50 โดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกแทนน้ำในการเตรียมสารละลายสี และเป็นสารรีดิวซ์สีด้วยแล้วทิ้งไว้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา10 นาที ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ คือ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ผสมสารทั้งหมดให้เข้ากัน และใช้เวลาในการรีดิวซ์สีที่ 10, 20 และ 30 นาที โดยวัดและบันทึกค่า ORP และพีเอชของสารละลายสีทุกนาทีจาก 1-30 นาที จากนั้นจึงนำสารละลายสีไปย้อมเส้นด้ายต่อไป

ตารางที่ 3.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารต่างๆ ในการศึกษาภาวะการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์

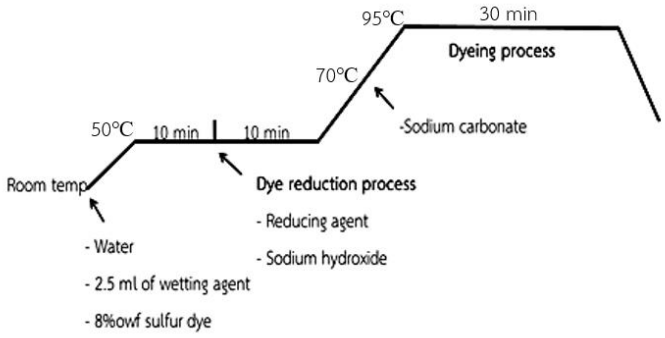
สารรีดิวซ์	สารช่วยเปียก (ml)	สีซัลเฟอร์ (%owf)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (g/l)	โซเดียมซัลไฟด์ (g)	กลูโคส (g/l)	น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/50ml)
Na_2S	2.5	8	15	16	-	-
กลูโคส	2.5	8	15	-	2.5	-
	2.5	8	10		2.5	-
	2.5	8	5	-	2.5	-
	2.5	8	15	-	5	-
	2.5	8	10	-	5	-
	2.5	8	5	-	5	-
สารละลายฯ	2.5	8	15	-	-	153.43
	2.5	8	10	-	-	153.43
	2.5	8	5	-	-	153.43

หมายเหตุ: สารละลายฯ = สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด

3.3.5 การย้อมสี Sulfur Black BR

การย้อมสี Sulfur Black BR บนเส้นด้ายสับปะรด เริ่มจากการนำสารละลายสีหลังการรีดิวซ์สีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปย้อมเส้นด้ายสับปะรดที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก (ระวังไม่ให้เส้นด้ายโผล่พ้นสารละลายสีเพื่อป้องกันการออกซิไดส์ของสีเมื่อโดนออกซิเจนในอากาศ) โดยเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายสีจาก 50 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส แล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนต 15 กรัมต่อลิตร จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิต่อจนถึงอุณหภูมิของการย้อมที่ 95 องศาเซลเซียส ย้อมสีที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที ตามขั้นตอนการย้อมดังแสดงในรูปที่ 3.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการย้อมสี Sulfur Black BR บนเส้นด้ายสับปะรด

3.3.6 การออกซิไดส์สี Sulfur Black BR หลังการย้อม

การออกซิไดส์สี Sulfur Black BR หลังการย้อมดำเนินตามขั้นตอนของ Baffoun และคณะ [4] โดยวิธีการออกซิไดส์เริ่มจากการนำเส้นด้ายหลังการย้อมสีมาล้างด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อล้างสีส่วนเกินออกจากเส้นด้าย จากนั้นล้างเส้นด้ายด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที และทิ้งเส้นด้ายในอากาศเพื่อออกซิไดส์สีเป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปล้างด้วยน้ำสบู่ต่อไป

3.3.7 การล้างเส้นด้ายหลังย้อมด้วยน้ำสบู่

การล้างเส้นด้ายด้วยน้ำสบู่กระทำหลังจากกระบวนการออกซิไดส์สี เริ่มจากการเตรียมสารละลายของสารซักฟอกมาตรฐานที่ 4 เปอร์เซ็นต์ (%W/V) ในอัตราส่วนของเส้นด้ายต่อสารละลายที่ 1 ต่อ 100 โดยการล้างด้วยน้ำสบู่ใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นตากแห้งเส้นด้ายในอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4. การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี

3.4.1 การวัดความเข้มสีและค่าสีบนเส้นด้าย

การวัดความเข้มสี (color strength, K/S) และวัดค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่างของสี (L*) ค่าสีเขียวกับสีแดง (a*) ค่าสีเหลืองกับสีน้ำเงิน (b*) ค่าความบริสุทธิ์ของสี (Chroma, C*) และเฉดสี (Hue, h*) ของเส้นด้ายสับปะรดย้อมสีโดยใช้เครื่องวัดสี (Macbeth Color-Eye 7000, รูปที่ 3.6) ซึ่งบันทึกค่าความเข้มสีที่สูงที่สุดตามการดูดกลืนแสงของสีบนเส้นด้าย การศึกษาเบื้องต้นพบว่า ค่าความเข้มของสี Sulfur black BR มีค่าสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นที่ 630 นาโนเมตร

โดยสามารถคำนวณความเข้มสีบนเส้นด้ายได้จาก Kubelka Munk equation ดังสมการความเข้มสีที่ 3.1

$$\mathbf{K/S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \qquad (3.1)$$

เมื่อ **K/S** คือ ค่าความเข้มสีบนวัสดุ (ค่าสูงบ่งบอกถึงความเข้มสีบนวัสดุสูง)

K = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

S = สัมประสิทธิ์การกระเจิงของแสง

R = reflectance factor ของเส้นด้าย ณ ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนสูงที่สุด

L* คือ ค่าแสดงความสว่างของสีบนเส้นด้าย ถ้าเส้นด้ายมีค่า L* สูง แสดงว่าเส้นด้ายมีสีสว่างกว่าเส้นด้ายที่มีค่า L*ต่ำ

a* คือ ค่าแสดงเฉดสีเขียวกับสีแดงโดยถ้า a* มีค่าเป็นบวกจะมีเฉดสีแดง และถ้า a* มีค่าเป็นลบมี เฉดสีเขียว

b* คือ ค่าแสดงเฉดสีเหลือง และสีน้ำเงินโดยถ้า b* มีค่าเป็นบวกจะมีเฉดสีเหลือง และถ้า b* มีค่าเป็นลบมีเฉดสีน้ำเงิน

3.4.2 การวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้าย

การวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้าย เริ่มจากการนำเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมสี และทำให้แห้งในอากาศโดยไม่ผ่านการล้างเส้นด้ายหรือการออกซิไดส์ไปวัดค่าความเข้มสีโดยใช้ด้วยเครื่องวัดสีรุ่น Macbeth Color-Eye 7000 (รูปที่ 3.6) ที่ค่าความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร จากนั้นนำเส้นด้ายไปล้างด้วยน้ำสบู่ แล้วตากเส้นด้ายให้แห้งในอากาศหลังจากนั้นนำเส้นด้ายไปวัดค่าความเข้มสีที่ค่าความยาวคลื่นเดียวกัน นำค่าที่ได้มาคำนวณร้อยละการผนึกสีดังแสดงในสมการที่ 3.2

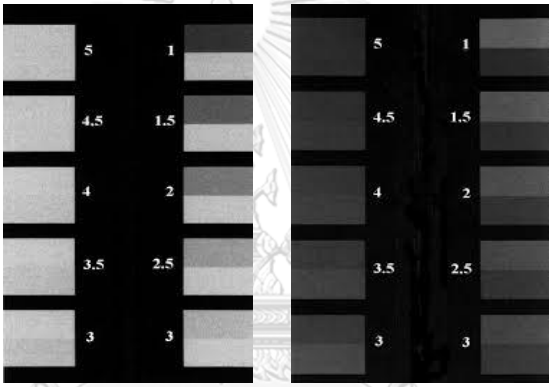
$$\textbf{ร้อยละการผนึกสี} = \frac{\text{ความเข้มสีเส้นด้ายหลังล้างด้วยน้ำสบู่ (K/S)}}{\text{ความเข้มสีเส้นด้ายก่อนล้างด้วยน้ำสบู่ (K/S)}} \times 100 \qquad (3.2)$$

รูปที่ 3.6 เครื่องวัดสีรุ่น Macbeth Color-Eye 7000

3.4.3 การทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้าง

การทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างได้ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C6: 2010 Textile – Tests for colour fastness to domestic and commercial laundering โดยเลือกใช้วิธีการทดสอบที่ A1S โดยใช้เครื่องทดสอบการซักระดับห้องปฏิบัติการ (Gyro wash) (รูปที่ 3.7) เริ่มจากการตัดเส้นด้าย (ที่ผ่านการย้อมสีและถูกล้างด้วยน้ำสบู่) ให้ยาว 24 เซนติเมตร แล้วเย็บเส้นด้ายติดตามแนวขอบของผ้ามัลติไฟเบอร์ขนาด 4 X 10 เซนติเมตร ที่ประกอบด้วยเส้นใย ได้แก่ ขนสัตว์ อะคริลิก พอลิเอสเทอร์ ไนลอน ฝ้าย และแอซีเตต แล้วนำชิ้นตัวอย่างใส่ลงในกระบอกซักแล้วเติมสารละลายผงซักฟอกมาตรฐานความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 150 มิลลิลิตร หลังจากนั้นใส่ลูกเหล็กขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 10 ลูก เพื่อเป็นการจำลองการซักโดยใช้เวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หลังการซักล้างผ้ามัลติไฟเบอร์และเส้นด้ายด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำเส้นด้ายที่ทดสอบ และไม่ได้ทดสอบมาวิเคราะห์เทียบกับเกรย์สเกลการเปลี่ยนของสี (Gray Scale for Color Change) ว่าเทียบเท่าเกรย์สเกลระดับใดระหว่างสเกล 1-5 และนำผ้ามัลติไฟเบอร์ที่ทดสอบและไม่ได้ทดสอบมาเทียบกับเกรย์สเกลการเปื้อนติดของสี (Gray Scale for Color Staining) ว่าเทียบเท่าเกรย์สเกลระดับใดระหว่างสเกล 1-5 แสดงเกรย์สเกลในรูปที่ 3.8 (ก) และ (ข) ซึ่งการเทียบสีกระทำในตู้แสงมาตรฐานใช้หลอดไฟเลียนแบบแสงอาทิตย์ D65 (รูปที่ 3.9) โดยค่าระดับการเปลี่ยนแปลงของสี และค่าระดับการเปื้อนติดของสีมีแสดงคำอธิบายไว้ในตารางที่ 3.2

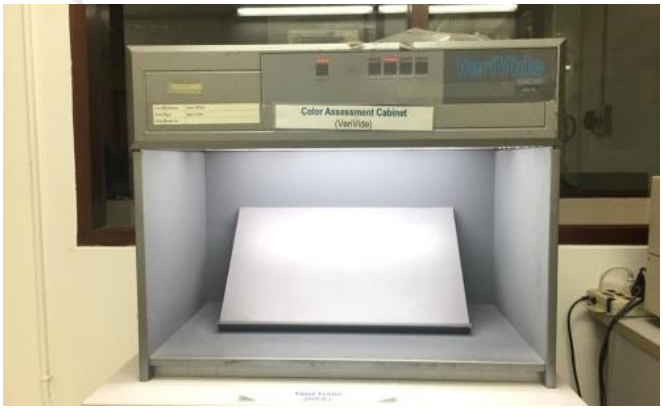
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบการซักระดับห้องปฏิบัติการ (Gyro wash)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.8 Gray Scale for Color Staining (ก) และ Gray Scale for Color Change (ข)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ตู้แสงมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงของสี ระดับการเปื้อนติดสีของ และความหมาย

ระดับ	ความหมายของการเปลี่ยนสี	ความหมายของการเปื้อนติดสี
5	สีไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปื้อนติดสี
4-5	สีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	มีการเปื้อนติดสีเล็กน้อย
4	สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อย	มีการเปื้อนติดสีน้อย
3-4	สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยถึงปานกลาง	มีการเปื้อนติดสีน้อยถึงปานกลาง
3	สีมีการเปลี่ยนแปลงปานกลาง	มีการเปื้อนติดสีปานกลาง
2-3	สีมีการเปลี่ยนแปลงปานกลางถึงมาก	มีการเปื้อนติดสีปานกลางถึงมาก
2	สีมีการเปลี่ยนแปลงมาก	มีการเปื้อนติดสีมาก
1-2	สีมีการเปลี่ยนแปลงมากถึงมากที่สุด	มีการเปื้อนติดสีมากถึงมากที่สุด
1	สีมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด	มีการเปื้อนติดสีมากที่สุด

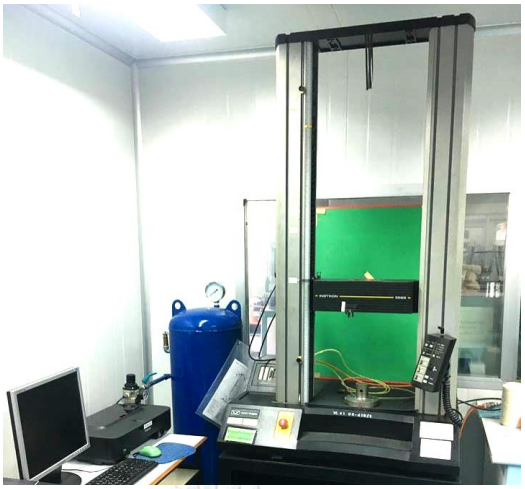
3.4.4 การทดสอบความคงทนต่อแรงดึงของเส้นด้าย

