

การตรึงสี่ข้อมไดเรกต์บนผ้าฝ้ายโดยอาศัยเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์



นางสาวกนกวรรณ ภูதியานันต์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5675-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMMOBILIZATION OF DIRECT DYES ON COTTON FABRIC USING METHACRYLIC-MALEIC  
ANHYDRIDE COPOLYMER



Miss Kanokwan Putiyanun

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University


Academic Year 2005

ISBN 974-17-5675-5

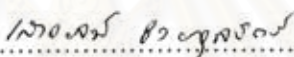
หัวข้อวิทยานิพนธ์                    การตรึงสี้อมไคเร็กซ์บนผ้าฝ้ายโดยอาศัยเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์  
โคพอลิเมอร์  
โดย    นางสาวกนกวรรณ ภูதியานันต์  
สาขาวิชา                                วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ  
อาจารย์ที่ปรึกษา                        รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ

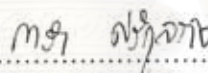
---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
( รองศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต )


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ชัยจุลจิตร )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ ลันตีสูข )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ )

นางสาวกนกวรรณ ภูதியานันต์ : การตรึงสีย้อมไดเรกต์บนผ้าฝ้ายโดยอาศัยเมทาคริลิก-มาเลอิก แอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์. (IMMOBILIZATION OF DIRECT DYES ON COTTON FABRIC USING METHACRYLIC-MALEIC ANHYDRIDE COPOLYMER อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. กาวี ศรีกุลกิจ, 74 หน้า. ISBN 974-17-5675-5.

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางใหม่ในการตรึงสีย้อมไดเรกต์บนผ้าฝ้ายโดยใช้สารในกลุ่มกรดพอลิ-คาร์บอกซิลิก เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้โดยง่ายจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย การสังเคราะห์จะละลายเมทาคริลิกแอซิดและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยอัตราส่วน 1:1 โดยโมลในอะซิโตน ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ภาวะอุณหภูมิประมาณ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 20 นาที โคพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนในอะซิโตน จากนั้นนำโคพอลิเมอร์บริสุทธิ์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  และ GPC หลังจากนั้นเตรียมสารละลายโคพอลิเมอร์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเร่ง คือ ไดไซแอนโตเอไมด์ นำไปพ่นสีไดเรกต์บนผ้าฝ้ายโดยอาศัยเครื่องจุ่มอัดรีดที่ตั้งเปอร์เซ็นต์ของ wet pick up ไว้ที่ร้อยละ 80 จากนั้นพ่นสีโดยเครื่อง mini stenter ที่ อุณหภูมิ 150-170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที นำผ้าที่ผ่านการพ่นสีแล้วไปทดสอบการซักล้าง สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อการย้อม

ผลการทดลองพบว่าโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้เปอร์เซ็นต์ยิลด์ที่สูงโดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก คือ  $1.39 \times 10^6$  สมบัติความคงทนต่อการซักล้างของผ้าย้อมสีที่ผ่านการพ่นสีขึ้นอย่างชัดเจน ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่คาร์บอกซิลิกของโคพอลิเมอร์สามารถยืนยันจากพีกของอินฟราเรด ที่ความถี่  $1723 \text{ cm}^{-1}$  กลไกการพ่นสีเชื่อว่าโคพอลิเมอร์เกิดโครงสร้างร่างแหภายในเส้นใยเซลลูโลสซึ่งทำให้โมเลกุลสีไดเรกต์ถูกกักขังไว้ภายใน ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางพบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณโคพอลิเมอร์ อุณหภูมิ และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา 10-20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิในการพ่นสี 170 องศาเซลเซียส สมบัติความแข็งแรงและสมบัติการยืดตัวของผ้าดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่พบการเปลี่ยนแปลงความคงทนต่อการย้อม

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต..... กนกวรรณ ภูதியานันต์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... กาวี ศรีกุลกิจ



# # 4572636623 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: DIRECT DYES / POLYCARBOXYLIC ACIDS / AFTERTREATMENT / COTTON / COLOR FASTNESS

KANOKWAN PUTIYANUN : IMMOBILIZATION OF DIRECT DYES ON COTTON FABRIC USING METHACRYLIC-MALEIC ANHYDRIDE COPOLYMER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., 74 pp. ISBN 974-17-5675-5.

The new method of fixation of direct dyes on cotton fabric using polycarboxylic acids was revealed. Methacrylic-maleic anhydride copolymer was readily synthesized by solution polymerization. Methacrylic acid and maleic anhydride was dissolved in acetone at the mole ratio of 1:1. 2 wt% potassium persulphate as initiator was added. Temperature was controlled about 60-65 °C. After 20 minutes the copolymer was precipitated out from acetone. The purified product was characterized using <sup>1</sup>H-NMR and GPC techniques. After that copolymer solution containing dicyandiamide as a catalyst was applied onto direct dyed cotton fabric using a pad mangle to obtain the percent wet pick up 80%. Dye fixation was carried out in a mini stenter at the temperature of 150-170 °C for 3 minutes. Dye fixation performance of the polycarboxylic acids as well as the mechanical properties and crease resistance were evaluated.

The results indicated that high percent yield of methacrylic-maleic anhydride copolymer with Mw of  $1.39 \times 10^6$  was obtained. The wash fastness of direct dyes on cotton after the treatment with copolymer was notably improved. The crosslinking reaction between cellulose hydroxyl group and the copolymer carboxylic group was confirmed with the presence of infrared signal at  $1723 \text{ cm}^{-1}$ . The fixation mechanism was believed to involve the formation of crosslinked network inside which the direct dye molecules were trapped. The crosslinking reaction depended on copolymer content, temperature and the catalyst content. The copolymer concentrations of 20- 60 g/l, catalyst of 10 -20 g/l and temperature of 170 °C was found to be the suitable condition for dye fixation. Tensile strength and elongation of finished fabrics were improved. However dry wrinkle recovery angle (degree) was not significantly different when compared with untreated fabric.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2005

Student's signature.....*Kanokwan Putiyanun*.....

Advisor's signature.....*Kawee Srikulkot*.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้แนวทาง ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและกำลังใจในการทำวิจัยตลอดจนคำปรึกษาในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์เสาวรจณี ช่วยจุลจิตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ไพพรรณ สันติสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีและเครื่องมือในการทำวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. บริษัท โมเดิร์น ไคสตัฟส์ แอนด์ฟักเมนต์จำกัด อนุเคราะห์สีไดเรกต์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดาอนุเคราะห์ผ้าฝ้าย
3. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุเคราะห์เครื่องมือ
4. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติอนุเคราะห์ เครื่องมือในการวิจัย และคุณเต็มสิริ หวังทวีทรัพย์ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย
5. กรมวิทยาศาสตร์บริการ อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัยและคุณสมบัติ ตั้งชัยวัฒนา ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือตลอดจนเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ขอขอบคุณญาติพี่น้อง ครอบครัว ขอขอบคุณเพื่อน เพื่อนรุ่นพี่และเพื่อนรุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่สนับสนุน แนะนำการใช้เครื่องมือ ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ด้วยความปรารถนาดีต่อผู้วิจัยตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 เส้นใยเซลลูโลส.....	3
2.1.1 เส้นใยฝ้าย.....	4
2.1.1.1 พอลิเมอร์ของเส้นใยฝ้าย.....	5
2.1.1.2 สมบัติทางกายภาพ.....	6
2.1.1.3 สมบัติทางเคมี.....	7
2.2 สีไดเรกต์.....	8
2.2.1 สมบัติ และทฤษฎีการย้อมสีไดเรกต์.....	8
2.3 กระบวนการหลังการย้อมด้วยสีไดเรกต์.....	13
2.3.1 การฟีนิกสีด้วยสารประจุบวก.....	13
2.3.2 การทำให้เกิดปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชันและปฏิกิริยาควบ (diazotization and coupling).....	13
2.3.3 การฟีนิกสีด้วยมอร์แดนท์.....	14
2.3.4 การทำปฏิกิริยาดัวยเรซินและสารเชื่อมขวาง.....	15
2.4 สารเชื่อมขวาง (Fixing agent).....	16
2.4.1 DMDHEU.....	16
2.4.2 DHDMI.....	17
2.4.3 Polycarboxylic Acid.....	17
2.4.3.1 BTCA.....	18

## หน้า

2.4.3.2 Citric Acid.....	19
2.4.3.3 Polymaleic Acid.....	20
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 วัสดุ.....	21
3.1.1 ผ้าฝ้าย.....	21
3.1.2 สารเคมี.....	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	23
3.3 การสังเคราะห์เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ Methacrylic-maleic anhydride copolymer.....	23
3.4 การย้อมผ้าฝ้าย.....	24
3.5 การฟีนิกสีหลังการย้อมผ้าฝ้าย.....	25
3.6 การทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง.....	27
3.7 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการอบฟีนิกด้วยสารเชื่อมขวาง.....	28
3.8 การทดสอบความคงทนต่อการยับของผ้าที่ผ่านการอบฟีนิก.....	28
3.9 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ของสารด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปก โทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR spectrophotometer).....	29
3.10 การวัดหาความเข้มข้นของเจดสีย้อมบนผ้า.....	30
3.11 Gel permeation chromatography (GPC).....	31
3.12 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear magnetic resonance spectroscopy)....	32
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
4.1 การเตรียมและวิเคราะห์โครงสร้างของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์..	34
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ .....	35
4.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC.....	37
4.4 การวิเคราะห์กลไกการฟีนิกของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ลงบน เซลลูโลสด้วยเทคนิค FT-IR.....	38
4.5 การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง.....	43
4.5.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ฟีนิกต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้างของสีไดเร็กต์.....	43
4.5.1.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อ การซักล้าง.....	43



4.5.1.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง.....	44
4.5.1.3 ผลอุณหภูมิที่ใช้ในการผนึกโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง.....	45
4.5.2 การคำนวณหาร้อยละของการผนึกสี.....	50
4.5.2.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อร้อยละการผนึกสีสัมพัทธ์.....	51
4.5.2.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการผนึกสีสัมพัทธ์.....	53
4.5.2.3 ผลอุณหภูมิต่อร้อยละการผนึกสีสัมพัทธ์.....	53
4.6 การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการยับ.....	53
4.6.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ผนึกต่อสมบัติความคงทนต่อการยับ.....	53
4.6.1.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243.....	54
4.6.1.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243.....	54
4.6.1.3 ผลอุณหภูมิต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243.....	54
4.7 การทดสอบสมบัติความแข็งแรง.....	56
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	61
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
รายการอ้างอิง.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชื่อ และหน้าที่ของสารช่วยย้อมสีไดเรกต์.....	10
ตารางที่ 3.1 สารเคมีและบริษัทผู้ผลิตที่ใช้ในงานวิจัย.....	21
ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
ตารางที่ 4.1 คำน้่านักโมเลกุลเฉลี่ยของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ซึ่งวิเคราะห์โดยเทคนิค GPC.....	38
ตารางที่ 4.2 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความคงทนต่อการซักล้างโดยใช้ตัวเร่ง 10-30 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิที่ใช้ผืนัก 150-170 °C.....	44
ตารางที่ 4.3 ผลความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อโคพอลิเมอร์ 20, 40, 60 กรัมต่อลิตรที่ อุณหภูมิผืนัก150-170 °C.....	45
ตารางที่ 4.4 ผลอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนักต่อความคงทนต่อการซักล้างใช้โคพอลิเมอร์ 20, 40, 60 g/l ปริมาณตัวเร่ง 10-30 g/l.....	46
ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C.....	51
ตารางที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C.....	52
ตารางที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C.....	52
ตารางที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวเร่ง ปฏิกิริยา 10-30 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิอบผืนัก 150-170 องศาเซลเซียสต่อค่ามูม คีนตัวจากรอยยับ (องศา) ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243.....	55
ตารางที่ 4.9 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้าใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200.....	57
ตารางที่ 4.10 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้าใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200.....	57
ตารางที่ 4.11 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200.....	57
ตารางที่ 4.12 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 243.....	58
ตารางที่ 4.13 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ150 -170°C ของสี C.I. DR 243.....	58

ตารางที่ 4.14 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ 150 - 170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 243.....	58
ตารางที่ 4.15 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ 150 - 170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224.....	59
ตารางที่ 4.16 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ 150 - 170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224.....	59
ตารางที่ 4.17 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ 150 - 170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224.....	59



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

## หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลเซลลูโลส.....	3
รูปที่ 2.2	ลักษณะส่วนที่เป็นระเบียบ (ที่จัดเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย) ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ และส่วนที่เป็นช่องว่าง.....	4
รูปที่ 2.3	ภาพตัดตามยาว และภาพตัดตามขวาง.....	5
รูปที่ 2.4	สูตรโครงสร้างสีไดเรกต์กลุ่มเอ.....	9
รูปที่ 2.5	สูตรโครงสร้างสีไดเรกต์กลุ่มบี.....	9
รูปที่ 2.6	สูตรโครงสร้างสีไดเรกต์กลุ่มซี.....	9
รูปที่ 2.7	ภาวะการย้อมสีไดเรกต์หลังเติมเกลือ โดยประจุลบบนผิวหน้าเส้นใยเซลลูโลสลดลง ทำให้สีประจุลบสามารถเข้าใกล้เส้นใย และเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเส้นใยได้.....	11
รูปที่ 2.8	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DMDHEU.....	17
รูปที่ 2.9	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DHDMI.....	17
รูปที่ 2.10	กลไกการเชื่อมขวางเส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดพอลิคาร์บอกซิลิก.....	18
รูปที่ 2.11	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ BTCA.....	19
รูปที่ 2.12	การเชื่อมขวางเส้นใยเซลลูโลสด้วย BTCA.....	19
รูปที่ 2.13	สูตรโครงสร้างโมเลกุล Citric Acid.....	20
รูปที่ 2.14	สูตรโครงสร้างโมเลกุลกรดมาเลอิก.....	20
รูปที่ 3.1	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสี C.I. Direct Red 243.....	22
รูปที่ 3.2	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ dicyandiamide.....	22
รูปที่ 3.3	profile การย้อมด้วยสีไดเรกต์.....	24
รูปที่ 3.4	เครื่องย้อม.....	25
รูปที่ 3.5	เครื่อง Laboratory Padding Machine.....	26
รูปที่ 3.6	เครื่อง H.T. Minidryer Stenter.....	26
รูปที่ 3.7	เครื่อง Color Assessment Cabinet.....	27
รูปที่ 3.8	เครื่อง Universal Testing Machine.....	28
รูปที่ 3.9	เครื่อง Crease Recovery Angle Tester.....	28
รูปที่ 3.10	เครื่องเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	29
รูปที่ 3.11	เครื่อง Instrumental Color System Spectrophotometer.....	30

รูปที่ 3.12	เครื่อง Gel permeation Chromatography.....	32
รูปที่ 3.13	เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์.....	33
รูปที่ 4.1	ลักษณะทางกายภาพของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์.....	34
รูปที่ 4.2	สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ ในตัวทำละลาย $\text{D}_2\text{O}$ .....	36
รูปที่ 4.3	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์.....	36
รูปที่ 4.4	ภาพโครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิค GPC ของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์.....	37
รูปที่ 4.5	FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและผึ่งด้วยโคพอลิเมอร์ที่ อุณหภูมิที่ใช้ในการผึ่ง 150 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร.....	39
รูปที่ 4.6	FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและผึ่งด้วยโคพอลิเมอร์ที่ อุณหภูมิที่ใช้ในการผึ่ง 160 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร.....	40
รูปที่ 4.7	FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและผึ่งด้วยโคพอลิเมอร์ที่ อุณหภูมิที่ใช้ในการผึ่ง 170 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร.....	41
รูปที่ 4.8	ไดอะแกรมแสดงกลไกการสร้างตาข่ายร่างแห.....	42
รูปที่ 4.9	รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง โดยการประเมินเกรย์ สเกลของ color change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Blue 200 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส.....	47
รูปที่ 4.10	รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรย์สเกล ของ color change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Red 243 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส.....	48
รูปที่ 4.11	รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรย์สเกล ของ Color Change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Red 224 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส.....	49



## บทที่ 1

### บทนำ

สีไดเรกต์เป็นสีประจุลบ (anionic dyes) ราคาถูกสำหรับย้อมสีเส้นใยเซลลูโลส โดยอาศัยเกลือเป็นสารช่วยเร่งการดูดซึมของสี หมู่โครโมฟอร์ของสีไดเรกต์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย หมู่เอโซ (-N=N-) หลายหมู่ จุดประสงค์เพื่อให้โมเลกุลของสีมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง (linearity) และ มีความเป็นระนาบเดี่ยว (coplanarity) ทำให้สีไดเรกต์สามารถวางตัวตามแนวขนานแนบติดกับ เส้นใยเซลลูโลสซึ่งเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับเส้นใย โดยความสามารถในการยึดติดกับเส้น ใยเซลลูโลสของสีไดเรกต์อาศัยเพียงแค่แรงดึงดูดทางกายภาพ คือ พันธะแวนเดอร์วาลส์ และพันธะ ไฮโดรเจนระหว่างสีกับเส้นใยเท่านั้น นอกจากนี้ สีไดเรกต์ยังมีหมู่ซัลโฟเนต ( $\text{SO}_3^-$ ) ทำหน้าที่ช่วย ให้สีละลายน้ำได้ แต่หมู่นี้จะไปขัดขวางไม่ให้โมเลกุลสีเกิดพันธะทางกายภาพกับเส้นใยเนื่องจากที่ ผิวของเส้นใยเซลลูโลสมีศักย์ประจุลบ (negatively charged surface) เพื่อให้ดูดติดกับเส้นใยให้ มากที่สุดจึงมีการเติมเกลือ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ หรือเกลือโซเดียมซัลเฟตเพื่อลดแรงผลักทำ ให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใย ข้อดีของการย้อมด้วยสีไดเรกต์ คือมีวิธีการย้อมที่ง่าย มีเฉดสี ให้เลือกหลากหลาย แต่มีข้อเสีย คือ ไม่ทนต่อการซักล้าง จึงนิยมเพิ่มกระบวนการหลังการย้อม (aftertreatment) เพื่อช่วยทำให้สีมีความคงทนต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น โดยอาศัยกรรมวิธีดังต่อไปนี้ การผนึกด้วยสารประจุบวก (cationic fixing agents) การผนึกสีด้วยมอร์แดนท์ เช่น การทำ copper aftertreatment การทำปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน และ ปฏิกิริยาควบ (diazotization and coupling) และการผนึกด้วยเรซินและสารเชื่อมขวาง (crosslinking agent and resin treatments) การผนึกสีด้วยสารประจุบวก เป็นวิธีการนิยมทำกันแพร่หลายในปัจจุบัน โดยสารที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเล็กโตรไลต์หรือพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก ซึ่งเรซินชนิดนี้จะเคลือบอยู่บนเซลลูโลสและ อาศัยหมู่ประจุบวกของเรซินจับยึดสีไดเรกต์เอาไว้ การใช้เรซินประจุบวกมีข้อเสียคือเกิดการ ตกตะกอนกับสีได้ง่าย และตกค้างอยู่ในเครื่องจักร ทำให้ต้องสูญเสียเวลาและใช้น้ำจำนวน มากในการทำความสะอาดและโดยปกติสารชนิดนี้จะทำให้เฉดสีผิดเพี้ยนไปจากเดิม และยังคงผล ต่อความคงทนของสีย้อมต่อแสงลดลงด้วย สำหรับการผนึกสีโดยอาศัยเรซินสารเชื่อมขวางเป็น เทคนิคที่นำมาใช้ในการตกแต่งกันยับสำหรับผ้าฝ้าย เรซินกันยับเป็นสารเชื่อมขวาง โดยทำหน้าที่ เป็นสะพานเชื่อมสายโซ่โมเลกุลของเส้นใยฝ้าย เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห ร่างแหที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถกักขังโมเลกุลสีไดเรกต์ไว้ภายในได้ ซึ่งเรซินกันยับที่ใช้ในทางการค้าในปัจจุบันเป็นสารใน กลุ่มฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน ได้แก่ dimethylol dihydroxy ethylene urea (DMDHEU), 1,3-dimethyl 4,5-dihydroxy 2-imidazolidinone (DHDMI) แต่เนื่องจากมีสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบ ทำให้สารในกลุ่มนี้ไม่มีความปลอดภัยในการนำมาใช้ตกแต่งกันยับ จึงมีงานวิจัยศึกษาการพัฒนา

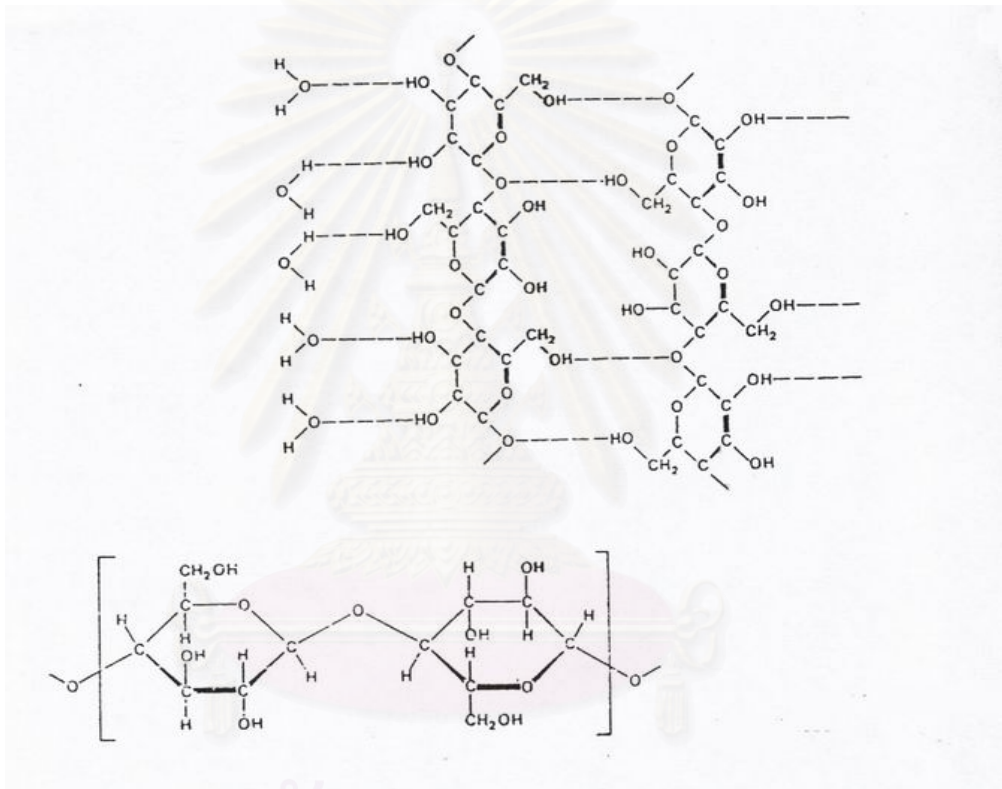
สารเชื่อมขวางกลุ่มใหม่ คือ สารเชื่อมขวางประเภทกรดพอลิคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ สารประกอบในกลุ่มนี้ยังเป็นสารที่ศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 1,2,3,4-butane tetracarboxylic acid (BTCA), กรดซิตริก (citric acid; CA) สาร BTCA เป็นสารที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารฟอร์มัลดีไฮด์เรซินแต่ยังมีราคาแพง นอกจากนี้จำนวนหมู่คาร์บอกซิลิกซึ่งเป็นหมู่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางก็มีอยู่จำนวนไม่มากนักงานวิจัยนี้จึงพัฒนาสารเชื่อมขวางที่อยู่ในกลุ่มพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ง่ายมีราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการฉีกสลายได้เร็วได้ดี และมีความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งาน คือ เตรียมเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นกรดพอลิคาร์บอกซิลิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกจำนวนมากเกาะติดตามโครงสร้างหลักของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งการเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห (network) ระหว่างโคพอลิเมอร์กับเซลลูโลส จะเกิดผ่านหมู่ไฮดรอกซิลิกแอนไฮไดรด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่กรดคาร์บอกซิลิกที่ติดกัน ตามด้วยปฏิกิริยา esterification ระหว่างเซลลูโลสกับหมู่ไฮดรอกซิลิกแอนไฮไดรด์เหล่านี้ ตามทฤษฎีกรดพอลิคาร์บอกซิลิกสามารถก่อให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างเซลลูโลสได้หลายตำแหน่ง และด้วยจำนวนหมู่กรดคาร์บอกซิลิกของโคพอลิเมอร์ที่มากกว่า BTCA จึงสามารถสร้างระบบร่างแหด้วยจำนวนหมู่ฟังก์ชันที่มากกว่า BTCA นอกจากนี้สารร่างแหที่ได้จะยังคงมีหมู่กรดคาร์บอกซิลิกอิสระหลงเหลือ และจะทำหน้าที่เหมือน charge barrier ล้อมรอบสีย้อมไดเรกต์ไว้ในโครงสร้างร่างแห จึงคาดว่าจะทำให้ความคงทนของสีต่อการซักล้างเพิ่มสูงขึ้น ภายหลังจากการฉีกสลายด้วยโคพอลิเมอร์ นอกจากนี้ยังตรวจสอบลักษณะเฉพาะของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ด้วย NMR หาน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค Gel permeation chromatography ตรวจสอบหาพันธะเอสเทอร์บนผ้าฝ้ายหลังผ่านการฉีกสลายด้วยโคพอลิเมอร์ ด้วยเทคนิค FTIR หลังจากนั้นจึงนำไปใช้ในการฉีกสลายไดเรกต์บนผ้าฝ้าย โดยจะทำการศึกษากวาระต่าง ๆ ที่มีผลต่อการฉีกสลาย ได้แก่ ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีกสลาย ต่อสมบัติความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความคงทนต่อการยับและความแข็งแรงของผ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์

### 2.1. เส้นใยเซลลูโลส[1],[2]

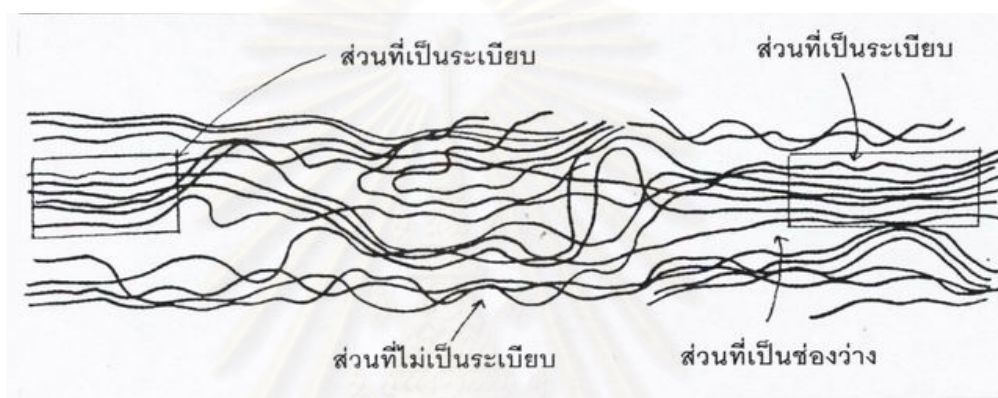
เส้นใยเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งเกิดจากโมเลกุลกลูโคสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีไกลโคซิดิก(glycosidic bond) เป็นโมเลกุลเชิงเส้นที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลสูง สูตรเคมีอย่างง่ายของเซลลูโลสคือ  $(C_6H_{10}O_5)_x$  การยึดเกาะกันของสายโซ่โมเลกุลแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลเซลลูโลส[2]

โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำนั้นเรียกว่า เซลโลไบโอส (cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ -C-O-C- ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่น ๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (crystalline) ค่อนข้างมากคือ 65-70% และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เป็นระยะ ๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรง

ค่อนข้างสูงลักษณะการจัดเรียงตัวภายในเส้นใย ได้แก่ บริเวณแรกคือบริเวณที่เป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous regions) เป็นบริเวณที่สามารถรับน้ำ ความชื้น ดังนั้น จะเป็นบริเวณที่ยอมให้สีย้อมเข้าไปได้ แต่จะเป็นส่วนที่ไม่แข็งแรง บริเวณที่สองเป็นส่วนที่เป็นระเบียบ (crystalline regions) เป็นบริเวณที่ไม่สามารถรับน้ำ และความชื้นเป็นส่วนที่แข็งแรงของเส้นใยเนื่องจากโซ่โมเลกุลเรียงตัวเป็นระเบียบ บริเวณที่สาม เป็นบริเวณส่วนเกือบเป็นระเบียบแต่ยังไม่มีความเป็นระเบียบอย่างสมบูรณ์ ในบริเวณนี้โมเลกุลจะจัดเรียงตัวไปตามแกนการจัดเรียงตัวไปตามแนวแกนเส้นใย (orientation) ทำให้ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับบริเวณที่เป็นระเบียบ จึงทำให้เส้นใยสามารถทนแรงดึงตามแนวแกนเส้นใยได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะส่วนที่เป็นระเบียบ (ที่จัดเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย) ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ และส่วนที่เป็นช่องว่าง[1]

ในปัจจุบันเส้นใยเซลลูโลสก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวที่ให้ความสบาย ความคงทน ย้อมสีได้ง่าย เส้นใยที่ได้มาจากพืชส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส ได้แก่ เส้นใยฝ้าย (cotton) รวมถึงเส้นใยแฟล็กซ์ (flax) เส้นใยป่าน ปอและพืชชนิดอื่น ๆ เช่น สับประรด ผักตบชวา กัญชง เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะใช้เส้นใยฝ้ายซึ่งเส้นใยส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส

### 2.1.1. เส้นใยฝ้าย

โครงสร้างภายนอกของฝ้าย ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เส้นใยฝ้ายมีความละเอียดมาก มีความยาวเส้นใย ตั้งแต่ 10-65 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเส้นใย ความยาวเส้นใยมีผลต่อการปั่นด้าย เนื่องจากฝ้ายเป็นเส้นใยสั้น (staple fibers) ยิ่งเส้นใยยาวเท่าใด ทำให้ง่ายต่อ

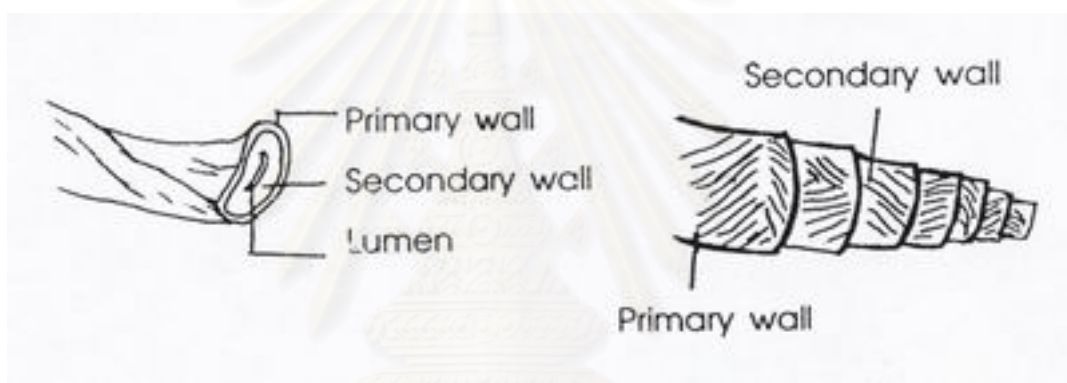


การปั่นด้าย นอกจากนี่ยังทำให้เส้นด้ายเรียกว่าและมีความเหนียวมากกว่า ทำให้เส้นด้ายสวมใส่สบาย มีความทนทานต่อการสวมใส่ และมีผิวสัมผัสที่น้ำใช้มากขึ้น

เส้นใยฝ้ายจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11-22 ไมครอน (ไมครอนเมตร =  $10^{-6}$  เมตร) เป็นเส้นใยที่ละเอียดมาก ๆ เหล่านี้สามารถจะผลิตผ้าที่มีน้ำหนักเบาและละเอียดได้ แม้ว่าเส้นใยฝ้ายจะมีความหนาแน่นสูงก็ตาม เส้นใยค่อนข้างมีความสม่ำเสมอตลอดเส้นใย ไม่เหมือนเส้นใยขนสัตว์ที่จะมีขนาดไม่เท่ากัน เมื่อวัดที่ปลายและโคนเส้นใย

เส้นใยฝ้ายมีสีออกขาวจนถึงสีเทาอ่อน สีน้ขึ้นกับพันธุ์ฝ้าย และสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของเส้นใยฝ้ายดิบภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะมีรอยบิดตัวคล้ายริบบิ้นตามภาพตัดตามยาว และมีลักษณะคล้ายรูปไต หรือเมล็ดถั่วตามภาพตัดขวาง แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพตัดตามยาว และภาพตัดตามขวางของเส้นใยฝ้าย[2]

#### 2.1.1.1. พอลิเมอร์ของเส้นใยฝ้าย

พอลิเมอร์ของเส้นใยฝ้ายเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น หน่วยที่เล็กที่สุดของพอลิเมอร์ของเส้นใยฝ้าย คือ เซลโลไบโอส (cellobiose) จะประกอบด้วยหน่วยของกลูโคส 2 หน่วย

เส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเซลโลไบโอสประมาณ 5000 หน่วย มีความยาวประมาณ 5000 นาโนเมตร (นาโนเมตร =  $10^{-9}$  เมตร) และมีความหนาประมาณ 0.8 นาโนเมตร

หมู่เคมีที่สำคัญของเส้นใยฝ้ายคือ หมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (secondary hydroxyl (-OH)) และหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (primary hydroxyl,  $-CH_2OH$ ) โดยหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ เป็นหมู่ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีกว่า เนื่องจากหมู่เหล่านี้เป็นหมู่เคมีที่มีขั้วจึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) ระหว่างกันดังแสดงในรูป 2.1 นอกจากนี้ยังมีแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals' force) ซึ่งแรงนี้จะมีขนาดน้อยมาก เมื่อเทียบกับพันธะ



ไฮโดรเจน เส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกสูงประมาณ 65-70% และมีส่วนที่ไม่เป็นระเบียบประมาณ 30-35%

### 2.1.1.2. สมบัติทางกายภาพ

- ความเหนียว (Tenacity)

ความเหนียวของเส้นใยเซลลูโลสนั้นก็เนื่องมาจากที่สายโซ่เซลลูโลสมีความสามารถในการเรียงตัวที่ดีประกอบกับมีความเป็นผลึกสูง (ประมาณ 70%) และมีการยึดเกาะกันอย่างเหนียวแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุล

โดยปกติเส้นใยฝ้ายจะมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมเมื่อเปียกน้ำ เนื่องจากภายใต้ภาวะเปียกสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจะเกิดการเรียงตัวใหม่ที่เกิดการใกล้ชิดกันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเปียกน้ำจึงเป็นผลให้เพิ่มปริมาณของพันธะไฮโดรเจนขึ้น ทำให้ค่าเหนียว (Tenacity) เพิ่มขึ้นโดยประมาณ 5%

- ธรรมชาติของการยืดหยุ่นตัวและความเป็นพลาสติก

เส้นใยฝ้ายจะไม่มี ความยืดหยุ่นตัว การคืนตัวของเซลลูโลสจึงไม่ดีเพราะว่าเป็นเส้นใยที่มีส่วนที่เป็นผลึกสูง ดังนั้นผ้าที่ทำจากเส้นใยฝ้ายจะมีการหดตัวและเกิดรอยยับง่าย

เนื่องจากการมีส่วนที่เป็นระเบียบมาก ทำให้ไม่สามารถจะพับ หรือทบ เพราะจะทำให้พอลิเมอร์ขาดออกจากกันทำให้ผ้าฉีกขาดง่าย ซึ่งเป็นจุดอ่อนของพอลิเมอร์นี้

- ธรรมชาติของการดูดซึมความชื้น

ฝ้ายเป็นเส้นใยที่ดูดซึมความชื้นได้ดี เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มากมาย สังเกตเห็นได้จากเส้นใยประเภทนี้เกิดการพองตัวในน้ำได้ดีนั่นเอง ข้อดีจากการที่เส้นใยดูดซึมความชื้นได้ดีคือ ช่วยทำให้การระบายเหงื่อและความชื้นออกจากร่างกายได้ดี ทำให้ผู้สวมใส่มีความสบายตัว และยังทำให้ไม่เกิดปัญหาของไฟฟ้าสถิตย์ เหมือนกับเส้นใยสังเคราะห์

- สมบัติความคงทนต่อความร้อน

ฝ้ายมีความสามารถที่จะถ่ายเทความร้อนได้ดี จึงไม่เกิดการสะสมความร้อนเอาไว้ ในขณะที่เดียวกันฝ้ายยังมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้ดี ดังนั้นฝ้ายจึงทนต่ออุณหภูมิสูง ๆ ของเตารีดได้โดยไม่เกิดการเสียรูปทรง อย่างไรก็ตามสำหรับความร้อนที่มากเกินไปจะทำให้เส้นใยฝ้ายสลายตัว และไหม้ไฟ กลายเป็นเถ้าถ่าน (โดยไม่มีกรหลอมตัว เนื่องจากเส้นใยไม่ได้เป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) เหมือนกับเส้นใยสังเคราะห์

### 2.1.1.3. สมบัติทางเคมี

- ผลของกรด

เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยที่ไม่ทนกรดโดยเฉพาะกรดอินทรีย์ จึงถูกทำลายได้ง่ายโดยในภาวะที่เป็นกรดพันธะไกลโคซิดิกที่เชื่อมระหว่างกลูโคสสองหน่วยที่จะสร้างเป็น หน่วยซ้ำ cellobiose จะถูกทำลายได้อย่างง่าย เป็นเหตุให้ความยาวของสายโซ่โมเลกุลสั้นลง สั้นลงจนเหลือเพียงหน่วยที่เป็นผลึกที่เรียกว่า microcrystalline ซึ่งในปัจจุบันได้มีความสนใจอย่างแพร่หลายในการนำผง microcrystalline ที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติก

- ผลของด่าง

เส้นใยเซลลูโลสมีความทนทานต่อด่างดีมาก และยังพบอีกว่าด่างเข้มข้นนั้นมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยเซลลูโลสให้การเรียงกันใหม่ได้ ทำให้สมบัติของเส้นใยดีขึ้น กระบวนการที่ด่างเข้มข้นไปปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสเรียกว่า mercerization ซึ่งกระบวนการนี้ ด่างจะทำให้เส้นใยพองตัว เส้นใยมีการขยายตัวตามขวางและหดตัวตามยาว ถ้ามีการควบคุมการพองตัวที่เหมาะสมจะทำให้ได้เส้นใยที่รูปร่างกลม สะท้อนแสงดีขึ้นจึงจะสังเกตเห็นว่าเส้นใยที่ผ่านกระบวนการ mercerization นั้นจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น และเส้นใยมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

จากสมบัติของฝ้ายทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้ฝ้ายได้รับความนิยมนำมาแปรรูปเป็นเครื่องนุ่งห่มในเขตเมืองร้อนและไม่นิยมผ้าใยสังเคราะห์เนื่องจากว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้น เมื่อผู้สวมใส่มีเหงื่อ การดูดซึมความชื้นของใยสังเคราะห์ไม่ดีพอทำให้สวมใส่แล้วไม่สบายตัว อีกทั้งปัญหาเรื่องไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะหน้าหนาว อีกทั้งมีคนบางคนที่เกิดอาการแพ้ใยสังเคราะห์ ทำให้ผิวหนังระคายเคืองได้ ด้วยความรู้สึกรู้สึกสวมใส่แล้วเย็นสบายของผ้าฝ้ายสีสัน

และลวดลายของผ้าฝ้ายมักถูกกำหนดโดยปัจจัยทางการตลาดและการแข่งขันทางธุรกิจ โดยทั่วไปนิยมเพิ่มสีเส้นของผ้าฝ้ายด้วยการใช้สีย้อมซึ่งมีทั้งสีย้อมสังเคราะห์และสีย้อมธรรมชาติ ซึ่งสีที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสโดยทั่วไป ได้แก่ สีไดเร็กต์ สีรีแอคทีฟ สีวัต และสีซัลเฟอร์ เป็นต้น

## 2.2. สีไดเร็กต์

### 2.2.1. สมบัติ และทฤษฎีการย้อมสีไดเร็กต์

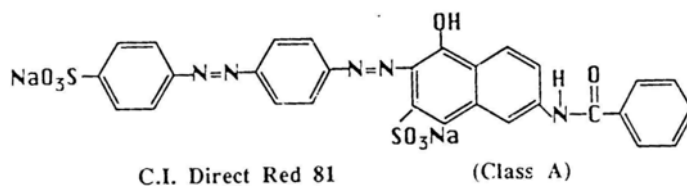
ในปี ค.ศ.1884 (พ.ศ. 2427) สีไดเร็กต์ตัวแรกชื่อว่า คองโกเรด (Congo Red) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในโลก สำหรับชื่อสีไดเร็กต์นั้นได้รับเนื่องจากเป็นสีที่สามารถย้อมได้โดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส สีไดเร็กต์จัดเป็นสีที่มีประจุลบ เนื่องจากหมู่ซัลโฟเนตซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุลบ

สีไดเร็กต์เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดีต่างระดับกันไปขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสี และจำนวนหมู่ซัลโฟเนตที่มี สีไดเร็กต์เกาะติดได้ดีเฉพาะกับเส้นใยเซลลูโลสเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถย้อมได้เฉพาะวัสดุที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเท่านั้น เช่น ฝ้าย วิสโคส เรยอน ลินิน ป่าน ปอ และกระดาษ เป็นต้น

สีไดเร็กต์มีความคงต่อแสงตั้งแต่ต่ำจนถึงดีเยี่ยม ขึ้นกับโครงสร้างของสีเป็นหลัก สีที่มีความคงทนต่อแสงดีเยี่ยมนั้นมักใช้สำหรับการย้อมผ้าที่ใช้ในรถยนต์ หรือ โซฟา เป็นต้น ความคงทนต่อการซักล้าง ต่อเหงื่อ ต่อน้ำทะเล และต่อกระบวนการอื่น ๆ ของสีไดเร็กต์มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสีไดเร็กต์มักมีความคงทนต่อการซักล้างไม่ดี จึงจำเป็นต้องมีการย้อมสีหลังการย้อม เพื่อให้สีมีความคงทนดีขึ้น

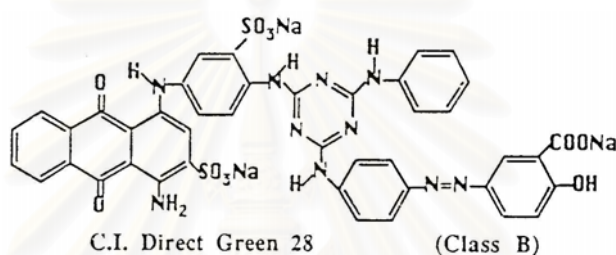
การแบ่งหมู่สีไดเร็กต์ตามสมาคมนักย้อมสีและนักผลิตสี (Society of Dyers and Colourists) ประเทศอังกฤษสามารถแบ่งเป็น 3 หมู่ดังนี้ คือ

กลุ่มเอ (class A) ที่เรียกว่า “สีประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยตัวเอง” (self-leveling) ดังนั้นสีกลุ่มนี้จะมีการแพร่กระจายในเส้นใยได้ดี มีค่า migration power (ค่าที่ใช้บอกความสามารถในการแพร่ตัวของสีย้อมในเส้นใย) สูง สีในกลุ่มนี้จึงมีขนาดโมเลกุลที่เล็กที่สุด และมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อประจุต่ำ (molecular mass/charge ratio)



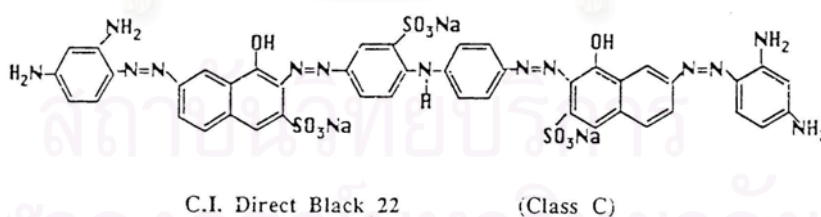
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างสีไดเร็กต์กลุ่มเอ