การทดสอบความคงทนต่อแรงดึง (tensile strength) ของเส้นด้ายในงานวิจัยนี้ทดสอบหาค่าแรงดึงขาด และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2256-02 Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method บนเครื่องทดสอความแข็งแรงของวัสดุสิ่งทอ (Tensile Strength Tester) (รูปที่ 3.10) ใช้ load cell ขนาด 10 กิโลนิวตัน เริ่มจากการเตรียมเส้นด้ายสับปะรดยาว 500 มิลลิเมตรนำมาทดสอบในระยะการทดสอบหรือระยะดึง (gage length) 250 มิลลิเมตร และใช้อัตราความเร็วในการทดสอบที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที

การทดสอบเส้นด้ายนี้ทดสอบเส้นด้ายดิบ เส้นด้ายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และเส้นด้ายหลังการย้อมที่สีย้อมผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ชนิดต่างๆ โดยการวิเคราะห์ผลได้รายงานด้วยค่าแรงดึง ณ จุดขาด (Load at break มีหน่วยนิวตัน) และ ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด (% Elongation at break) ดังสมการที่ 3.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\textbf{ร้อยละการยืดตัวของเส้นด้าย ณ จุดขาด} = \frac{\text{ระยะยืดตัวของเส้นด้าย ณ จุดขาด (mm)}}{\text{ระยะดึงเส้นด้าย (mm)}} \times 100 \qquad (3.3)$$



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความคงทนต่อแรงดึงของวัสดุสิ่งทอ (Tensile Strength Tester)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์จากเชื้อรา *Aspergillus sp.* จากนั้นนำสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งมีน้ำตาลรีดิวซ์ไปรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ก่อนนำไปย้อมเส้นด้ายสับปะรดเปรียบเทียบกับการรีดิวซ์สีชนิดนี้ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ และด้วยกลูโคส ก่อนนำไปย้อมเส้นด้ายชนิดเดียวกัน ทำให้ได้ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่แสดงในบทที่ 4 นี้ซึ่งประกอบด้วย 1) ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายสับปะรด 2) ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยกลูโคส และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ และ3) ผลการศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของเส้นด้ายหลังการย้อมสี เช่น ค่าความเข้มสี ค่าของสี ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้าย ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนต่อแรงดึงและการยืดตัวของเส้นด้าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์

เมื่อเส้นด้ายสับปะรดผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมดในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer และคำนวณจากกราฟค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของกลูโคส พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยรวมของสารละลายมีค่า 153.43 ± 9.12 มิลลิกรัม/50 มิลลิลิตร เมื่อกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด 1 กรัม และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Biochemistry analyzers YSI 2950 พบว่า ปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ในสารละลายได้แก่ น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลไซโลส มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส 94.27 ± 13.48 มิลลิกรัม/50 มิลลิลิตร และปริมาณน้ำตาลไซโลส 43.86 ± 4.28 มิลลิกรัม/50 มิลลิลิตร เมื่อกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด 1 กรัม (ตารางที่ 4.1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด กลูโคส และไซโลสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

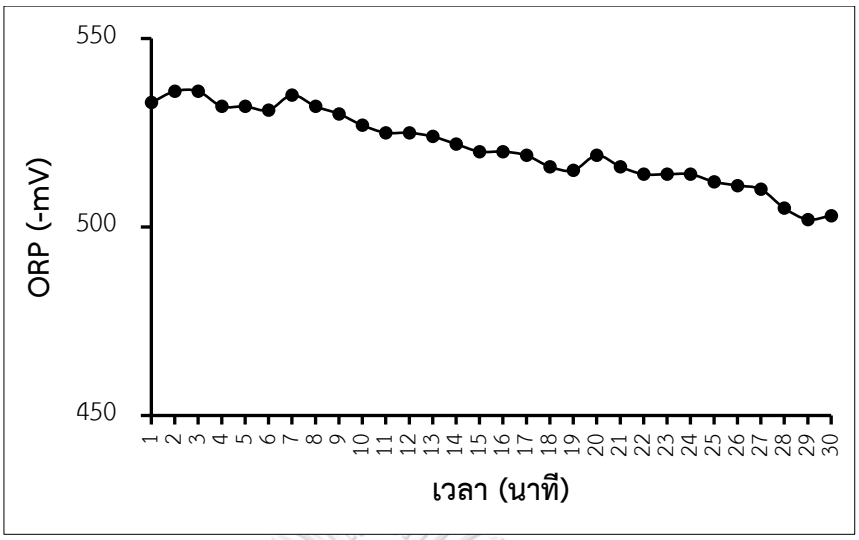
ชนิดน้ำตาล	**ปริมาณน้ำตาล (mg/50ml/g ด้าย)**
น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด	153.43 ± 9.12 (U)
กลูโคส	94.27 ± 13.48 (B)
ไซโลส	43.86 ± 4.28 (B)

หมายเหตุ U = UV-Visible spectrophotometer และ B = Biochemistry analyzers

4.2 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีย้อมที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ชนิดต่างๆ และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสี

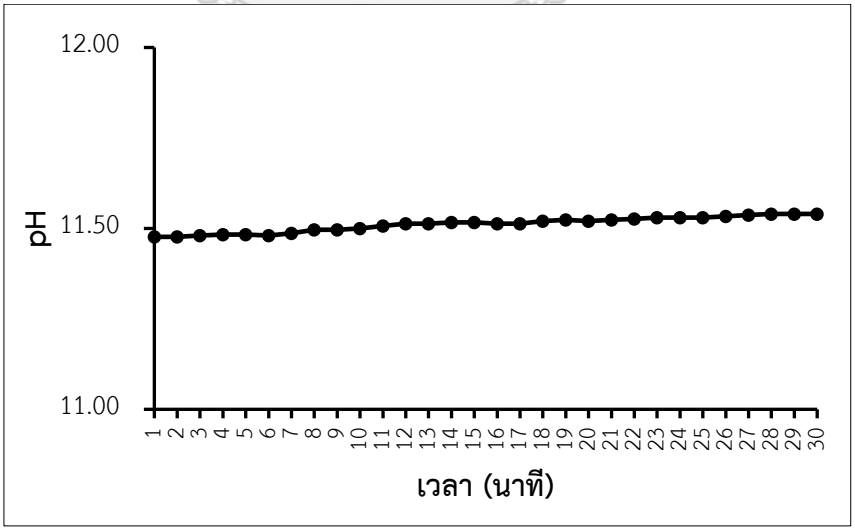
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟต์และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม

การศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟต์ในภาวะด่างโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นเป็นไปตามที่อุตสาหกรรมใช้ และตามงานวิจัยที่ผ่านมา [4]) รีดิวซ์เป็นเวลา 1-30 นาที แสดงให้เห็นว่าเมื่อสี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟต์ในภาวะด่างเป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร ค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าระหว่าง -533 ถึง -503 mV ซึ่งอยู่ในช่วง ORP ที่ต้องการสำหรับการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ (-400 ถึง -500 mV) โดยอ้างอิงจากบทความวิจัยของ Bozic และ Kokol [13] และพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการรีดิวซ์สีมากขึ้นกลับทำให้ค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าติดลบน้อยลง และสามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์สีลดลง (รูปที่ 4.1)



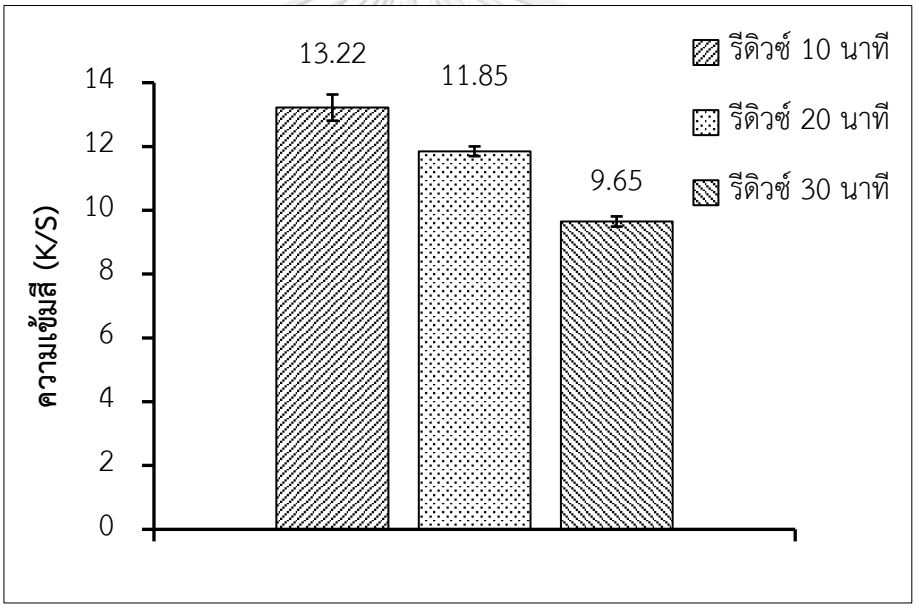
รูปที่ 4.1 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร

นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อสี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ในภาวะด่าง เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของสารละลายสีมีค่าระหว่าง 11.48 - 11.54 (รูปที่ 4.2) ซึ่งเป็นช่วงค่าพีเอชที่ต้องการในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ (พีเอช 11-12) โดยอ้างอิงจากบทความวิจัย Bozic และ Kokol [13]



รูปที่ 4.2 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร

การเลือกเวลาที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์จะพิจารณาจากค่าความเข้มสีที่อยู่ในระดับสูงของเส้นด้ายสับปะรดหลังย้อม และจากการทดลองรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตรที่เวลาในการรีดิวซ์ 10, 20 และ 30 นาที (ในอุตสาหกรรมใช้เวลาในการรีดิวซ์สี 10 นาที) พบว่า เส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้เวลาในการรีดิวซ์ 10 นาที มีค่าความเข้มสีบนเส้นด้ายหลังย้อมที่ 13.22 ± 0.41 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเส้นด้ายย้อมที่สีผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 20 และ 30 นาที ซึ่งมีค่าความเข้มสีที่ 11.85 ± 0.15 และ 9.65 ± 0.16 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) ดังนั้นเวลาในการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ที่ 10 นาที ตามเวลาที่อุตสาหกรรมการย้อมสีซัลเฟอร์นิยมใช้ซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สารละลายมีค่า ORP และค่าพีเอชอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ รวมทั้งสามารถนำสีหลังการรีดิวซ์ไปย้อมเส้นด้ายสับปะรดได้สีเข้มมากที่สุด



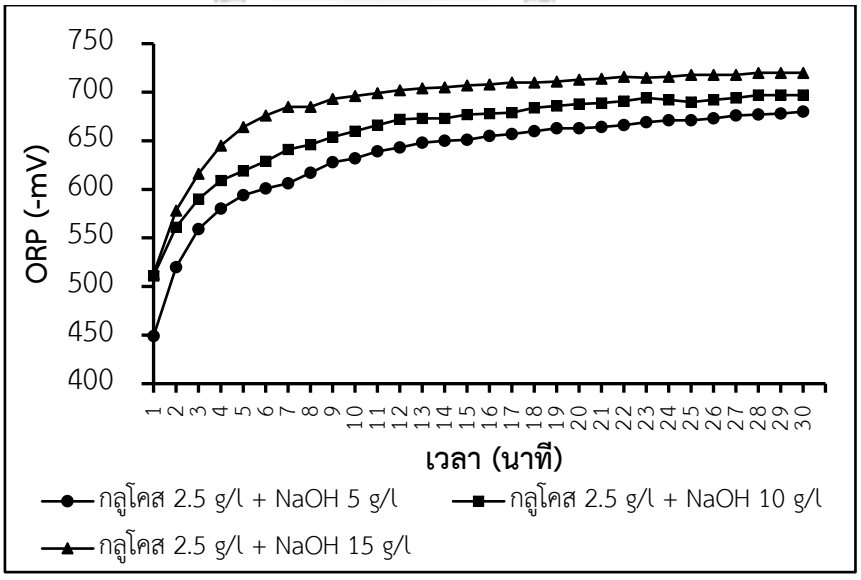
รูปที่ 4.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่เวลาต่างๆ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสและค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม

การศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์ค่า ORP และพีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร ในภาวะด่างโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 1-30 นาที ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

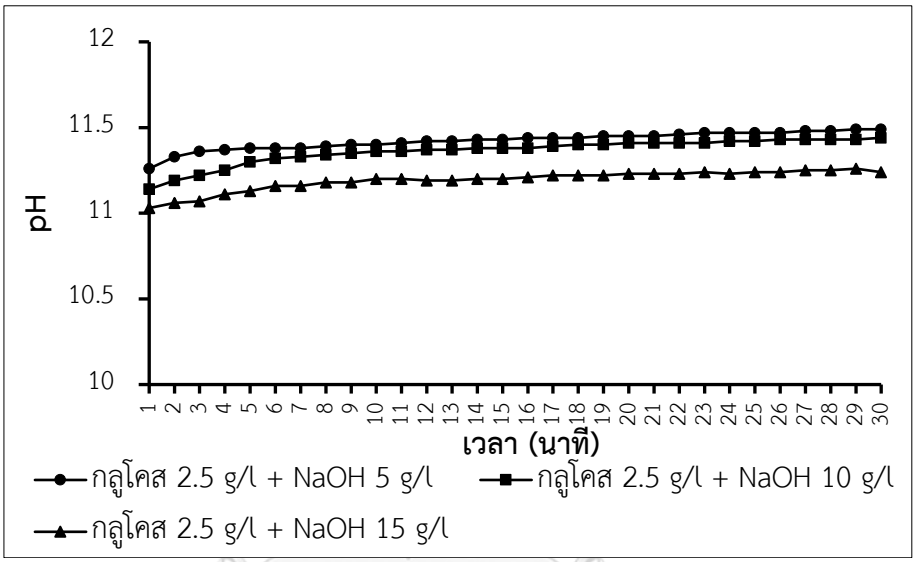
4.2.2.1 ผลการศึกษาเมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เป็นเวลา 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร จะได้สารละลายสีที่มีค่า ORP ระหว่าง -449 ถึง -680 mV, -511 ถึง -697 mV และ -513 ถึง -720 mV ตามลำดับ โดยเมื่อเวลาในการรีดิวซ์สีมากขึ้นค่า ORP ของสารละลายสีจะมีค่าติดลบมากขึ้น และเมื่อเวลารีดิวซ์นานเกิน 10 นาทีขึ้นไป จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP น้อยลงซึ่งตรงข้ามกับผลการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อเพิ่มเวลาการรีดิวซ์สีกลับทำให้ค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าติดลบลดลงเรื่อยๆ และพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าติดลบเพิ่มขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 4.4) อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีจึงควรใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียง 5 กรัมต่อลิตร เนื่องจากที่ความเข้มข้นนี้ เป็นค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่จะได้สารละลายสีที่มีค่า ORP อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ



รูปที่ 4.4 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

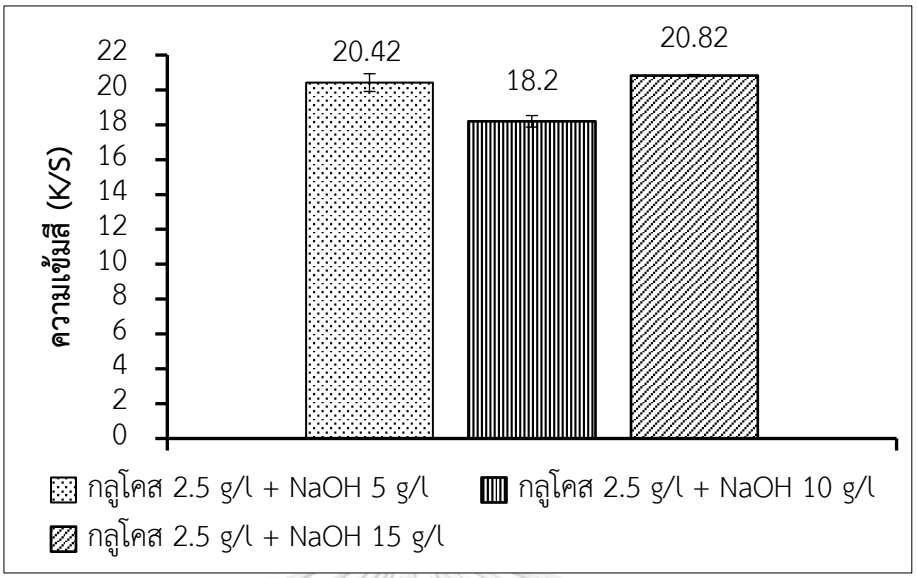
นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าพีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร มีค่า 11.26 ถึง 11.49, 11.14 ถึง 11.44 และ11.03 ถึง 11.24 ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และเนื่องจากต้องการลดการใช้สารเคมีจึงควรรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร และค่าพีเอชของสารละลายสีค่อนข้างคงที่เมื่อรีดิวซ์สีเป็นเวลาตั้งแต่ 10 นาที ขึ้นไป



รูปที่ 4.5 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

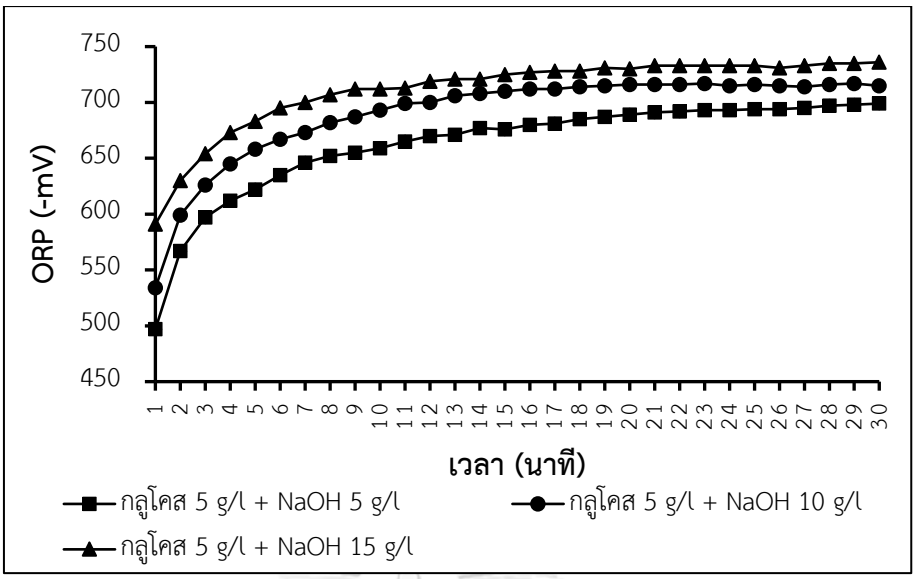
อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5 กรัมต่อลิตร เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที ผู้วิจัยจึงได้ทดลองย้อมสีเส้นด้าย และวัดความเข้มสีของเส้นด้ายโดยทำการปรับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.6) พบว่า ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 15 กรัมต่อลิตร โดยใช้เวลาในการรีดิวซ์สี 10 นาที ให้ค่าความเข้มสีบนเส้นด้าย 20.42 ± 0.51 และ 20.82 ± 0.06 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มาก และต่างมีค่าความเข้มสีสูงกว่าเมื่อย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีจึงควรใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียง 5 กรัมต่อลิตร เมื่อรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4.6 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ 10 นาทีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

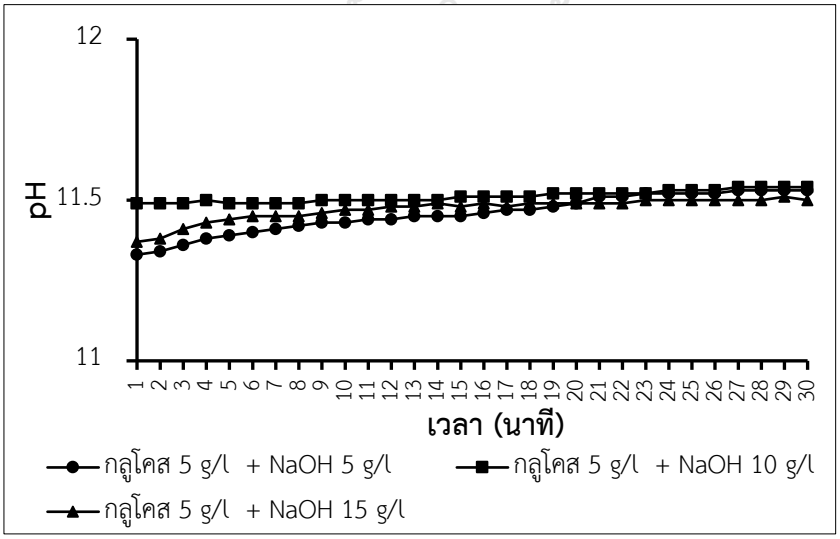
4.2.2.2 ผลการศึกษาเมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เป็นเวลา 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร จะได้สารละลายสีที่มีค่า ORP ระหว่าง -497 ถึง -699 mV, -534 ถึง -715 mV และ-591 ถึง -736 mV ตามลำดับ (รูปที่ 4.7) โดยเมื่อเวลาในการรีดิวซ์สีมากขึ้นค่า ORP ของสารละลายสีจะมีค่าติดลบมากขึ้น และเมื่อเวลารีดิวซ์นานเกิน 10 นาทีขึ้นไป จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ORP น้อยลงซึ่งตรงข้ามกับผลการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ เมื่อเพิ่มเวลาการรีดิวซ์สีกลับทำให้ค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าติดลบลดลงเรื่อยๆ และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีค่า ORP ของสารละลายสีมีค่าติดลบเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีจึงควรใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียง 5 กรัมต่อลิตร เนื่องจากที่ความเข้มข้นนี้เป็นค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่จะได้สารละลายสีที่มีค่า ORP อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ



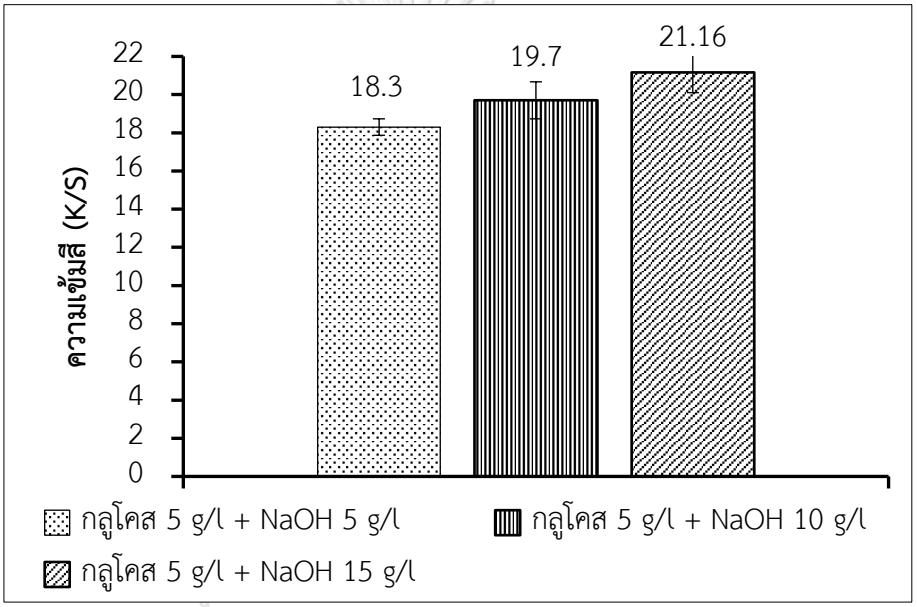
รูปที่ 4.7 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร

ผลการศึกษาค่าพีเอชในสารละลายสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร ร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ค่าพีเอชที่เกิดจากการรีดิวซ์สีในช่วงเวลา 1-30 นาที มีค่าตั้งแต่ 11.33 ถึง 11.54 (รูปที่ 4.8) ซึ่งไม่ค่อยมีความแตกต่างกันนัก แม้จะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นแตกต่างกันก็ตาม ซึ่งตรงข้ามกับค่า ORP ในรูปที่ 4.7 ที่ค่า ORP ติดลบมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.8 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 1-30 นาที โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

ดังนั้นเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์นี้จึงได้ทดลองย้อม Sulfur Black BR หลังการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที (ตามงานวิจัยที่ผ่านมา [4]) และวัดค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อม เมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10, และ 15 กรัมต่อลิตร พบว่า การรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร ให้ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อมสี 21.16 ± 0.92 ซึ่งให้ค่าความเข้มสีสูงกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ10 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.9) เนื่องจากสารละลายสีที่ได้มีค่า ORP มากที่สุด (รูปที่ 4.7) จึงส่งผลทำให้สีละลายได้ดีกว่าและแทรกซึมเส้นใยได้มากกว่าเมื่อนำไปย้อมบนเส้นด้ายสับปะรด

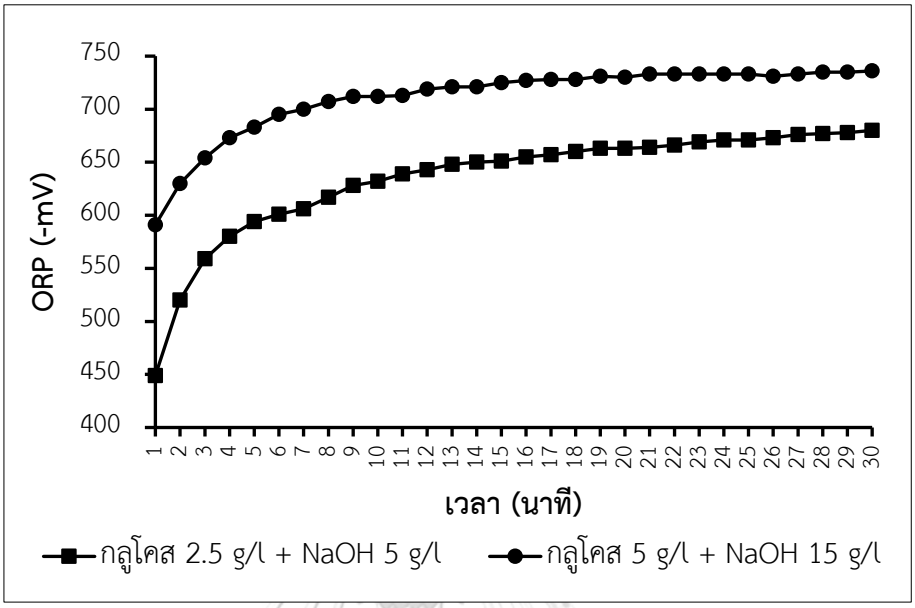


Chulalongkorn University

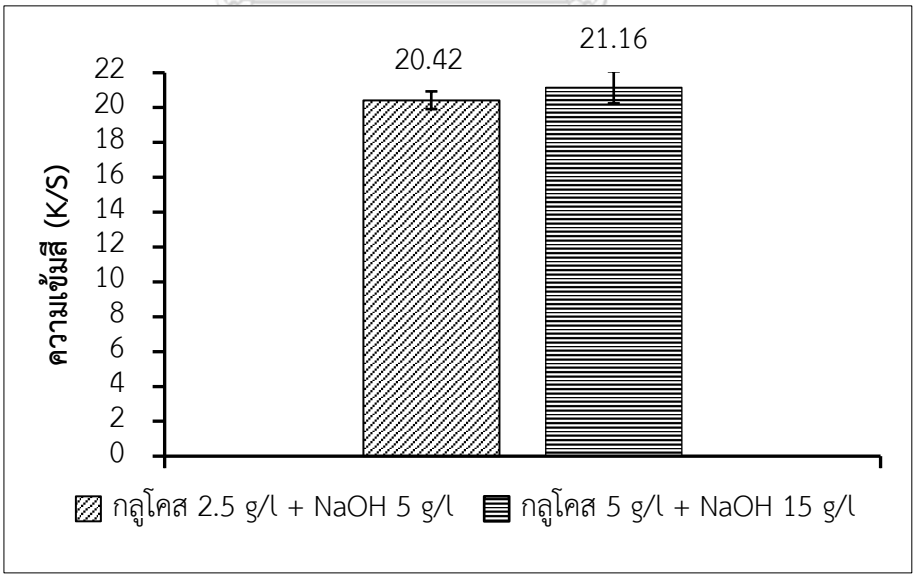
รูปที่ 4.9 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ 10 นาที ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร

นอกจากนั้นเมื่อนำผลการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ที่ดีและเหมาะสมที่สุดโดยรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และ 5 กรัมต่อลิตร มาเปรียบเทียบความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อม และค่า ORP ของสารละลายสี พบว่า ถึงแม้ค่า ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR ที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร มีค่าติดลบสูงมากกว่าค่า ORP ของสารละลายสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.10) แต่เมื่อเทียบความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อมของทั้งสองภาวะของการรีดิวซ์สีกลับพบว่า ความเข้มสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่ความเข้มสี 20.42 ± 0.51 และ

21.16 ± 0.92 ตามลำดับ (รูปที่ 4.11) ดังนั้นจึงเลือกการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เป็นเวลา 10 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตรเป็นภาวะที่เหมาะสม



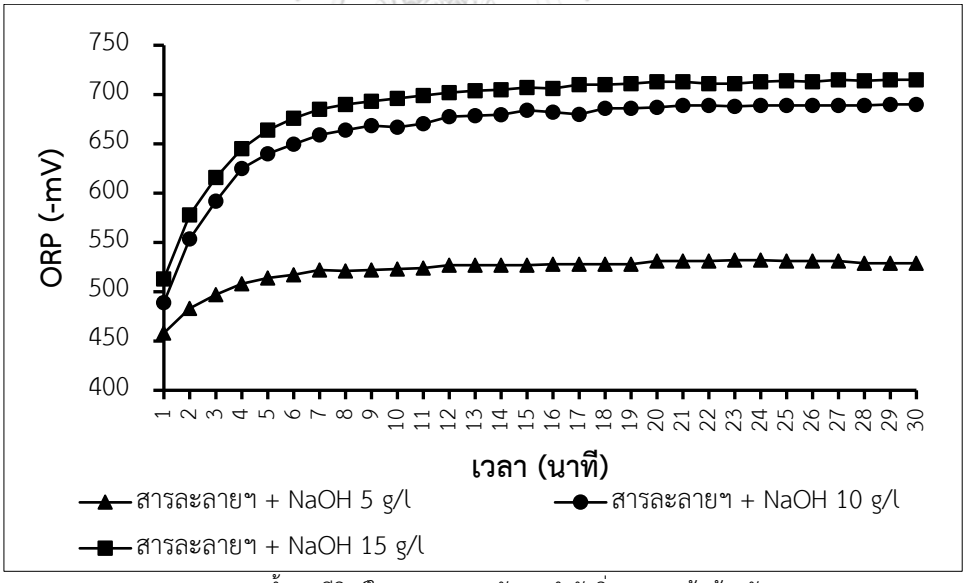
รูปที่ 4.10 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยกลูโคส 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อมสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม

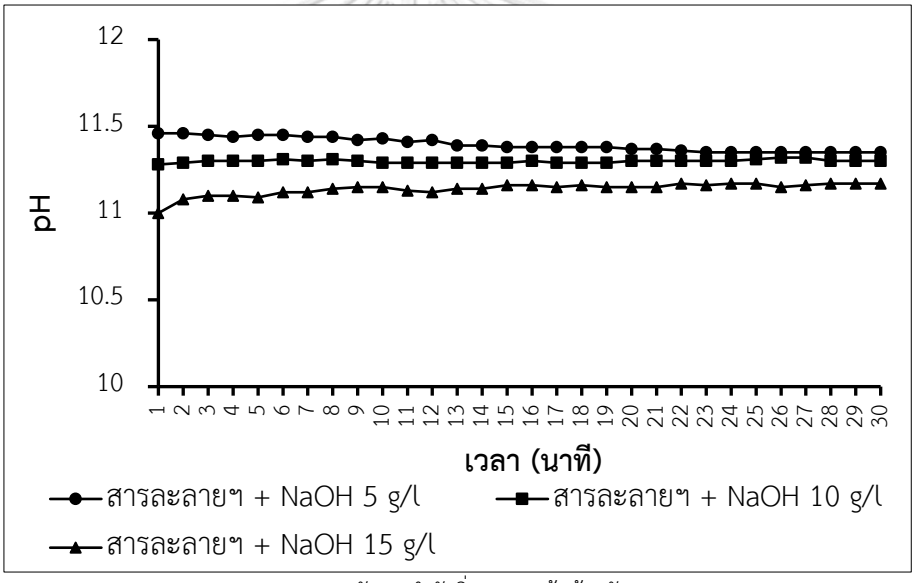
การศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 1-30 นาที ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร พบว่า เมื่อรีดิวซ์สี Sulfur Black BR เป็นเวลา 1-10 นาที ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร จะได้สารละลายสีที่มีค่า ORP ระหว่าง -458 ถึง -529 mV, -489 ถึง -690 mV และ -513 ถึง -715 mV ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) โดยที่พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่า ORP ของสารละลายสีก็มีค่าติดลบมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาการรีดิวซ์มากขึ้นค่า ORP ของสารละลายสีจะมีค่าติดลบมากขึ้นจนค่อนข้างคงที่เมื่อเวลารีดิวซ์สีเป็นเวลา 7-10 นาที จะสังเกตได้ว่าค่า ORP ของสารละลายสีนั้นมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับค่า ORP ของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 และ5 กรัมต่อลิตร แต่สารละลายสีนี้มีค่า ORP ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามค่า ORP ของสารละลายสีนี้ก็ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการแม้จะเป็นการรีดิวซ์สีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำที่สุดที่ 5 กรัมต่อลิตร



หมายเหตุ สารละลายฯ = น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

รูปที่ 4.12 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยน้ำตารีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร

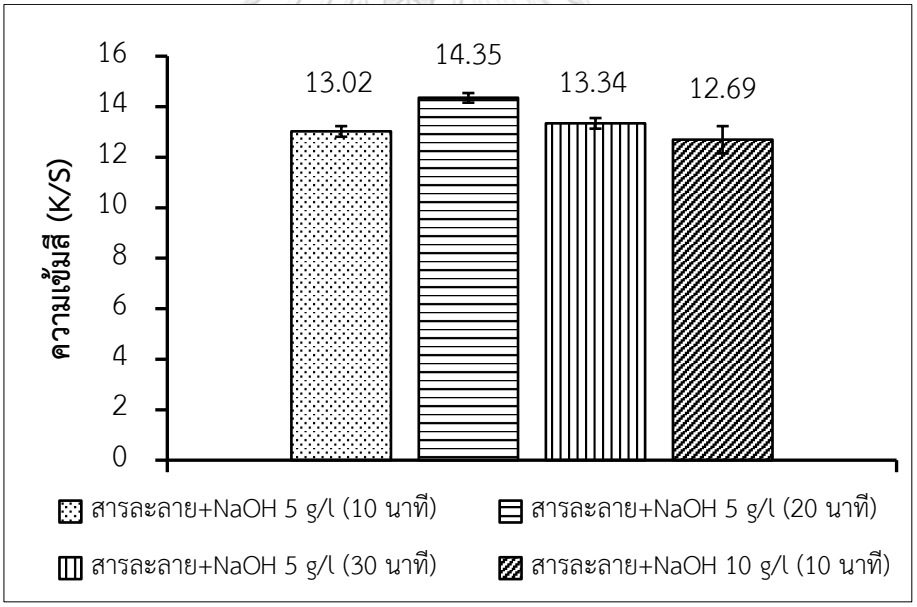
นอกจากนั้นเมื่อทำการศึกษาค่าพีเอชในสารละลายสี Sulfur Black BR ที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร พบว่า ค่าพีเอชของสารละลายสีในระหว่างการรีดิวซ์สีที่เวลา 1-30 นาที ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร มีค่าพีเอช 11.46 ถึง 11.35 ซึ่งมีค่าพีเอชที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายสีเมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ที่มีค่าพีเอช 11.28 ถึง 11.30 และ 11 ถึง 11.17 ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) โดยภาพรวมสรุปได้ว่าไม่ว่าจะใช้ความเข้มข้นใดของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีก็ทำให้ค่าพีเอชของสารละลายสีมีค่าใกล้เคียงกันคือ ระหว่างพีเอช 11-11.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ



หมายเหตุ สารละลายฯ = สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

รูปที่ 4.13 พีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสี Sulfur Black BR ที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด จึงได้ทดลองย้อมสีชนิดนี้บนเส้นด้ายสับปะรดโดยเลือกภาวะการรีดิวซ์สีที่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นสารรีดิวซ์สี และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร ที่เวลารีดิวซ์ 10, 20 และ 30 นาที จากนั้นจึงนำสีที่ผ่านการรีดิวซ์ไปย้อมเส้นด้ายสับปะรด พบว่า ความเข้มสีบนเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก โดยใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร และเวลาในการรีดิวซ์ 20 นาที ให้ความเข้มสี 14.35 ± 0.19 ซึ่งสูงกว่าเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 10 และ 30 นาที ที่มีค่าความเข้มสี 13.02 ± 0.21 และ 13.34 ± 0.21 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทดลองย้อมสีด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที แต่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร ให้ค่าความเข้มสีที่ 12.69 ± 0.54 ซึ่งมีค่าความเข้มสีที่ต่ำกว่าเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร ที่เวลาการรีดิวซ์สีที่ 20 นาที (รูปที่ 4.14)



หมายเหตุ สารละลายฯ = สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

รูปที่ 4.14 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์เป็นเวลา10-30 นาที ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 10 กรัมต่อลิตร

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีและการใช้เวลาที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR จึงเลือกภาวะที่เหมาะสมในการรีดิวซ์สีโดยใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นสารรีดิวซ์สีใช้โซเดียมไฮดรอกไซค์ 5 กรัมต่อลิตร และใช้เวลาในการรีดิวซ์สี 20 นาที แล้วจึงนำสีที่ผ่านการรีดิวซ์ไปย้อมเส้นด้ายสับปะรด เนื่องจากจะให้เส้นด้ายย้อมสีที่มีความเข้มสีประมาณ 14.35 ± 0.19 ซึ่งมีค่าความเข้มสีสูงกว่าเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ด้วยภาวะที่ดีที่สุดในโรงงานและในงานวิจัยต่างๆ ซึ่งมีค่าความเข้มสีประมาณ 13.22 ± 0.41

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ORP ของสารละลายสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อม

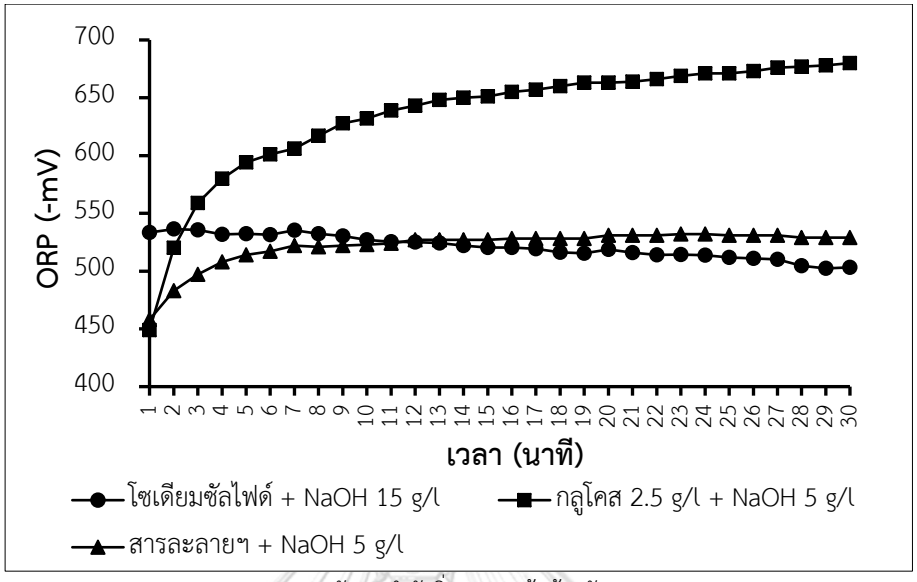
จากผลการศึกษาค่า ORP ของสารละลายสี และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก พบว่า การรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสและนำสารละลายสีไปย้อมเส้นด้ายสับปะรดจะได้เส้นด้ายที่มีความเข้มสี 20.42 ± 0.51 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดตามด้วยเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ซึ่งมีค่าความเข้มสี 14.35 ± 0.19 และ 13.22 ± 0.41 ตามลำดับ (รูปที่ 4.15 และ4.16)

ส่วนค่า ORP ของสารละลายสี พบว่า สารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส มีค่า ORP ติดลบเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นของการรีดิวซ์จนการเปลี่ยนแปลงเริ่มน้อยลงเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 10 ขึ้นไป และมีค่า ORP สูงมากกว่า ORP ของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ชนิดอื่นตั้งแต่นาทีที่ 3 ของการรีดิวซ์ ORP ของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกมีแนวโน้มคล้ายๆกัน คือ เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และคงที่ในเวลาต่อมาเพียงแต่ ORP ของสารละลายสีอันหลังนี้มีค่าต่ำกว่า ส่วน ORP ของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาการรีดิวซ์สี และลดลงเล็กน้อยในช่วงหลังจาก 10 นาทีของการรีดิวซ์สี