กลุ่มบี (class B) ที่เรียกว่า “สีประเภทย้อมส้มน้ำเสมอด้วยการควบคุมเกลือ” (salt-controllable) แต่จะต้องควบคุมโดยการเติมเกลือเพื่อทำให้เกิดการย้อมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโมเลกุลของสีจะมีขนาดปานกลาง



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างสีไดเร็กต์กลุ่มบี

กลุ่มซี (class C) ที่เรียกว่า “สีประเภทย้อมส้มน้ำเสมอด้วยการควบคุมอุณหภูมิ” (temperature-controllable) แต่จะต้องควบคุมโดยการเติมเกลือ และจะต้องควบคุมอุณหภูมิในการย้อมอีกด้วย เพื่อให้เกิดการย้อมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโมเลกุลของสีจะมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มเอ และบี



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างสีไดเร็กต์กลุ่มซี

- ทฤษฎีการย้อม

การย้อมติดสีไดเร็กต์บนเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเกิดได้จากแรงทางกายภาพ เพราะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมในกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใยเซลลูโลสแล้วเกิดเป็นพันธะเคมีได้ แรงทางกายภาพระหว่างสีย้อมกับเส้นใยก็จะมีเพียงพันธะไฮโดรเจน(hydrogen-

bonding) กับแรงแวนเดอร์วาลส์(van der waals force) แรงแวนเดอร์วาลส์ คือ แรงดึงดูดอ่อน ๆ ระหว่างโมเลกุลของสาร ส่วนพันธะไฮโดรเจน คือ แรงดึงดูดระหว่างภายใน หรือภายนอกโมเลกุลมีความแรงกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมอื่นที่มีค่า electronegativity สูง ๆ เช่นอะตอมของฟลูออรีน ไนโตรเจน หรือ ออกซิเจน เป็นต้น แรงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างโมเลกุลทั้งสองตัว ดังนั้นโมเลกุลของสียไตรเร็กต์จะต้องมีความยาว (linearity) และมีลักษณะแบน (coplanarity)

- สารช่วยย้อมของสียไตรเร็กต์

ในอ่างย้อมสียไตรเร็กต์จะประกอบด้วย น้ำ (ทำหน้าที่ตัวกลาง) สียไตรเร็กต์ เกลือแกง หรือเกลือซัลเฟตและสารช่วยเปียกที่มีประจุลบ (ถ้ามี) ส่วนกระบวนการย้อมสีหลังการย้อม อาจประกอบด้วย น้ำ (ทำหน้าที่ตัวกลาง) และสารย้อมสีและกระบวนการซักล้าง เพื่อกำจัดสีส่วนเกินออกไป ซึ่งประกอบด้วย น้ำ (ทำหน้าที่ตัวกลาง )

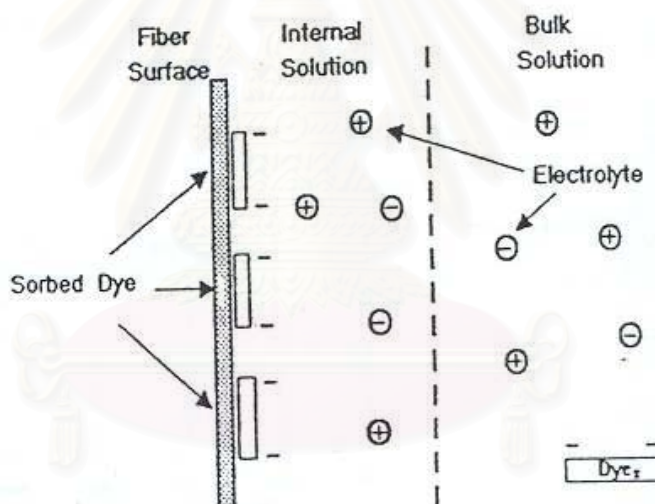
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชื่อ และหน้าที่ของสารช่วยย้อมสียไตรเร็กต์

สารช่วยย้อม	หน้าที่
น้ำ	เป็นตัวกลางของการย้อมและการซักล้าง
สียไตรเร็กต์ (มีประจุลบ)	เป็นสารทำให้เกิดสีบนวัสดุสิ่งทอประเภทเซลลูโลส
เกลือแกงหรือเกลือซัลเฟต	เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่ลดประจุบนผิวหน้าเส้นใยเซลลูโลสเมื่ออยู่ในน้ำ
สารช่วยเปียกประจุลบ (ถ้ามี)	เป็นสารช่วยทำให้วัสดุเปียกทั่วกัน และทำให้น้ำสีแทรกซึมวัสดุได้ดีขึ้น
สารย้อมสีประจุบวก	ส่วนใหญ่เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกเพื่อทำหน้าที่ตรึงสียไตรเร็กต์ซึ่งมีประจุลบ ทำให้สีย้อมมีความคงทนต่อการซักล้างดีขึ้น



- ผลของสารอิเล็กโทรไลต์

การใส่เกลือแกงหรือเกลือซัลเฟตลงในน้ำย้อมสีไคโรเร็กซ์จะทำให้ตัวสีซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น โดยปกติเมื่อเซลลูโลสแช่ในน้ำจะทำให้ศักย์ทางไฟฟ้าที่ผิวเส้นใยเป็นลบเนื่องจาก การสะสมของอิออนลบต่างๆที่มีอยู่ในน้ำ อิออนลบที่สะสมรอบเส้นใยจะทำตัวเป็นเสมือนกำแพง ประจุลบกันสีย้อมไคโรเร็กซ์ไม่ให้ดูดซึมเข้าไปในเส้นใย ทั้งนี้เพราะสีมีประจุลบนั่นเอง ใน กระบวนการย้อมไคโรเร็กซ์จึงต้องเติมสารช่วยเร่งการดูดซึมของสีคือสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น เกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) หรือโซเดียมซัลเฟต เกลืออิเล็กโทรไลต์มี โซเดียมอิออน ( $\text{Na}^+$ ) ซึ่งเป็นอิออนประ จวบวก เมื่อเติมลงไปลงในน้ำย้อมที่มีเส้นใยเซลลูโลสประจุลบล่านี้จะจับคู่กับอิออนลบที่สะสมอยู่รอบ เส้นใยดังรูป 2.7 จะทำให้ศักย์ประจุไฟฟ้ารอบเส้นใยหายไป สีย้อมก็สามารถดูดซึมเข้าไปภายใน เส้นใยของเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) ของตัวสีมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.7 ภาวะการย้อมสีไคโรเร็กซ์หลังเติมเกลือ โดยประจุลบบนผิวหน้าเส้นใยเซลลูโลสลดลง ทำให้สีประจุลบสามารถเข้าไปใกล้เส้นใย และเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเส้นใยได้<sup>[3]</sup>

- ผลของความร้อน

อุณหภูมิสูงหรือต่ำ มีผลต่อการดูดซึมสีด้วยกันทั้งหมด ที่อุณหภูมิต่ำ Affinity ของสีกับเส้นใยได้ดี แต่อุณหภูมิสูงสีจะดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยได้เร็ว สม่่าเสมอ และแผ่กระจายตัวภายในได้ดี อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ติดเส้นใยน้อยลง

- ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ (Liquor Ratio (L:R)) และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำย้อม

ปริมาณสีในน้ำย้อมมาก สีจะดูดติดเส้นใยได้มากตามลำดับ ดังนั้นการย้อมสีไดเรกต์ควรใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุน้อย ๆ เพื่อเป็นการประหยัดสี แต่จะต้องคำนึงถึงว่าเมื่อย้อมที่จุดเดือด น้ำจะลดลงเนื่องจากกลายเป็นไอน้ำ ดังนั้นการลดน้ำมากเกินไปอาจทำให้สีติดไม่สม่ำเสมอได้เช่นกัน

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสี ควรจะย้อมในสภาวะเป็นกลาง เป็นส่วนมาก

- กระบวนการย้อมสีไดเรกต์

กระบวนการย้อมแบบดูดซึม

สำหรับสีไดเรกต์กลุ่มเอ ก่อนย้อมจะต้องทำให้สีเป็นแป้งเปียกด้วยน้ำอุ่นจำนวนเล็กน้อย หลังจากนั้นคนให้เข้ากันแล้วจึงใส่น้ำเย็นให้ครบจำนวนที่ต้องการ

ปริมาณการใช้เกลือแกง

สีอ่อน 5% ของน้ำหนักวัสดุ

สีปานกลาง 10% ของน้ำหนักวัสดุ

สีเข้ม 20% ของน้ำหนักวัสดุ

กลุ่มบี ให้เตรียมน้ำย้อมเหมือนกับกลุ่มเอ แต่ยังไม่ต้องใส่เกลือจนกว่าน้ำย้อมเดือด แล้วจึงใส่เกลือแบ่งเป็นช่วง ๆ (ห้ามโรยเกลือบนวัสดุ เพราะอาจจะทำให้สีติดไม่สม่ำเสมอให้เท่าใส่น้ำย้อมแล้วคนให้เข้ากัน)

กลุ่มซี ย้อมเหมือนกลุ่มบี แต่ไม่ใช่เกลือที่อุณหภูมิต่ำ เพิ่มอุณหภูมิจนน้ำย้อมเดือดแล้วย้อม ต่อไปอีก 30-60 นาที การควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอโดยการเติมเกลือเป็นช่วง ๆ เท่า ๆ กัน เมื่อถึงจุดเดือดและช่วงสุดท้ายก่อนครบกำหนดอย่างน้อย 15 นาที

- เทคนิคหลังการย้อมสี

สีไดเรกต์ ไม่ทนต่อกระบวนการซักล้าง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงโดยกระบวนการหลังการย้อม เพื่อผนึกสีให้มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ทำให้เมื่อซักล้างสีจะหลุดยากขึ้น ในปัจจุบันนิยมใช้สารผนึกสีที่มีประจุบวกในการผนึกสี แต่ความคงทนต่อแสงมักลดลง

สารผนึกสีที่มีประจุบวกสามารถใช้ผนึกสีหลังจากการย้อมสีไดเรกต์ ที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 °C เป็นเวลา 15-30 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสาร

## 2.3. กระบวนการหลังการย้อมด้วยสีไดเรกต์[4],[5],[6]

กระบวนการหลังการย้อมด้วยสีไดเรกต์ ซึ่งทำเพื่อเพิ่มสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง ได้แก่

### 2.3.1. การผนึกสีด้วยสารประจุบวก

สารผนึกประจุบวก (cationic fixing agents) คือ เกลือควอเทอร์นารี แอมโมเนียมของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ซึ่งละลายน้ำ แตกตัวเป็นประจุบวกที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสารกลุ่มนี้อาจจะเป็นอนุพันธ์ของไซยานาไมด์ (cyanamide) หรือเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียมที่ประกอบด้วยสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาว

กลไกการผนึกสี คือ หมู่ซัลโฟเนตซึ่งเป็นส่วนประจุลบของสีย้อมไดเรกต์ เกิดพันธะเกลือหรือพันธะไอออนิกโดยมีประจุบวกของสารผนึกสี เกิดเป็นโมเลกุลของเกลือเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการละลายต่ำมากเป็นผลให้ความคงทนต่อการซักล้างเพิ่มขึ้น แต่กระบวนการนี้มีข้อเสีย คือ เคนสีมีการเปลี่ยนแปลง และความคงทนต่อแสงต่ำลง

### 2.3.2. การทำให้เกิดปฏิกิริยาไดอะโซไทเซชันและปฏิกิริยาคู่ควบ (diazotization and coupling)

สีย้อมไดเรกต์จำนวนน้อยชนิดที่จะสามารถทำปฏิกิริยาชนิดนี้ ในโมเลกุลของสีจะต้องประกอบด้วย หมู่ aromatic amine ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับไฮเดียมไนไตรท์โดยมีกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกปฏิกิริยานี้ว่า diazotization ได้เกลือไดอะโซเนียมเกิดขึ้น จากนั้นเกลือไดอะโซเนียมที่ได้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคู่ควบ (coupling agent) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า

ปฏิกิริยาควบ ผลิตรัศที่ได้อาจจะมีหมู่เอโซเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งหมู่ ทำให้โมเลกุลของสีย้อมไตรีกต์มีขนาดใหญ่ขึ้น เกาะติดทนเพิ่มขึ้น

ข้อเสีย คือ ไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานในสภาวะจริง นอกจากนี้เจดสีที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

### 2.3.3. การผนึกสีด้วยมอร์แดนท์

มอร์แดนท์หรือบางที่เรียกว่าสารช่วยให้สีติดหรือสารช่วยย้อม เป็นสารเคมีที่ทำให้สีธรรมชาติตั้งอยู่บนเส้นใยได้ โดยที่มอร์แดนท์จะรวมตัวกับโมเลกุลสีและรวมตัวกับโมเลกุลของเส้นใยทำให้เกิดสิ่งที่ไม่ละลายเรียกว่า “color lake” มอร์แดนท์ที่ใช้กันในงานย้อมสีนั้นมีอยู่มากมายเช่น

- การใช้มูลสัตว์ เช่น มูลวัว
- น้ำสกัดจากพืชที่มีแทนนิน น้ำมะนาว น้ำมะขาม และอื่น ๆ
- การใช้สารเคมีต่าง ๆ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต กรดแลคติก กรดแทนนิก กรดออกซาลิก กรดอะซิติก แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ โบแตสเซียมโบทาร์เทรต
- การใช้เกลือของโลหะหรือกึ่งโลหะเช่น

อะลูมิเนียม จาก โบแตสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต

โครเมียม จาก โบแตสเซียมไดโครเมต หรือ โบแตสเซียมโบโครเมต

ทองแดง จาก คอปเปอร์ซัลเฟต

เหล็ก จาก เฟอรัสซัลเฟต

ดีบุก จาก สแตนนัสคลอไรด์

แบเรียม จาก แบเรียมซัลเฟต

การย้อมมอร์แดนท์หลังการย้อมสี ได้แก่ กลี้อของดีบุก กลี้อของเหล็ก แทนนินหรือกรดแทนนิก การย้อมมอร์แดนท์แบบนี้อาจใช้วิธีย้อมแยกอิสระหรือในบางกรณีมอร์แดนท์จะถูกเติมลงไปใต้น้ำย้อมในช่วง 5 ถึง 10 นาทีสุดท้าย ก่อนนำเส้นใยที่แช่ใต้น้ำย้อมออก บางกรณีผู้ย้อมจะแช่เส้นใยในสารละลายกลี้อดีบุกหรือกลี้อของเหล็กหลังการย้อมสีเพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงเฉดสี

มอร์แดนท์ที่นิยมนำมาใช้ผืนัก คือ ไอออนของทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) สามารถผืนักสีได้โดยการทำให้เกิดกลี้อของทองแดงที่ไม่ละลายน้ำกับโมเลกุลสีประจุลบ กลไกคล้ายกับสารผืนักสีอินทรีย์ประจุบวก โดยกระบวนการนี้สามารถที่จะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนชนิดโคออร์ดิเนชัน (coordination) ให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะกับสี ซึ่งโดยทั่วไปจะเพิ่มความคงทนต่อแสงและมีความคงทนต่อการซักล้าง

ข้อเสีย คือ การเปลี่ยนแปลงชนิดของมอร์แดนท์สามารถให้เฉดสีที่แตกต่างกันได้ เส้นใยมีสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของมอร์แดนท์ที่ใช้ มอร์แดนท์บางอย่างมีผลต่อสภาพเส้นใยหลังย้อมเช่น อลูมิเนียม ทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงดึงลดลง ปัญหานี้มาจกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการย้อมสีสังเคราะห์โดยใช้ระบบตัวทำละลายใหม่ที่ไม่ใช้น้ำคือ คาร์บอนไดออกไซด์เหลว ภายใต้ภาวะวิกฤตยิ่งยวด นอกจากนี้สารที่ใช้เป็นมอร์แดนท์หลายตัวที่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นพิษเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และผู้ใช้สิ่งทอได้ จึงมีการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยหลาย ๆ อย่างและมีการกำหนดให้หรือการบังคับใช้เป็นกฎหมายในบางประเทศแล้ว ตัวอย่างเช่น eco standards ที่รู้จักกันในชื่อ Oeko-Tex Standard 100 เป็นข้อกำหนดสำหรับปริมาณโลหะต่าง ๆ สารบางชนิด และ ความคงทนของสีสำหรับสินค้าเส้นใยและสิ่งทอประเภทต่าง ๆ สินค้าที่เป็นไปตามข้อกำหนดนี้ถือว่าเป็น eco textiles และผู้ผลิตสินค้าสามารถใช้สลาก Oeko-Tex label ได้

#### 2.3.4. การทำปฏิกิริยากับเรซินและสารเชื่อมขวาง

ในผ้าฝ้าย ปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง โดยใช้สารเชื่อมขวาง ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมสายโซ่โมเลกุลของเส้นใยฝ้าย เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห ร่างแหที่เกิดขึ้น จะกักขังโมเลกุลสีย้อมไคเร็กซ์ไว้ภายใน ซึ่งสารเชื่อมขวางสำคัญที่ใช้ในทางการค้าในปัจจุบันเป็นสารในกลุ่มเรซินกันยับ ได้แก่ dimethylol dihydroxy ethylene urea (DMDHEU), 1,3-dimethyl 4,5-dihydroxy 2-imidazolidinone (DHDMI) ซึ่งสารทั้ง 2 ตัวนี้ จะเชื่อมขวางเซลลูโลส ด้วยพันธะอีเทอร์ (ether bridge)

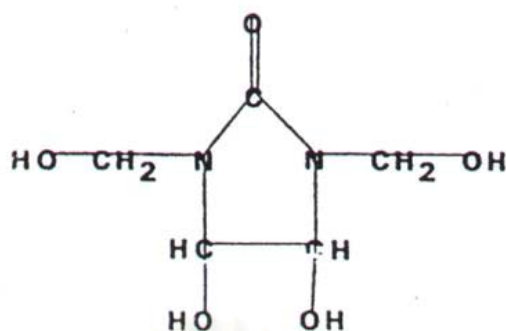


อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการเชื่อมขวาง DMDHEU ยังมีการปลดปล่อยฟอร์มมาดีไฮด์ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และก่อให้เกิดการระคายเคืองซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงมีงานวิจัยศึกษาสารเชื่อมขวางกลุ่มใหม่ และสารเชื่อมขวางกลุ่มที่ใกล้จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ในปัจจุบัน คือสารเชื่อมขวางประเภท กรดพอลิคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีการปลดปล่อยฟอร์มมาดีไฮด์ สารประกอบในกลุ่มนี้ที่กำลังวิจัยอย่างกว้างขวาง คือ 1,2,3,4-butane tetracarboxylic acid (BTCA) แต่ BTCA มีราคาแพงจึงมีการศึกษา การนำกรดซิตริก (citric acid; CA) และกรด polymaleic ซึ่งมีราคาถูกกว่า BTCA

## 2.4. สารเชื่อมขวาง (crosslinking agents)

### 2.4.1. DMDHEU

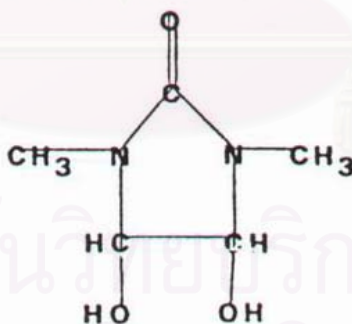
ในกรณีของ dimethylol dihydroxy ethylene urea (DMDHEU) สามารถสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของสารเชื่อมขวางกับโมเลกุลเซลลูโลสได้ 4 จุด (4 reactive sites(groups)) นั่นคือ หมู่ methylol 2หมู่ และหมู่ hydroxyl 2 หมู่ ภายใต้สภาวะการผิ๊ง โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรดลิวอิส โดยหมู่ methylol ลำดับแรก จากนั้นหมู่ hydroxyl จะทำปฏิกิริยากับหมู่ hydroxyl ของเซลลูโลสโดยสร้างพันธะอีเทอร์เชื่อมระหว่างโมเลกุลเซลลูโลส โครงสร้างเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสกับสารเชื่อมขวางจะแทนที่พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสที่มีอยู่เดิมในฝ้ายด้วยพันธะโควาเลนต์ (พันธะอีเทอร์) ที่แข็งแรงกว่า ในกรณีของฝ้ายฝ้ายที่ยังไม่ได้ผ่านการผิ๊งจะเกิดรอยยับได้ง่ายเนื่องจาก สาเหตุที่พันธะไฮโดรเจนแยกออกจากกันและก็จะจัดโครงสร้างใหม่ที่ไม่ใช่ตำแหน่งเดิม ซึ่งจะปรากฏเห็นเป็นรอยยับย่นเกิดขึ้น ในกรณีของฝ้ายฝ้ายที่ถูกทำให้ผ่านการเชื่อมขวางการกระทำเชิงกลไม่สามารถแยกพันธะโควาเลนต์ (พันธะอีเทอร์) ที่แข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนได้ เป็นผลให้สายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสไม่เกิดการขยับแยกออกจากกัน ดังนั้นฝ้ายฝ้ายที่ถูกทำให้ผ่านการเชื่อมขวางจึงมีโครงสร้างกายภาพที่มีความคงรูปมากกว่า เมื่อผ่านการซักล้างจึงไม่ปรากฏเป็นรอยยับ



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DMDHEU

#### 2.4.2. DHDMI

สารที่เป็นทางเลือกที่หาได้ทางการค้านอกจาก DMDHEU คือ DHDMI สารตัวนี้มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างหลากหลาย 1,3-dimethyl 4,5-dihydroxy 2-imidazolidinone (DHDMI) DHDMI จะทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ hydroxyl ของ DHDMI กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสเพื่อสร้างหน่วยอีเทอร์ที่เสถียรซึ่งคล้ายคลึงกับ DMDHEU ถึงแม้ว่าความหนาแน่นของการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลสของ DHDMI จะต่ำกว่าแต่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหมือนกัน ใช้เทคโนโลยีที่อุตสาหกรรมคุ้นเคยเหมือนกันด้วยอุณหภูมิการผึ่งที่คล้ายคลึงหรือต่ำกว่า เวลาการอบผึ่งก็คล้ายกัน

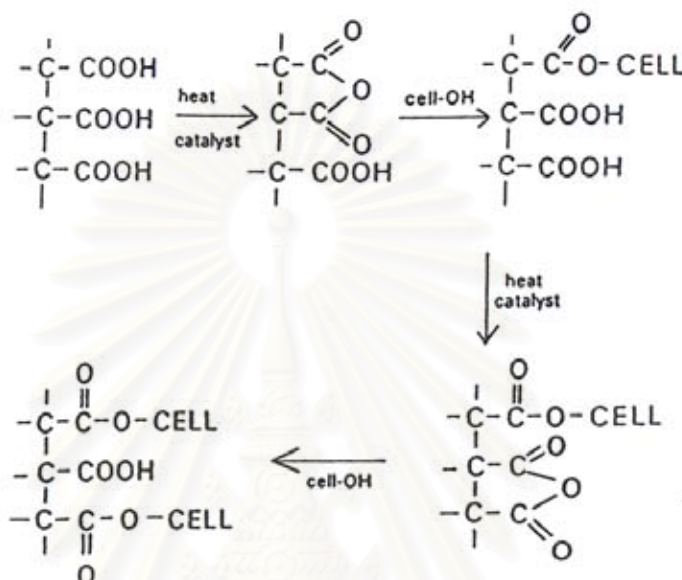


รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DHDMI

#### 2.4.3. Polycarboxylic Acid

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีความพยายามนำกรดพอลิคาร์บอกซิลิกมาใช้ในเชิงพาณิชย์ กรดพอลิคาร์บอกซิลิกโดยเฉพาะ 1,2,3,4-butane tetracarboxylic acid (BTCA), citric acid (CA) และ polymaleic acid (PMA) ซึ่งสารประกอบที่กล่าวมาต้องการอุณหภูมิการผึ่งที่รุนแรงมากกว่าและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ในกรณีนี้ กรดพอลิ

คาร์บอกซิลิกจะสร้าง แอนไฮไดรด์ระหว่าง carboxyls ที่อยู่ติดกันหลังจากนั้นแอนไฮไดรด์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสเกิดตัวเชื่อมขวางเป็นหมู่เอสเทอร์ที่มีความเสถียรสูงและทนทานซึ่งกลไกแสดงดังรูปที่ 2.10 เทคโนโลยีนี้อยู่ในสิทธิบัตรที่ออกโดย U.S. Department of agriculture และสิทธิบัตรอยู่ที่ University of Georgia และทั้งหมดนี้ใบอนุญาตแต่เพียงผู้เดียวโดย Vulcan performance Chemicals และ Biolab Inc.

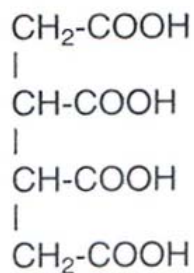


รูปที่ 2.10 กลไกการเชื่อมขวางเส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดพอลิคาร์บอกซิลิก[7]

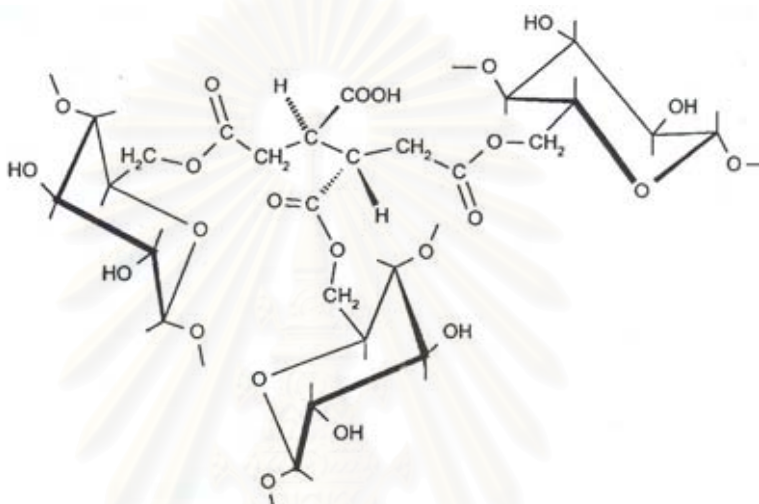
#### 2.4.3.1. BTCA

สารประกอบ 1,2,3,4-butane tetracarboxylic acid เป็นสารเชื่อมขวางที่ทำปฏิกิริยาต้องอาศัยตัวเร่งที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัส เช่น Hypophosphite ประสิทธิภาพการเชื่อมขวางของสารตัวนี้เท่าเทียมกับ DMDHEU แต่มีราคาสูงกว่า

กรดตัวนี้ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล 4 หมู่ ในตำแหน่งแอลฟาของคาร์บอนที่เป็นโครงสร้าง backbone ของโมเลกุล กลไกการเชื่อมขวางเกี่ยวข้องกับการสร้างหมู่ แอนไฮไดรด์จากคาร์บอกซิลที่ติดกัน โมเลกุลนี้มีความสามารถที่จะก่อให้เกิดแอนไฮไดรด์ด้วยโครงสร้างหลากหลายหมู่แอนไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้อย่างน้อย 2 หมู่จึงทำให้เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลของเซลลูโลสเกิดขึ้นได้ ซึ่งโอกาสที่หมู่คาร์บอกซิลิกตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 จะเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ง่ายที่สุดดังแสดงในรูป 2.10 อย่างไรก็ตามเนื่องจาก BTCA มีหมู่กรดคาร์บอกซิลิก 4 หมู่ ดังนั้นการเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะเอสเทอร์ 3 พันธะจึงมีความเป็นไปได้แสดงดังรูป 2.12



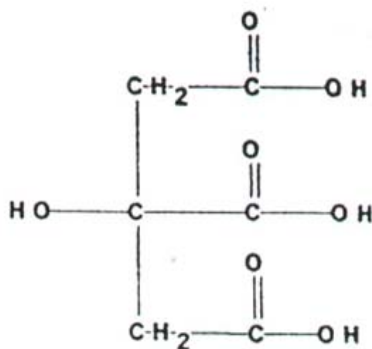
รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ BTCA



รูปที่ 2.12 การเชื่อมขวางเส้นใยเซลลูโลสด้วย BTCA [8]

#### 2.4.3.2. Citric Acid

Citric Acid เป็นสารในกลุ่มพอลิคาร์บอกซิลิกที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้ทดแทน BTCA เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านราคา แต่ก็ไม่แสดงศักยภาพที่ดีเพียงพอในฐานะที่เป็นสารตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการต้านการยับยั้งจะไม่ดีพอ ปกติแล้วจะนิยมนำกรดซิตริก ไปผสมกับกรดตัวอื่น เช่น BTCA เพื่อช่วยทำให้ BTCA มีความคุ้มค่าในการนำมาใช้แทนสารในกลุ่ม DMDHEU

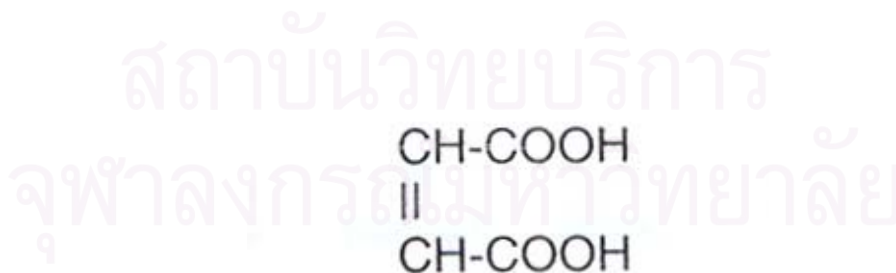


รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างโมเลกุล Citric Acid

#### 2.4.3.3. Polymaleic Acid

ลำดับที่สาม ของกรดพอลิคาร์บอกซิลิกซึ่งเป็นตัวเชื่อมขวางที่ไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ได้แก่ โคพอลิเมอร์ของกรด เช่น โคพอลิเมอร์ของกรดมาเลอิก (maleic acid) ทำนองเดียวกันกรดในกลุ่มนี้ต้อง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอสฟอรัสเช่นเดียวกับกรดพอลิคาร์บอกซิลิกที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นและภาวะการผืนักเช่นเดียวกับ BTCA ข้อได้เปรียบของ polymaleic acid คือ polymaleic acid สามารถหาได้ทางการค้า ราคาแข่งขันได้กับ DMDHEU ไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ และมีศักยภาพอย่างมีนัยสำคัญสำหรับปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายได้

เอกสารที่ถูกอ้างอิงในบทความงานวิจัย ในการใช้กรดพอลิคาร์บอกซิลิกพบอุปสรรคอย่างมากเมื่อเริ่มต้นทำการค้า คือ ปัญหาเรื่องคราบเหลืองและการเปลี่ยนแปลงเฉดสี ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่พยายาม แก้ไขการลดคราบเหลืองและการเปลี่ยนแปลงเฉดสี โดยใช้กรดพอลิคาร์บอกซิลิก ยกตัวอย่างเช่น การเติมเอทานอลามีน หรือ ไตรเอทานอลามีน เป็นต้น



รูปที่ 2.14 สูตรโครงสร้างโมเลกุลกรดมาเลอิก



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุ

##### 3.1.1. ผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าฝ้ายทอที่ผ่านการฟอกขาวและล้างให้สะอาดแล้วตัดให้มีขนาด 12×12 นิ้ว

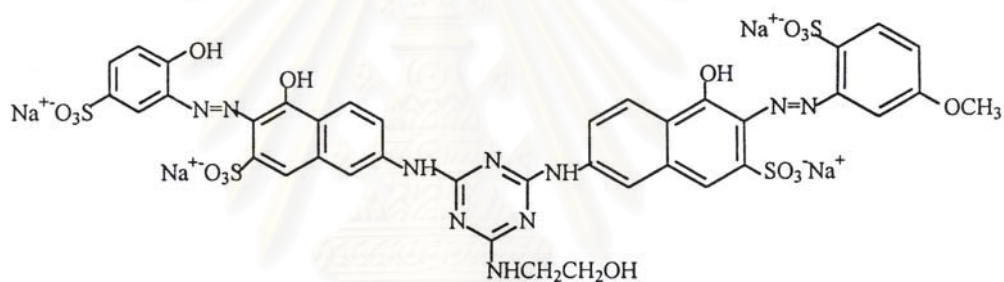
##### 3.1.2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารเคมีเกรดเคมีวิเคราะห์ (analytical grade) ยกเว้น มาเลอิกแอนไฮไดรด์และแอซิโตนที่เป็นเกรดทางการค้า (commercial grade) โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulphate) เป็นเกรดที่ใช้สำหรับการทดลอง และโซเดียมคลอไรด์(เกลือแกง)ซื้อได้ทั่วไป

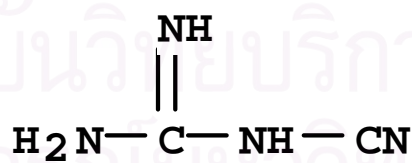
ตารางที่ 3.1 สารเคมีและบริษัทผู้ผลิตที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
เมทาคริลิก แอสิด (Methacrylic acid)	Fluka chemika
มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) เกรดทางการค้า	ไม่ระบุแหล่งผลิต
โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulphate)	May&Baker LTD. Dagenham
แอซิโตน (Acetone)	
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)	
C.I. Direct Red 243	Modern Dyestuffs and Pigments Ltd.
C.I. Direct Blue 200 (สูตรโครงสร้างไม่เปิดเผย)	Modern Dyestuffs and Pigments Ltd.

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
C.I. Direct Red 224	Modern Dyestuffs and Pigments Ltd.
ไดไซแอนไดเอไมด์ (Dicyandiamide)	Modern Dyestuffs and Pigments Ltd.
แอมโมเนีย (ammonia)	
โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)	
ผงซักฟอกมาตรฐาน (Standard soap)	



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของสี C.I. Direct Red 243 [9]



รูปที่ 3.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Dicyandiamide

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น/ขนาด	บริษัทผู้ผลิต
Dyeing Machine	Labtec	
Laboratory Padding Machine	TSUYII,Japan model	
Instrumental Color System Spectrophotometer	Macbeth Color-Eye 7000	
H.T. Minidryer Stenter		Labortex Co,Ltd

### 3.3 การสังเคราะห์เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ Methacrylic-maleic anhydride copolymer

ละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์และเมทาคริลิกแอซิด (ในอัตราส่วน 1:1 โดยโมล) ในแอซิโตน 100 มิลลิลิตร โดยใช้เมทาคริลิกแอซิดเป็นตัวกำหนดปริมาณ เทสสารละลายที่ได้ลงในขวดสามคอซึ่งต่อกับชุดกลั่นควบแน่น และเทอร์โมมิเตอร์ กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารค้อย ๆ ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตลงในปริมาณร้อยละ 2 เมื่อเทียบกับน้ำหนักของสารตั้งต้นทั้งหมดจากนั้นรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส จับเวลาต่อไปอีกประมาณ 20 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อครบกำหนดเวลา จึงนำพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของแข็งออกจากขวด ล้างด้วยแอซิโตน แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ ซึ่งสารที่เตรียมได้ จะนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิค NMR และ GPC ต่อไป และนำไปใช้ในการพ่นกสีย้อมต่อไป

### 3.4 การย้อมผ้าฝ้าย

ทำการย้อมผ้าฝ้ายที่ฟอกขาวแล้วด้วยวิธีการย้อมแบบแช่ (exhaust dyeing) ในเครื่องย้อมในห้องปฏิบัติการโดยย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243, C.I. Direct Blue 200 และ C.I. Direct Red 224 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 4 (เทียบกับน้ำหนักของผ้า,%o.w.f) อัตราส่วนระหว่างผ้าต่อน้ำสีค่าเป็น 1:15 ใช้โซเดียมคลอไรด์ 70 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ล้างผ้าที่ย้อมเสร็จแล้วด้วยน้ำธรรมดาจนกระทั่งเห็นน้ำล้างผ้าใส ตากผ้าให้แห้งเองในอากาศ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 profile การย้อมด้วยสีไดเรกต์



รูปที่ 3.4 เครื่องย้อม

### 3.5 การฝีกสีหลังการย้อมผ้าฝ้าย

นำผ้าที่ย้อมแล้วไปจุ่มอัดสารละลายเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ในเครื่องอัดรีด (pad mangle) ให้ได้ percent wet pick up 80% สูตรสารละลายเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ประกอบด้วย เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ (20-60 กรัมต่อลิตร) และไดไซแอนไดเอมาйд (10-30 กรัมต่อลิตร) pH เท่ากับ 7 ภายหลังจากอัดรีดน้ำยาเคมีเสร็จแล้วนำผ้าไปอบให้แห้งในเครื่อง mini stenter ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ต่อด้วยอบผนังที่เครื่องเดียวกันที่อุณหภูมิระหว่าง 150-170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นจึงนำผ้าไปทดสอบหาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





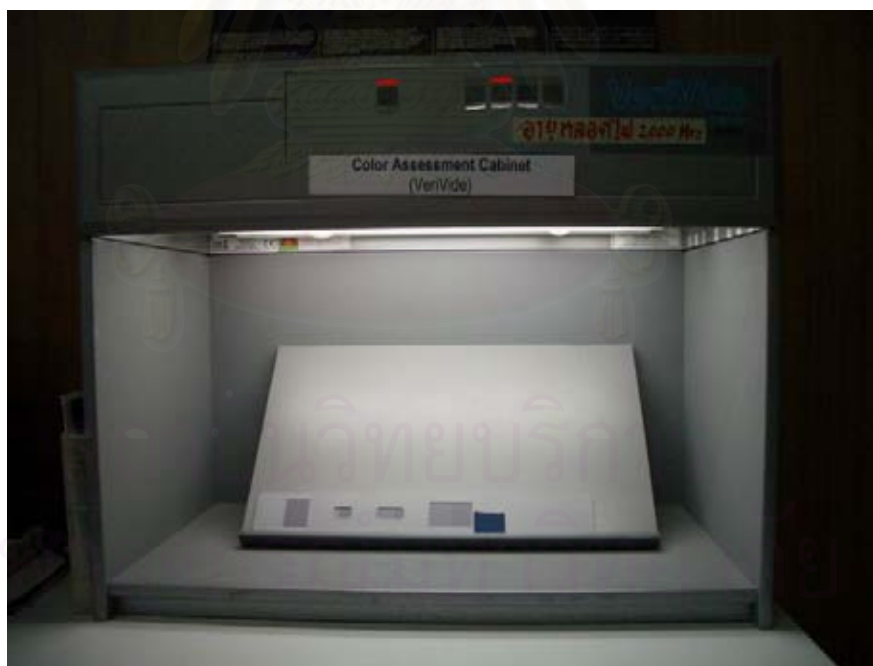
รูปที่ 3.5 เครื่อง Laboratory Padding Machine



รูปที่ 3.6 เครื่อง H.T. Minidryer Stenter

### 3.6 การทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง

ทดสอบความคงทนต่อการซักล้างตามมาตรฐาน ISO 105-C01:1989(E) Tests for colour fastness-Part C01:colour fastness to washing [10] และตามมาตรฐาน ISO 105-C03:1989(E) Tests for colour fastness-Part C03:colour fastness to washing [11] โดยเย็บชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ตัดให้ได้ขนาด 40 มิลลิเมตร× 100 มิลลิเมตร ติดกับผ้าฝ้ายสีชาวด้านใดด้านหนึ่ง สารละลายที่ใช้ซักล้างใช้อัตราส่วนผ้าต่อสารละลายค่าเป็น 1:50 ซึ่งสารละลายที่ใช้ซักล้างเตรียมโดยละลายผงซักฟอกมาตรฐาน 5 กรัมและแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนต 5 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร ก่อนจุ่มชิ้นทดสอบในสารละลายปรับอุณหภูมิสารละลายจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียสสำหรับมาตรฐาน ISO 105-C01 และ 60 องศาเซลเซียส สำหรับมาตรฐาน ISO 105-C03 และซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสสำหรับมาตรฐาน ISO 105-C01 และ 60 องศาเซลเซียส สำหรับมาตรฐาน ISO 105-C03 เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นแยกชิ้นทดสอบออกจากสารละลายที่ใช้ซักล้าง และเปิดน้ำให้ไหลผ่านชิ้นทดสอบเป็นเวลา 10 นาที และบีบน้ำที่เกินออกตากชิ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีของชิ้นทดสอบและรอยเปื้อนบนผ้าฝ้ายกับเกรย์สเกล



รูปที่ 3.7 เครื่อง Color Assessment Cabinet

### 3.7 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการอบผืนักด้วยสารเชื่อมขวาง

ทดสอบความทนแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 5035-95 (Standard test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics) [12] ด้วยเครื่อง Universal testing machine โดยใช้ Load cell ขนาด 5 กิโลนิวตัน อัตราเร็วในการดึง 300 มิลลิเมตร/นาที อุณหภูมิในการทดสอบ  $24 \pm 3$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์  $50 \pm 1$  เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.8 เครื่อง Universal Testing Machine

### 3.8 การทดสอบความคงทนต่อการยับของผ้าที่ผ่านการอบผืนัก

ทดสอบความทนต่อการยับตามมาตรฐาน AATCC Test Method 66 [13] ด้วยเครื่อง Crease Recovery Angle Tester ใช้แรงกดทับน้ำหนัก 500 กรัม เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิในการทดสอบ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส และความชื้น  $50 \pm 5$  เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้เวลาในการทำให้คืนตัว 1 นาที



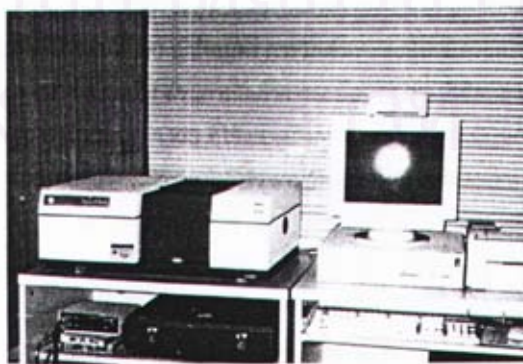
รูปที่ 3.9 เครื่อง Crease Recovery Angle Tester

### 3.9 การวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ของสารด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(FT-IR spectrophotometer)[6]

ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาว่ามีสารเคมีเกาะติดอยู่บนผ้าฝ้ายหรือไม่ อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กัน อย่างต่อเนื่องพร้อมกันหมด (simultaneously) ในขณะที่เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ธรรมดาวัดได้ที่ละความถี่ (sequentially) ดังนั้นการใช้เทคนิค fourier transform ช่วยให้การวิเคราะห์หรือการวัดสเปกตรัมทำได้อย่างรวดเร็วขึ้น การแยก (resolution) ก็ดีขึ้น หรือเป็นการทำให้ signal-to-noise ratio ดีขึ้นกว่าวิธีธรรมดา นอกจากนี้เอฟที-ไออาร์ยังช่วยให้การวิเคราะห์ง่ายและสะดวกขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและทำงาน

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่นิยมใช้วิเคราะห์ ตรวจสอบ และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสารทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สก็ได้ โดยโมเลกุลของสารจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดแล้วถูกกระตุ้น (excite) ให้เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สภาวะพื้น ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) หรือการหมุน (rotation) ซึ่งการสั่นของพันธะระหว่างอะตอมแต่ละคู่เกิดที่ความถี่แตกต่างกัน ทำให้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ในโมเลกุลได้ สเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคเอฟที-ไออาร์เป็นกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) กับค่าความถี่ (frequency) หรือความยาวคลื่น (wavelength)

ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคเอฟที-ไออาร์ เพื่อวิเคราะห์หาพันธะเชื่อมขวางหรือหมู่เอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของเซลลูโลสกับหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic group) ของโคพอลิเมอร์ โดยการดูดกลืนแสงของหมู่เอสเทอร์จะสังเกตได้ในช่วงความถี่  $1735-1750\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.10 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.10 การวัดหาความเข้มของเจดสีย้อมบนผ้า

วัดปริมาณสีย้อมที่ถูกผนึกด้วยเครื่อง Instrumental Color System spectrometer โดยบันทึกค่าการสะท้อน (reflectance value) ของสีตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร การวัดค่าการสะท้อนแสงของสีย้อมใช้ความยาวคลื่นสูงสุด 530 นาโนเมตร ค่า K/S ที่ใช้แสดงถึงความเข้มของสีย้อมบนผ้าทั้งก่อนและหลังการซักล้าง สามารถคำนวณได้จากสมการ Kubellka-Munk ดังนี้

$$K/S = (1-R)^2 / 2R$$

โดยค่า K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

S คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย

R คือ ค่าแสงสะท้อนของผ้าที่ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด

จากสมมติฐานที่ว่า ค่า K/S แปรผันตามความเข้มข้นของสีย้อมที่ติดบนผ้า ดังนั้น ปริมาณสีย้อมที่ถูกผนึก สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้

$$\text{ปริมาณการผนึกติดของสี} = \frac{K/S \text{ หลังการซักล้าง}}{K/S \text{ ก่อนการซักล้าง}} \times 100$$

K/S ก่อนการซักล้าง



รูปที่ 3.11 เครื่อง Instrumental Color System Spectrophotometer



### 3.11 Gel permeation chromatography (GPC)

หลักการของวิธีการนี้ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและแพร่หลายมากที่สุดในการหาน้ำหนักโมเลกุล คือจะใช้หลักการแยกโดยวิธี liquid chromatography (LC) แต่คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกจะถูกบรรจุด้วยวัสดุที่มีรูพรุน (porous packing materials) ซึ่งสามารถจะแยกคัตขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่กำลังไหลผ่านในคอลัมน์ บางครั้งวิธีการนี้เรียกว่า size exclusion chromatography เนื่องจากวัสดุที่ใช้บรรจุในคอลัมน์จะมีรูพรุนที่ผิว ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของวัสดุบรรจุคอลัมน์ (packing materials) ทำให้โมเลกุลขนาดเล็กมีเวลาอยู่ในคอลัมน์นานกว่า และถูกแยกออกมาช้ากว่าโมเลกุลขนาดใหญ่ สำหรับโมเลกุลขนาดใหญ่จะไม่มีโอกาสแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนเล็กของวัสดุบรรจุคอลัมน์ ทำให้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกแยกออกมาก่อน

วัสดุพรุนที่ใช้บรรจุคอลัมน์ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดค่อนข้างแข็งซึ่งทำจากพอลิสไตรีนที่มีโครงร่างแหกับ divinylbenzene และสามารถจะบวมตัวในตัวทำละลาย นอกจากนี้วัสดุพรุนอาจจะมีลักษณะเป็นเม็ดแข็งซึ่งทำจากแก้วหรือซิลิกา

เนื่องจากหลักการของ GPC จะใช้หลักของ liquid chromatography ดังนั้นในการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์หลังจากที่สารละลายพอลิเมอร์ได้ถูกแยกจากปลายคอลัมน์และถูกเก็บไว้เป็นส่วน ๆ จะใช้วิธีวิเคราะห์คล้ายกับที่ใช้ใน LC ทั่วไป คือใช้การวัดค่าดัชนีหักเห (refractive index) หรือใช้เทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสีอินฟราเรด จากนั้นตัววัดจะทำการพล็อตสัญญาณที่ได้ กับปริมาตรของสารละลายพอลิเมอร์เจือจางที่ผ่านคอลัมน์

ในการคำนวณหาค่าน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายพอลิเมอร์แต่ละส่วนที่ผ่านคอลัมน์นั้น เครื่องจะทำการเปรียบเทียบโครมาโตแกรมที่ได้กับโครมาโตแกรมของสารละลายพอลิเมอร์มาตรฐานที่รู้ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยในตัวทำละลายเดียวกันที่ผ่านคอลัมน์เหมือนกัน โครมาโตแกรมที่ใช้เปรียบเทียบนี้เรียกว่า โครมาโตแกรมอ้างอิง

จากการเก็บแต่ละส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ที่ผ่านออกมาที่ปลายคอลัมน์และเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าดัชนีหักเหกับสารละลายพอลิเมอร์อ้างอิงที่ทราบค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย จะทำให้ได้โครมาโตแกรมที่แสดงถึงสัญญาณที่ได้กับปริมาตรสารละลายที่ผ่านคอลัมน์แต่ละส่วน ในงานวิจัยนี้ใช้ในการหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโคพอลิเมอร์ โดยเครื่อง Gel permeation Chromatography, Waters 600E ใช้ตัวชะ (Eluent) คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M



รูปที่ 3.12 เครื่อง Gel permeation Chromatography

### 3.12 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)[14]

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี เทคนิคนี้สามารถใช้ในการบ่งบอกโครงสร้างโมเลกุล ทำให้เราทราบถึงรายละเอียดของสายโซ่พอลิเมอร์และพอลิเมอร์รวม ลักษณะการจัดเรียงตัวในโครงสร้างพอลิเมอร์ สภาวะทรานสิชันของพอลิเมอร์ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง นอกจากนี้ NMR ยังสามารถให้ข้อมูลซึ่งใช้ในการบ่งชี้โครงสร้างที่ได้จากการก่อตัวในขณะที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้เราสามารถทราบถึงรายละเอียดเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยา บางครั้งเราสามารถใช้นี้สำหรับ การวิเคราะห์หมู่สายปลายสายโซ่ เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ได้อีกด้วย

NMR สเปกโทรสโคปีจะเกี่ยวข้องกับการตรวจวัดการดูดกลืนและการเปล่งแสงของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จากการกระตุ้นสภาวะทรานสิชันระหว่างระดับพลังงานต่าง ๆ ในระบบซึ่งเราทำการตรวจสอบ เนื่องจากระดับพลังงานต่าง ๆ จะได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมของนิวเคลียสไอ ทำให้สเปกตรัมที่ได้สามารถบ่งบอกทั้งปริมาณและคุณภาพของธรรมชาติทางเคมีของแรงกระทำระหว่างอะตอมของสาร เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำต่ออะตอมนั้น ระดับพลังงานชั้นในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแรงกระทำที่เกิดเนื่องจากการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้นิวเคลียสเกิดการหมุนรอบตัวเองหรือเรียกว่า นิวเคลียร์สปิน ผลดังกล่าวทำให้ NMR มีค่าสูงขึ้นเราจะพบว่าอะตอมหรือไอโซโทปซึ่งนิวเคลียสประกอบด้วยจำนวนโปรตอนหรือนิวตรอน เป็นเลขคี่จะมีนิวเคลียร์สปินและทำให้เราสามารถตรวจวัดสัญญาณด้วย NMR ได้ ขณะที่อะตอมหรือไอโซโทปซึ่งประกอบด้วยจำนวนโปรตอนหรือนิวตรอนเป็นเลขคู่จะมีสปินเป็นศูนย์จึงไม่สามารถตรวจวัดโดยเครื่อง NMR

นิวเคลียร์สปินสามารถชี้เฉพาะด้วยเลขควอนตัมของนิวเคลียร์สปินซึ่งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ บางครั้งมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม หรือบางครั้งอาจเป็นเศษส่วนก็ได้ สำหรับสารพอลิเมอร์ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ค่า  $^1\text{H}$ (โปรตอน-NMR) เนื่องจากมีความเข้มข้นของสัญญาณค่อนข้างสูง ในโปรตอน-NMR ข้อมูลที่เป็นผลจากการเรโซแนนซ์คู่ควบของโปรตอนบนคาร์บอน

อะตอมข้างเคียง จะมีผลทำให้เกิดการแยกของเรโซแนนซ์ของสารออกเป็นพีค จำนวน  $n_2+1$  พีค เมื่อ  $n_2$  คือจำนวนโปรตอนในอะตอมข้างเคียง

ความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) ของนิวเคลียสแต่ละชนิดเป็นส่วนโดยตรงกับสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อนิวเคลียส สนามแม่เหล็กนี้เป็นผลรวมของสนามแม่เหล็กภายนอกและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากอะตอมข้างเคียงและพันธะของโมเลกุลที่นิวเคลียสนั้นอาศัยอยู่ สนามแม่เหล็กซึ่งเกิดจากการหมุนของอิเล็กตรอนในพันธะข้างเคียงเป็นสาเหตุหลักในการเกิดความแตกต่างของความถี่เรโซแนนซ์ของอะตอมต่าง ๆ ในโมเลกุล ความแตกต่างของความถี่เรโซแนนซ์ก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมี (chemical shift) การเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมีของโปรตอนขึ้นอยู่กับชนิด ระยะเวลา และมุมของพันธะข้างเคียง ดังนั้นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมีของโปรตอนขึ้นอยู่กับชนิด ระยะเวลา และมุมของพันธะข้างเคียง ดังนั้นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมีจึงเป็นข้อมูลที่ใช้บ่งบอกลักษณะเฉพาะตัวของหมู่ฟังก์ชันแต่ละหมู่ และยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ดีในการบ่งชี้พอลิเมอร์ตัวอย่าง การเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมีจะถูกวัดออกมาในรูปของตัวเลขไร้หน่วย ความเกี่ยวพันระหว่างสิ่งแวดล้อมทางเคมีและการเคลื่อนย้ายตำแหน่งทางเคมีของโปรตอน-NMR



รูปที่ 3.13 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมและวิเคราะห์โครงสร้างของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์

ในการทดลองนี้ได้ทำการสังเคราะห์เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์จากเมทาคริลิกมอนอเมอร์ และ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยจะใช้สัดส่วนระหว่าง เมทาคริลิกมอนอเมอร์ และ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ คือ 1 : 1 โดยโมล การสังเคราะห์จะอาศัยเทคนิคการสังเคราะห์แบบ solution polymerization ตัวเริ่มที่ใช้ คือ โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (2 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักของมอนอเมอร์) ทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีหลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาทำการแยกโคพอลิเมอร์ โดย ตกตะกอนในเอซีโตน แล้วกรอง และทำการชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ยิลด์ ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ยิลด์โดยเฉลี่ยประมาณ 84.98%w/w โคพอลิเมอร์ที่ได้เป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์

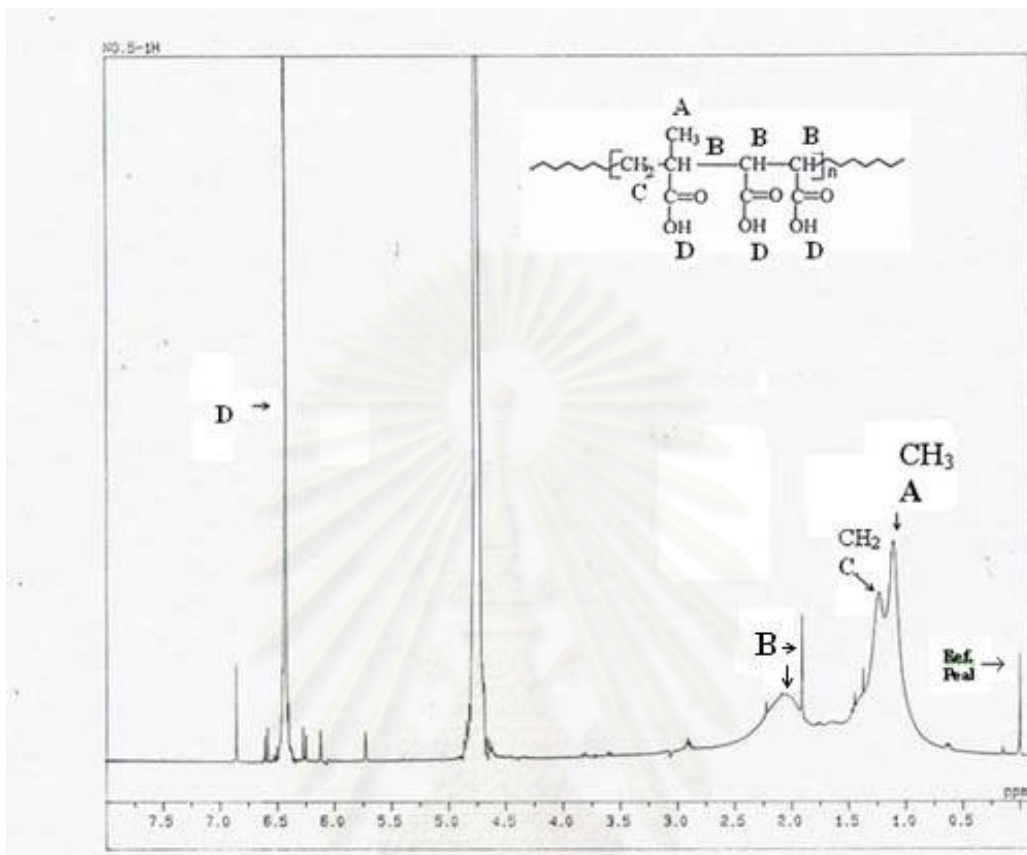
#### 4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

โคพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นมาได้ ได้นำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์โดยวิเคราะห์ลักษณะการเกิดเรโซแนนซ์ของโปรตอนใน สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลัง 10000 Hz ตัวอย่างของแข็งจะเตรียมในรูปของสารละลายในตัวทำ ละลาย  $\text{D}_2\text{O}$  ก่อนนำไปวิเคราะห์ สเปกตรัมของโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ได้แสดงให้เห็นในรูป 4.2 จาก สเปกตรัมพบว่า มีพีคที่สำคัญที่ chemical shifts ที่  $\sim 1$  ppm,  $\sim 1.3$  ppm,  $\sim 2.0$  ppm และ  $\sim 6.5$  ppm และเมื่อเทียบกับโครงสร้างโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ ตำแหน่งของ chemical shifts เหล่านี้ น่าจะมีความสอดคล้องกับหมู่โปรตอนดังต่อไปนี้

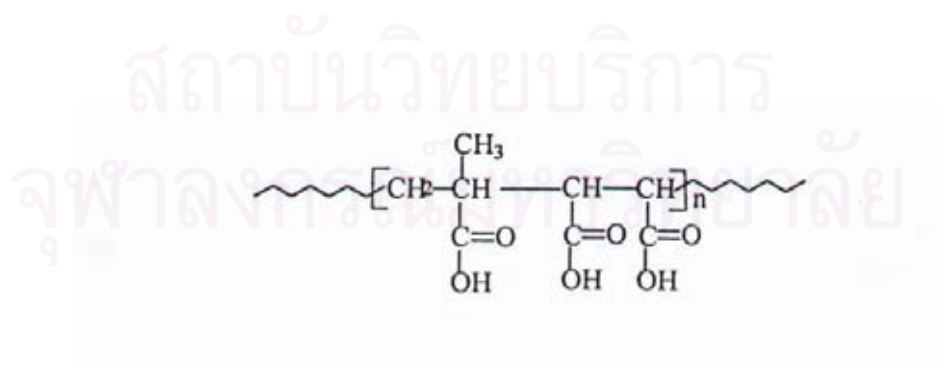
- chemical shifts ที่ตำแหน่ง  $\sim 1$  ppm มีความสอดคล้องกับโปรตอนในตำแหน่ง A ซึ่ง คือ เมทิลโปรตอน ( $-\text{CH}_3$ ) ทั้งนี้เพราะโปรตอนในตำแหน่งนี้จะเกิดเรโซแนนซ์กับคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าใกล้กับตำแหน่ง 0 ppm มากที่สุด
- chemical shifts ที่ตำแหน่ง  $\sim 2$  ppm มีความสอดคล้องกับโปรตอนในตำแหน่ง B ซึ่ง คือ เมทิลลีนโปรตอน ( $-\text{CH}-$ )
- chemical shifts ที่ตำแหน่ง  $\sim 1.3$  ppm มีความสอดคล้องกับโปรตอนในตำแหน่ง C ซึ่ง คือ เมทิลลีนโปรตอน ( $-\text{CH}_2$ )
- chemical shifts ที่ตำแหน่ง  $\sim 6.5$  ppm มีความสอดคล้องกับโปรตอนในตำแหน่ง D ซึ่ง คือ ไฮดรอกซิลโปรตอน ( $-\text{OH}$ ) ซึ่งเป็นโปรตอนที่เกิดเรโซแนนซ์กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าห่างจาก ตำแหน่ง 0 ppm มากที่สุด

ดังนั้นจากสเปกตรัม  $^1\text{H-NMR}$  จึงพอจะยืนยันได้ว่าโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ คือ เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์





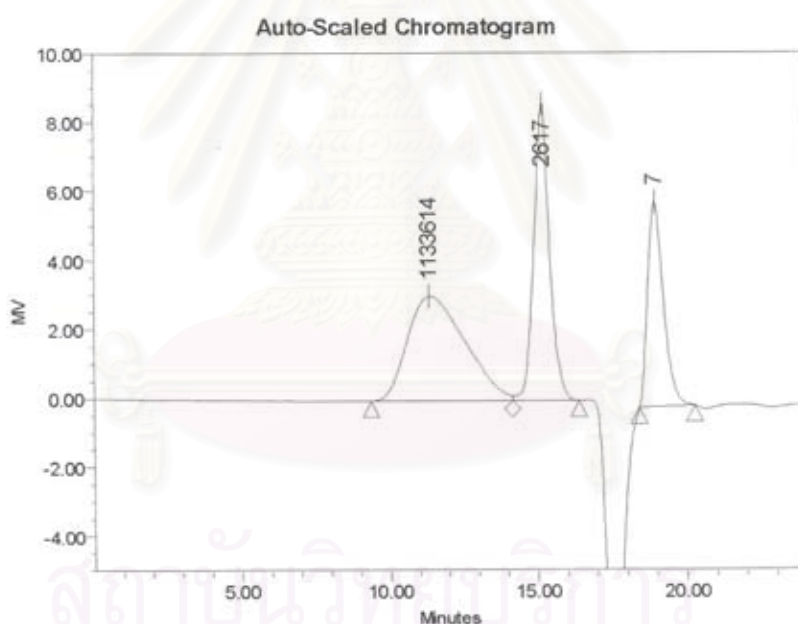
รูปที่ 4.2 สเปกตรัม <sup>1</sup>H-NMR ของโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ ในตัวทำละลาย D<sub>2</sub>O



รูปที่ 4.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์

### 4.3 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC

นอกจากนี้ยังนำโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ไปหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วยเทคนิค gel permeation chromatography หรือ size exclusion chromatography column set คือ Ultrahydrogel linear 1 column Polymer standard คือ polysaccharide standard kits และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M เป็นตัวพา โครมาโตแกรมที่ได้จะแสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 และแสดงน้ำหนักโมเลกุลไว้ในตารางที่ 4.1 จากรูปจะพบค่าน้ำหนักโมเลกุลแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ Peak ที่ 1 (Peak 2) น้ำหนักโมเลกุล ณ จุดยอด peak (Mp) เท่ากับ  $1.13 \times 10^6$  ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าและออกจากคอลัมน์เร็วกว่า Peak ที่ 2 (Broad) น้ำหนักโมเลกุล ณ จุดยอด peak (Mp) เท่ากับ  $2.62 \times 10^3$  เนื่องจากขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าไม่มีโอกาสแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนเล็กของวัสดุบรรจุคอลัมน์ ส่วนพีคที่ 3 เป็นพีคอ้างอิง



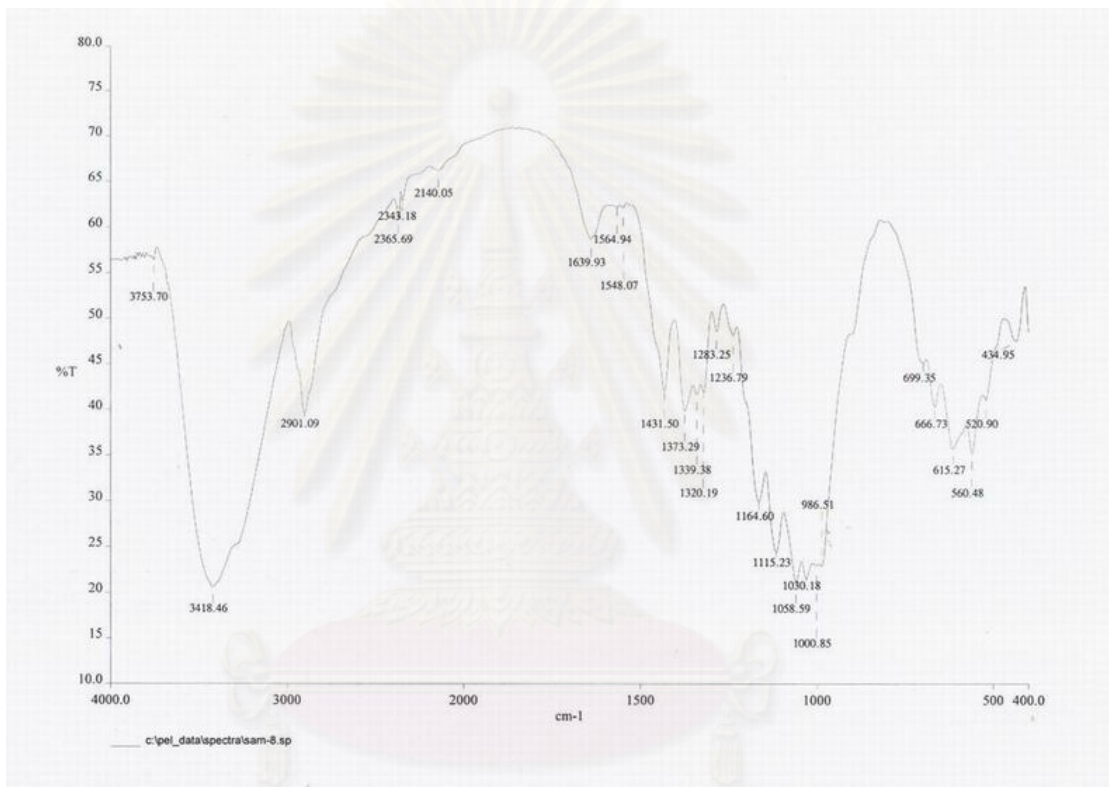
รูปที่ 4.4 ภาพโครมาโตแกรมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC ของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์  
โคพอลิเมอร์

ตารางที่ 4.1 ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ซึ่งวิเคราะห์โดยเทคนิค GPC

Peak	ชื่อ	Mw	Mp
1	Peak 2	$1.39 \times 10^6$	$1.13 \times 10^6$
2	Broad	$2.90 \times 10^3$	$2.62 \times 10^3$
3	Reference		7