จากค่า ORP ของสารละลายสีพอจะสรุปได้ว่า การที่ ORP ของสารละลายสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสมีค่าติดลบมากที่สุดมีผลทำให้สี Sulfur Black BR ละลายน้ำได้มากที่สุด และสามารถแพร่เข้าไปในเส้นใยสับปะรดได้มากที่สุด จึงทำให้สามารถย้อมได้สีเข้มที่สุด ตามด้วยค่า ORP ของสารละลายสี และค่าความเข้มสีของเส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ใน

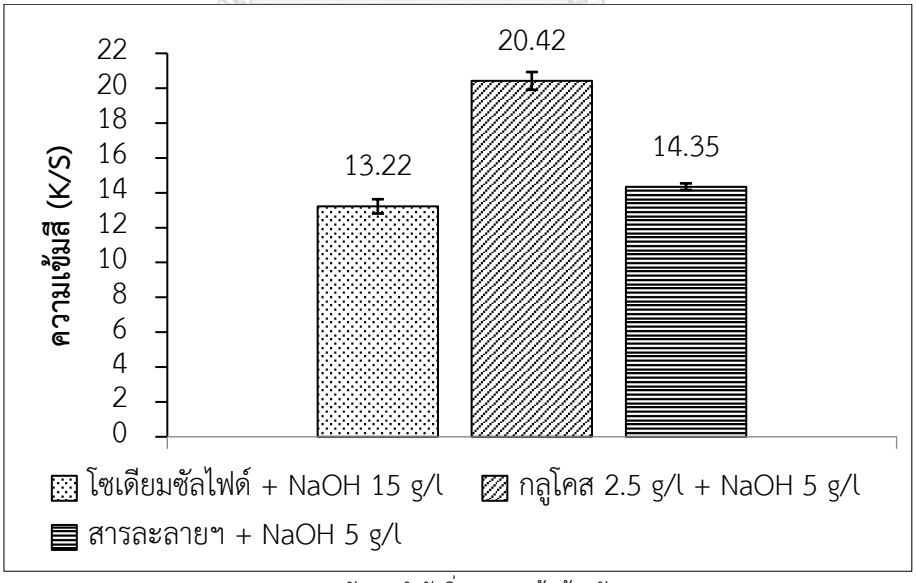
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่งเป็นการนำน้ำเสียมาเป็นวัตถุดิบหลักในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ชนิดนี้ และให้ผลดีกว่าการใช้สารเคมีรุนแรงอย่างโซเดียมซัลไฟด์มารีดิวซ์สีซัลเฟอร์



หมายเหตุ สารละลายฯ = สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

รูปที่ 4.15 ORP ของสารละลายสี Sulfur Black BR เมื่อสีผ่านการรีดิวซ์ 1-30 นาที ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก โดยใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

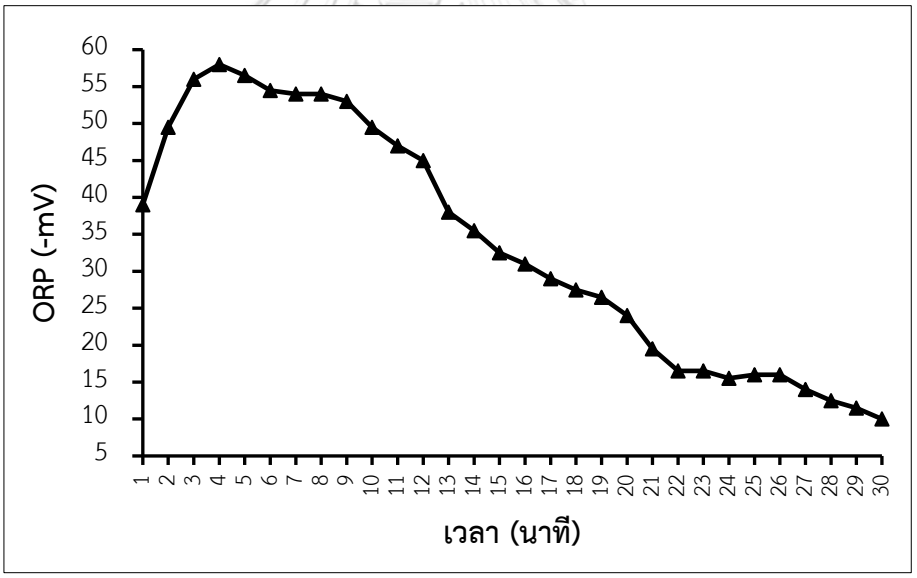


หมายเหตุ สารละลายฯ = สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด

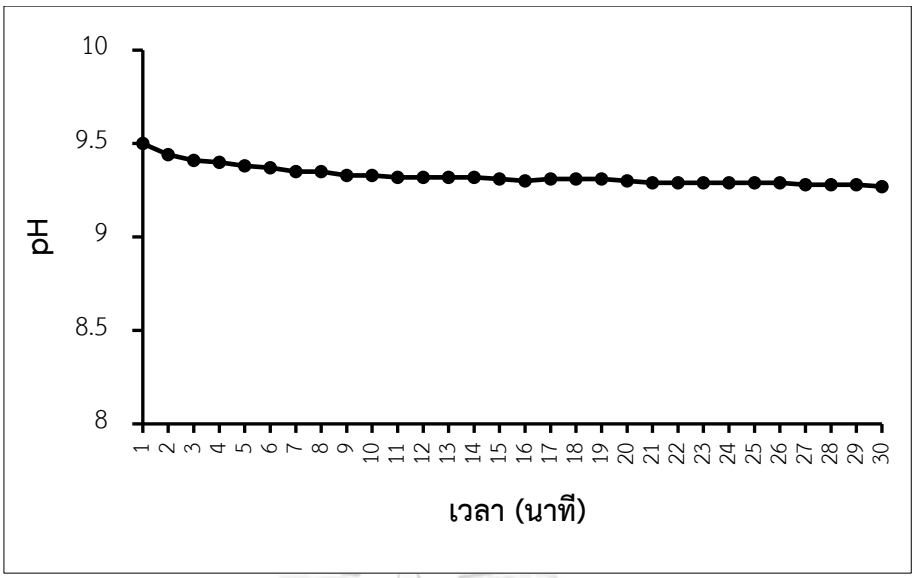
รูปที่ 4.16 ความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ต่างๆ ในภาวะที่เหมาะสม

4.4 ผลการวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชของสีผสมน้ำ และของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

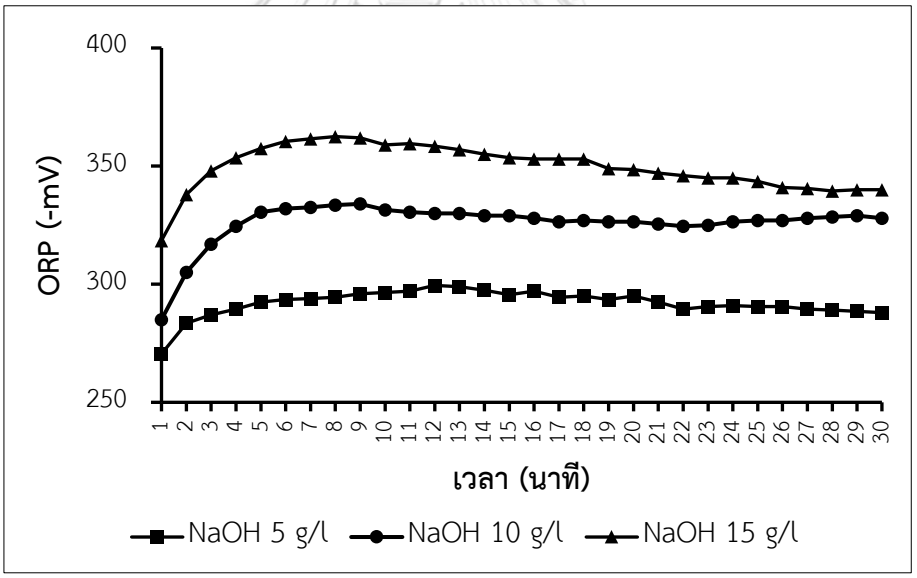
ในงานวิจัยนี้สี Sulfur Black BR ผสมน้ำ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5, 10 และ15 กรัมต่อลิตร ถูกวิเคราะห์ค่า ORP และค่าพีเอชเป็นเวลา 1-30 นาที โดยไม่มีสารรีดิวซ์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก จากผลการทดลองพบว่า สี Sulfur Black BR ผสมน้ำที่ไม่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์และไม่มีสารรีดิวซ์สี จะมีค่า ORP ตั้งแต่ -39 ถึง -10 mV (รูปที่ 4.17) และค่าพีเอชระหว่าง 9.5 ถึง 9.27 (รูปที่ 4.18) ซึ่งทั้งสองค่านั้นมีค่าต่ำมากสีซัลเฟอร์ยังไม่สามารถละลายในน้ำได้ เนื่องจากค่า ORP และพีเอชที่ต้องการสำหรับการรีดิวซ์สีคือ -400 ถึง -500 mV และ 11-12 ตามลำดับ และมีความจำเป็นต้องใช้สารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ นอกจากนั้นยังพบว่า ค่า ORP และพีเอชของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆมีค่า ORP ยังต่ำเกินไปสำหรับการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ ถึงแม้ค่าพีเอชจะอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการก็ตาม (พีเอช 11-12) แสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ดังนั้นการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์จำเป็นต้องใช้สารรีดิวซ์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์



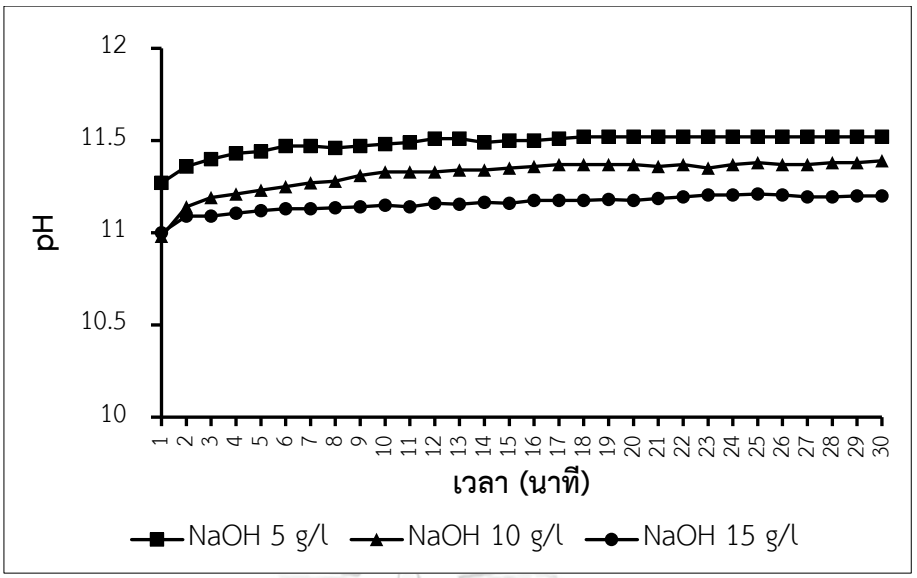
รูปที่ 4.17 ORP ของสี Sulfur Black BR ผสมน้ำ ณ เวลา 1-30 นาที



รูปที่ 4.18 พีเอชของสี Sulfur Black BR ผสมน้ำ ณ เวลา 1-30 นาที



รูปที่ 4.19 ORP ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ณ เวลา 1-30 นาที



รูปที่ 4.20 พีเอชของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร ณ เวลา 1-30 นาที

4.5 ผลการวัดค่าสีของเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ด้วยกลูโคส และด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ณ ภาวะที่เหมาะสม

ผลการวัดค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดที่ผ่านการย้อมได้รายงานผลในรูปแบบของค่าความสว่างของสี (L*), ค่าสีเขียวกับสีแดง (a*), ค่าสีเหลืองกับสีน้ำเงิน (b*), ค่าความบริสุทธิ์ของสี (Chroma, C*) และเฉดสี (Hue, h*) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า เส้นด้ายย้อมสีด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกต่างมีสีดำอมน้ำเงิน (b*ติดลบ) มีความบริสุทธิ์ของสี (c*) และเฉดสี (h*) ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์นี้ด้วยสารต่างๆ ทั้งสามชนิดต่างไม่ได้มีผลเปลี่ยนเฉดสี แต่สิ่งที่แสดงให้เห็นความแตกต่าง คือ ค่าความมืดและความสว่างของสี (L*) โดยที่สีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสแล้วนำไปย้อมจะสามารถย้อมเส้นด้ายให้สีมืดหรือสีเข้มที่สุด (L* ค่าน้อยที่สุด) ซึ่งมีความมืดของสีมากกว่าสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ และด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกที่เส้นด้ายหลังย้อมมีสีที่สว่างมากกว่า หรือ มีสีอ่อนกว่านั้นเอง (L* ค่ามากกว่า)

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารต่างๆ ณ ภาวะที่เหมาะสม

เส้นด้ายย้อม	**ค่าสี**				
	L*	**a***	**b***	**c***	**h***
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	22.29	-0.29	-2.78	2.79	264
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	18.69	-0.38	-2.79	2.82	262.25
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก	22.26	-1.16	-2.63	2.87	264.21

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

4.6 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสี (%dye fixation) บนเส้นด้ายหลังย้อม