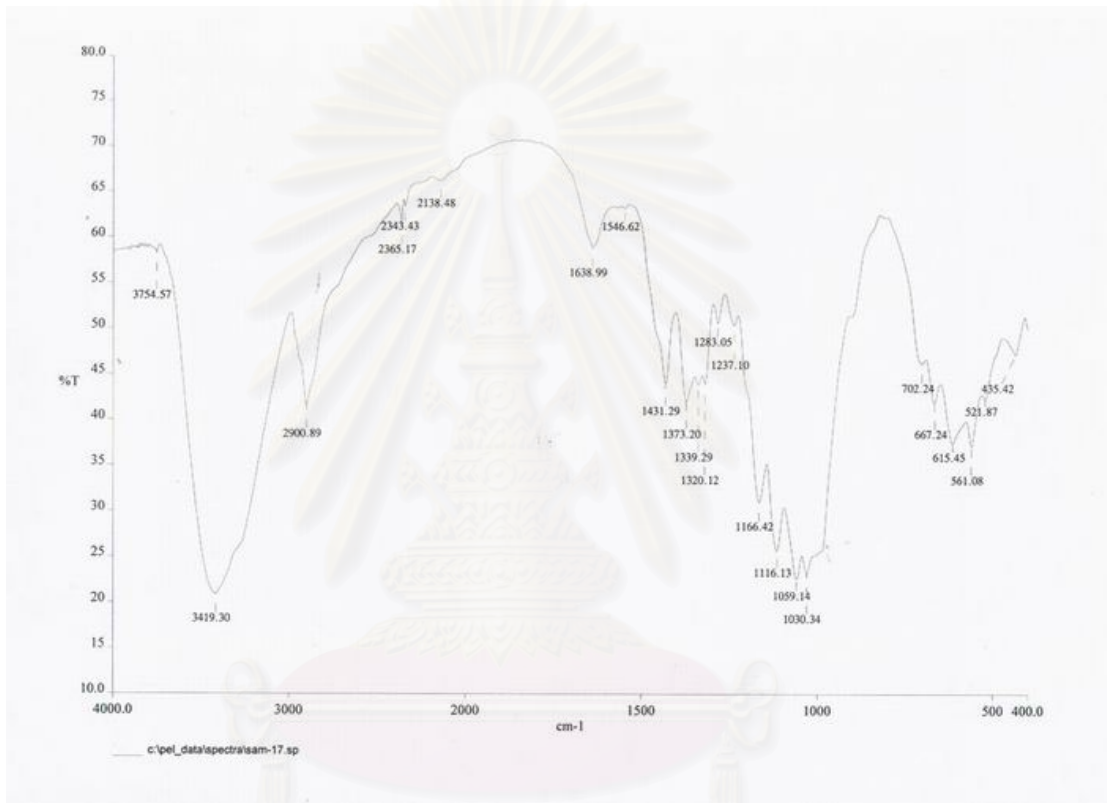
#### 4.4 การวิเคราะห์กลไกการพ่นึกของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ลงบนเซลลูโลสด้วยเทคนิค FT-IR

หลักการการพ่นึกสีไดเรกต์ด้วย เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์จะอาศัยการกักขังสีไดเรกต์ไว้ในตาข่ายร่างแหประจุลบ (anionic group containing crosslinked network) กลไกการสร้างตาข่ายร่างแหเพื่อคดุมสีไดเรกต์ไว้ในเส้นใยเซลลูโลสจะใช้ปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (crosslinking reaction) ของกรดพอลิคาร์บอกซิลิกกับสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดจะสามารถทำปฏิกิริยา esterification กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา คือ dicyandiamide เพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งสามารถสังเกตเห็นหมู่เอสเทอร์ในช่วงความถี่  $1723 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกว่ามีหมู่เอสเทอร์เกิดขึ้นจากรูปที่ 4.7 ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการพ่นึก 170 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ 60 กรัมต่อลิตร ปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร ส่วน FTIR สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีที่ผ่านการพ่นึกที่ปริมาณโคพอลิเมอร์ 60 กรัมต่อลิตร ปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสไม่สามารถสังเกตเห็นคาร์บอนิลพิกในช่วงความถี่ดังกล่าว เนื่องจากหมู่เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยเกินกว่าที่เครื่อง FTIR จะตรวจวัดได้ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิในการพ่นึกน้อยกว่า 170 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและผืนักด้วยโคพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการผืนัก 150 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร

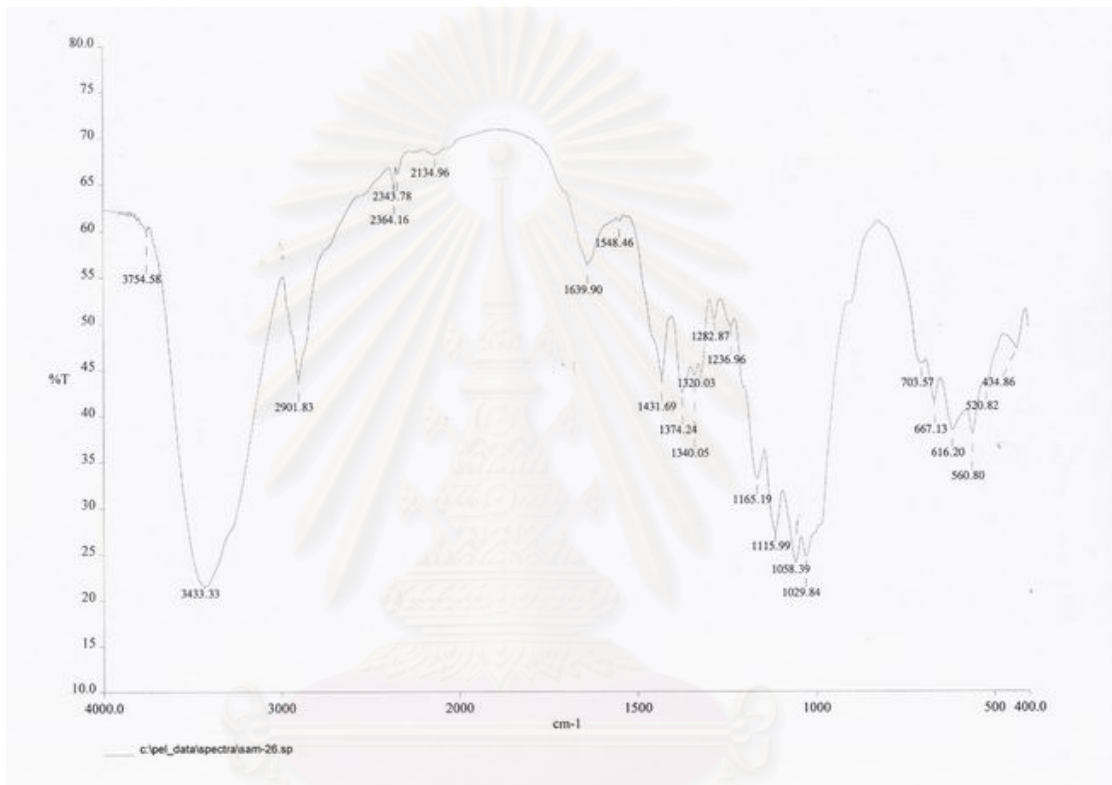
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและฝีนกด้วยโคพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการฝีนก 160 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

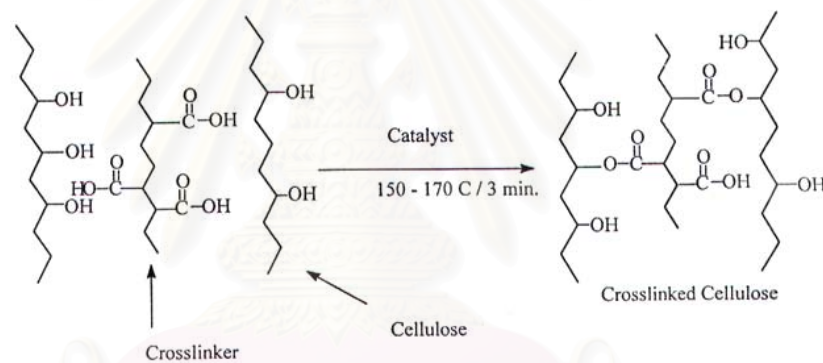




รูปที่ 4.7 FTIR สเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการย้อมและฝืนักด้วยโคพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการฝืนัก 170 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตร และปริมาณตัวเร่ง 20 กรัมต่อลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจำลองกลไกการสร้างตาข่ายร่างแหสามารถแสดงดังไดอะแกรมภาพและภายหลังจากได้ตาข่ายร่างแหแล้วก็จะทำให้สียไดเรกต์ถูกกักขังไว้ในเส้นใยเซลลูโลส และนอกจากนี้ยังมีหมู่คาร์บอกซิลิกที่หลงเหลืออยู่ จึงทำหน้าที่เสมือนกำแพงประจุลบ จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการกันสีย้อมซึ่งมีประจุลบไม่ให้แพร่ออกมาจากตาข่ายร่างแหในขั้นตอนของการซักล้าง ดังนั้นจึงคาดว่ากรรมวิธีนี้สียไดเรกต์ด้วยวิธีนี้จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักล้างได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับสารเคมีฟีนิกสีที่มีขายอยู่ในปัจจุบันดังแสดงรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมแสดงกลไกการสร้างตาข่ายร่างแห

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5 การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง

##### 4.5.1. ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ผนึกต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้างของสีไดเร็กต์

ผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีไดเร็กต์สามสีคือ C.I. Direct Red 243, C.I. Direct Blue 200 และ C.I. Direct Red 224 ได้ถูกนำไปผนึกโดยอาศัย เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ และใช้วิธีการผนึกแบบ pad-dry-cure ที่อุณหภูมิระหว่าง 150-170 องศาเซลเซียสและใช้ไดไซแอนไดเอมาดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางกับเส้นใยเซลลูโลสทำให้สีไดเร็กต์ถูกกักขังไว้ภายในโครงสร้างของเซลลูโลสได้ดีขึ้นภายหลังการอบผนึกได้ทำการทดสอบความคงทนของสีไดเร็กต์ต่อการซักล้างตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 150-C03 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 4.2 4.4

##### 4.5.1.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลความเข้มข้นของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ต่อความคงทนต่อการซักล้างของสีเมื่อกำหนดให้ในแต่ละตารางปริมาณของตัวเร่ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการผนึกคงที่โดยปริมาณตัวเร่งที่ใช้ 10,20,30 กรัมต่อลิตรและอุณหภูมิที่ใช้ในการผนึก 150,160,170 องศาเซลเซียส พบว่าผ้าย้อมสีไดเร็กต์ทั้งสามสีถ้าไม่ผ่านการอบผนึกด้วยสารเชื่อมขวางจะได้ค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสี (color change) เท่ากับ 1 และค่าระดับการเปื้อนสี (color stain) เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในระดับการเทียบสีด้วยเกรย์สเกลและแสดงว่าผ้าที่ทดสอบไม่ทนต่อการซักล้าง สำหรับผ้าที่ผ่านการอบผนึกด้วยสารเชื่อมขวางจะพบว่าจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสีเมื่อเทียบกับเกรย์สเกลอยู่ในระดับ 3 และค่าระดับการเปื้อนสีอยู่ในระดับ 3 ค่าที่สูงขึ้นแสดงว่าความแตกต่างระหว่างเฉดสีก่อนและหลังซักต่างกันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าจากเกรย์สเกลที่ต่ำกว่าแสดงว่าสีไดเร็กต์สามารถทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น เหตุผลที่ทำให้สีไดเร็กต์ทนต่อการซักล้างดีขึ้นเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่า สารเชื่อมขวางสามารถเกิดโครงร่างตาข่ายทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีน้อยลง จึงทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแพร่ออกของโมเลกุลของสีไดเร็กต์ในขณะทำการทดสอบการซักล้าง ดังนั้นจึงเป็นผลให้สีทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น สรุปจากตาราง 4.2 ได้ทำการศึกษาผลของ

ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางจาก 20,40 และ 60 กรัมต่อลิตรไม่ได้ให้ผลความแตกต่างในการเพิ่มความสามารถในการกักขังสีทั้งสามตัว

ตารางที่ 4.2 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความคงทนต่อการซักล้างโดยใช้ตัวเร่ง 10-30 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิที่ใช้ผืนัก 150 170 °C

ความเข้มข้น ของโคพอลิ เมอร์ (g/l)	ความคงทนต่อการซักล้างที่ 40 °C						ความคงทนต่อการซักล้างที่ 60 °C					
	Color change			Staining			Color change			Staining		
	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR
	200	243	224	200	243	224	200	243	224	200	224	243
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
60	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

#### 4.5.1.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ dicyandiamide ต่อความคงทนต่อการซักล้างของสีเมื่อกำหนดให้ในแต่ละตารางปริมาณของโคพอลิเมอร์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนักคงที่โดยปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ใช้ 20,40,60 กรัมต่อลิตรและอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนัก 150,160,170 องศาเซลเซียส พบว่าผ้าย้อมสีไดเร็กต์ทั้งสามสีถ้าไม่ผ่านการอบผืนักด้วยสารเชื่อมขวางจะได้ค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสี (color change) เท่ากับ 1 และค่าระดับการเปื้อนสี (color stain) เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในระดับการเทียบสีด้วยเกรย์สเกลและแสดงว่าผ้าที่ทดสอบไม่ทนต่อการซักล้าง สำหรับผ้าที่ผ่านการอบผืนักด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผืนักที่ 10, 20 และ 30 กรัมต่อลิตรจะพบว่าจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสีเมื่อเทียบกับเกรย์สเกลอยู่ในระดับ 3 และค่าระดับการเปื้อนสีอยู่ในระดับ 3 ค่าที่สูงขึ้นแสดงว่าความแตกต่างระหว่างเจดสีก่อนและหลังซักต่างกันน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าจากเกรย์สเกลที่ต่ำกว่าแสดงว่าสีไดเร็กต์สามารถทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น แต่การผืนักความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาก็ไม่ได้ให้ผลความแตกต่างในการเพิ่มความสามารถในการกักขังสีทั้งสามตัวเมื่อพิจารณาจากเกรย์สเกล

หน้าที่ของ dicyandiamide คือใช้ในการกำจัดน้ำ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาเชื่อมขวางของโคพอลิเมอร์จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดขึ้นได้ดี ส่งผลให้มีโครงร่างตาข่ายเพียงพอที่จะกักขังสีไดเร็กต์เอาไว้ได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณสาร dicyandiamide นั้นไม่พบว่าสามารถทำให้ประสิทธิภาพการกักขังของสีดีขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ที่ช่องว่างของโครงร่างตาข่ายไม่เล็กพอที่จะกักขังโมเลกุลของสีไดเร็กต์ได้อย่างสมบูรณ์ และการเพิ่มปริมาณ dicyandiamide ไม่ได้ช่วยทำให้เกิดเป็นร่างแหที่ดีขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพการกักขังจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และในการทดลองไม่สามารถใช้ dicyandiamide เกิน 30 กรัมต่อลิตรได้เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการละลาย

ตารางที่ 4.3 ผลความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อโคพอลิเมอร์ 20, 40, 60 g/l ที่อุณหภูมิผืนึก 150-170 °C

ความเข้มข้น ของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (g/l)	ความคงทนต่อการซักล้างที่ 40 °C						ความคงทนต่อการซักล้างที่ 60 °C					
	Color change			Staining			Color change			Staining		
	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR
200	243	224	200	243	224	200	243	224	200	224	243	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

#### 4.5.1.3 ผลอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนึกโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนึกต่อความคงทนต่อการซักล้างของสีเมื่อกำหนดให้ในแต่ละตารางปริมาณของโคพอลิเมอร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผืนึกคงที่โดยปริมาณโคพอลิเมอร์ที่ใช้ 20,40,60 กรัมต่อลิตรและตัวเร่งปฏิกิริยา 10,20 และ 30 กรัมต่อลิตร พบว่าผ้าย้อมสีไดเร็กต์ทั้งสามสีถ้าไม่ผ่านการอบผืนึกด้วยสารเชื่อมขวางจะได้ค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสี (color change) เท่ากับ 1 และค่าระดับการเปื้อนสี (color stain) เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในระดับการเทียบสีด้วยเกรย์สเกลและแสดงว่าผ้าที่ทดสอบไม่ทนต่อการซักล้าง สำหรับผ้าที่ผืนแปรอุณหภูมิในการอบผืนึก 150, 160,170 องศาเซลเซียสเมื่อกำหนดให้ปริมาณโคพอลิเมอร์และปริมาณตัวเร่ง



ปฏิกิริยาที่พบว่าจะได้ค่าระดับการเปลี่ยนสีเมื่อเทียบกับเกรย์สเกลอยู่ในระดับ 3 และค่าระดับการเปลี่ยนสีอยู่ในระดับ 3 ค่าที่สูงขึ้นแสดงว่าความแตกต่างระหว่างเฉดสีก่อนและหลังซักต่างกัน น้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าจากเกรย์สเกลที่ต่ำกว่าแสดงว่าสีไดเรกต์สามารถทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น แต่การผันแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนก็ไม่ได้ให้ผลความแตกต่างในการเพิ่มความสามารถในการกักขังสีทั้งสามตัวเมื่อพิจารณาจากเกรย์สเกล แสดงว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ได้ช่วยให้เกิดการเชื่อมขวางได้มากขึ้น หรือทำให้ได้โครงร่างตาข่ายที่ถี่ขึ้นได้ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงในการผืนจึงไม่มีความจำเป็น และอาจจะส่งผลต่อการสูญเสียสมบัติความแข็งแรงของผ้าได้

ตารางที่ 4.4 ผลอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนต่อความคงทนต่อการซักล้างใช้โคพอลิเมอร์ 20, 40, 60 g/l ปริมาณตัวเร่ง 10-30 g/l

อุณหภูมิที่ใช้ ในการผืน (°C)	ความคงทนต่อการซักล้างที่ 40 °C						ความคงทนต่อการซักล้างที่ 60 °C					
	Color change			Staining			Color change			Staining		
	C.I. DB 200	C.I. DR 243	C.I. DR 224	C.I. DB 200	C.I. DR 243	C.I. DR 224	C.I. DB 200	C.I. DR 243	C.I. DR 224	C.I. DB 200	C.I. DR 224	C.I. DR 243
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

อย่างไรก็ตามการประเมินผลการทดสอบการซักล้างโดยใช้เกรย์สเกล color change และ staining change ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญพอสมควรในการประเมินผลดังรูปที่ 4.9-4.11 แสดงผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรย์สเกลของ color change และ ระดับการเปลี่ยนสี staining ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียสของสี C.I. Direct Blue 200, สี C.I. Direct Red 243 และ สี C.I. Direct Red 224 ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อเลือกภาวะที่เหมาะสมซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่ใช้ในการผืนสี จึงพิจารณาร้อยละการผืนสีสัมพัทธ์ต่อไป

ในรูปที่ 4.9-4.11 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่าผ้าย้อมสีไดเรกต์ที่ผ่านการผืนสีด้วยโคพอลิเมอร์จะทำให้สีเปลี่ยนภายหลังการซักล้างน้อยกว่าผ้าย้อมที่ไม่ผ่านการอบผืน และเกิดการตกสีน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์จาก 20 กรัมต่อลิตรเป็น 60 กรัมต่อลิตร หรือการเพิ่มอุณหภูมิการอบผืนจาก 150 °C เป็น 170 °C

พบว่าไม่ส่งผลต่อการเพิ่มความคงทนต่อการซักล้างของสีแต่อย่างใด ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น

Wash Fastness	Color Change				Staining				
	Crosslinker	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l
Fixation Temp									
150 °C									
160 °C									
170 °C									

รูปที่ 4.9 รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรย์สเกลของ Color Change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Blue 200 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส

Wash Fastness	Color Change				Staining				
	Crosslinker	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l
Fixation Temp									
		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
150 °C		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
160 °C		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
170 °C		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

รูปที่ 4.10 รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรดของ Color Change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Red 243 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wash Fastness	Color Change				Staining			
	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l	0 g/l	20 g/l	40 g/l	60 g/l
Fixation Temp								
	Red				Light Pink			
150 °C		Red	Red	Red		Light Pink	Light Pink	Light Pink
160 °C		Red	Red	Red		Light Pink	Light Pink	Light Pink
170 °C		Red	Red	Red		Light Pink	Light Pink	Light Pink

รูปที่ 4.11 รูปผลการทดสอบความคงทนต่อการซักล้างโดยการประเมินเกรย์สเกลของ Color Change และ ระดับการเปื้อนสี staining ของสี C.I. Direct Red 224 ที่อุณหภูมิการซักล้าง 40 องศาเซลเซียส

#### 4.5.2. การคำนวณหาร้อยละของการฟีนิกของสี

จากการประเมินความคงทนของสีต่อการซักล้างโดยอาศัยเกรย์สเกลนั้นมีความคลาดเคลื่อนได้ค่อนข้างมาก และแทบไม่พบความแตกต่างของผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ อุณหภูมิอบฟีนิก และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อหาความคงทนของสีต่อการซักล้างออกมาเป็นตัวเลข จึงได้ทำการวัดหาค่าความเข้มของสีของผ้า (K/S) ด้วยเครื่องวัดสี ผ้าที่ผ่านการอบฟีนิกและผ้าที่อบฟีนิกแล้วผ่านการซักล้างจะถูกนำไปวัดหาความเข้มของสี ค่าที่วัดได้จะถูกนำไปคำนวณตามสมการข้างล่าง ผลที่ได้คือค่าร้อยละของการฟีนิกติดของสีย้อม

$$\text{ร้อยละการฟีนิกติดของสีย้อม} = \frac{\text{K/S ของผ้าหลังการซักล้าง} \times 100}{\text{K/S ของผ้าก่อนการซักล้าง}}$$

ผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีไดเร็กต์สามสีคือ C.I. Direct Red 243, C.I. Direct Blue 200 และ C.I. Direct Red 224 ที่ผ่านการฟีนิกโดยอาศัยเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ 20,40,60 กรัมต่อลิตรโดยฟีนิกแบบ pad-dry-cure ใช้ไดโซแอนโดเอมายด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 10,20,30 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิระหว่าง 150,160,170 องศาเซลเซียส ภายหลังการอบฟีนิกได้ทำการทดสอบความคงทนของสีไดเร็กต์ต่อการซักล้างตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 150-C03 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบซึ่งแสดงเป็นค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์แสดงไว้ในตารางที่ 4.5-4.7 จากการทดลองพบว่าค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์หลังจากซักล้างที่ 40 องศาเซลเซียส ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I.DB 200 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 83.76 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I.DR 243 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.04 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I. DR 224 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.75 ซึ่งมีค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์ต่ำกว่า ผ้าที่ผ่านการฟีนิกด้วยโคพอลิเมอร์ทุกค่าแสดงว่าผ้าที่ผ่านการฟีนิกสามารถทำให้สีคงทนต่อการซักล้าง ส่วนค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์หลังจากซักล้างที่ 60 องศาเซลเซียส ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I.DB 200 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.76 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I.DR 243 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 79.10 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I. DR 224 ที่ไม่ผ่านการฟีนิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 88.18 ซึ่งมีค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์ต่ำกว่า ผ้าที่ผ่านการฟีนิกด้วยโคพอลิเมอร์ทุกค่าแสดงว่าผ้าที่ผ่านการฟีนิกสามารถทำให้สีคงทนต่อการซักล้าง



#### 4.5.2.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์

จากตารางที่ 4.5-4.7 เป็นผลของความเข้มข้นของเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ต่อร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์ของฝ้ายอมที่ผ่านการพ่นสีเมื่อกำหนดให้แต่ละตารางปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่ใช้ในการพ่นสีพบว่าโดยรวมความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ที่ 60 กรัมต่อลิตรจะให้ค่าร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์มีค่าสูงกว่าเมื่อความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20 และ 40 กรัมต่อลิตร ดังนั้นจากร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์ภาวะที่เหมาะสมต่อความคงทนต่อการซักล้างคือปริมาณโคพอลิเมอร์ 60 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C

ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ (g/l)	อุณหภูมิที่ใช้ในการพ่นสี (องศาเซลเซียส)	ร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิซักล้าง 40 (°C)			ร้อยละการพ่นสีสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิซักล้าง 60 (°C)		
		C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR
		200	243	224	200	243	224
20	150	93.65	94.77	102.72	81.25	82.39	99.19
	160	95.90	97.02	101.05	91.77	91.90	92.54
	170	93.53	97.30	100.85	90.72	93.75	99.24
40	150	96.62	93.25	103.87	89.66	85.11	96.02
	160	96.10	97.88	99.55	96.01	87.00	98.86
	170	100.18	98.01	101.90	101.33	92.42	100.16
60	150	96.99	97.94	101.43	97.90	88.03	99.38
	160	94.80	97.26	101.95	96.33	88.60	100.23
	170	98.28	96.95	101.78	100.30	93.61	100.43

ตารางที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C

ความเข้มข้นของ โคพอลิเมอร์ (g/l)	อุณหภูมิที่ใช้ใน การพ่น (องศา เซลเซียส)	ร้อยละการพ่นที่สัมพัทธ์ที่ อุณหภูมิชักล่าง 40 (°C)			ร้อยละการพ่นที่สัมพัทธ์ที่ อุณหภูมิชักล่าง 60 (°C)		
		C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR
		200	243	224	200	243	224
20	150	95.96	94.24	102.82	87.84	83.10	97.88
	160	98.19	98.80	99.60	86.94	93.60	94.08
	170	100.41	98.96	102.38	97.47	93.32	101.10
40	150	95.53	98.95	100.40	91.86	86.31	97.48
	160	98.09	100.08	99.82	102.30	92.27	98.37
	170	99.08	98.94	101.17	94.19	92.32	101.14
60	150	97.00	99.64	100.84	92.88	90.78	99.08
	160	100.04	94.92	100.65	95.27	92.69	98.35
	170	98.11	93.91	102.97	102.36	92.47	104.38

ตารางที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ 150-170 °C

ความเข้มข้นของ โคพอลิเมอร์ (g/l)	อุณหภูมิที่ใช้ใน การพ่น (องศา เซลเซียส)	ร้อยละการพ่นที่สัมพัทธ์ที่ อุณหภูมิชักล่าง 40 (°C)			ร้อยละการพ่นที่สัมพัทธ์ที่ อุณหภูมิชักล่าง 60 (°C)		
		C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR	C.I. DB	C.I. DR	C.I. DR
		200	243	224	200	243	224
20	150	95.61	97.72	102.94	88.95	84.18	99.73
	160	99.80	100.95	98.91	87.65	88.62	104.36
	170	91.39	98.79	101.82	90.95	93.91	102.01
40	150	96.38	98.65	102.67	93.81	88.78	99.22
	160	100.05	98.94	102.68	96.43	92.67	96.99
	170	99.87	97.23	101.20	102.03	92.80	100.67
60	150	96.91	99.84	96.47	95.95	89.25	98.94
	160	99.85	96.03	100.93	94.88	91.44	100.79
	170	98.92	99.99	100.61	101.14	94.20	102.11

#### 4.5.2.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์

จากตารางที่ 4.5-4.7 เป็นผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์ของผ้าย้อมที่ผ่านการฟีนิกเมื่อกำหนดให้แต่ละตารางปริมาณโคบอลต์และอุณหภูมิที่ใช้ในการฟีนิกซึ่งพบว่าโดยรวมความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 30 กรัมต่อลิตรจะให้ค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์มีค่าสูงกว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 10 และ 20 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 10 และ 20 กรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองไม่สามารถใช้ dicyandiamide เกิน 30 กรัมต่อลิตรได้เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการละลายน้ำของไดไซแอนไดเอไมด์ กล่าวคือ ปริมาณไดไซแอนไดเอไมด์เท่ากับ 30 กรัมต่อลิตรไม่สามารถละลายในสุตรน้ำยาเคมีได้

#### 4.5.2.3 ผลอุณหภูมิต่อร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์

จากตารางที่ 4.5-4.7 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการฟีนิก ต่อร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์ของผ้าย้อมที่ผ่านการฟีนิกเมื่อกำหนดให้แต่ละตารางปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณโคบอลต์ซึ่งพบว่าโดยรวมอุณหภูมิที่ใช้ในการฟีนิก 170 องศาเซลเซียสจะให้ค่าร้อยละการฟีนิกสีสัมพัทธ์มีค่าสูงกว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการฟีนิก 150, 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงก็จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดขึ้นได้ดีกว่า แต่ข้อเสียของการอบที่อุณหภูมิสูงคือความร้อนจะไปทำลายเซลล์ลูโลสทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำสูงจะทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า ทำให้สีผ้าหลังอบฟีนิกเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก ดังนั้นในการทดลองนี้เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวหรือทำให้มีปัญหาดังกล่าวน้อยที่สุดจึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิสูงสุดที่ 170 องศาเซลเซียส

### 4.6 การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการยับ

#### 4.6.1. ผลความเข้มข้นของโคบอลต์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ฟีนิกต่อสมบัติความคงทนต่อการยับ

จากสมมุติฐานที่ว่า การฟีนิกโคบอลต์บนเซลล์ลูโลสจะทำให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย ดังนั้นจึงคาดว่าผ้าจะมีสมบัติการทนต่อการยับได้ดีขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้นำผ้าที่ผ่านการฟีนิกด้วยสารเชื่อมขวางแล้วไปทดสอบหาองศาการคืนตัวของผ้า เมื่อนำผ้าฝ้ายมาทดสอบสมบัติความคงทนต่อการยับตามมาตรฐาน AATCC 66 พบว่า ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle

(degree) ของผ้าฝ้ายด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้าฝ้ายชาวธรรมดาเท่ากับ 131 degree และ ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้าฝ้ายสีที่ไม่ผ่นึกเท่ากับ 125 degree คาดว่าจะได้ผ้าที่ทนต่อการยับได้ดีขึ้นแต่จากผลการทดลองพบว่า โดยรวมค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการผ่นึกด้วยโคพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าผ้าฝ้ายชาวธรรมดาเล็กน้อย แสดงว่า โคพอลิเมอร์มีผลเพียงเล็กน้อยกับการคืนตัวของตัวผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมและการผ่นึกทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โคพอลิเมอร์ที่ได้ทำปฏิกิริยากับสีทำให้เหลือหมู่ฟังก์ชันน้อยที่ทำกับเซลลูโลส หรืออาจเนื่องมาจากโคพอลิเมอร์บางส่วนมีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่เกินกว่าที่จะแทรกซึมสู่เส้นใยในส่วนอสัณฐาน

#### 4.6.1.1 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243

จากตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ที่ให้ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) สูงสุดคือเมื่อความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์มีค่าเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตรแต่อย่างไรก็ตามค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) เมื่อความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์มีค่าเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตรยังมีค่าใกล้เคียงกับค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายชาวธรรมดาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ไม่มีผลต่อสมบัติความคงทนต่อการยับ

#### 4.6.1.2 ผลความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243

จากตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ที่ต่ำกว่าค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายชาวธรรมดา แสดงว่าผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีผลต่อสมบัติความคงทนต่อการยับ

#### 4.6.1.3 ผลอุณหภูมิที่ใช้ในการอบผ่นึกต่อสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243

จากตารางที่ 4.8 อุณหภูมิที่ใช้ในการผ่นึกที่ให้ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ที่ต่ำกว่าค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายชาวธรรมดา แสดงว่าผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการผ่นึกไม่พบว่ามีผลต่อสมบัติความคงทนต่อการยับ กล่าวคือไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดต่อค่า Dry Wrinkle Recovery ที่วัดได้

ตารางที่ 4.8 ผลของความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 10-30 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิอบผนัง 150-170 องศาเซลเซียสต่อค่ามูมคีนตัวจากรอยยับ (องศา) ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. Direct Red 243

ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม/ลิตร)	ค่ามูมคีนตัวจากรอยยับ (ค่าเฉลี่ยของด้ายยืน + ด้ายพุ่ง)(องศา)		
		อุณหภูมิอบผนัง 150 °C	อุณหภูมิอบผนัง 160 °C	อุณหภูมิอบผนัง 170 °C
20	10	132	131	141
	20	123	136	136
	30	127	137	138
40	10	116	118	125
	20	119	121	126
	30	118	122	129
60	10	107	112	111
	20	108	124	119
	30	116	118	122



#### 4.7 การทดสอบสมบัติความแข็งแรง

คุณสมบัติเป็นอิทธิพลที่มีผลต่อความแข็งแรงของผ้าเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด ที่คุณสมบัติสูงในภาวะกรดเส้นใยเซลลูโลสจะถูกทำลายได้ง่าย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการทดสอบผ้าที่ผ่านการอบเนื้กที่อุณหภูมิต่างๆ โดยจะเลือกผ้าย้อมสีไดเรกต์ สี C.I. DB 200 สี C.I. DR 243 สี C.I. DR 224 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 10,20,30 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20, 40 และ 60 กรัมต่อลิตร

จากการทดสอบสมบัติความแข็งแรงตามมาตรฐาน ASTM D 5035-95 โดยค่าที่รายงานคือ แรงดึง ณ จุดขาด(นิวัตน์) และ ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าผ้าฝ้ายขาวธรรมดา มีค่าแรงดึง ณ จุดขาดด้ายยืนมีค่าเท่ากับ 183.92 นิวัตน์ ค่าแรงดึง ณ จุดขาดด้ายพุ่ง 96.54 นิวัตน์ ค่าร้อยละการยืดดึง (%Elongation) ณ จุดขาดของด้ายยืนมีค่าร้อยละ12.02 ค่าร้อยละการยืดดึง ณ จุดขาดด้ายพุ่งมีค่าร้อยละ 19.50

ตารางที่ 4.9 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 10 g/l อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200

ความเข้มข้นโคพอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	196	229	244	136	88	223	18	20	19	13	12	9
40	242	228	184	234	117	178	20	17	18	8	11	8
60	212	252	213	183	216	176	20	20	16	8	7	8

ตารางที่ 4.10 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 20 g/l อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200

ความเข้มข้นโคพอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	251	168	177	208	124	173	21	20	19	9	12	11
40	191	139	225	158	138	218	18	17	19	10	9	8
60	174	210	225	124	152	132	21	17	20	12	6	8

ตารางที่ 4.11 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DB 200

ความเข้มข้นโคพอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	155	166	217	150	143	78	19	18	15	11	11	13
40	231	218	180	183	161	160	14	14	16	7	8	10
60	212	220	144	184	217	137	17	14	16	8	8	6

ตารางที่ 4.12 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 10 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 243

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	195	217	118	62	109	114	12	19	8	9	11	5
40	188	225	161	93	132	108	22	10	8	14	8	6
60	236	172	116	192	77	67	18	10	8	9	4	6

ตารางที่ 4.13 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 20 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของสี C.I. DR 243

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	23	183	206	149	137	57	20	21	8	12	11	6
40	179	126	172	28	69	149	17	9	9	16	6	6
60	118	220	156	87	111	137	19	10	8	11	4	4

ตารางที่ 4.14 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 243

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	204	229	105	74	226	91	17	9	10	15	7	6
40	133	208	165	72	90	159	17	9	8	12	6	5
60	212	199	228	94	169	124	24	8	8	10	5	5

ตารางที่ 4.15 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 10 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	233	133	139	45	107	122	9	15	19	5	7	11
40	226	193	204	190	109	126	9	8	15	4	5	10
60	180	241	197	173	171	192	17	7	16	7	4	8

ตารางที่ 4.16 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 20 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	240	188	141	112	95	64	11	9	21	7	7	11
40	214	199	140	143	117	113	8	8	16	5	5	11
60	249	218	145	135	67	132	16	8	16	10	6	8

ตารางที่ 4.17 ผลความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ต่อความแข็งแรงของผ้า ใช้ตัวเร่ง 30 g/l  
อุณหภูมิ 150 -170°C ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี C.I. DR 224

ความ เข้มข้นโค พอลิเมอร์ (g/l)	แรงดึง ณ จุดขาด (นิวตัน)						% Elongation ณ จุดขาด					
	ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง			ด้ายยืน			ด้ายพุ่ง		
	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C	150 °C	160 °C	170 °C
20	140	178	167	103	144	150	9	9	15	4	5	9
40	215	180	197	123	142	196	15	9	17	9	5	9
60	220	226	180	103	141	125	14	7	17	9	4	9

จากตารางที่ 4.9-4.17 แสดงผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการฝืนกเมื่อกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ อุณหภูมิที่ใช้ในการฝืนกซึ่งโดยรวมพบว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 10 กรัมต่อลิตรมีค่าแรงดึง ณ จุดขาด (นิเวตน์) ทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืนสูงกว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 20 และ 30 กรัมต่อลิตรส่วนค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของด้ายยืน และด้ายพุ่งของผ้าที่ผ่านการฝืนกทั้งสามสีมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ใช้ในการฝืนก คือ 10 กรัมต่อลิตรซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากร้อยละการฝืนกสีสัมพันธ์ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.5.2

จากตารางที่ 4.9-4.17 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการฝืนกซึ่งอยู่ในช่วง 150-170 องศาเซลเซียสเมื่อกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และ ปริมาณโคพอลิเมอร์ซึ่งโดยรวมพบว่าอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดึง ณ จุดขาด (นิเวตน์) ทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืนสูงกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียสส่วนค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของด้ายยืน และด้ายพุ่งของผ้าที่ผ่านการฝืนกทั้งสามสีมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้น จากผลงานวิจัยในอดีตพบว่าการอบฝืนกเส้นใยฝ้ายที่อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะในภาวะกรดจะเร่งทำให้เส้นใยถูกทำลายเป็นเหตุให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง แต่ในกรณีนี้กลับพบว่า การอบฝืนกที่อุณหภูมิสูงกลับทำให้ความแข็งแรงของผ้าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่คาดว่าทำให้ความแข็งแรงของผ้าเพิ่มขึ้นนั้นเกิดขึ้นมาจากโคพอลิเมอร์ที่อบฝืนกติดกับผ้าจะช่วยทำให้ผ้าสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะโคพอลิเมอร์มีหมู่คาร์บอกซิลอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก ผ้าที่มีความชื้นสูงจะมีความแข็งแรงกว่าผ้าที่มีความชื้นน้อยกว่า เนื่องจากโมเลกุลของเส้นใยจะยึดเกาะกันได้เหนียวแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการอบฝืนกที่อุณหภูมิสูงจะช่วยทำให้โคพอลิเมอร์สามารถติดอยู่กับเส้นใยได้มากกว่า ส่งผลให้ผ้าดูดความชื้นมากกว่า และแข็งแรงกว่าเมื่อเทียบกับการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นอุณหภูมิอบฝืนกที่เหมาะสมจึงควรเลือกใช้ที่ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากร้อยละการฝืนกสีสัมพันธ์ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอแนวทางในการผลิตสีได้เร็วกว่าด้วยสารในกลุ่มพอลิคาร์บอกซิลิกแอซิด ลงบนผ้าฝ้ายด้วยวัตถุประสงค์ในการเพิ่มสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ โดยใช้มอนอเมอร์ คือ เมทาคริลิกมอนอเมอร์ และ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ อัตราส่วน 1:1 โดยโมล ตัวเริ่มที่ใช้ คือโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักมอนอเมอร์ คุณสมบัติที่ใช้ในการพอลิเมอร์ไรเซชันอยู่ในช่วง 60-65 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 20 นาที ร้อยละผลผลิตที่ได้ออกมา 84.98 %w/w สามารถทำได้โดยง่ายและเปอร์เซ็นต์ที่ได้ค่อนข้างสูง โดยเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ที่เตรียมได้สามารถยืนยันโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  นอกจากนี้ยังนำโคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้วิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC ซึ่งพบว่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่  $1.13 \times 10^6$  และ  $2.62 \times 10^3$

จากนั้นนำเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ที่เตรียมได้ผึ่งลงบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี C.I. DR 243, C.I. DB 200, C.I. DR 224 โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นสารอิเล็กโตรไลต์ คุณสมบัติที่ใช้ในการย้อม 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที การผึ่งใช้วิธีผึ่งแบบ pad-dry-cure โดยใช้ percent wet pick up 80% ซึ่งสูตรสารละลายที่ใช้ในการผึ่งเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ ประกอบด้วย เมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ ไดโซแอนไดเอมาด 10-30 กรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 7 ที่อุณหภูมิระหว่าง 150-170 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ จะกักขังสีได้เร็วกว่าในตาข่ายร่างแหประจุลบซึ่งกลไกการสร้างตาข่ายร่างแหเพื่อคลุมสีได้เร็วกว่าในเส้นใยเซลลูโลสจะใช้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของกรดพอลิคาร์บอกซิลิกกับสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสซึ่งหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดจะสามารถทำปฏิกิริยา esterification กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสโดยอาศัยสารเร่งปฏิกิริยา คือ ไดโซแอนไดเอมาด ซึ่งปฏิกิริยาเชื่อมขวางกับเซลลูโลสโดยพันธะเอสเทอร์สามารถตรวจสอบได้โดยเทคนิค FT-IR

โคพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง ความคงทนต่อการยับ และ ความแข็งแรงของผ้า เพื่อหาภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และ อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมสี ดังนี้

- การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง ได้ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-01 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-03 ซึ่งทำการซักล้างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดสอบโดยประเมินเกรย์สเกลของ color change และระดับการเปื้อนของสี staining และจากการตรวจสอบร้อยละการย้อมสีสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายย้อมที่ไม่ผ่านการย้อมกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสารเชื่อมขวางพบว่าสีไดเรกต์สามารถทนต่อการซักล้างได้ดีขึ้น เป็นไปตามสมมุติฐานที่ว่าสารเชื่อมขวางสามารถเกิดโครงร่างตาข่ายทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยมีน้อยลง และภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการตรวจสอบร้อยละการย้อมสีสัมพัทธ์พบภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการย้อมได้แก่ ความเข้มข้นโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 10-20 กรัมต่อลิตร และอุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 150-170 องศาเซลเซียส

- การทดสอบสมบัติความคงทนต่อการยับตามมาตรฐาน AATCC 66 พบว่า ค่า Dry Wrinkle Recovery Angle (degree) ของผ้าฝ้ายด้ายพุ่งและด้ายยืนของผ้าฝ้ายชาวธรรมดา ผ้าฝ้ายย้อมที่ไม่ผ่านการย้อม และผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมทั้ง 3 สี มีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าผ้าฝ้ายชาวธรรมดาเล็กน้อยแสดงว่า โคพอลิเมอร์ที่ผลเพียงเล็กน้อยกับการคืนตัวของตัวผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมและการย้อมทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโคพอลิเมอร์ที่ได้ทำปฏิกิริยากับสีทำให้เหลือหมู่ฟังก์ชันน้อยที่ทำกับปฏิกิริยาเซลลูโลสหรืออาจเนื่องมาจากโคพอลิเมอร์บางส่วนมีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่เกินกว่าที่จะแทรกซึมสู่เส้นใยในส่วนอสัณฐาน

- การทดสอบสมบัติความแข็งแรงตามมาตรฐาน ASTM D 5035-95 พบว่าค่าแรงดึง ณ จุดขาดของด้ายพุ่งและค่าแรงดึง ณ จุดขาดของด้ายยืนมีค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการย้อม ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมและไม่ผ่านการย้อมมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งโดยสรุปภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการย้อมได้แก่ ความเข้มข้นของโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 10 กรัมต่อลิตร และอุณหภูมิที่ใช้ในการย้อม 170 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับค่าร้อยละการย้อมสีสัมพัทธ์ จากงานวิจัยนี้การย้อมที่อุณหภูมิสูงทำให้ความแข็งแรงของผ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการย้อมที่อุณหภูมิสูงโคพอลิเมอร์ติดอยู่กับเส้นใยได้มากกว่าผ้าฝ้ายที่อบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งหมู่คาร์บอกซิลของโคพอลิเมอร์ที่มากขึ้นดูดความชื้นของน้ำในอากาศได้มากขึ้น จำนวนพันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ที่มีความ

แข็งแรงระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของโคพอลิเมอร์กับโมเลกุลของน้ำในอากาศมากขึ้น ดังนั้น ผ้าฝ้ายที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงแข็งแรงมากกว่าผ้าฝ้ายที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

โดยสรุปเมทาคริลิก-มาเลอิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ เป็นสารในกลุ่มกรดพอลิคาร์บอกซิลิกตัวหนึ่งที่มีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มสมบัติความคงทนต่อการซักล้างของสปีดเร็กซ์ ด้วยสมบัติที่สังเคราะห์ได้โดยง่ายในเปอร์เซ็นต์ยิลด์ที่สูง ราคาถูก และไม่มีความเป็นพิษ โดยภาวะการพ่นที่เหมาะสมใช้ความเข้มข้นโคพอลิเมอร์ 20-60 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 10-20 กรัมต่อลิตร และอุณหภูมิที่ใช้ในการพ่น 170 องศาเซลเซียส

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาการเตรียมน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์ขนาดต่าง ๆ ให้มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างบริเวณออสซิลฐานของเส้นใย จะทำให้โคพอลิเมอร์มีโอกาสแทรกซึมเข้าไปในออสซิลฐานและเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลสทำให้คงทนต่อการซักล้างดีขึ้น
- ศึกษาความคงทนต่อการยับของผ้าในภาวะเปียก ทั้งนี้เพราะโคพอลิเมอร์ดูดซับความชื้น ได้ผ้าที่มีความชื้นจะมีมุมมองการคืนตัวต่ำกว่าผ้าแห้ง ดังนั้นจึงควรเปรียบเทียบในภาวะเปียก
- ศึกษาผลของโคพอลิเมอร์ในการดูดซับความชื้นในอากาศว่ามีมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพราะความชื้นในผ้ามีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของผ้า

## รายการอ้างอิง

1. อภิชาติ สนธิสมบัติ. กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2545.
2. มณฑา จันทร์เกตุเดี่ยว. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: หอรัตนชัยการพิมพ์, 2541.
3. Porter, J. J. Interpretation of Sorption Isotherms for Mixtures of Direct Dyes on Cellulose. Textile Chemist and Colorist 25 (February 1993): 27-37.
4. Shank, D. Non- Formaldehyde Wrinkle-Free Finishing: A Commercial Update. Textile Chemist and Colorist (March 2002): 29-32.
5. Shore, J. Cellulosics Dyeing. Bradford: The Alden Press, 1995.
6. ผุสดี แซ่ลิ้ม. การพ่นสีย้อมธรรมชาติจากดอกคำฝอย *Carthamus tinctorius* และขมิ้นชัน *Curcuma longa* บนผ้าฝ้ายด้วยกรดพอลิคาร์บอกซิลิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
7. Welch, M. C., and Peters, G. J. Mixed Polycarboxylic Acids and Mixed Catalyst in Formaldehyde-Free Durable Pree Finishing. Textile Chemist and Colorist 29 (March 1997): 22-27.
8. Schramm, C., and Rinderer, B. Multifunctional Carboxylic Acids in DP Finishing with BTCA and CA. Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter 32 (April 2000): 50-54.
9. Hauser, J. P., Tariq, M., and Rajar, J. Dye Fixation Properties of an Antimicrobial Finish. Textile Chemist and Colorist (April 2004): 24-27.
10. International Standard ISO 105-C01: 1989.
11. International Standard ISO 105-C03: 1989.
12. ASTM Method D 5035: 1995.
13. AATCC Test Method 66: 1984.
14. ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. 500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2545.