จากการวิเคราะห์ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายสับปะรดหลังย้อมได้จากค่าความเข้มสีของเส้นด้ายย้อมก่อนล้างน้ำสบู่กับค่าความเข้มสีของเส้นด้ายย้อมหลังล้างด้วยน้ำสบู่ตามสมการที่ 3.2 (ดูบทที่ 3) พบว่า เส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส ณ ภาวะที่เหมาะสมแสดงค่าการผนึกสีที่ 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีการผนึกสี 78 เปอร์เซ็นต์ และเส้นด้ายย้อมสีด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่มีการผนึกสี 76 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เป็นสาเหตุมาจากการที่สารละลายสีย้อมที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสมีค่า ORP มากที่สุดทำให้สีละลายน้ำ และแพร่เข้าเส้นใยได้มากที่สุด ตามด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และสุดท้ายเป็นสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.3 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารต่างๆ ณ ภาวะที่เหมาะสม

เส้นด้ายย้อม	**การผนึกสี (%)**
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	76
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	82
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก	78

4.7 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซัก

จากการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C06 พบว่า เส้นด้ายสับปะรดที่ผ่านการย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีในระดับ 4-5 (สีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย) ซึ่งให้ผลของการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างน้อยกว่าเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่มีระดับการเปลี่ยนแปลงสีที่ระดับ 3-4 (สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยถึงปานกลาง) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี

เส้นด้าย	**ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงสี**
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	3-4
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	4-5
สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก	4-5

จากผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี (ตารางที่ 4.5) พบว่า สีบนเส้นด้ายที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารทั้งสามชนิดต่างมีความคงทนต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสีในระดับเดียวกัน คือ สีหลุดออกเปื้อนติดบนเส้นใยชนิดต่างๆในระดับเปื้อนติดสีเล็กน้อยถึงน้อยโดยที่เปื้อนติดสีบนขนแกะมากกว่าเส้นใยอื่นๆอยู่บ้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นดายต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี

สีผ่านการรีดิวซ์ด้วย	**ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปื้อนติดสี**					
	Wool	**Acrylic**	**Polyester**	**Polyamide**	**Cotton**	**Acetate**
โซเดียมซัลไฟด์	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
กลูโคส	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
สารละลายฯ	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

หมายเหตุ สารละลายฯ = น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสี Sulfur Black BR ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารทั้งสามชนิด เมื่อนำมาย้อมเส้นด้ายสับปะรด เส้นด้ายย้อมสีจะมีความคงทนต่อการซักล้างในระดับดีมากโดยเฉพาะเมื่อรีดิวซ์สีด้วยกลูโคส หรือ ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

4.8 ผลการทดสอบความคงทนต่อแรงดึง และการยืดตัวของเส้นด้ายก่อนและหลังย้อม

จากผลการทดสอบความแข็งแรงด้านความคงทนต่อแรงดึง และการยืดตัวของเส้นด้ายทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-2256-02 พบว่า แรงดึง ณ จุดขาดของเส้นด้ายสับปะรดที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสมีค่า 40 นิวตัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าแรงดึง ณ จุดขาดที่ 39 นิวตัน และเส้นด้ายที่ผ่านการย้อมสีด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีค่าแรงดึง ณ จุดขาดที่ 32 นิวตัน ซึ่งเป็นเส้นด้ายย้อมที่มีค่าแรงดึง ณ จุดขาดต่ำที่สุด ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าเส้นด้ายดิบ เส้นด้ายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และเส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่างมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่เท่ากันที่ 5 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นด้ายก่อนและหลังย้อม

เส้นด้าย	**แรงดึงขาด (นิวตัน)**	**การยืดตัว ณ จุดขาด (%)**
เส้นด้ายดิบ	65	5
หลังกำจัดสิ่งสกปรก	40	5
หลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	32	5
หลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	40	5
หลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารละลายฯ	39	5

หมายเหตุ สารละลายฯ = น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้านความแข็งแรงด้านแรงดึงของเส้นด้ายหลังย้อมในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า เส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีค่าแรงดึงขาดลดลง 20 % จากค่าแรงดึงขาดของเส้นด้ายก่อนย้อม (หลังกำจัดสิ่งสกปรก) เนื่องจากโซเดียมซัลไฟด์มีสมบัติที่เป็นสารกัดกร่อน และในการรีดิวซ์สีต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงถึง 15 กรัมต่อลิตร จึงส่งผลต่อการลดลงของค่าแรงดึงขาดของเส้นด้ายหลังย้อม โดยที่ค่าแรงดึงขาดของเส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส เส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และเส้นด้ายก่อนย้อม (หลังการกำจัดสิ่งสกปรก) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ ซ.1 ในภาคผนวก ซ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงการศึกษาการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ของบริษัท Zhengding Shengguo Chemical Factory ด้วยสารรีดิวซ์ 3 ชนิดเปรียบเทียบกัน ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (ใช้ในอุตสาหกรรมย้อมสีสิ่งทอ) น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ (เพกติเนส ไซแลนเนส และเซลลูเลส) โดยศึกษาปัจจัยในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ ได้แก่ ค่า ORP และค่าพีเอชของสารละลายสีย้อม ความเข้มข้นของสารรีดิวซ์ และของโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์สีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลายสีที่ผ่านการรีดิวซ์ไปย้อมเส้นด้ายสับปะรดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์ทดสอบสมบัติของเส้นด้ายหลังย้อม ได้แก่ ค่าความเข้มสี (color strength, K/S) ค่าสี (L* a* b* c* และh*) ร้อยละการผนึกสี (% dye fixation) และความคงทนของสีต่อการซักล้าง (color fastness to washing) ในส่วนสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความแข็งแรงของเส้นด้ายด้านแรงดึงขาด และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยที่ผลการทดลอง ผลการทดสอบ และผลการสรุปในงานวิจัยนี้จะหมายรวมเฉพาะผลที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวอย่างเส้นด้ายสับปะรด สี Sulfur Black BR และสารต่างๆ ในงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. จากการศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรดด้วยมัลติเอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่า หลังการกำจัดสิ่งสกปรกเส้นด้ายสับปะรด 1 กรัม มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เฉลี่ย 153.43 ± 9.12 มิลลิกรัม โดยคิดเป็นกลูโคส 94.27 ± 13.48 มิลลิกรัม และไซโลส 43.86 ± 4.28 มิลลิกรัมในสารละลาย 50 มิลลิลิตร

2. สูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยโซเดียมซัลไฟด์เพื่อย้อมเส้นด้ายสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่า สูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี คือ ใช้โซเดียมซัลไฟด์ที่ปริมาณ 2 เท่าของสีโดยใช้ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร ที่เวลาในการรีดิวซ์สี 10 นาที ซึ่งให้ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังย้อม 13.22 ± 0.41 โดยสารละลายสีมีค่า ORP ในระหว่างการรีดิวซ์สีอยู่ที่ -527 mV และค่าพีเอชประมาณ 11.51

3. สูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยกลูโคสเพื่อย้อมเส้นด้ายสับปะรด คือ ใช้กลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร โดยรีดิวซ์สีเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งให้ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อมที่ 20.42 ± 0.51 โดยสารละลายสีมีค่า ORP ในระหว่างการรีดิวซ์สี –632 mV และค่าพีเอชประมาณ 11.40

4. สูตรที่เหมาะสมการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเพื่อย้อมเส้นด้ายสับปะรด คือ ใช้สารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร โดยรีดิวซ์สีเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งให้ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายหลังการย้อมที่ 14.35 ± 0.19 โดยสารละลายสีมีค่า ORP ในระหว่างการรีดิวซ์สี –523 mV และค่าพีเอชประมาณ 11.43

5. การศึกษาสมบัติของเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์โซเดียมซัลไฟด์ กลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกในการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า

- เส้นด้ายหลังย้อมสี Sulfur Black BR โดยการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสจะได้เส้นด้ายที่มีความเข้มสี 20.42 ± 0.51 ซึ่งมีค่าสูงที่สุดตามด้วยเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ซึ่งมีค่าความเข้มสี 14.35 ± 0.19 และ 13.22 ± 0.41 ตามลำดับ และต่างมีสีดำอมน้ำเงิน (b* ติดลบ) มีความบริสุทธิ์ของสี (c*) และเฉดสี (h*) ที่ใกล้เคียงกัน แต่แสดงให้เห็นเพียงแค่ความแตกต่างของค่าความมืดและความสว่างของสี (L*) ของเส้นด้ายหลังย้อมด้วยสารละลายสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสเทียบกับสารรีดิวซ์อื่นๆ ณ ภาวะที่เหมาะสม

- ร้อยละการผนึกสีของเส้นด้ายหลังย้อมที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสให้ค่าร้อยละการผนึกสี 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและโซเดียมซัลไฟด์ที่มีร้อยละการผนึกสี 78 เปอร์เซ็นต์ และ 76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

- ความคงทนของสีบนเส้นด้ายหลังการซักล้าง พบว่า การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นด้ายย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีในระดับ 4-5 (สีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย) ซึ่งมีระดับการเปลี่ยนแปลงสีหลังการซักล้างน้อยกว่าเส้นด้ายที่ย้อมด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่ระดับเปลี่ยนแปลงสี 3-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(สีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยถึงปานกลาง) และสีบนเส้นด้ายที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยสารทั้งสามชนิดต่างมีความคงทนของสีต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสีบนเส้นใยอื่นๆ มากกว่าเส้นใยขนแกะ

- การทดสอบความแข็งแรงด้านความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดของเส้นด้ายหลังการย้อมสีด้วยสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส และน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่า 40 นิวตัน และ 39 นิวตัน ซึ่งมีค่าแรงดึง ณ จุดขาดใกล้เคียงกัน ยกเว้นเส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์มีค่าแรงดึง ณ จุดขาดที่ 32 นิวตัน ซึ่งเป็นเส้นด้ายย้อมที่มีค่าแรงดึง ณ จุดขาดต่ำที่สุด ส่วนร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่า เส้นด้ายดิบ เส้นด้ายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และเส้นด้ายย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่างมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่เท่ากันที่ 5 เปอร์เซ็นต์

6. ถึงแม้การใช้กลูโคสเป็นสารรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ให้ผลการย้อมสีเส้นด้ายสับปะรดที่ดีที่สุด แต่การใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นสารรีดิวซ์ก็ให้ผลการย้อมสีที่ใช้ได้และใกล้เคียงผลการใช้โซเดียมซัลไฟด์ในการรีดิวซ์สี อีกทั้งยังเป็นการใช้น้ำเสียจากการกำจัดสิ่งสกปรกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นวัตถุดิบในการรีดิวซ์สีซัลเฟอร์ โดยไม่ต้องทิ้งน้ำเสีย หรือบำบัดน้ำเสีย และสามารถทำการกำจัดสิ่งสกปรก รีดิวซ์สี และย้อมสีบนเส้นด้ายสับปะรดในอ่างเดียวกันโดยไม่ต้องทิ้งน้ำเสียเลยทำให้เกิดการลดต้นทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก อาจเพิ่มขั้นตอนการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการรีดิวซ์สี Sulfur Black BR ให้ได้ความเข้มสีสูงเทียบเท่ากับการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส ด้วยการเพิ่มปริมาณเส้นด้ายใยสับปะรดในขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยมัลติเอนไซม์ หรือ การเติมปริมาณน้ำตาลกลูโคสร่วมกับสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาล ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่า ORP ให้ติดลบมากขึ้นที่ส่งผลต่อการละลายของสีมากขึ้นก่อนนำมาย้อมเส้นด้าย และอาจส่งผลทำให้ความเข้มสีของเส้นด้ายสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

[1] Aspland, J.R. Sulfur Dyes and Their Application. A Series on Dyeing, 1992. 24(3): p. 21-24

[2] Zouhaier, R., Sofiène, D., and Faouzi, S. The use of glucose as ecological reducing agent for sulphur dyes: Optimization of experimental conditions. European Scientific Journal, 2014. 10(18): p. 436-445.

[3] Madhu, A. Sulfur dyeing with non-sulfide reducing agents. Journal of Textile Apparel, Technology Management, 2012. 7(4): p. 1-13.

[4] Baffoun, A., Hamdaoui, M., and Romdhani, Z. Use of glucose as an ecofriendly reducing sugar in the application of sulphur dyes-Comparative study with traditional reducing agent. Indian Journal of Fibre Textile Research, 2015. 40(1): p. 57-61.

[5] Amornsakchai, T., and Kengkhetkit, N. Pineapple leaf: Source of natural fiber that should not be ignored. Srinakharinwirot Science Journal, 2014. 30(2): p. 3-9.

[6] Banik, S., Nag, D., and Debnath, S. Utilization of pineapple leaf agro-waste for extraction of fibre and the residual biomass for vermicomposting. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 2011. 36(2): p. 172-177.

[7] Asim, M., et al., A review on pineapple leaves fibre and its composites. International Journal of Polymer Science, 2015. 2015(1): p. 4-7.

[8] Yahya, B., Asia, S., and Yusof, Y. Comprehensive review on the utilization of PALF. Advanced Materials Research, 2013. 701: p. 430-434.

[9] Menezes, E. and Choudhari, M. Pre-treatment of textiles prior to dyeing, Textile Dyeing. 2011. p. 221-240.

[10] พิชญาภา นิรมล, การผลิตและการใช้มัลติเอนไซม์เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นใยสับปะรด, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ 2547, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. p. 106.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[11] Saebe, P., Sangwatanaroj, U., and Punnapayak, H. Analysis of the products from enzymatic scouring of cotton. Biotechnology Journal, 2007. 2(3): p. 316-325.

[12] Zucca, P., et al., Fungal laccases as tools for biodegradation of industrial dyes. Biocatalysis, 2015. 1(1): p. 82-108.

[13] Božič, M., and Kokol, V. Ecological alternatives to the reduction and oxidation processes in dyeing with vat and sulphur dyes. Dyes Pigments, 2008. 76(2): p. 299-309.

[14] Hassan, A., Othman, Z., and Siriphanich, J. Pineapple (Ananas comosus L. Merr.), Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Mangosteen to White Sapote. 2011. p. 194-218.

[15] Kengkhetkit, N. and Amornsakchai, T. Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple leaf fiber. Industrial Crops Products, 2012. 40(1): p. 55-61.

[16] Lush, E. Making of: Piña (Pineapple) Cloth, Philippines. [cited 2018; Available from: https://www.thetextileatlas.com/craft-stories/pina-cloth-philippines.

[17] Pérez, J., et al., Biodegradation and biological treatments of cellulose hemicellulose and lignin: an overview. International microbiology, 2002. 5(2): p. 53-63.

[18] Jedvert, K, and Heinze, T. Cellulose modification and shaping–a review. Journal of Polymer Engineering, 2017. 37(9): p. 845-860.

[19] Lee, H., Hamid, S., and Zain, S. Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: structure and chemical process. The Scientific World Journal, 2014. 2014(1): p. 1-20.

[20] Hatfield, R. and Vermerris, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. Plant physiology, 2001. 126(4): p. 1351-1357.

[21] Patil, N., Tanguy, N., and Yan, N. Lignin interunit linkages and model compounds, in Lignin in Polymer Composites. 2016. p. 27-47.

[22] Lignin. Available from: https://www.eeducation.psu.edu/egee439/node/665

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[23] Thakur, B., Singh, R., and Handa, A. Chemistry and uses of pectin—a review. Food Science and Nutrition, 1997. 37(1): p. 47-73.

[24] Sundar Raj, A., et al., A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses. Scientific reports, 2012. 1: p. 550-1.

[25] Michael W. Plant Cell Wall. 2015; Available from: https://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html.

[26] Bhala, R., Dhandhania, V., and Periyasamy, A. Bio-finishing of fabrics. Asian Dyer, 2012. 9(4): p. 45-49.

[27] Robinson, P. Enzymes: principles and biotechnological applications. Essays in biochemistry, 2015. 59: p. 1-41.

[28] Woodward, J., Lima, M., and Lee, N. The role of cellulase concentration in determining the degree of synergism in the hydrolysis of microcrystalline cellulose. Biochemical Journal, 1988. 255(3): p. 895-899.

[29] Duran, N. and Duran, M. Enzyme applications in the textile industry. 2000. 30(1): p. 41-44.

[30] Shmoop Editorial Team. Biology Enzymes in Detail - Shmoop Biology 2011; Available from: https://www.shmoop.com/energy-flow-enzymes/enzymes.html.

[31] การจำแนกชนิดของเอนไซม์. Available from: http://www.coursewares.mju.ac.th:81/elearning50/FT320/053.htm.

[32] Jayani, R., Saxena, S., and Gupta, R. Microbial pectinolytic enzymes: a review. Process Biochemistry, 2005. 40(9): p. 2931-2944.

[33] Dominic, k. Enzymes Overview. 2014; Available from: https://socratic.org/biology/enzymes/enzymes-overview.

[34] Induced fit model of Enzyme-Substrate interaction. 2008; Available from: https://biochemistryquestions.wordpress.com/2008/07/15/induced-fit-model-of-enzyme-substrate-interaction/.

[35] Sette, L., Oliveira, V., and Rodrigues, M. Microbial lignocellulolytic enzymes: industrial applications and future perspectives. Microbiology Australia, 2008.

29(1): p. 18-20.

[36] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. เอนไซม์ดัดแปรคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. 2551, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[37] Kuhad, R. and Singh, A. Cellulases and their biotechnological applications, Biotechnology for Environmental Management and Resource Recovery. 2013. p. 89-106.

[38] Saranraj, P. Microbial pectinases: a review. Global Journal of Traditional Medicinal Systems, 2013. 3(1): p. 1-9.

[39] Konczewicz, W., and Kozłowski, R. Enzymatic treatment of natural fibres, Handbook of Natural Fibres: Processing and Applications. 2012. p. 168-184.

[40] Sakai, T., et al., Pectin, Pectinase, and Protopectinase: Production, Properties, and Applications, in Advances in applied microbiology. 1993, Elsevier. p. 213-294.

[41] Kobayashi, H., et al., Hydrolysis of woody biomass by a biomass-derived reusable heterogeneous catalyst. Chemical science, 2016. 7(1): p. 692-696.

[42] Saha, B. Hemicellulose bioconversion. Journal of Industrial Microbiology, 2003. 30(5): p. 279-291.

[43] R, A., et al., Evidence That GH115 -Glucuronidase Activity, Which is Required to Degrade Plant Biomass, Dependent on Conformational Flexibility. The Journal of Biological Chemistry, 2014. 289(1): p. 53-64.

[44] Chapter 19 Redox Reaction. 2018; Available from: https://www.mcvts.net.

[45] Oxidation-Reduction Reactions. Available from: https://chem.libretexts.org.

[46] Oxidizing And Reducing Agents. Available from: https://www.chegg.com/homework-help/definitions/oxidizing-and-reducing-agents-6.

[47] Zoecklein, B., et al., Carbohydrates: Reducing Sugars, in Production Wine Analysis. 1990. p. 114-128.

[48] Reducing vs. Non-Reducing Sugars: Definition & Comparison. 2018; Available

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

from: https://study.com/academy/lesson/reducing-vs-non-reducing-sugars-definition-comparison.html.

[49] Module 4 – CARBOHYDRATES. 2018; Available from: http://www.elcamino.edu.

[50] Shukla, S. and Pai, R. Sulphur dyeing using non-sulphide reducing agents. Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR), 2004. 29(4): p. 454-461.

[51] Chakraborty, J. and Jaruhar, P. Dyeing of cotton with sulphur dyes using alkaline catalase as reduction catalyst. Indian Journal of Fibre Textile Research, 2014. 39(3): p. 303-309.

[52] Božič, M., Kokol, V., and Gübitz, G. Indigo dyeing of polyamide using enzymes for dye reduction. 2009. 79(10): p. 895-907.

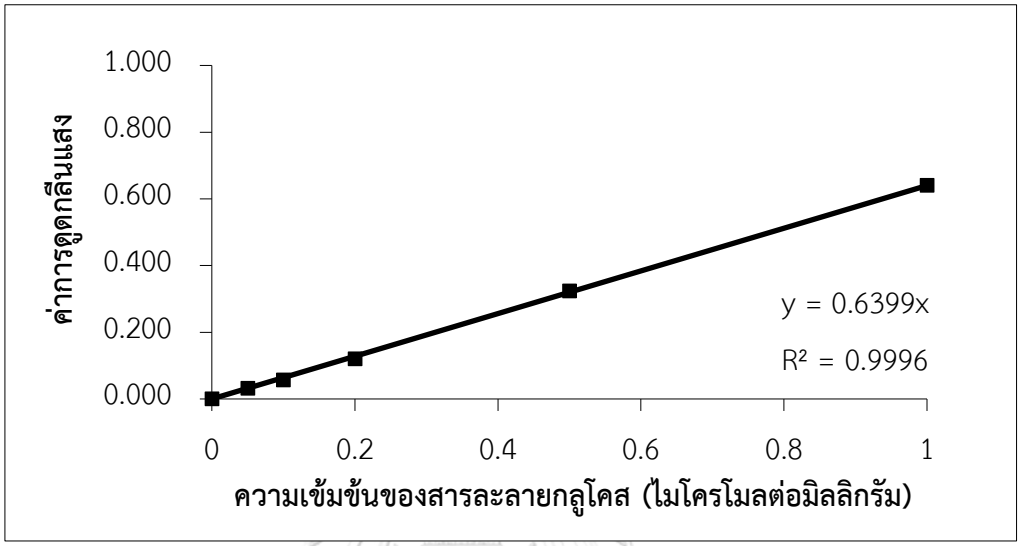
[53] Miller, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. 1959. 31(3): p. 426-428.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

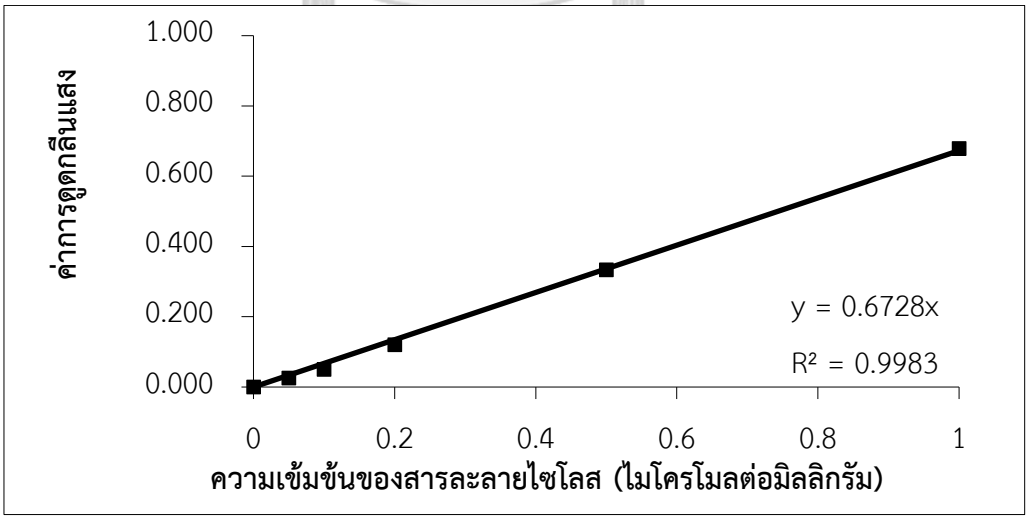
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

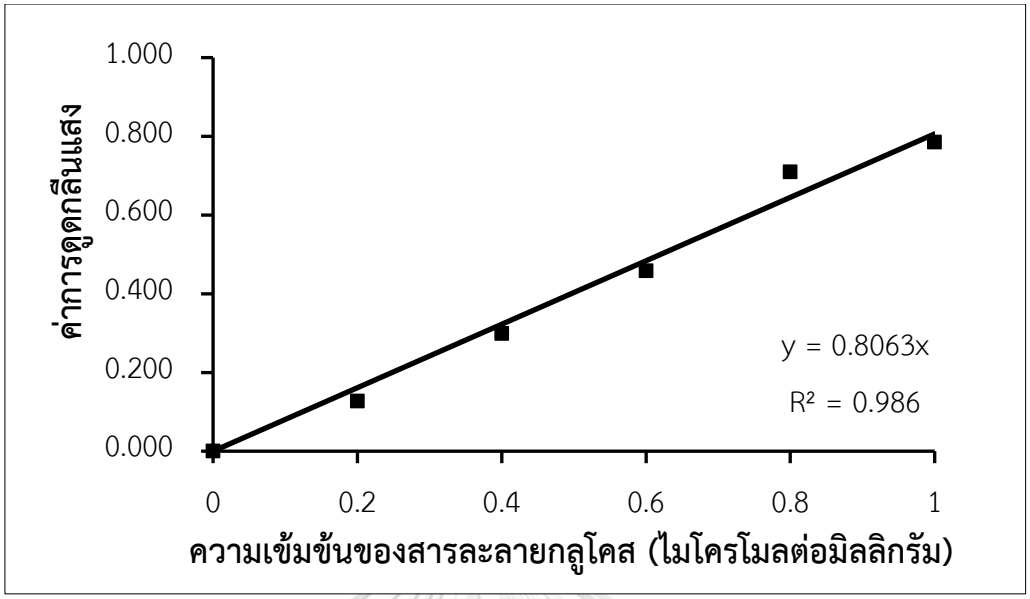
ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมาตรฐานและค่าการดูดกลืนคลื่นแสง



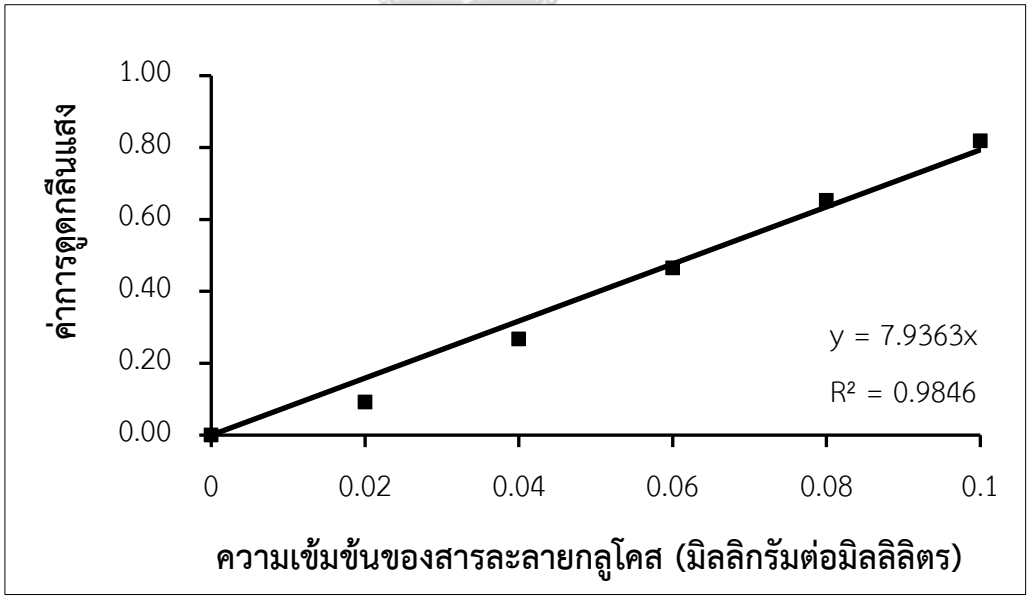
รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์เพกติเนส



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไซโลสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์ไซแลนเนส



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับเอนไซม์เซลลูเลส



รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สำหรับน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ภาคผนวก ข

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ตัวอย่างที่	**ปริมาณน้ำตาลน้ำรีดิวซ์ (mg/50ml/g ด้าย)**
1	160.25
2	155.65
3	137.9
4	160.04
5	147.08
6	159.66
ค่าเฉลี่ย	153.43
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	9.12
C.V. (%)	5.94

ตารางที่ ข.2 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ตัวอย่างที่	**ปริมาณน้ำตาลน้ำรีดิวซ์ (mg/50ml/g ด้าย)**
1	103.30
2	100.85
3	106.28
4	76.94
5	101.97
6	101.97
ค่าเฉลี่ย	153.43
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	13.48
C.V. (%)	8.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.3 ปริมาณน้ำตาลไซโลสในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ตัวอย่างที่	**ปริมาณน้ำตาลน้ำรีดิวซ์ (mg/50ml/g ด้าย)**
1	47.68
2	46.72
3	50.39
4	38.89
5	41.77
6	42.62
ค่าเฉลี่ย	44.67
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	4.28
C.V. (%)	9.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค
ความเข้มสีเส้นด้ายหลังย้อม

ตารางที่ ค.1 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	13.39
2	13.51
3	12.75
ค่าเฉลี่ย	13.22
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.41
C.V. (%)	3.10

ตารางที่ ค.2 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	11.91
2	11.68
3	11.97
ค่าเฉลี่ย	11.85
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.15
C.V. (%)	1.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	9.62
2	9.51
3	9.82
ค่าเฉลี่ย	9.65
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.16
C.V. (%)	1.70

ตารางที่ ค.4 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	19.93
2	20.38
3	20.94
ค่าเฉลี่ย	20.42
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.51
C.V. (%)	2.50

ตารางที่ ค.5 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	17.88
2	18.17
3	18.54
ค่าเฉลี่ย	18.20
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.33
C.V. (%)	1.81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.6 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	20.75
2	20.85
3	20.85
ค่าเฉลี่ย	20.82
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.06
C.V. (%)	0.29

ตารางที่ ค.7 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	18.78
2	17.95
3	18.17
ค่าเฉลี่ย	18.30
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.43
C.V. (%)	2.35

ตารางที่ ค.8 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ค่าความเข้มสี (K/S)
1	18.85
2	19.50
3	20.75
ค่าเฉลี่ย	19.70
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.97
C.V. (%)	4.92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.9 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	20.11
2	21.84
3	21.53
ค่าเฉลี่ย	21.16
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.92
C.V. (%)	4.35

ตารางที่ ค.10 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	12.95
2	12.85
3	13.26
ค่าเฉลี่ย	13.02
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.21
C.V. (%)	1.61

ตารางที่ ค.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	14.35
2	14.54
3	14.17
ค่าเฉลี่ย	14.35
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.19
C.V. (%)	1.32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.12 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที

ตัวอย่างที่	ค่าความเข้มสี (K/S)
1	13.55
2	13.34
3	13.14
ค่าเฉลี่ย	13.34
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.21
C.V. (%)	1.60

ตารางที่ ค.13 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)
1	12.14
2	12.75
3	13.22
ค่าเฉลี่ย	12.69
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.54
C.V. (%)	4.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง
ค่าสีเส้นด้ายหลังการย้อม

ตารางที่ ง.1 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	22.14	-0.26	-2.69	2.7	264.45
2	22.16	-0.32	-2.92	2.93	263.31
3	22.58	-0.28	-2.74	2.75	264.24
ค่าเฉลี่ย	22.29	-0.29	-2.78	2.79	264.00

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ +b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.2 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	24.32	-0.36	-3.05	3.07	263.26
2	23.84	-0.26	-2.68	2.69	264.37
3	24.18	--0.43	-2.65	2.69	260.91
ค่าเฉลี่ย	24.11	-0.06	-2.79	2.82	262.85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ +b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.3 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	26.43	-0.29	-2.68	2.7	263.77
2	26.66	-0.33	-2.77	2.79	263.74
3	26.18	-0.27	-2.76	2.77	264.45
ค่าเฉลี่ย	26.42	-0.30	-2.74	2.75	263.99

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.4 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	18.48	-0.18	-2.67	2.68	266.24
2	17.51	-0.08	-2.64	2.64	266.24
3	17.17	-0.09	-2.67	2.67	268.98
ค่าเฉลี่ย	17.72	-0.12	-2.66	2.66	267.15

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.5 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	19.67	-0.15	-2.6	2.61	266.66
2	19.4	-0.33	-2.94	2.96	263.5
3	19.11	-0.27	-2.79	2.81	264.49
ค่าเฉลี่ย	19.39	-0.25	-2.78	2.79	264.88

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.6 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 2.5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	17.6	-0.33	-2.41	2.44	262.31
2	17.56	-0.29	-2.45	2.46	263.23
3	17.93	-0.32	-2.59	2.61	262.9
ค่าเฉลี่ย	17.70	-0.31	-2.48	2.50	262.81

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.7 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	19.21	-0.26	-2.64	2.65	264.39
2	18.83	-0.39	-2.68	2.7	261.82
3	19.15	-0.3	-2.62	2.64	263.36
ค่าเฉลี่ย	19.06	-0.32	-2.65	2.66	263.19

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.8 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	18.71	-0.24	-2.77	2.78	264.96
2	18.3	-0.26	-2.57	2.58	264.27
3	17.49	-0.09	-2.54	2.54	268.07
ค่าเฉลี่ย	18.17	-0.20	-2.63	2.63	265.77

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.9 ค่าสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	17.68	0.05	-2.28	2.29	271.22
2	16.9	-0.03	-2.07	2.07	269.06
3	17.13	-0.09	-2.32	2.32	267.77
ค่าเฉลี่ย	17.24	-0.02	-2.22	2.23	269.35

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.10 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	23.49	-1.08	-2.95	3.14	250.21
2	23.54	-0.97	-2.7	2.87	250.26
3	23.39	-0.94	-2.6	2.77	250.18
ค่าเฉลี่ย	23.47	-1.00	-2.75	2.93	250.22

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 20 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	22.25	-1.19	-2.66	2.91	245.83
2	22.11	-1.14	-2.61	2.85	246.46
3	22.42	-1.15	-2.62	2.86	246.35
ค่าเฉลี่ย	22.26	-1.16	-2.63	2.87	246.21

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง.12 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 30 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	22.9	-0.97	-2.99	3.14	251.94
2	23.17	-1.07	-2.89	3.08	249.68
3	23.27	-0.82	-2.7	2.82	253.07
ค่าเฉลี่ย	23.11	-0.95	-2.86	3.01	251.56

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

ตารางที่ ง.13 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร รีดิวซ์เป็นเวลา 10 นาที

ตัวอย่างที่	L*	a*	b*	c*	h*
1	24.26	-1.42	-2.85	3.18	243.5
2	23.81	-1.1	-2.8	3.01	248.69
3	23.19	-1.1	-2.38	2.62	245.29
ค่าเฉลี่ย	23.75	-1.21	-2.68	2.94	245.83

หมายเหตุ : L*: ค่าความสว่างของสี, -a*: สีเขียว, +a*: สีแดง, -b*: สีน้ำเงิน และ+b*: สีเหลือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ
ร้อยละการผนึกสีเส้นด้ายสับปะรด

ตารางที่ จ.1 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ ก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)	
	ก่อนล้างน้ำสบู่	หลังล้างน้ำสบู่
1	22.6	16.2
2	23.16	18.1
3	22.71	17.4
ค่าเฉลี่ย	22.82	17.23

ตารางที่ จ.2 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)	
	ก่อนล้างน้ำสบู่	หลังล้างน้ำสบู่
1	26.94	23.16
2	26.79	22.27
3	26.63	23.4
ค่าเฉลี่ย	26.79	22.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ จ.3 ความเข้มสีของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	ความเข้มสี (K/S)	
	ก่อนล้างน้ำสบู่	หลังล้างน้ำสบู่
1	26.18	20.83
2	27.26	20.38
3	26.33	20.94
ค่าเฉลี่ย	26.59	20.72

ตารางที่ จ.4 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	การผนึกสี (%)
1	72
2	78
3	77
ค่าเฉลี่ย	75

ตารางที่ จ.5 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	การผนึกสี (%)
1	86
2	83
3	86
ค่าเฉลี่ย	86

ตารางที่ จ.6 ร้อยละการผนึกสีบนเส้นด้ายหลังย้อมสีที่สี Sulfur Black BR ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกก่อน และหลังการล้างด้วยน้ำสบู่

ตัวอย่างที่	การผนึกสี (%)
1	80
2	75
3	80
ค่าเฉลี่ย	78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฉ
ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี และการเปลี่ยนติดสี

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงสี
1	3-4
2	4-5
3	4-5

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงสี
1	4
2	4-5
3	4-5

ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกต่อการซักล้างในด้านการเปลี่ยนแปลงสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปลี่ยนแปลงสี
1	3-4
2	4-5
3	4-5

ตารางที่ ฉ.4 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปื้อนติดสี					
	Wool	Acrylic	Polyester	Polyamide	Cotton	Acetate
1	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
3	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

ตารางที่ ฉ.5 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคสต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปื้อนติดสี					
	Wool	Acrylic	Polyester	Polyamide	Cotton	Acetate
1	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
3	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

ตารางที่ ฉ.6 ผลการทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายย้อมสีที่สีผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกต่อการซักล้างในด้านการเปื้อนติดสี

ตัวอย่างที่	ระดับเกรย์สเกลแสดงการเปื้อนติดสี					
	Wool	Acrylic	Polyester	Polyamide	Cotton	Acetate
1	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2	4	4-5	4-5	5	4-5	4-5
3	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช
ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรด

ตารางที่ ช.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายดิบ

ตัวอย่าง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	56.41	10.50	4.20
2	66.76	11.50	4.60
3	60.95	10.00	4.00
4	63.26	12.00	4.80
5	63.70	11.00	4.40
6	64.64	11.00	4.40
7	65.01	12.00	4.80
8	63.58	11.00	4.40
9	60.96	12.50	5.00
10	63.55	11.00	4.40
ค่าเฉลี่ย	62.88	11.25	4.50
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	2.86	0.76	0.30
C.V (%)	4.55	6.80	6.70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ช.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายหลังกำจัดสิ่งสกปรก

ตัวอย่าง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	40.73	13.00	5.20
2	39.51	11.50	4.60
3	36.55	12.00	4.80
4	44.50	10.50	4.20
5	39.88	13.00	5.20
6	36.29	12.00	4.80
7	38.67	12.50	5.00
8	45.15	11.00	4.40
9	41.44	11.50	4.60
10	41.37	11.00	4.40
ค่าเฉลี่ย	40.41	11.80	4.72
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	2.93	0.86	0.34
C.V (%)	7.30	7.30	7.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยโซเดียมซัลไฟด์ในสูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี

ตัวอย่าง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	29.77	11.50	4.60
2	29.96	11.00	4.40
3	30.73	12.00	4.80
4	31.99	11.00	4.40
5	33.59	12.00	4.80
6	32.9	11.50	4.60
7	33.39	11.00	4.40
8	32.46	12.00	4.80
9	33.65	12.50	5.00
10	35.76	10.50	4.20
ค่าเฉลี่ย	32.40	11.50	4.60
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.87	0.62	0.25
C.V. (%)	5.80	5.40	5.44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยกลูโคสในสูตรที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์สี

ตัวอย่าง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	41.07	12.00	4.80
2	48.35	11.00	4.40
3	44.62	12.50	5.00
4	37.65	11.30	4.52
5	34.16	11.00	4.40
6	35.76	10.50	4.20
7	41.71	11.50	4.60
8	39.65	12.00	4.80
9	39.51	11.50	4.60
10	33.57	12.00	4.80
ค่าเฉลี่ย	39.60	12.00	4.60
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	4.63	0.60	0.24
C.V. (%)	11.70	5	5.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงของเส้นด้ายสับปะรดหลังการย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์สีด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ในสารละลายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ตัวอย่าง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	39.50	11.50	4.60
2	36.00	11.00	4.40
3	32.34	10.00	4.00
4	45.22	11.50	4.60
5	44.64	12.00	4.80
6	35.44	11.50	4.60
7	38.42	11.30	4.50
8	40.56	12.00	4.90
9	41.37	11.00	4.40
10	38.71	12.00	4.80
ค่าเฉลี่ย	39.22	11.40	4.60
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	4.67	0.63	0.25
C.V. (%)	11.91	5.53	5.44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ซ
การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ตารางที่ ซ.1 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแรงดึง ณ จุดขาดของเส้นด้ายที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้วิธี Paired-Samples T-Test

เส้นด้าย	**P-value**
ใยสับปะรดดิบ กับ หลังกำจัดสิ่งสกปรก	0.000
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	0.000
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.000
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.000
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	0.000
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.680
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.158
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.005
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.004
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.652

หมายเหตุ $P \leq 0.05$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$P > 0.05$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ซ.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของเส้นด้ายที่ค่าความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้วิธี Paired-Samples T-Test

เส้นด้าย	**P-value**
ใยสับปะรดดิบ กับ หลังกำจัดสิ่งสกปรก	0.221
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	0.697
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.462
ใยสับปะรดดิบ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.643
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์	0.182
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.453
หลังกำจัดสิ่งสกปรก กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.275
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส	0.664
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.978
ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยกลูโคส กับ ย้อมสีที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยน้ำตาลรีดิวซ์	0.663

หมายเหตุ $P \leq 0.05$ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

$P > 0.05$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายณรงค์กร ตรีสาร
วัน เดือน ปี เกิด	18 เมษายน 2537
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
วุฒิการศึกษา	วศ.บ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	29/1 หมู่ที่ 9 ตำบล อุทัย อำเภอ อุทัย จังหวัด พระนครศรีอยุธยา 13210

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University