### บรรณานุกรม

1. ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. พอลิเมอร์เบื้องต้น 1. 500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2545.
2. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
3. Zollinger, H. Color Chemistry. Federal Republic of Germany: Weinheim, 1987.
4. Collier, B. J., and Helen, E.H. Textile Testing and Analysis. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.
5. Usa Thanasoonthornroek. Non-formaldehyde durable press finishing of cotton fabric using acrylic acid / maleic acid copolymer. Master's Thesis, Department of Materials Science. Chulalongkorn University, 2000.
6. Sirinun Kaenthong. Combining reactive dyeing and finishing of cotton in one stage process. Master's Thesis, Department of Materials Science. Chulalongkorn University, 1998.
7. Blanchard, J. E., Reinhardt, M.R., and Andrews, K. B.A. Finishing with Modified Polycarboxylic Acid Systems For Dyeable Durable Press Cottons. Textile Chemist and Colorist 23 (May 1991): 25-28.
8. Welch, C. M., and Peters, G. J. Malic Acid as a Nonformaldehyde DP Finishing Agent Activated by BTCA and Polymer Additives. Textile Chemist and Colorist 29 (October 1997): 33-37.
9. Choi, H-M., and Welch, C. M. Saturated and Unsaturated Carboxylic Acid Salts as Curing Additives for BTCA Treatment of Cotton. Textile Chemist and Colorist 26 (June 1994): 23-27.
10. Welch, C. M. Durable Press Finishing without Formaldehyde. Textile Chemist and Colorist 22 (May 1990): 13-16.
11. Davis, A. M. The Relationship between Fiber Structure and Dye Diffusion. Textile Chemist and Colorist 24 (June 1992): 19-22.
12. Lewis, D.M., and Gillingham, E. L. Fixation of Aspartyl-Triazine Dyes on Cellulosic Fiber. Textile Chemist and Colorist 28 (August 1996): 76-78.



13. Schramm, C., Rinderer, B., and Bobleter, O. Nonformaldehyde DP Finishing with BTCA-Evaluation of the Degree of Esterification by Isocratic HPLC. Textile Chemist and Colorist 29 (September 1997): 37-41.
14. Bairathi, A. Dyeing Sorption Isotherms of Three Direct Dyes and Their Mixtures on Purified Cotton. Textile Chemist and Colorist 25 (December 1993): 41-46.
15. Morris, N. M., Andrews, B.A. K., and Catalano, E. A. Determination of Polycarboxylic Acids on Cotton Fabric by FT-IR Spectroscopy. Textile Chemist and Colorist 26 (February 1994): 13-21.
16. Hashem, M., Refaie, R., and Hebeish, A. Crosslinking of partially carboxymethylated cotton fabric via cationization. Journal of Cleaner Production 13 (2005): 947-954.
17. Ahmed, N. S.E. The use of sodium edate in the dyeing of cotton with reactive dyes. Dyes and Pigments 65 (2005): 221-225.
18. Eters, J. N. Adventures in Textile Chemistry. Textile Chemist and Colorist 26 (December 1994): 17-23.
19. Aspland, J. R. Chapter 2: Direct Dyes and Their Application. Textile Chemist and Colorist 23 (November 1991): 41-45.
20. Wei, W., and Yang, C.Q. Polymeric Carboxylic Acid and Citric Acid as a Nonformaldehyde DP Finish. Textile Chemist and Colorist 32 (February 2000): 53-57.
21. Huary, L. K., and Gang, S. Durable and Regenerable Antimicrobial Cellulose with Oxygen Bleach: Concept Prooting. Textile Chemist and Colorist 34 (October 2003): 17-21.
22. Burkinshaw, S. M., and Gotsopoulos, A. Pretreatment of cotton to enhance its dyeability; Part 2. Direct dyes. Dyes and Pigments 42 (1999): 179-195.
23. Jiang, W. C., Meng, W. D., and Qing, F. L. Applying a Bisulfite Adduct of Polyisocyanate to Cotton Fabrics as a Durable Press Finishing Agent. Textile Chemist and Colorist 75 (January 2005): 39-42.
24. Welch, M. C. Formaldehyde-Free Durable Press Finishing with BTCA In the Presence of Polar Nitrogenous Additives. Textile Chemist and Colorist 23 (March 1991): 29-33.
25. Welch, M. C. Improved Strength and Flex Abrasion Resistance in Durable Press

- Finishing with BTCA. Textile Chemist and Colorist 29 (February 1997): 21-24.
26. Perkins, W. S. A Review of Textile Dyeing Processes. Textile Chemist and Colorist 23 (August 1991): 23-27.
27. Aspland, J. R., and Williams, S. A. The Effect of Cotton Color Grade on the Color Yield of Dyed Goods. Textile Chemist and Colorist 23 (February 1991): 23-25.
28. Kang, J-Y., Deivasigamani, J., and Sarmadi, M. Dyeability of Cotton Fabrics Crosslinked with BTCA. AATCC Review (April 2004): 28-32.
29. Schramm, C., and Rinderer, B. Hypophosphites as Catalysts in Durable Press Finishing with Polycarboxylic Acids. Textile Chemist and Colorist 32 (September 2000): 37-40.
30. Yang, C. Q., Mao, Z., and Lickfield, G. C. Ester Crosslinking of Cotton Cellulose by Polycarboxylic Acids: pH-Dependency. Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter 32 (November 2000): 43-46.
31. Welch, C. M., and Peters, J. G. Acid vs. Weak Base Catalysis in Durable Press Finishing with BTCA or Citric Acid. AATCC Review (October 2003): 27-30.
32. Sricharussin, W., Rye-Aree, W., Intasen, W., and Pongraksakirt, S. Effect of Boric Acid and BTCA on Tensile Strength Loss of Finished Cotton Fabrics. Textile Research Journal 74 (June 2004): 475-480.
33. Day, M. P., and Collier, B. J. Prediction of Formaldehyde Release from Durable press Treated Fabrics. Textile Chemist and Colorist 29 (January 1997): 33-35.
34. Oktem, T., Gurel, A., and Akdemir, H. The Characteristic Attributes and Performance of Naturally Colored Cotton. AATCC Review (May 2003): 24-27.
35. Porter, J. J. Understanding the Sorption of Direct Dyes on Cellulose Substrates. AATCC Review (June 2003): 20-24.
36. Andrews, A. K. Safe, Comfortable, Durable Press Cotton: A Natural Progression for a Natural Fiber. Textile Chemist and Colorist 24 (November 1992): 17-22.
37. Somboon, W., Bhavakul, V., and Sirianuntapiboon, S. Direct Dye Adsorption by Granular Activated Carbon and Water Hyacinth Power. AATCC Review (April 2004): 20-23.
38. Thiry, M. C. Back to Nature-Textile Fibers come Full Circle. AATCC Review (January 2004): 7-11.

39. Lewis, D. M., Zhao, X., and Tapley, K. N. A New Agent for Cotton Durable Press Finishing under Alkaline Conditions. Textile Chemist and Colorist (September 2002): 38-41.
40. Kittinaovarut, S. Acrylic and Citric Acid in Nonformaldehyde Durable Press Finishing on Cotton Fabric. AATCC Review (August 2003): 62-64.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Blue 4BL C.I. NO. D.B.200 น้ำเงิน								
condition			K/S ที่ $\lambda_{\max} = 590$		ร้อยละการ ผืนกสี (สัมพัทธ์) หลังจากซัก ล้างที่ 40 °C	K/S ที่ $\lambda_{\max} = 590$		ร้อยละการ ผืนกสี (สัมพัทธ์) หลังจากซัก ล้างที่ 60 °C
อุณหภูมิที่ใช้ ในการผืนก °C	ปริมาณ copo (g/l)	ปริมาณ ตัวเร่ง (g/l)	Before washing 40 °C	After washing 40 °C		Before washing 60 °C	After washing 60 °C	
0	0	0	21.762	18.187	83.57	0	0	0
0	0	0	21.745	18.214	83.76	21.745	14.516	66.76
150	20	10	20.448	19.149	93.65	20.448	16.615	81.25
		20	21.085	20.234	95.96	21.085	18.521	87.84
		30	19.934	19.059	95.61	19.934	17.731	88.95
	40	10	20.308	19.622	96.62	20.308	18.209	89.66
		20	20.3	19.393	95.53	20.3	18.648	91.86
		30	19.696	18.983	96.38	19.696	18.476	93.81
	60	10	19.979	19.377	96.99	19.979	19.559	97.9
		20	19.536	18.949	97	19.536	18.146	92.88
		30	20.009	19.391	96.91	20.009	19.198	95.95
160	20	10	19.911	19.095	95.9	19.911	18.272	91.77
		20	20.051	19.688	98.19	20.051	17.433	86.94
		30	20.266	20.225	99.8	20.266	17.763	87.65
	40	10	20.07	19.288	96.1	20.07	19.27	96.01
		20	20.44	20.049	98.09	20.44	20.91	102.3
		30	20.703	20.713	100.05	20.703	19.963	96.43
	60	10	20.311	19.255	94.8	20.311	19.565	96.33
		20	20.216	20.225	100.04	20.216	19.259	95.27
		30	20.367	20.336	99.85	20.367	19.325	94.88
170	20	10	20.3	18.987	93.53	20.3	18.417	90.72
		20	20.176	20.259	100.41	20.176	19.665	97.47
		30	20.303	18.555	91.39	20.303	18.466	90.95
	40	10	20.272	20.309	100.18	20.272	20.542	101.33
		20	19.946	19.763	99.08	19.946	18.787	94.19
		30	20.44	20.414	99.87	20.708	21.128	102.03
	60	10	21.202	20.838	98.28	21.009	21.072	100.3
		20	20.924	20.529	98.11	20.736	21.226	102.36
		30	20.823	20.598	98.92	20.636	20.872	101.14

Note: หลังจาก washing ทั้ง 2 อุณหภูมิ  $\lambda_{\max}$  บางตัวอย่าง shift จาก 590 ไปที่ 610

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Red BWS C.I. NO. D.R.243 แดงเลือดหมู								
washfastness according to ISO 105-C01: 40 องศาเซลเซียส								
washfastness according to ISO 105-C03: 60 องศาเซลเซียส								
condition			K/S ที่ $\lambda_{\max} = 530$		ร้อยละการผ่นึก สี(สัมพัทธ์) หลังจากซักล้าง ที่ 40 °C	K/S ที่ $\lambda_{\max} = 530$		ร้อยละการผ่นึกสี(สัมพัทธ์) หลังจากซักล้างที่ 60 °C
อุณหภูมิ ที่ใช้ใน การ ผ่นึก °C	ปริมาณ copo (g/l)	ปริมาณ ตัวมั่ง (g/l)	Before washing 40 °C	After washing 40 °C		Before washing 60 °C	After washing 60 °C	
0	0	0	19.213	16.862	87.76	0.000	0.000	0.00
0	0	0	16.555	15.402	93.04	17.721	14.018	79.10
150	20	10	17.174	16.275	94.77	17.441	14.370	82.39
		20	17.459	16.454	94.24	17.891	14.867	83.10
		30	18.531	18.108	97.72	18.438	15.521	84.18
	40	10	17.608	16.419	93.25	17.518	14.909	85.11
		20	17.524	17.340	98.95	17.025	14.695	86.31
		30	16.835	16.607	98.65	17.171	15.245	88.78
	60	10	17.446	17.086	97.94	17.735	15.613	88.03
		20	17.028	16.966	99.64	17.382	15.779	90.78
		30	17.136	17.108	99.84	16.846	15.035	89.25
160	20	10	16.628	16.132	97.02	16.886	15.518	91.90
		20	16.545	16.347	98.80	16.570	15.509	93.60
		30	16.380	16.535	100.95	17.860	15.827	88.62
	40	10	16.301	15.955	97.88	16.970	14.764	87.00
		20	16.696	16.710	100.08	17.036	15.719	92.27
		30	17.980	17.789	98.94	18.272	16.932	92.67
	60	10	17.725	17.240	97.26	17.602	15.595	88.60
		20	18.296	17.367	94.92	18.396	17.051	92.69
		30	18.727	17.983	96.03	18.299	16.732	91.44
170	20	10	18.534	18.034	97.30	18.394	17.244	93.75
		20	17.677	17.493	98.96	18.364	17.138	93.32
		30	17.823	17.608	98.79	18.517	17.389	93.91
	40	10	17.837	17.482	98.01	18.547	17.141	92.42
		20	18.143	17.951	98.94	17.986	16.604	92.32
		30	18.154	17.651	97.23	17.256	16.014	92.80
	60	10	18.632	18.063	96.95	19.039	17.823	93.61
		20	18.314	17.199	93.91	17.264	15.964	92.47
		30	19.186	19.184	99.99	18.711	17.625	94.20

Note: หลังจาก washing ทั้ง 2 อุณหภูมิ  $\lambda_{\max}$  บางตัวอย่าง shift จาก 530 ไปที่ 540

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Scarlet F2G C.I. NO. D.R.224 แดงสด								
condition			K/S ที่ $\lambda_{max} = 530$		ร้อยละการผืนสี (สัมพัทธ์) หลังจากซักล้างที่ 40 °C	K/S ที่ $\lambda_{max} = 530$		ร้อยละการผืนสี (สัมพัทธ์) หลังจากซักล้างที่ 60 °C
อุณหภูมิที่ใช้ในการผืนสี °C	ปริมาณ copo (g/l)	ปริมาณ ตัวเร่ง (g/l)	Before washing 40 °C	After washing 40 °C		Before washing 60 °C	After washing 60 °C	
0	0	0	12.249	11.729	95.75	12.249	10.801	88.18
150	20	10	12.109	12.438	102.72	13.141	13.035	99.19
		20	12.296	12.643	102.82	12.991	12.715	97.88
		30	12.707	13.081	102.94	13.845	13.807	99.73
	40	10	12.965	13.467	103.87	13.119	12.597	96.02
		20	13.096	13.148	100.40	13.783	13.436	97.48
		30	13.314	13.670	102.67	13.771	13.664	99.22
	60	10	13.228	13.417	101.43	13.171	13.089	99.38
		20	12.914	13.023	100.84	12.920	12.801	99.08
		30	13.644	13.162	96.47	13.408	13.266	98.94
	80	10	12.875	12.960	100.66	12.558	12.706	101.18
		20	12.258	12.365	100.87	12.923	12.895	99.78
		30	13.249	13.964	105.40	13.270	13.540	102.03
100	10	12.239	12.534	102.41	12.794	12.837	100.34	
	20	12.231	12.706	103.88	12.468	12.713	101.97	
	30	12.472	12.936	103.72	12.783	13.109	102.55	
160	20	10	13.192	13.331	101.05	14.136	13.081	92.54
		20	12.964	12.912	99.60	13.374	12.582	94.08
		30	13.125	12.982	98.91	13.076	13.646	104.36
	40	10	13.086	13.027	99.55	13.563	13.408	98.86
		20	13.630	13.605	99.82	13.724	13.500	98.37
		30	13.187	13.540	102.68	14.042	13.619	96.99
	60	10	12.920	13.172	101.95	13.275	13.305	100.23
		20	12.966	13.050	100.65	13.489	13.267	98.35
		30	13.269	13.392	100.93	13.600	13.707	100.79
	80	10	13.057	13.576	103.97	13.409	13.136	97.96
		20	13.215	13.313	100.74	13.299	13.109	98.57
		30	13.502	13.591	100.66	13.191	13.003	98.57
100	10	13.423	13.797	102.79	13.153	13.126	99.79	
	20	13.688	14.014	102.38	13.836	13.935	100.72	
	30	13.935	14.211	101.98	13.487	13.567	100.59	
170	20	10	12.913	13.023	100.85	13.179	13.079	99.24
		20	12.653	12.954	102.38	13.189	13.334	101.10
		30	12.906	13.141	101.82	13.605	13.879	102.01
	40	10	12.273	12.506	101.90	12.417	12.437	100.16
		20	12.432	12.577	101.17	12.410	12.552	101.14
		30	12.657	12.809	101.20	13.143	13.231	100.67
	60	10	13.056	13.289	101.78	12.966	13.022	100.43
		20	12.945	13.329	102.97	12.708	13.264	104.38
		30	12.432	12.508	100.61	12.916	13.189	102.11
	80	10	13.012	13.268	101.97	13.212	13.291	100.60
		20	13.232	13.417	101.40	13.101	13.468	102.80
		30	13.329	13.460	100.98	13.338	13.577	101.79
100	10	13.807	13.808	100.01	13.599	13.642	100.32	
	20	13.775	13.735	99.71	14.036	13.884	98.92	
	30	13.488	13.557	100.51	13.822	13.721	99.27	

Note: หลังจาก washing ทั้ง 2 อุณหภูมิ  $\lambda_{max}$  บางตัวอย่าง shift จาก 530 ไปที่ 520

condition			Dry Wrinkle Recovery Angle (degree)														ค่าเฉลี่ย ด้ายพุ่ง+ ด้ายยืน
			ด้ายยืน							ด้ายพุ่ง							
อุณหภูมิที่ใช้ใน การหมัก °C	ปริมาณ copo (g/l)	ปริมาณ ตัวเร่ง (g/l)	F	F	F	B	B	B	ค่าเฉลี่ย ด้ายยืน	F	F	F	B	B	B	ค่าเฉลี่ย ด้ายพุ่ง	
ผ้าฝ้ายขาวธรรมดา			62	60	60	65	65	65	63	67	65	66	66	68	75	68	131
ผ้าฝ้ายสีเข้ม			60	63	70	61	61	61	63	59	62	62	65	62	62	62	125
150	20	10	61	60	61	70	74	65	65	63	62	59	79	67	70	67	132
		20	62	59	58	61	52	60	59	60	61	64	61	71	64	64	123
		30	59	56	63	61	60	61	60	63	67	59	70	74	70	67	127
	40	10	53	50	61	53	59	58	56	48	49	61	64	68	71	60	116
		20	51	55	57	63	61	62	58	56	48	67	53	84	60	61	119
		30	62	65	60	51	55	60	59	54	55	54	63	60	67	59	118
	60	10	54	55	52	55	50	49	53	51	50	57	54	52	61	54	107
		20	50	56	52	49	50	50	51	53	61	60	57	57	52	57	108
		30	61	61	58	61	55	54	58	52	55	63	62	60	58	58	116
160	20	10	60	63	62	62	67	61	63	69	65	66	67	74	69	68	131
		20	65	64	68	64	70	69	67	67	74	63	67	74	70	69	136
		30	61	67	68	75	68	64	67	58	67	75	75	73	70	70	137
	40	10	57	56	61	60	58	67	60	50	58	56	59	64	60	58	118
		20	57	55	65	57	59	65	60	57	54	63	64	65	64	61	121
		30	54	56	60	67	61	56	59	60	60	67	63	61	69	63	122
	60	10	57	57	56	62	56	59	58	54	64	52	53	53	50	54	112
		20	56	55	57	68	63	67	61	67	63	61	62	62	64	63	124
		30	55	57	56	65	61	62	59	65	59	54	58	57	63	59	118
170	20	10	71	71	74	74	68	70	71	72	65	67	74	71	68	70	141
		20	70	65	66	74	69	74	70	61	72	70	63	62	70	66	136
		30	64	78	70	83	64	71	72	61	69	60	62	73	70	66	138
	40	10	59	59	59	59	61	66	61	67	63	59	59	70	65	64	125
		20	56	60	63	64	66	63	62	58	65	66	66	61	67	64	126
		30	60	71	69	68	65	65	66	58	58	72	66	59	66	63	129
	60	10	53	52	51	51	42	49	50	65	64	61	57	60	57	61	111
		20	66	64	62	63	57	55	61	54	59	58	59	58	61	58	119
		30	50	53	55	68	63	64	59	60	60	64	63	65	67	63	122

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกวรรณ ภูตยานันต์ เกิดวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2521 สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี การศึกษา 2543 จากนั้นทำงานที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและ อุตสาหกรรมทางการเกษตร และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคปลายปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปี การศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย