

การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดย  
การเคลือบแบบพ่นละออง



นางสาวอารีรัตน์ พรามศิริ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANTIBACTERIAL FINISHING ONTO COTTON FABRIC WITH GALANGAL ESSENTIAL  
OIL/POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULES BY SPRAY-COATING

Miss Areerat Pramsiri



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 2014  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลของ น้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยการเคลือบ แบบพ่นละออง
โดย	นางสาวอารีรัตน์ พรามศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โปธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ จารุจินดา)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีภูถักกิจ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. นันทยา ยานูเมศ)





# # 5572182223 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS: GALANGAL ESSENTIAL OIL / POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULE / NANO-POLYURETHANE BINDER / POLYURETHANE ACRYLATE BINDER / SPRAY TECHNIQUE / THERMAL CURING / UV-CURING

AREERAT PRAMSIRI: ANTIBACTERIAL FINISHING ONTO COTTON FABRIC WITH GALANGAL ESSENTIAL OIL/POLYURETHANE-UREA MICROCAPSULES BY SPRAY-COATING. ADVISOR: ASST. PROF. SIREERAT CHARUCHINDA, Ph.D., 188 pp.

In this research, polyurethane-urea (PUU) microcapsules containing galangal essential oil (GEO) as a core material were prepared using hexamethylene diamine, polyvinyl alcohol and ethylene diamine via interfacial polymerization in oil-in-water emulsion with various stirring rate (10000-18000 rpm) and amounts of GEO (10, 20 and 30 mL). The prepared microcapsules were nearly spherical shape and well-disperse in the medium. The GEO/PUU microcapsules with particle size less than 10  $\mu\text{m}$  (6.27  $\mu\text{m}$ ) and narrow particle size distribution and 16% oil loading could be prepared by using stirring rate at 14000 rpm with 10 mL of GEO. When amounts of GEO was added more than 10 mL, it was found that particle size of microcapsules extremely increased but oil loading decreased. Consequently, the optimal GEO/PUU microcapsules prepared by using 10 mL of GEO at stirring rate of 14000 rpm and were taken to antibacterial finishing onto knitted cotton fabrics. Antibacterial finishing onto knitted fabrics by different coating and curing techniques were investigated. The spray-coated cotton fabrics with 10% solid content of GEO/PUU microcapsules, 3%wt of nano-polyurethane binders, 0.1%wt of fixer and curing at 170  $^{\circ}\text{C}$  for 30 second exhibited the antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* (98.97% reduction of bacteria). The antibacterial activity of the coated fabrics was durable upto 25 washing cycles and still remains excellent after light exposure, hot press and perspiration exposure (% reduction of bacteria > 99%). In case of spray-coated cotton fabrics with 10% solid content GEO/PUU microcapsules, 3%wt of polyurethane acrylate binders, 2%wt (on weight of solid binder) of photoinitiator, 0.1%wt of fixer agent and curing under UV light, the antibacterial activity against *S. aureus* (98.07% reduction of bacteria) were obtained. The antibacterial activity of the coated fabrics was durable upto 25 washing cycles and still remains excellent after light exposure, hot press (% reduction of bacteria > 99%). The spray-coated cotton fabrics with nano-polyurethane binders and fixer agent were durable to perspiration more than polyurethane acrylate binders and fixer agent. Moreover, the bursting strength of the spray-coated cotton fabrics was higher than that of unfinished cotton fabric.

Department: Materials Science

Student's Signature .....

Field of Study: Applied Polymer Science and  
Textile Technology

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์เพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังได้รับความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังรายนามต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และแนะแนวทางในการดำเนินงาน รวมถึงการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการทำวิจัยได้อย่างถูกต้อง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกุลกิจ และ รองศาสตราจารย์ ดร.นันทยา ยานูเมศ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. National University Fund (WCU-027-AM-57) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

4. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้การดำเนินงานของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

5. "ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

6. โครงการสิ่งทอสมุนไพรมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในด้านกำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ต
สารบัญรูป.....	ป
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข่า (Galangal).....	4
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี.....	4
2.2 น้ำมันหอมระเหย (essential oil).....	6
2.2.1 คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหย.....	6
2.3 กลไกการยับยั้งและการทำลายจุลินทรีย์โดยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์.....	7
2.4 ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation).....	8
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล.....	8
2.4.1.1 สารแกน (Nucleus หรือ Core).....	9
2.4.1.2 ผนังห่อหุ้ม (shell หรือ wall).....	9
2.4.2 วัตถุประสงค์ของไมโครเอนแคปซูเลชัน.....	9

2.4.3 วิธีเตรียมไมโครแคปซูล (Microencapsulation Techniques).....	10
2.4.4 อินเทอร์เฟซียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization).....	11
2.5 ผนังห่อหุ้มพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea, PUU).....	12
2.6 การใช้งานไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ .....	14
2.7 การตกแต่งสำเร็จบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ.....	14
2.7.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกแต่งสำเร็จบนผลิตภัณฑ์ .....	14
2.7.2 ประเภทของการตกแต่งสำเร็จ .....	15
2.7.3 กระบวนการตกแต่งไมโครแคปซูลบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ .....	15
2.8 พอลิยูรีเทน (Polyurethane).....	17
2.8.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน .....	17
2.8.2 สมบัติทางกายภาพและเชิงกล .....	18
2.8.3 สมบัติทางความร้อน .....	19
2.8.4 สมบัติทางเคมี.....	19
2.8.5 สมบัติทางชีวภาพ .....	20
2.9 การเตรียมพอลิยูรีเทนสำหรับทำหน้าที่เป็นสารยึด .....	20
2.9.1 สมบัติของสารยึดที่ได้จากพอลิยูรีเทน .....	21
2.9.2 การใช้งานสารยึดพอลิยูรีเทนในอุตสาหกรรมการเคลือบผิว .....	21
2.10 สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน.....	22
2.11 สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต .....	23
2.12 การเกิดฟิล์มของสารยึด .....	23
2.13 การแห้งของสารยึด .....	24
2.14 การบ่มของสารยึดด้วยการผ่านรังสี.....	25
2.15 รังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	25

2.16 การแห้งของสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	26
2.17 ส่วนประกอบของสารยึดที่ป่มรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	27
2.17.1 มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ .....	28
2.17.2 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (Photoinitiator) .....	29
2.17.2.1 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบอนุมูลอิสระ (Free radical photoinitiators) .....	29
2.17.2.2 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบแคตไอออน (Cationic photoinitiator) .....	30
2.18 ข้อดีของการบ่มสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	32
2.19 ความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	32
2.20 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	37
3.1 ขอบเขตการทดลอง .....	37
3.2 วัสดุและสารเคมี .....	37
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	39
3.4 การดำเนินงานวิจัย .....	41
3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยวิธีอินเทอร์ เฟซียลพอลิเมอไรเซชัน .....	42
3.4.2 การหาปริมาณร้อยละของของแข็ง (% Solid content) .....	44
3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ขนาดและ การกระจายขนาดอนุภาค และการทดสอบสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	45
3.4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR .....	45
3.4.3.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope; OM) .....	46

3.4.3.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	46
3.4.3.4 การหาขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค Laser Particle Size Distribution Analyzer .....	47
3.4.3.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA ..	48
3.4.3.6 การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาติที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล .....	49
3.4.3.7 การหาปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาติที่บรรจุภายในไมโครแคปซูล ...	49
3.4.4 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง.....	50
3.4.4.1 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชาติอย่างเดี่ยวและด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการจุ่มอัด .....	50
3.4.4.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชาติอย่างเดี่ยวและด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง.....	51
3.4.4.3 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชาติอย่างเดี่ยวและด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบปาดยาง .....	52
3.4.5 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตโดยการเคลือบแบบพ่นละออง .....	55
3.4.6 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายถักก่อนและหลังการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยชาติ และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชาติ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	56
3.4.6.1 การทดสอบสภาพแข็งตึงตัดโค้งหรือความแข็งแรงต่างของผ้า .....	56

3.4.6.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะเลของผ้า .....	57
3.4.6.3 การทดสอบความสามารถการจัดการความชื้นของผ้า .....	57
3.4.6.4 การวัดการเปลี่ยนสีของผ้า.....	60
3.4.6.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย Staphylococcus aureus ของผ้า .....	61
3.4.6.6 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการ ตกแต่งต้านแบคทีเรียต่อการซักล้าง .....	62
3.4.6.7 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการ ตกแต่งต้านแบคทีเรียต่อเหงื่อ .....	63
3.4.6.8 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการ ตกแต่งต้านแบคทีเรียต่อการรีดร้อน.....	64
3.4.6.9 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการ ตกแต่งต้านแบคทีเรียต่อแสง.....	65
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	67
4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยา ขนาดและการ กระจายขนาดอนุภาค และสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	67
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย ด้วยเทคนิค FT-IR .....	67
4.1.2 การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยู รีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค OM และ SEM.....	70
4.1.2.1 ผลของความเร็รรอบในการปั่นผสม .....	70
4.1.3 การหาขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค Laser Particle Size Distribution Analyzers.....	72
4.1.3.1 ผลของความเร็รรอบในการปั่นผสม .....	72

4.1.3.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่เติมลงไป .....	74
4.1.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA.....	76
4.1.5 การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA.....	77
4.1.5.1 ผลของความเร็วยวรอบในการปั่นผสม .....	77
4.1.5.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่เติมลงไป .....	78
4.1.6 การหาปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA.....	79
4.1.6.1 ผลของความเร็วยวรอบในการปั่นผสม .....	79
4.1.6.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่เติมลงไป .....	81
4.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย โดยการจุ่มอัด .....	83
4.2.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรีย.....	83
4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนต่อประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย .....	84
4.3 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยซ่า ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการตกแต่งแตกต่างกัน.....	86
4.3.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียสำหรับการเคลือบแบบพ่นละออง .....	86
4.3.2 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียสำหรับการเคลือบแบบปาดยาง.....	88
4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยซ่าโดยการตกแต่งแบบต่างๆ.....	90



4.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียโดยการตกแต่งแบบต่างๆ.....	90
4.4 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มที่ อุณหภูมิแตกต่างกัน.....	94
4.4.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้า .....	94
4.5 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่น ละออง.....	96
4.5.1 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย.....	96
4.5.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้า .....	97
4.6 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรี เทน- ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการจุ่มอัด และการเคลือบแบบพ่น ละออง.....	101
4.6.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถัก โดยปล่อยให้เชื้อ แบคทีเรียสัมผัสผ้าเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิห้อง .....	101
4.7 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน.....	102
4.7.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรีย.....	102
4.7.2 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย.....	104
4.7.3 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย.....	106
4.7.4 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย .....	107
4.8 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน บนผ้าฝ้ายถักที่ ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่น ละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน.....	110
4.8.1 ความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ...	110

4.8.1.1	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน .....	110
4.8.1.2	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสาร ช่วยฉนึก .....	112
4.8.1.3	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะครีเลต และ สารช่วยฉนึก .....	114
4.8.2	ความคงทนต่อการอาบแสงของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง. 116	
4.8.2.1	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน .....	116
4.8.3	ความคงทนต่อการรีดร้อนของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง ...	120
4.8.3.1	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน .....	120
4.8.4	ความคงทนต่อการแช่เหงือเทียมของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการ ตกแต่ง .....	125
4.8.4.1	ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน .....	125
4.9	ความต้านทานต่อแรงดันทะเลของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและ บ่มด้วยความร้อน.....	129
4.10	ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยไมโคร แคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้ แห้งและบ่มด้วยความร้อน .....	131

4.11 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	133
4.11.1 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย .....	133
4.12 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	138
4.12.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียสำหรับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	138
4.12.2 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย .....	139
4.12.3 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย .....	140
4.12.4 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย .....	141
4.13 ความคงทนของสารด้านแบคทีเรียต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน บนผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....	143
4.13.1 ความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง .	143
4.13.1.1 ประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง.....	143
4.13.1.2 ประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก.....	145
4.13.2 ความคงทนต่อการอบแสงของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง .....	147

4.13.2.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสี อัลตราไวโอเล็ต.....	147
4.13.3 ความคงทนต่อการรีดร้อนของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง. 151	
4.13.3.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสี อัลตราไวโอเล็ต.....	151
4.13.4 ความคงทนต่อการแช่เพื่อเทียบของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการ ตกแต่ง.....	154
4.13.4.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมัน หอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสี อัลตราไวโอเล็ต.....	154
4.14 ความต้านทานต่อแรงดันทะเลของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและ บ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	158
4.15 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยไมโคร แคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้ แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	160
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	163
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	163
5.1.1 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	163
5.1.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาที่ไม่ อยู่ในรูปไมโครแคปซูล และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการจุ่มอัด การ เคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง.....	164

5.1.3 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง .....	164
5.1.4 ความคงทนของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง หลังการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ .....	164
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	165
รายการอ้างอิง .....	166
ภาคผนวก.....	170
ภาคผนวก ก .....	171
ภาคผนวก ข .....	173
ภาคผนวก ค .....	177
ภาคผนวก ง.....	179
ภาคผนวก จ .....	185
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	188

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1	สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในข้าว.....	4
ตารางที่ 2. 2	วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล.....	10
ตารางที่ 2. 3	ลักษณะของสารแทนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูลขึ้นด้วยวิธีต่างๆ และขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ .....	11
ตารางที่ 2. 4	พอลิยูรีเทนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน .....	19
ตารางที่ 3. 1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง .....	39
ตารางที่ 3. 2	สูตรส่วนประกอบและปริมาณของสารเคมีที่ใช้เตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย.....	43
ตารางที่ 3. 3	สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ .....	51
ตารางที่ 3. 4	สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ .....	52
ตารางที่ 3. 5	สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ .....	53
ตารางที่ 3. 6	สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารอื่นๆ .....	55
ตารางที่ 4. 1	หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหอมระเหยชำ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	69
ตารางที่ 4. 2	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้ด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ .....	74
ตารางที่ 4. 3	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปปริมาณต่างๆ .....	75
ตารางที่ 4. 4	ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้ด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ .....	78

ตารางที่ 4. 5 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/  
พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปแตกต่างกัน ..... 78

ตารางที่ 4. 6 ความเข้ากันได้ของส่วนประกอบของสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีน้ำมันหอมระเหย  
ชา ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียและสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนสำหรับ  
การจุ่มอัด ..... 84

ตารางที่ 4. 7 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 ของผ้า  
ฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ร้อยละ 10 และสารยีสชนิดนาโนพอลิยู  
รีเทนที่ ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยการจุ่มอัด..... 85

ตารางที่ 4. 8 ความเข้ากันได้ของสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีน้ำมันหอมระเหยชา ไมโครแคปซูล  
น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สำหรับวิธีการเคลือบ  
แบบพ่นละออง ..... 88

ตารางที่ 4. 9 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มี  
น้ำมันหอมระเหยชา ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสนาโน พอลิ  
ยูรีเทน สำหรับวิธีการเคลือบแบบปาดยาง..... 89

ตารางที่ 4. 10 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้า  
ฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารยีสนาโนพอลิยูรีเทนโดยการ  
ตกแต่งแบบต่างๆ..... 90

ตารางที่ 4. 11 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้า  
ฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสชนิดนาโน  
พอลิยูรีเทนโดยการตกแต่งแบบต่างๆ ..... 91

ตารางที่ 4. 12 ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง  
ด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียโดยวิธีการแตกต่างกัน..... 94

ตารางที่ 4. 13 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้า  
ฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียโดยการ  
เคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน..... 95

ตารางที่ 4. 14 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูล  
น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรีย ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง ..... 97

ตารางที่ 4. 15 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง..... 99

ตารางที่ 4. 16 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการจุ่มอัดและการเคลือบแบบพ่นละออง ซึ่งปล่อยให้เชื้อสัมผัสผ้าเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิห้อง..... 102

ตารางที่ 4. 17 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งต้านแบคทีเรียที่มีไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก สำหรับการป่นด้วยความร้อน..... 103

ตารางที่ 4. 18 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึกโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและป่นด้วยความร้อน..... 105

ตารางที่ 4. 19 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและป่นด้วยความร้อน..... 107

ตารางที่ 4. 20 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและป่นด้วยความร้อน..... 108

ตารางที่ 4. 21 ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและป่นด้วยความร้อน..... 111



## หน้า

ตารางที่ 4. 22 ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึกโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน	113
ตารางที่ 4. 23 ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทน อะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน.....	115
ตารางที่ 4. 24 ความคงทนต่อการอาบแสงของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน.....	118
ตารางที่ 4. 25 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน (หลังการรีดร้อน).....	122
ตารางที่ 4. 26 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน (หลังการแช่ห้องเทียบ).....	126
ตารางที่ 4. 27 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน.....	130
ตารางที่ 4. 28 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน .....	132

ตารางที่ 4. 29 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยของพื้นที่ (Heat Flux) เท่ากับ $102.75 \text{ mJ/cm}^2$ (0.18 m/s per 78.74 W/cm lamp).....	136
ตารางที่ 4. 30 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก สำหรับการบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	138
ตารางที่ 4. 31 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึกโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	140
ตารางที่ 4. 32 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	141
ตารางที่ 4. 33 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	142
ตารางที่ 4. 34 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการซัก) .....	144
ตารางที่ 4. 35 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย <i>S. aureus</i> ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการซัก) .....	146

ตารางที่ 4. 36 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (หลังการอาบแสง)..... 149

ตารางที่ 4. 37 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (หลังการรีดร้อน)..... 152

ตารางที่ 4. 38 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (หลังการแช่เหงื่อเทียม)..... 155

ตารางที่ 4. 39 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต..... 159

ตารางที่ 4. 40 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต..... 161

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2. 1 โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	8
รูปที่ 2. 2 การสังเคราะห์ไมโครแคปซูลแบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอร์โรเซชัน 1) ภูมิภาคของน้ำ และสารแขวนลอย 2) น้ำมันที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอนอเมอร์ A 3) การทำปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B เกิดเป็นชั้นผนังห่อหุ้ม 4) เกิดเป็นไมโครแคปซูล.....	12
รูปที่ 2. 3 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	13
รูปที่ 2. 4 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	14
รูปที่ 2. 5 เครื่องฟั่นละอองระบบใช้ลมอัด.....	16
รูปที่ 2. 6 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....	17
รูปที่ 2. 7 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน [10].....	18
รูปที่ 2. 8 โครงสร้างทางเคมีของโทลิลีน 2,4-ไดไอโซไซนาเนต (2,4 TDI) และ โทลิลีน 2,6-ไดไอ โซไซยาเนต (2,6 TDI).....	20
รูปที่ 2. 9 การกระจายตัวในน้ำของสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารยึดพอลิยูรีเทน .....	23
รูปที่ 2. 10 โครงสร้างของพอลิยูรีเทนอะคริเลต .....	23
รูปที่ 2. 11 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลต .....	25
รูปที่ 2. 12 สูตรโครงสร้างของ อีร์กาเคียวร์ 819 ตีดับบลิว .....	32
รูปที่ 3. 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	41
รูปที่ 3. 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอร์โรเซชัน .....	44
รูปที่ 3.3 เครื่อง FT-IR รุ่น Nicolet 6700 ของบริษัท Thermo Fisher .....	45
รูปที่ 3. 4 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง รุ่น OM BH2-UMA ของบริษัท OLYMPUS.....	46
รูปที่ 3. 5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 5410 LV ของบริษัท JEOL., Ltd....	47
รูปที่ 3. 6 เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzers และหน่วยการกระจาย Hydro 2000SM รุ่น Mastersizer 2000 ของบริษัท Malvern .....	48

รูปที่ 3. 7 เครื่อง TGA รุ่น TGA/SDTA851e ของบริษัท Mettler Toledo.....	48
รูปที่ 3. 8 เครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น LVT ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratories, Inc.....	54
รูปที่ 3. 9 เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า รุ่น M0038 ของบริษัท SDL Atlas Inc. ....	56
รูปที่ 3. 10 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะเลของผ้า รุ่น CY-6103A1 ของบริษัท Chun Yen Testing Machines Co., Ltd. ....	57
รูปที่ 3. 11 เครื่องทดสอบการจัดการความชื้นของผ้า รุ่น M290 ของบริษัท Technical Color Solution .....	59
รูปที่ 3. 12 เครื่องวัดสีผ้า รุ่น Macbeth color-eye 7000 ของบริษัท X-Rite, Incorporated .....	60
รูปที่ 3. 13 เครื่อง Gyrowash สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อการซักล้าง รุ่น Gyrowash 815/20 ของบริษัท James H. Heal & Co., Ltd. ....	63
รูปที่ 3. 14 เครื่อง Perspirometer สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อเหงื่อ รุ่น M231 ของบริษัท SDL Atlas Inc. ....	64
รูปที่ 3. 15 เครื่อง Scorch tester สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อการรีดร้อน รุ่น M247A ของบริษัท SDL Atlas Inc.....	65
รูปที่ 3. 16 เครื่อง Solarbox 1500e สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อแสง รุ่น 1500e RH ของบริษัท CO.FO.ME.GRA. ....	66
รูปที่ 4. 1 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) น้ำมันหอมระเหยข่า (ข) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ (ค) ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	68
รูปที่ 4. 2 ภาพ OM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 10000 (ข) 12000 (ค) 14000 (ง) 16000 และ (จ) 18000 รอบต่อนาทีที่กำลังขยาย 40 เท่า .....	71
รูปที่ 4. 3 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 10000 (ข) 12000 (ค) 14000 (ง) 16000 และ (จ) 18000 รอบต่อนาทีที่กำลังขยาย 3500 เท่า.....	72

รูปที่ 4. 4 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ.....	73
รูปที่ 4. 5 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปปริมาณต่างๆ.....	75
รูปที่ 4. 6 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยชำ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย .....	77
รูปที่ 4. 7 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากการปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่างกัน.....	80
รูปที่ 4. 8 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากการปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่างกัน.....	80
รูปที่ 4. 9 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปต่างกัน .....	82
รูปที่ 4. 10 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยชำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปต่างกัน.....	82
รูปที่ 4. 11 ภาพ SEM ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แบบ (ก) การจุ่มอัด (ข) การเคลือบพ่นละออง และ (ค) การเคลือบแบบปาดยาง ที่กำลังขยาย 1500 เท่า .....	93
รูปที่ 4. 12 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ สารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการอบแสง (ข) หลังการอบแสง สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการอบแสง (ง) หลังการอบแสง สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (จ) ก่อนการอบแสง (ฉ) หลังการอบแสง.....	120
รูปที่ 4. 13 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการรีดร้อน (ข) หลังการรีดร้อน สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการรีดร้อน (ง) หลังการรีดร้อน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (จ) ก่อนการรีดร้อน (ฉ) หลังการรีดร้อน .....	124

รูปที่ 4. 14 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ข) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ค) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ง) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (จ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฉ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (ซ) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ญ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฐ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม .....	128
รูปที่ 4. 15 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงดันทะเลของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง และผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก .....	131
รูปที่ 4. 16 กลไกการแตกตัวให้อนุมูลอิสระของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต .....	134
รูปที่ 4. 17 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง .....	137
รูปที่ 4. 18 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการอาบแสง (ข) หลังการอาบแสง สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการอาบแสง (ง) หลังการอาบแสง.....	151
รูปที่ 4. 19 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการรีดร้อน.....	154
รูปที่ 4. 20 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ข) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม(ค) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก : (ง) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (จ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฉ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม.....	157

รูปที่ 4. 21 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง และผ้าที่ ตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก .....	159
---	-----





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สามารถต้านแบคทีเรียได้ เป็นสิ่งทอสมบัติเฉพาะทางที่ได้รับความนิยมมากในยุคปัจจุบันเนื่องจากผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขอนามัยมากขึ้น แต่สารเคมีที่ใช้เป็นสารเพื่อต้านแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นโลหะและสารสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต่อสุขภาพของผู้บริโภคทั้งจากกระบวนการผลิตและจากการใช้งาน [1-3] ส่งผลให้มีความสนใจนำสารจากธรรมชาติที่สกัดได้จากพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียมาทดแทนโลหะและสารสังเคราะห์ “ชา” เป็นพืชสมุนไพรไทยมีสรรพคุณทางยา หาได้ง่ายในประเทศไทย และมีองค์ประกอบที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย เช่น แบคทีเรียชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และชนิดแกรมลบ *Escherichia coli* (*E. coli*) อย่างไรก็ตามหากนำน้ำมันหอมระเหยชาไปตกแต่งต้านแบคทีเรียบนสิ่งทอโดยตรงพบว่าน้ำมันหอมระเหยจะระเหยได้ง่ายและตลอดเวลา ทำให้สมบัติต้านแบคทีเรียบนสิ่งทอลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากนำไปใช้งาน [4, 5]

การกักเก็บน้ำมันหอมระเหยชาไว้ในรูปแบบของไมโครแคปซูลที่มีผนังเป็นพอลิยูรีเทน-ยูเรีย เป็นการเพิ่มความคงทนจากภาวะสำหรับการใช้งานไม่ให้น้ำมันหอมระเหยชาปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียรวดเร็วเกินไป นับเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและยังคงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์สิ่งทอไว้ได้ โดยไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยชาเป็นสารแกนจะค่อยๆ ปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียออกมาจากผนังแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เป็นผนังแคปซูลประเภทกึ่งซึมผ่านได้ [6]

การตกแต่งไมโครแคปซูลให้ติดบนผ้าอาจทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ทำได้ง่ายและต้นทุนไม่สูงได้แก่วิธีการจุ่มอัด การเคลือบแบบปาดยางหรือพ่นละออง การจุ่มอัดเป็นวิธีที่มีแรงเชิงกลจากลูกกลิ้งเข้ามาเกี่ยวข้องจึงอาจทำให้ไมโครแคปซูลบอบสลายและแตกออกในระหว่างการจุ่มอัดส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยถูกปล่อยออกมาได้ก่อนเวลาอันควร อีกทั้งรูปร่างหรือโครงสร้างของผ้าอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่นเดียวกับการเคลือบที่ต้องใช้ลูกกลิ้งหรือยางปาด ในขณะที่การเคลือบแบบพ่นละอองโดยอาศัยเครื่องพ่นไมโครแคปซูลให้อยู่ในรูปละอองลงบนพื้นผิวของผ้าอาจแก้ปัญหาดังกล่าวได้

ในการเคลือบผนังสารยึดมีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นฟิล์มเคลือบไมโครแคปซูลบนผ้า การเลือกสารยึดที่เหมาะสมมีผลต่อความคงทนต่อการซักของไมโครแคปซูลบนผ้า สารยึดที่นิยมใช้ ได้แก่

อะคริลิก พอลิยูรีเทน และซิลิโคน สำหรับสารยึดพอลิยูรีเทนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 นาโนเมตร (นาโนพอลิยูรีเทน) สามารถกระจายตัวได้ดีในสารแขวนลอย ทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่บางเคลือบบนผ้า และฟิล์มที่ได้มีความเหนียว สามารถป้องกันการขึ้นขน เพิ่มความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้าย และลดการสูญเสียความแข็งแรงของผ้า แต่เนื่องจากสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนจะต้องอาศัยความร้อนในการบ่มเพื่อช่วยให้ฟิล์มสารยึดเกิดการเชื่อมขวาง [7] ซึ่งความร้อนอาจจะส่งผลต่อการระเหยของน้ำมันหอมระเหยซ่าและความแข็งแรงของผ้าฝ้าย จึงเกิดทางเลือกใหม่ในการบ่มแบบอาศัยเทคโนโลยีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในกระบวนการตกแต่งสิ่งทอ เช่น การเคลือบผิว โดยปกตินิยมใช้เทคนิคการบ่มแบบอาศัยความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูงและมีค่าใช้จ่ายสูง ส่งผลให้การลดอุณหภูมิในการบ่มเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจ เนื่องจากกระบวนการบ่มที่ใช้อุณหภูมิสูงไม่เพียงแต่ต้องใช้พลังงานสูงมาก นอกจากนี้ยังเสี่ยงต่อการทำลายสารที่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวเทคโนโลยีการบ่มแบบการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงมีการนำมาประยุกต์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการพิมพ์บนผิวสิ่งทอเพราะมีการใช้พลังงานต่ำ ระยะเวลาในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสั้น เกิดการบ่มอย่างรวดเร็ว เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำ อีกทั้งสามารถเกิดการบ่มได้ที่อุณหภูมิห้องและประหยัดพื้นที่ [8]

ดังนั้นงานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นผสม และปริมาณของน้ำมันหอมระเหยซ่า เพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีขนาด การกระจายขนาดอนุภาค ปริมาณน้ำมันที่บรรจุภายในและปริมาณการปล่อยน้ำมันที่เหมาะสม และมีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาตกแต่งบนผ้าฝ้าย ให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียและมีความคงทนต่อภาวะต่างๆ ในการใช้งาน และงานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ โดยวิธีการจุ่มอัด การเคลือบแบบปาดยาง และการเคลือบแบบพ่นละออง โดยใช้สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนแล้วนำไปบ่มด้วยความร้อน ส่วนสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตที่กระจายตัวในน้ำ (aqueous polyurethane acrylate) ซึ่งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะนำไปบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต สุดท้ายนำผ้าทั้งก่อนและหลังผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติด้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ทั้งก่อนและหลังการนำไปใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ ได้แก่ ความคงทนต่อการซัก ความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อเหงื่อ และความคงทนต่อการรีดร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของความเร็รรอบในการปั่นผสมและผลของปริมาณของน้ำมันหอมระเหยซ่าต่อขนาดและปริมาณน้ำมันที่บรรจุในไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย
2. เปรียบเทียบการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลโดยวิธีการจุ่มอัด การเคลือบแบบปาดยาง และการเคลือบแบบพ่นละออง ที่ใช้สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนและบ่มด้วยความร้อน
3. เปรียบเทียบการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลโดยการเคลือบแบบพ่นละอองและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับการบ่มด้วยความร้อน
4. วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณวิทยาและทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลทั้งก่อนและหลังการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยคือ เตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยวิธีอินเทอร์เฟเซียลพอลิเมอไรเซชัน แล้วนำไมโครแคปซูลที่เหมาะสมมาทำการตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย โดยเปรียบเทียบวิธีการตกแต่งด้านแบคทีเรียต่างๆ กันได้แก่ วิธีการจุ่มอัด การเคลือบแบบปาดยาง และการเคลือบแบบพ่นละออง แล้วบ่มด้วยความร้อนและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้ได้ผ้าฝ้ายที่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียและมีความคงทนต่อการซัก ต่อแสง ต่อเหงื่อและต่อการรีดร้อน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผ้าฝ้ายที่สามารถต้านแบคทีเรียโดยใช้ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

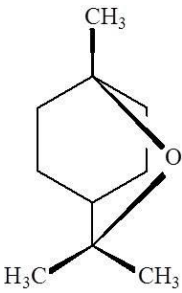
#### 2.1 ข่า (Galangal)

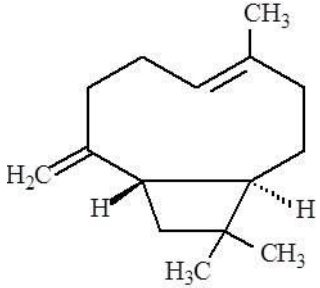
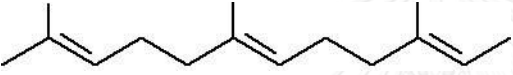
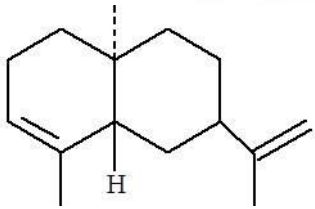
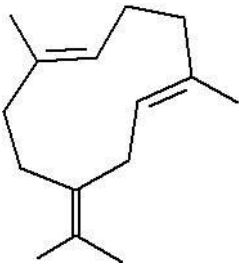
ข่าเรียกชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Alpinia galangal* (Linn.) Swartz. จัดอยู่ในวงศ์ zingiberaceae [4, 9, 10]

##### 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

เหง้าของข่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 1.5 ประกอบด้วย 1,8-cineol, caryophyllene, farnesene,  $\alpha$ -selinene และ germacrene B ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยในเหง้าข่ายังมีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ จึงนิยมนำมาทำเป็นเครื่องเทศในการแต่งกลิ่นอาหาร และเหง้าอ่อนนั้นยังมีสารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม และวิตามินซี [4, 9, 10] โครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในข่าแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 สูตรโครงสร้างและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในข่า [9]

สูตรโครงสร้าง	สมบัติ
<p>1,8-cineol</p>  <chem>CC12CCC(C1)OC2</chem>	<p>สารกลุ่มออกไซด์ ที่เกิดจากสารประกอบของแอลกอฮอล์ มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ (50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) มีความสามารถในการขับเสมหะ กระตุ้นระบบหายใจ และลดการอักเสบ</p>

<p>caryophyllene</p> 	<p>สารกลุ่มเซลิควเทอร์ปีน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ สามารถป้องกันการติดเชื้อ ลดการอักเสบ และบรรเทาอาการปวด</p>
<p>Farnesene</p> 	<p>สารกลุ่มเซลิควเทอร์ปีน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ สามารถป้องกันการติดเชื้อ และลดการอักเสบ</p>
<p><math>\alpha</math>-selinene</p> 	<p>สารกลุ่มเซลิควเทอร์ปีน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ สามารถป้องกันการติดเชื้อ และลดการอักเสบ</p>
<p>germacrene B</p> 	<p>สารกลุ่มเซลิควเทอร์ปีน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ เกิดการออกซิไดซ์น้อย ระเหยยาก มีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ สามารถป้องกันการติดเชื้อ และลดการอักเสบ</p>

## 2.2 น้ำมันหอมระเหย (essential oil)

น้ำมันหอมระเหยจัดเป็นส่วนหนึ่งของสารสกัดจากพืช ที่ผ่านกระบวนการกลั่นแยกออกมาเฉพาะ น้ำมันของพืช ซึ่งพืชทำการสร้างขึ้นและเก็บไว้ที่ผนังเซลล์ในส่วนของเมล็ด, ดอก, ใบ, ผล, เปลือก, ลำต้น, และที่รากหรือเหง้า น้ำมันหอมระเหยจะมีรสและกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว เนื่องจากว่าพืชใช้น้ำมันหอมระเหยในเรื่องการดึงดูดแมลงเพื่อผสมเกสร การรักษาความชุ่มชื้น และการขับไล่แมลงที่เป็นศัตรูของพืช น้ำมันหอมระเหยเป็นของเหลวใส มีทั้งแบบไม่มีสีและมีสีอ่อนๆ มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ถ้าตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ ก็สามารถระเหยได้ง่าย และถ้าอยู่ในอุณหภูมิที่สูงจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว และส่งกลิ่นหอม น้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบของสารเคมีที่หลากหลาย ซึ่งส่วนมาเป็นคุณสมบัติทางเภสัชวิทยา คุณสมบัติอย่างหนึ่งคือมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบางชนิดทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ [9-11]

### 2.2.1 คุณสมบัติของน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยสามารถระเหยได้งานที่อุณหภูมิปกติ ไม่ละลายหรืออาจละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำ และมีสมบัติทางการภาพที่สำคัญ [9-11] ดังนี้

1. **สี** น้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่จะปราศจากสี และเมื่อน้ำมันหอมระเหยมีความบริสุทธิ์สูงมาก หรือเพิ่งผลิตใหม่ แต่ทิ้งไว้ให้สัมผัสแสง หรืออากาศในระยะเวลาหนึ่ง น้ำมันหอมระเหยก็จะเกิดสีได้ เช่น น้ำมันอบเชย เมื่อสัมผัสแสงหรืออากาศเป็นเวลานานๆ จะเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม
2. **กลิ่น** น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีกลิ่นที่มีความเป็นเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน และสามารถกระจายกลิ่นได้ดี เมื่ออยู่ในอากาศที่อุณหภูมิปกติ
3. **จุดเดือด** น้ำมันหอมระเหยมีจุดเดือดที่กว้างมาก เนื่องจากจากโครงสร้างที่ซับซ้อนของน้ำมันหอมระเหย และมีหลากหลายชนิด ปกติน้ำมันหอมระเหยจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 150-300 องศาเซลเซียส
4. **การละลาย** น้ำมันหอมระเหยสามารถละลายได้ในตัวทำละลายได้แก่ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ นอกจากนั้นยังพบว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถละลายได้ดีในพวกไขมัน เรซิน น้ำมันพืช ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส
5. **การเสื่อมสลาย** เมื่อน้ำมันหอมระเหยสัมผัสแสง หรืออากาศจะทำให้คุณภาพลดลง และความหอมจะแยลง นอกจากนั้นน้ำมันหอมระเหยยังมีองค์ประกอบของเทอร์ปีน ถ้าสัมผัสอากาศจะกลายเป็นเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้น้ำมันหอมระเหยเกิดเป็นผลึกเกาะข้างภาชนะ

## 2.3 กลไกการยับยั้งและการทำลายจุลินทรีย์โดยสารออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

กระบวนการยับยั้งหรือการทำลายจุลินทรีย์เกิดขึ้นโดยการทำลายส่วนต่างๆ ของเซลล์จุลินทรีย์ [12] ดังนี้

**1. ผนังเซลล์** เกิดการทำลายผนังเซลล์หรือยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ เช่นแบคทีเรียแกรมบวกบางชนิดที่ผนังเซลล์สามารถถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลโซไซม์ (lysozyme) (อยู่ในน้ำตา เลือดขาว เมือก) พบว่าผนังเซลล์จะเกิดการแตกออกเพราะว่าเอนไซม์ไปย่อยสลายโครงสร้างของผนังเซลล์ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีบางชนิดสามารถไปยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่กำลังเจริญเติบโต ส่งผลทำให้กลายเป็นโพรโทพลาสต์ (protoplast) ที่ต้องเลี้ยงในสภาพที่เหมาะสมไม่เช่นนั้นเซลล์จะแตกได้

**2. เยื่อหุ้มเซลล์** โดยสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติยอมให้สารผ่านได้ เช่นสารอาหารผ่านเข้าสู่เซลล์ ดังนั้นเมื่อทำลายเยื่อหุ้มเซลล์จะเป็นผลต่อการหยุดชะงักการเจริญเติบโตของเซลล์ แล้วเซลล์จะตาย ตัวอย่างเช่นสารเคมีบางชนิด ได้แก่ ฟีนอล สารซักฟอกสบู่ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ส่งผลให้เซลล์เกิดการรั่วไหลออกมาขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์

**3. โปรตีนและกรดนิวคลีอิก** เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ซึ่งเซลล์ที่มีชีวิตจะมีโปรตีนและกรดนิวคลีอิกอยู่ภายในเซลล์สภาพเป็นธรรมชาติ ถ้าโปรตีนและกรดนิวคลีอิกเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติโดยสารเคมีหรือสภาพแวดล้อมใดๆ ทำให้เซลล์ถูกทำลาย เช่นสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง หรืออุณหภูมิสูง ส่งผลให้โปรตีนและกรดนิวคลีอิกเกิดการตกตะกอน จนจับตัวกันเป็นก้อนแข็งที่ไม่สามารถแปรสภาพกลับเป็นเหมือนเดิมได้

**4. เอนไซม์** เกิดจากการมีตัวยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitor) ที่มีผลกับปฏิกิริยาต่างๆ ของกระบวนการ ซึ่งเอนไซม์ต่างๆ มีความจำเป็นกับปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์ สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งได้แก่ ไซยาไนต์ สามารถยับยั้งไซโตโครมออกซิเดส ฟลูออไรด์สามารถยับยั้งไกลโคลิซิส นอกจากนี้ยังมีไอออนของโลหะเช่น เงิน ทองแดง และปรอท โดยจะไปรวมตัวกับหมู่ซัลไฟไฮไดรลของเอนไซม์ หรือโปรตีน ทำให้ไปทำลายเซลล์

**5. เมแทบอลิต์** เกิดโดยป้องกันการสร้างเมแทบอลิต์ ซึ่งเมแทบอลิต์ทำหน้าที่เป็นสารสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ทำได้โดยใช้สารเคมีที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกันกับสารเมแทบอลิต์เข้าไปยับยั้งเมแทบอลิซึมของเซลล์จนจุลินทรีย์ถูกทำลาย ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์กรดฟอลิก สารกรดพาราอะมิโนเบนโซอิก (p-aminobenzo acid) เป็นสารที่จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ จึงทำการ

ทดแทนด้วยสารซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide) ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันเข้าแย่งทำปฏิกิริยาแทนที่ทำให้การสังเคราะห์หยุดชะงักลง

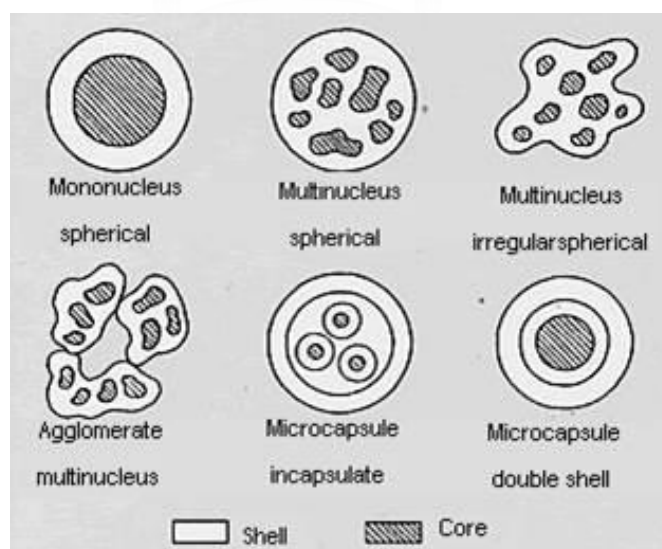
**6. กรดนิวคลีอิก** เกิดจากการยับยั้งการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก โดยสารเคมีบางชนิดสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ DNA และ RNA ซึ่งการสร้างหน่วยพื้นฐานของกรดนิวคลีอิกจะถูกขัดขวางจากสาร เช่น พิวรีนและพิริมิดีน นอกจากนั้นยังไปขัดขวางการรวมตัวของนิวคลีโอไทด์เพื่อเข้ากันเป็นกรดนิวคลีอิก เป็นผลกับการสังเคราะห์โปรตีน และกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ผิดปกติไป จนกระทั่งเซลล์ถูกทำลาย

## 2.4 ไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชัน คือกระบวนการที่อนุภาคหรือของเหลวถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลจากพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ จนเกิดเป็นไมโครแคปซูล [10, 11, 13, 14]

### 2.4.1 ลักษณะทั่วไปของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูลจะต้องมีขนาดอนุภาคที่เล็กอยู่ระหว่างในช่วง 1-1000 ไมโครเมตร ไมโครแคปซูลประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ สารแกน (nucleus) เป็นสารที่อยู่ภายใน หรือถูกบรรจุอยู่ในแคปซูล และผนังห่อหุ้ม (shell) เป็นส่วนผนังบางๆที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มสารแกน รูปร่างของไมโครแคปซูลมีหลากหลายและแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไมโครแคปซูล [10]



### 2.4.1.1 สารแกน (Nucleus หรือ Core)

สารแกนหรือสารที่ถูกห่อหุ้ม อาจเป็นได้ทั้งของแข็งหรือของเหลว ที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลแต่ส่วนใหญ่มักใช้สารแกนเป็นของแข็งมากกว่าของเหลว เนื่องจากสามารถควบคุมขนาดได้ง่ายกว่า โดยกลไกการปล่อยสารแกนนั้นต้องคำนึงถึงการเลือกวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการนำไปใช้งาน ซึ่งสารแกนอาจถูกปล่อยได้โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือความดัน แรงเสียดสีหรือแรง กดทับ การแพร่ผ่านของผนังแคปซูล และการย่อยสลายของผนังแคปซูล

### 2.4.1.2 ผนังห่อหุ้ม (shell หรือ wall)

สารที่ใช้ทำผนังห่อหุ้มอาจจะใช้พอลิเมอร์จากสารธรรมชาติหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ขึ้นจากสารเคมีนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของผนังห่อหุ้มตามต้องการความหนาของผนังอยู่ระหว่าง 0.2 ไมโครเมตร ถึงหน่วยมิลลิเมตร โดยปกติความหนาของผนังแคปซูลน้ำประมาณ 10 ไมโครเมตร และสมบัติที่ดีของผนังห่อหุ้มคือ ไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารแกน สามารถกักเก็บสารสำคัญได้ดี เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ มีสมบัติทำให้เกิดอิมัลชัน และมีสมบัติของผนังห่อหุ้ม เช่น มีความยืดหยุ่น มีความคงตัว และมีความแข็งแรง การเลือกสารห่อหุ้มจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และวิธีการเตรียมไมโครแคปซูล สมบัติของผนังห่อหุ้มประกอบด้วย [10]

1. สามารถขึ้นรูปเป็นชั้นฟิล์มบางๆ
2. มีความแข็งแรงและสามารถยืดหยุ่น
3. สามารถเกิดอิมัลชัน
4. สามารถยึดติดสารแกน และไม่เกิดปฏิกิริยากับสารแกน
6. เมื่ออยู่ในภาวะของแข็งต้องไม่หนืดหรือหนืดเพียงเล็กน้อยและไม่ดูความชื้น
7. มีความเสถียรและคงตัวสูง เพื่อประสิทธิภาพการป้องกันสารแกนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก
8. สามารถปลดปล่อยสารแกนที่เหมาะสมกับการใช้งาน
9. กระบวนการเตรียมต้องไม่เป็นพิษ และผนังห่อหุ้มต้องปลอดภัยต่อการนำไปใช้งาน

### 2.4.2 วัตถุประสงค์ของไมโครเอนแคปซูลชั้น

1. สามารถป้องกันสารแกนที่อยู่ภายในแคปซูลไม่ให้อยู่ในสภาวะอันตราย เช่น ในกรณีที่สารสัมผัส ความชื้น ความเป็นกรดและต่างเป็นต้น

2. ลดอัตราการระเหยของสารแกนที่สามารถระเหยได้ง่าย เนื่องจากสารสกัดธรรมชาติมีความไวต่อความร้อนจึงช่วยในการกักเก็บสารแกน ให้มีประสิทธิภาพคงเดิม

3. ช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารแกน เทคโนโลยีไมโครแคปซูลสามารถช่วยให้การปลดปล่อยสารสำคัญที่อยู่ในไมโครแคปซูลปลดปล่อยออกมาในปริมาณที่เหมาะสม [10, 11, 13-15]

#### 2.4.3 วิธีเตรียมไมโครแคปซูล (Microencapsulation Techniques)

แบ่งออกเป็นวิธีทางเคมี วิธีทางกายภาพ และวิธีทางกลศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งวิธีการเตรียมไมโครแคปซูลแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมกับสารห่อหุ้มและสารแกนที่ต่างชนิดกัน [10, 11, 13, 14] แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 วิธีการเตรียมไมโครแคปซูล [11]

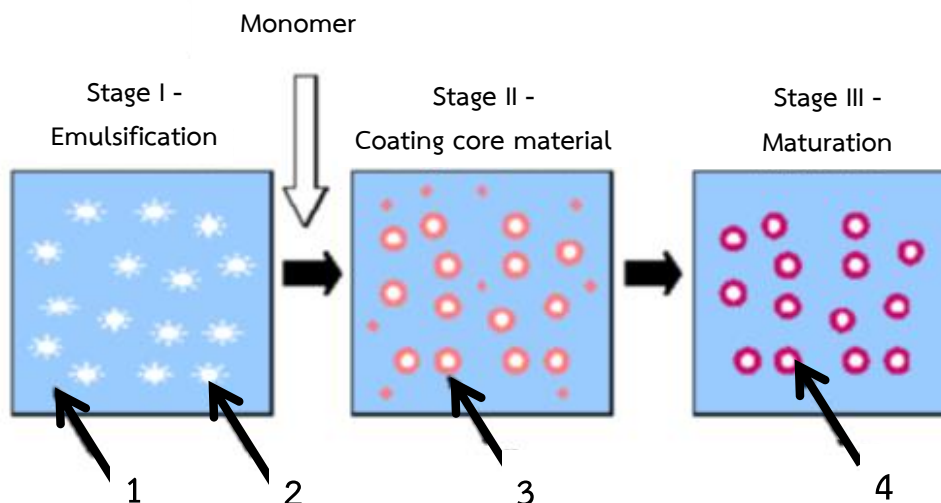
วิธีทางเคมี	วิธีทางกลศาสตร์	วิธีทางกายภาพ
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation)	1. อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)	1. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)
หรือการแยกวัฏภาค (Phase separation)	2. อินซิทูพอลิเมอไรเซชัน (In-situ polymerization)	2. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)
		3. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)
		4. ออริฟิซ (Orifice process)

**ตารางที่ 2. 3** ลักษณะของสารแกนที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูลขึ้นด้วยวิธีต่างๆและขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ [11]

วิธีการทำไมโครเอนแคปซูล	ลักษณะของสารแกน	ขนาดของไมโครแคปซูล(ไมโครเมตร)
1. โคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) หรือ การแยกวัฏภาค (Phase separation)	ของแข็งและของเหลว	2-5000
2. แอร์ซัสเพนชัน (Air suspension)	ของแข็ง	35-5000
3. การเคลือบโดยใช้หม้อเคลือบ (Pan coating)	ของแข็ง	600-5000
4. การทำแห้งแบบพ่นละออง (Spray drying)	ของแข็งและของเหลว	600
5. ออริฟิซ (Orifice process)	ของแข็งและของเหลว	1-5000

#### 2.4.4 อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial polymerization)

อินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันเป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น เป็นเทคนิคอย่างง่ายเพื่อให้ได้ผนังห่อหุ้ม ประกอบด้วยวัฏภาคสารแขวนลอยที่ไม่เข้ากัน 2 วัฏภาค แต่ละวัฏภาคประกอบด้วยตัวทำละลายและมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ภายใน ซึ่งมอนอเมอร์ในแต่ละวัฏภาคสามารถเข้าทำปฏิกิริยากันได้บริเวณผิวสัมผัสของทั้งสองวัฏภาค พอลิเมอร์ที่ได้จะเกิดบริเวณผิวสัมผัสซึ่งสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคแคปซูลโดยการกำหนดขนาดของหยดอิมัลชันเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 2.2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอิมัลชันปฐมภูมิ (ระบบน้ำมันในน้ำ หรือระบบน้ำในน้ำมัน) สารช่วยไม่ชอบน้ำ และชอบน้ำที่สามารถเกิดการห่อหุ้มได้ ขนาดของไมโครแคปซูลจะอยู่ในช่วงประมาณ 2 ถึง 2000 ไมโครเมตร พบว่าผนังของไมโครแคปซูลที่เตรียมด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันสามารถเกิดการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi-permeable membrane) เนื่องจากปฏิกิริยาอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว วิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชันนิยมนำมาใช้ทำผนังห่อหุ้มสารออกฤทธิ์เช่น วิตามิน ตัวกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ต น้ำหอม น้ำมัน สารไม่ละลายน้ำ สารละลายน้ำ สารประกอบที่ละลายได้ในน้ำมัน และส่วนประกอบของสารนำส่งยา เป็นต้น [10, 16]



รูปที่ 2. 2 การสังเคราะห์ไมโครแคปซูลแบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน 1) ภูมิภาคของน้ำและสารแขวนลอย 2) น้ำมันที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอนอเมอร์ A 3) การทำปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ A และมอนอเมอร์ B เกิดเป็นชั้นผนังห่อหุ้ม 4) เกิดเป็นไมโครแคปซูล [17]

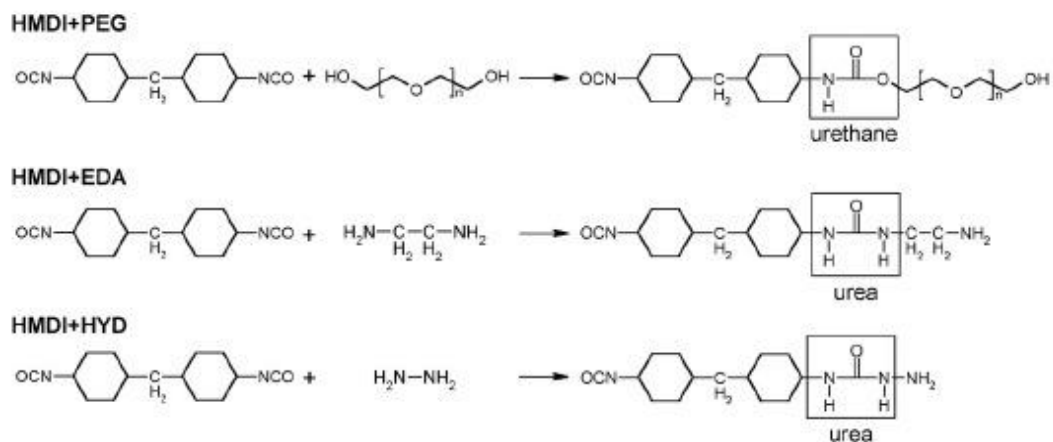
ข้อจำกัดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากวิธีการเตรียมแบบอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน [10, 11]

1. มอนอเมอร์หรือสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในระบบอาจเกิดความเป็นพิษ
2. สารแกนอาจเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ด้วยตัวเอง ส่งผลให้สารแกนมีประสิทธิภาพที่ลดลง
3. ผนังของไมโครแคปซูลที่ได้จะมีสมบัติในการแพร่ผ่านได้บางส่วน (semi permeable membrane) จนอาจทำให้สารแกนน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถแพร่ผ่านผนังของไมโครแคปซูลได้ง่าย
4. ไมโครแคปซูลที่ได้จากการสังเคราะห์จะมีความเปราะสูงและเกิดการย่อยสลายยาก

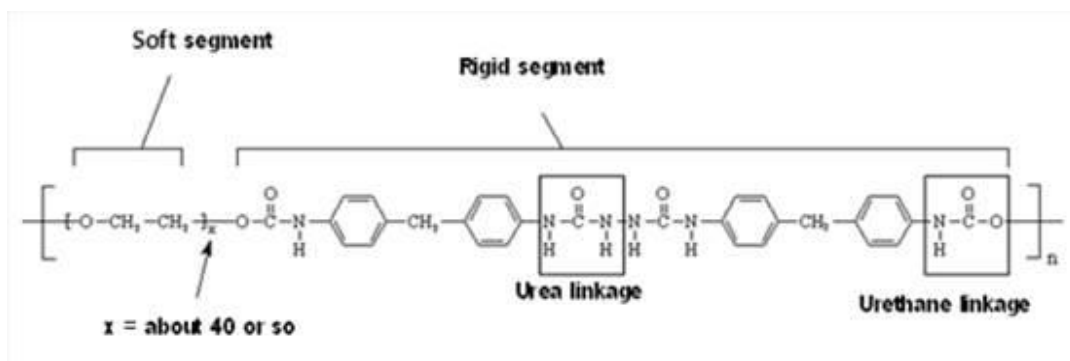
## 2.5 ผนังห่อหุ้มพอลิยูรีเทน-ยูเรีย (Polyurethane-urea, PUU)

พอลิยูรีเทน-ยูเรียมนำมาทำเป็นผนังห่อหุ้ม ซึ่งพัฒนามาจากพอลิยูรีเทน การมีหมู่ยูเรียเข้ามาแทนที่หมู่ยูรีเทนส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนจนมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีเสถียรภาพ และเป็นผนังไมโครแคปซูลที่ค่อยๆ ปลดปล่อยสารแกน และสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับผนังไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน นอกจากนั้นยังมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าผนังไมโครแคปซูลแบบเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ หรือยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ เพราะผนังไมโครแคปซูลดังกล่าวสามารถ

ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง และสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าผนังแคปซูลที่เป็นพอลิยูรีเทน-ยูเรียสามารถเกิดการเชื่อมขวาง และไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ผนังพอลิยูรีเทน-ยูเรียมีความปลอดภัยและราคาไม่แพง ส่งผลให้มีศักยภาพในการผลิตมากขึ้น กระบวนการเอนแคปซูลเลทจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อโครงสร้างของไอโซไซยาเนต และภาวะเกิดปฏิกิริยา (การตอบสนองต่ออุณหภูมิและเวลา) โดยทั่วไปพบว่ามอนอเมอร์แอมโรแมติกจะมีประสิทธิภาพมากกว่ามอนอเมอร์แอลิแพติก และมีประสิทธิภาพมากที่สุดถ้าเลือกใช้มอนอเมอร์เป็น HMDI กลไกการสร้างเปลือกจะเป็นตัวกำหนดขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่ขึ้นอยู่กับขนาดของหยดน้ำมันในอิมัลชันระบบน้ำมันในน้ำ โดยความเร็วรอบในการปั่นผสมที่สูงจะส่งผลทำให้หยดน้ำมันในอิมัลชันสามารถแตกกระจายตัวเป็นหยดๆ จึงส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลหลังจากเสร็จสิ้นปฏิกิริยามีขนาดที่เล็กลง [6] รูปที่ 2.3 และ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของการเกิดผนังไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย [6, 10, 11]



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย [18]



รูปที่ 2. 4 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย [10]

## 2.6 การใช้งานไมโครแคปซูลในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ไมโครแคปซูลนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษ และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยเฉพาะทางด้านทางการแพทย์และสิ่งทอเฉพาะทาง ตัวอย่างเช่น ไมโครแคปซูลของน้ำหอม วิตามิน สารต้านแมลงหรือจุลินทรีย์ และวัสดุที่สามารถเปลี่ยนสถานะได้ [19]

ไมโครแคปซูลที่ภายในบรรจุสารออกฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เนื่องจากมีแหล่งอาหารเป็นเหงื่อหรือสิ่งสกปรกต่างๆ ส่งผลทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ทั้งบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำหรับสวมใส่เช่น ชุดกีฬา ถุงเท้า เสื้อผ้า และผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ใช้ภายในครัวเรือนเช่น ผ้าปูที่นอน พรม เบาะรองนั่ง เป็นต้น ดังนั้นไมโครแคปซูลที่ภายในบรรจุสารออกฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์จึงนิยมนำมาตกแต่งบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ สารออกฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ไอออนของเงิน (silver ion) และสารสกัดธรรมชาติจากพืช เช่น น้ำมันหอมระเหยยูคาลิปตัสที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ซึ่งน้ำมันหอมระเหยเป็นสารระเหยง่ายการเก็บรักษาให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลจึงช่วยลดอัตราการระเหยและเพิ่มอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี

## 2.7 การตกแต่งสำเร็จบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยปรับปรุงให้สิ่งทอมีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้บริโภค โดยการตกแต่งสำเร็จนิยมทำเป็นกระบวนการสุดท้ายหลังจากที่สิ่งทอได้ผ่านกระบวนการทำความสะอาด การฟอกขาว หรือ การย้อม [20, 21]

### 2.7.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกแต่งสำเร็จบนผลิตภัณฑ์

มีดังนี้

1. ชนิดของเส้นใย วิธีปั่นเส้นด้าย และชนิดของผ้าผืน

2. สมบัติทางกายภาพของเส้นใย เช่น เมื่อได้รับความดัน และ อุณหภูมิ จะมีผลกระทบต่อ การบวมตัวของเส้นใย

3. ความว่องไวในการดูดซึมสารตกแต่งสำเร็จของผืนผ้า

4. การตัดแปรสารเคมีที่เป็นสารตกแต่งสำเร็จให้มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ สิ่งทอ

### 2.7.2 ประเภทของการตกแต่งสำเร็จ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องจักร และการใช้สารเคมี [20, 21] สามารถแบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

1. กระบวนการตกแต่งสำเร็จทางกายภาพ (physical or mechanical process) เป็นการเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอโดยการใช้เครื่องจักร ได้แก่ การทำให้เกิดปุ่มปมบนเส้นใยเพื่อ ทำให้เป็นเส้นใยแพลนซี การตัดขน หรือการตะกุงขน

2. กระบวนการตกแต่งสำเร็จทางเคมี (chemical finishing process) เป็นการใช้สารเคมี ตกแต่งบนสิ่งทอ หรือสารเคมีเกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับเส้นใย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษ ตามต้องการ เช่น เพิ่มสมบัติทนต่อการติดไพบนผ้า ทำให้ผ้านุ่มลื่น เพิ่มความสามารถการกั้นน้ำบนผ้า ทำให้ผ้ามีประสิทธิภาพต้านแบคทีเรีย เป็นต้น

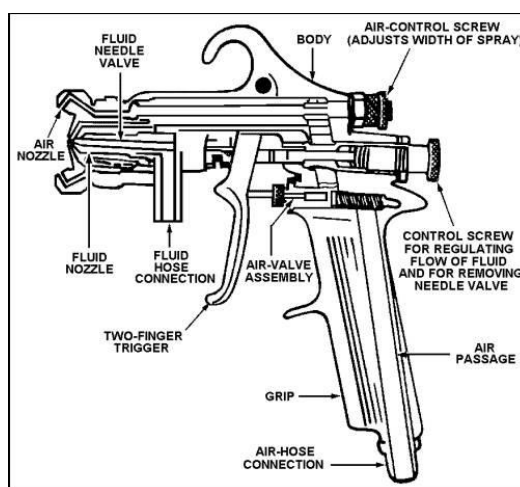
### 2.7.3 กระบวนการตกแต่งไมโครแคปซูลบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

ไมโครแคปซูลสามารถตกแต่งลงบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้โดยการจุ่มแช่ การทำให้ผ้าชุ่ม การพ่น ละออง การเคลือบผิว หรือการรวมตัวกับเส้นใยโดยไม่ต้องปรับปรุงผิวสัมผัสและสี [22] วิธีการตกแต่ง สามารถทำได้ประกอบด้วย [14, 16, 23]

1. การจุ่มอัด (Padding) เป็นกระบวนการตกแต่งผ้าโดยการนำผืนผ้าลงในอ่างที่มี ไมโครแคปซูลสำหรับตกแต่ง หลังจากนั้นผ้าจะผ่านลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัดที่มีการกดทับเพื่อควบคุม ปริมาณไมโครแคปซูลบนผ้า (% pick up) และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทำให้ผ้าแห้งและบ่ม เพื่อ ระบายน้ำออกและสารยัดเกิดปฏิกิริยาที่จะสามารถยึดติดกับเส้นใยบนผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

2. การพ่นละออง (Spraying) เป็นกระบวนการตกแต่งที่ควบคุมปริมาณของไมโครแคปซูล สำหรับใช้ในการพ่นละอองได้ โดยใช้เครื่องพ่นละอองตกแต่งไมโครแคปซูลบนผ้าสามารถแบ่ง ประเภทการพ่นละอองได้ดังนี้ [24]

- การพ่นละอองโดยใช้ลมอัด (Air Spraying) เป็นการพ่นละอองที่ใช้เครื่องพ่นละอองหรือปืนพ่น (Spray gun) ที่เป็นอุปกรณ์เหมาะสำหรับการเคลือบผิวแบบมีพื้นผิวที่มาก ตลอดจนผิวที่เป็นซอกมุม โค้งหรือเว้า ซึ่งยากต่อการทาด้วยแปรงหรือลูกกลิ้ง สำหรับเครื่องพ่นละอองระบบใช้ลมอัด (Air-assisted spray gun) เป็นเครื่องพ่นละอองที่ต้องใช้แรงดันจากลมเพื่อดันไมโครแคปซูลให้ออกจากหัวพ่นเป็นละอองฝอย รูปที่ 2.5 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องพ่นละอองระบบใช้ลมอัด



รูปที่ 2.5 เครื่องพ่นละอองระบบใช้ลมอัด [25]

ก่อนทำการพ่นละอองต้องเลือกใช้ขนาดของหัวพ่นละออง ปรับเปลี่ยนความหนืดของไมโครแคปซูล และแรงดันลมให้เหมาะสมกับการใช้งาน แรงดันลมที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 40-60 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในขณะที่พ่นละอองหัวพ่นควรอยู่ห่างจากชิ้นงานประมาณ 9-12 นิ้ว โดยตั้งปืนพ่นละอองให้ตั้งฉากและขนานกับผิวชิ้นงาน ส่งผลให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาสม่ำเสมอ และการเคลื่อนที่ของเครื่องพ่นละอองแต่ละครั้งต้องให้ชั้นฟิล์มซ้อนทับกันในช่วงร้อยละ 25-30

- การพ่นละอองแบบไม่ใช้ลม (Airless Spraying) เป็นการพ่นละอองที่ใช้ปั๊มลูกสูบดูดสารโดยตรงจากภาชนะแล้วอัดดันสารให้ผ่านหัวพ่นออกมาเป็นละอองขนาดสม่ำเสมอจากความดันสูง โดยไม่ใช้อากาศเป็นตัวนำพาสาร

- การพ่นละอองด้วยกำลังไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Spraying) เป็นวิธีการพ่นละอองโดยเครื่องพ่นละอองจะต่อเข้ากับพลังงานไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง และวัสดุที่ต้องการเคลือบจะต่อกับสายดิน หลังจากนั้นจะปล่อยพลังงานไฟฟ้าจนเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างหัวเครื่องพ่นละอองและวัสดุที่



ต้องการเคลือบ ดังนั้นอนุภาคของสารที่มีประจุจะถูกดูดซับโดยผิวที่ต้องการเคลือบ และหลังจากเกาะติดวัสดุที่ต้องการเคลือบจะเป็นกลาง และได้ชั้นฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอ

**3. การเคลือบ (Coating)** เป็นกระบวนการที่สารเคมีต้องผสมเข้ากับเรซินบางชนิด แล้วทำการเคลือบลงบนผ้าฝ้ายโดยเครื่องมือเช่น ยางปาด ใบบิด ลูกกลิ้ง เป็นต้น

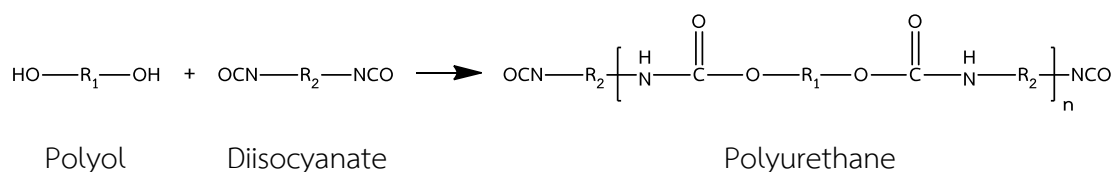
สารยึดมีความจำเป็นสำหรับการตกแต่งไมโครแคปซูลบนพื้นผ้า โดยเป็นส่วนประกอบในการสร้างชั้นฟิล์มต่อเนื่องเพื่อยึดติดไมโครแคปซูลเข้ากับพื้นผ้าและเพิ่มความคงทนต่อการซักล้าง [19] การตกแต่งนิยมใช้สารยึด (Binders, Self-Cross Linking Agents) เป็นตัวช่วยยึดจับระหว่างสารและเส้นใยหรือผิวผ้า สารยึดที่นิยมใช้กันได้แก่ สารยึดอะคริลิก สารยึดพอลิยูรีเทน และซิลิโคน

## 2.8 พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่  $-NHCOO-$  อยู่ในโมเลกุล ได้จากปฏิกิริยาระหว่างได-หรือพอลิไอโซไซยานาต กับได-หรือพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ สมบัติของพอลิยูรีเทนที่มีความหนาแน่นและความแข็งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขั้นตอนการสังเคราะห์ พอลิยูรีเทนนำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทั้งความนุ่ม และความแข็งเช่น เฟอร์นิเจอร์ พรม ร่องเท้า รวมทั้งกันชนของรถยนต์และโครงสร้างอาคารบ้านเรือน [10]

### 2.8.1 การสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

ไอโซไซยานาต (isocyanates) และโพลิโกลิเมอร์ เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนซึ่งสายโซ่โพลิโกลิเมอร์จะมีหมู่ปลายเป็นไฮดรอกซิล 2 หมู่ เป็นพอลิออล (polyol) ในการทำปฏิกิริยาอาจต้องเติมสารอื่นๆ เพื่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วเช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารเพิ่มความยาวสายโซ่ (chain extender) หรือสารหน่วงไฟ (flame retardant) ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิ-ยูรีเทนแสดงดังรูปที่ 2.6



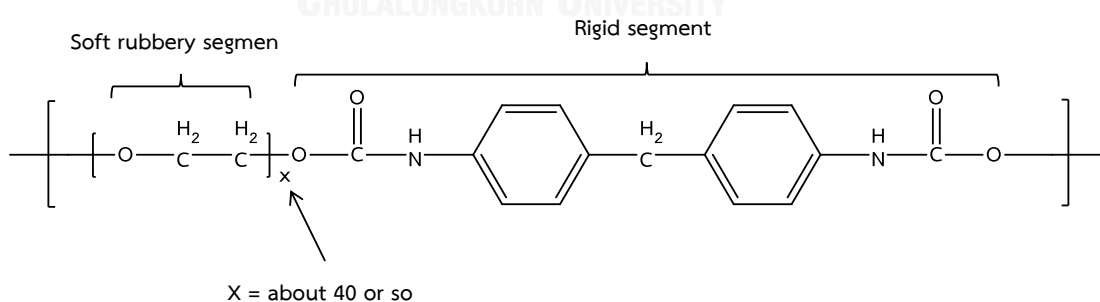
รูปที่ 2. 6 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

ไดไอโซไซยานตเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไอโซไซยานต 2 หมู่ โดยชนิดของสารไอโซไซยานตจะมีผลกับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา สารไอโซไซยานตอาจเป็นสารแอโรแมติกได้แก่ diphenylmethane diisocyanate (MDI) และ toluene diisocyanate (TDI) และอาจเป็นสารสายโซ่ตรงได้แก่ hexamethylene diisocyanate (HMDI) และ isophorone diisocyanate (IPDI)

ไดออล (diols) เป็นโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ เช่น ethylene glycol (EG), diethylene glycol (DEG), 1,4- butanediol (BDO) และ glycerine เป็นต้น สถานะและสมบัติทางกายภาพของพอลิยูรีเทนจะขึ้นกับโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของสารพอลิออล นอกจากนั้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเกะกะของหมู่ฟังก์ชัน (steric hindrance) โดยหมู่ไฮดรอกซิลชนิด primary มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่า secondary และ tertiary ตามลำดับ

### 2.8.2 สมบัติทางกายภาพและเชิงกล

พอลิยูรีเทนจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแข็ง (rigid segment) ที่เกิดจากไอโซไซยานต และส่วนยืดหยุ่น (soft segment or flexible segment) ที่เกิดจากพอลิออล โดยความยืด โดยสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลจะเป็นผลมาจากความยืดหยุ่นที่เกิดจากพอลิออล ขนาดของส่วนที่ยืดหยุ่นและส่วนที่แข็ง อัตราส่วนของส่วนที่ยืดหยุ่นและส่วนที่แข็ง แรงระหว่างโมเลกุลที่เป็นพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล พันธะที่ส่งผลให้เกิดโครงสร้างร่างแห สายโซ่ที่มีการจัดเรียงตัว ขนาดและความสมมาตรของวงแหวนแอโรมาติก การเกิดผลึกและการแยกเฟส โครงสร้างของพอลิยูรีเทนแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิยูรีเทน [10]

พอลิยูรีเทนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความต้านแรงดัดโค้ง (flexural strength) และความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์จะลดลง พันธะของหมู่ฟังก์ชันใน

โมเลกุลทำให้เกิดแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิยูรีเทน นอกจากนี้โมเลกุลจะเคลื่อนที่ยากและมอดุลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) เพิ่มขึ้นเพราะมีพันธะไฮโดรเจนและหมู่มีขั้วอยู่ในพอลิยูรีเทน พอลิเมอร์จึงมีความยืดหยุ่นและแข็งแรงไปพร้อมกัน फिल्मที่ได้จากพอลิยูรีเทนมีความสามารถยอมให้แก๊สและไอน้ำซึมผ่านได้ (permeability) และมีสมบัติฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดี

### 2.8.3 สมบัติทางความร้อน

พอลิยูรีเทนจะเริ่มสลายตัวที่ส่วนแข็งก่อน หลังจากนั้นจะเป็นส่วนยืดหยุ่น พันธะที่เชื่อมหมู่ยูรีเทนและสายโซ่ตรง [10] โดยการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนจะเกิดขึ้นหลายขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 พอลิยูรีเทนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน [10]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	พอลิยูรีเทนเกิดการเปลี่ยนแปลง
20-60	สมบัติกายภาพของพอลิยูรีเทนสายโซ่ตรงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
100	พอลิเมอร์ลดความแข็งแรงลงครึ่งหนึ่ง
80-150	ส่วนยืดหยุ่นเกิดการแตกออกตรงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง NH ของหมู่ยูรีเทนกับ O
87-127	spherulite ไม่ปรากฏ
130-170	หมู่ยูรีเทนเกิดการแตกออกตรงพันธะไฮโดรเจน
150	พอลิยูรีเทนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา
183-247	ส่วนแข็งของพอลิยูรีเทนเกิดการสลายตัว

### 2.8.4 สมบัติทางเคมี

พอลิยูรีเทนที่ได้จากสายโซ่ตรงมีความต้านทานแสง แต่จะมีความต้านทานแสงลดลงเมื่อมีพันธะยูเรีย พอลิยูรีเทนที่มีปริมาณของส่วนแข็ง และสายโซ่ที่ยาวและเป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สูงขึ้นจนมีความต้านทานการเกิดไฮโดรไลซิส

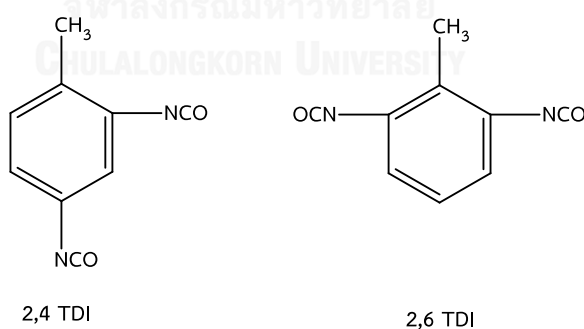
(hydrolysis) พอลิยูรีเทนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์มีขี้ถ้าไม่มีโครงสร้างร่างแห และละลายได้เพียงเล็กน้อยในตัวทำละลายคีโตน เอสเทอร์ แอโรมาติก และฮาโลคาร์บอน นอกจากนี้จะเกิดการบวมตัวที่อุณหภูมิห้องเมื่ออยู่ใน dioxin, THF, benzyl, alcohol และ cyclohexanol

### 2.8.5 สมบัติทางชีวภาพ

เนื่องจากมีประจุลบโดยธรรมชาติอยู่บนพอลิยูรีเทน ส่งผลให้เข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อและในร่างกายจะไม่เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ มีความต้านทานต่อของเหลวพอลิเมอร์ มีอัตราการย่อยสลายและการดูดซึม

### 2.9 การเตรียมพอลิยูรีเทนสำหรับทำหน้าที่เป็นสารยึด

สารยึดที่ดีต้องให้ฟิล์มที่มีองค์ประกอบของการเชื่อมโยงเพียงพอ ดังนั้นสารเริ่มต้นจะมีหมู่ฟังก์ชันแนลลิตีอย่างน้อย 3 อาจเป็นไตรออลเข้าทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานาต หรืออาจเป็นไดออลทำปฏิกิริยากับไตรไอโซไซยานาต ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมให้มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลที่สูงกว่า ดังนั้นพอลิยูรีเทนจึงเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างไตรออลกับไดไอโซไซยานาต สารประกอบไดไอโซไซยานาตที่นิยมใช้เตรียมสารยึดสำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิวแบ่งเป็น 2 ชนิดได้แก่ โทลิลีน 2,4-ไดไอโซไซยานาต (2,4 TDI) และโทลิลีน 2,6-ไดไอโซไซยานาต (2,6 TDI) แสดงดังรูปที่ 2.8 สารประกอบไอโซไซยานาตมีความว่องไวมากในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งหมู่ไอโซไซยานาตสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสาร เช่น แอมีน น้ำหรือความชื้น เอทานอล กรดคาร์บอซิลิก และยูรีเทน [24]



รูปที่ 2. 8 โครงสร้างทางเคมีของโทลิลีน 2,4-ไดไอโซไซยานาต (2,4 TDI) และโทลิลีน 2,6-ไดไอโซไซยานาต (2,6 TDI) [24]

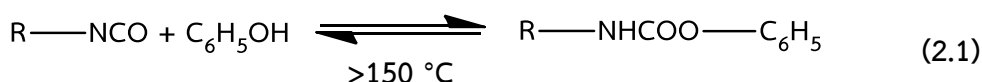
### 2.9.1 สมบัติของสารยึดที่ได้จากพอลิยูรีเทน

1. พันธะยูรีเทนเกิดไฮโดรลิซิสได้ยาก ดังนั้นสารยึดจากพอลิยูรีเทนจะมีความคงทนต่อต่างน้ำ และกรด แต่ความคงทนต่อต่างจะไม่เทียบเท่ากับสารยึดจากอีพอกซีที่ผ่านการอบหรือการบ่มเย็นแล้ว
2. फिल्मที่ได้จากสารยึดพอลิยูรีเทนมีความคงทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ โดยเฉพาะตัวทำละลายแอโรแมติก และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน
3. फिल्मของสารยึดพอลิยูรีเทนที่ผ่านการบ่มอย่างเต็มที่จะมีแรงยึดติดผิวหน้าดี มีความคงทนต่อการขัดสีสูง มีความเหนียว และทนทานต่อสภาวะแวดล้อมอย่างดี เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์มีหมู่ที่มีขั้วอยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะหมู่อะมิโนที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับผิวหน้าวัสดุ และสามารถเกิดพันธะกับออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอนิลในตัวเอง
4. สารยึดพอลิยูรีเทนมีแอโรแมติกไอโซไซยานาตเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงเหลืองได้ง่าย และจะเหลืองง่ายมากถ้าโมเลกุลมีกรดไขมันแบบไม่อิ่มตัวจึงสามารถเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์กับออกซิเจน โดยจะไปออกซิไดส์หมู่แอโรแมติกให้เกิดเป็นสารสีเหลือง

### 2.9.2 การใช้งานสารยึดพอลิยูรีเทนในอุตสาหกรรมเคลือบผิว

สารยึดพอลิยูรีเทนสามารถเตรียมขึ้นได้ต่างๆ กัน ดังนี้

1. พอลิยูรีเทนชนิด 2 ส่วน (Two-can Urethane Systems) เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยานาตปลายโซ่ กับพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายโซ่ เมื่อทำการผสมแล้วต้องใช้งานให้หมดเพราะปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการแข็งตัว
2. Prepolymer with free isocyanate groups crosslinked with a catalyst เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยานาตอิสระกับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมทิลไดเอทานอลแอมินนิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบอบ (One-can Urethane Stoving Systems) เตรียมได้จากการปิด (block) หมู่ไอโซไซยานาตด้วยฟินอล ทำให้เกิด ฟีนิลยูรีเทน (phenyl urethane) แบบไม่เสถียร และสามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส จนเกิดเป็นหมู่ไอโซไซยานาต ดังสมการที่ 2.1



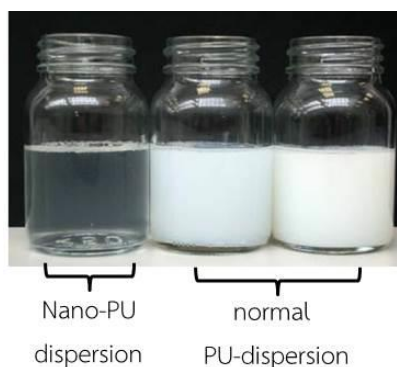
หมู่ไอโซไซยาเนตจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ที่อยู่รวมกัน ส่วนฟีนอลจะระเหยออกเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส

4. พอลิยูรีเทนชนิด 1 ส่วนแบบบ่มด้วยความชื้น (One-can Moisture-cured Urethane Coatings) เตรียมได้จากพรีพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศเกิดเป็นชั้นฟิล์มแบบมีโครงสร้างแน่นหนา พรีพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ พอลิอีเทอร์มีปลายโซ่เป็นหมู่ไอโซไซยาเนต กลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ น้ำเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนตเกิดเป็นหมู่อะมิโน และทำปฏิกิริยาต่อกับหมู่ไอโซไซยาเนตที่อยู่ในพรีพอลิเมอร์จนเกิดกลายเป็นโมเลกุลใหญ่กว่าเดิม แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นและระเหยไปพร้อมกับตัวทำละลาย อาจเกิดเป็นฟองอากาศในกรณีฟิล์มหนาเกินไป ดังสมการที่ 2.2 พอลิยูรีเทนชนิดนี้ต้องอยู่ในความชื้นสัมพัทธ์อย่างน้อยร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จึงสามารถเกิดการบ่มเพียงพอละรวดเร็ว และอัตราการบ่มสามารถเร่งได้โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยา



## 2.10 สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน

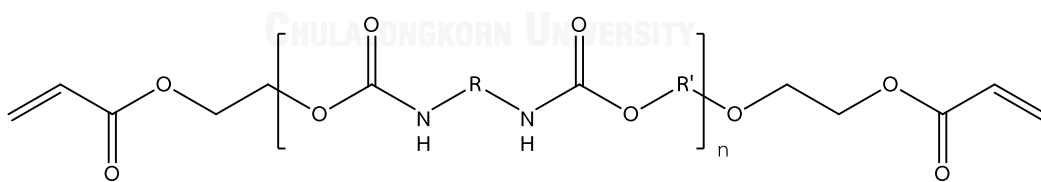
สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเป็นสารยึดที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 นาโนเมตร สามารถกระจายตัวได้ดีในสารแขวนลอย ทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่บางเคลือบบนผ้า และฟิล์มที่ได้มีความความเหนียว สามารถป้องกันการขึ้นขน และเพิ่มความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้าย นอกจากนี้ชั้นฟิล์มสามารถทนต่อน้ำ และกรดได้ดี เนื่องจากมีพันธะยูรีเทนที่เกิดไฮโดรไลซิสได้ยาก ฟิล์มของพอลิยูรีเทนจึงทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อตัวทำละลายแอโรแมติก และคลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน และทนต่อน้ำมัน ฟิล์มที่ผ่านการบ่มเต็มที่แล้ว จะมีแรงยึดผิวหน้าดี มีความทนทานต่อการขัดถูสูง มีความเหนียว (toughness) และทนทานต่อลมฟ้าอากาศเป็นอย่างดี รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบการกระจายตัวในน้ำระหว่างสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนกับสารยึดชนิดพอลิยูรีเทน [26]



รูปที่ 2. 9 การกระจายตัวในน้ำของสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารยัดพอลิยูรีเทน [26]

### 2.11 สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต

สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเป็นสารยัดที่กระจายตัวในน้ำ ซึ่งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ชั้นฟิล์มที่ได้จะมีความยืดหยุ่น แข็งแรงและสามารถยึดติดได้ดีกับวัสดุเคลือบผิว ฟิล์มที่ได้จากชนิดอะคริเลตจะมีความทนทานต่อแสงดี ส่วนฟิล์มที่ได้จากชนิดเอโรแมติกจะแห้งเร็ว มีความยืดหยุ่น ไม่ทนต่อแสง และทิ้งไว้นานจะเกิดสีเหลือง (yellowing) นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพิมพ์สีพิกเมนต์ และบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต นอกจากนี้ยังเป็นสารยัดที่ใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารริเริ่มปฏิกิริยาดำยแสงที่น้อยเพียงร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนักของสารยัด [27, 28] สูตรโครงสร้างของสารยัดพอลิยูรีเทนอะคริเลตแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2. 10 โครงสร้างของพอลิยูรีเทนอะคริเลต [27]

### 2.12 การเกิดฟิล์มของสารยัด

สารยัดที่เปลี่ยนสถานะมาเป็นชั้นฟิล์ม มีความสามารถในการยึดติดกับผิวหน้าของวัสดุ และเพิ่มความทนทานให้กับผิวหน้า [29] มีกระบวนการเกิดชั้นฟิล์มแบบ 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. แอพพลิเคชัน (Application) เป็นขั้นตอนการเคลือบสารยัดให้เกิดชั้นฟิล์ม บนผิวหน้าของวัสดุ ทำโดยการใช้อุปกรณ์ เช่น แปรง ลูกกลิ้ง การพ่นละออง หรือการจุ่มอัด

2. **ฟิกเซชัน (Fixation)** เป็นขั้นตอนของการทำให้ชั้นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าของวัสดุ โดยต้องไม่เกิดการหลุดออกหรือเกิดชั้นฟิล์มที่ไม่พึงประสงค์ เช่น สารยึดแบบตัวทำละลายอินทรีย์ต้องทำการระเหยตัวทำละลาย ในขั้นตอนฟิกเซชันเพื่อทำให้เกิดชั้นฟิล์ม ส่วนสารยึดแบบระบบลาเท็กซ์ (Latex system) ต้องทำการระเหยน้ำเพื่อทำให้เกิดชั้นฟิล์มในขั้นตอนฟิกเซชัน เป็นต้น

3. **การบ่ม (Curing)** เป็นขั้นตอนที่ทำให้ชั้นฟิล์มมีความทนทานเพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยความร้อน แสง หรืออากาศ ตัวอย่างเช่น การบ่มของสีน้ำมันทาบ้าน ซึ่งอาศัยออกซิเจนในอากาศเพื่อการเกิดปฏิกิริยา จนได้ชั้นฟิล์มที่แห้งแข็งมีความทนทาน หรือสารยึดที่ทำมาจากพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตสามารถเกิดเป็นชั้นฟิล์มแห้งแข็งและความคงทน จะต้องอาศัยความร้อนในการอบ เป็นต้น

การเกิดชั้นฟิล์มของสารยึดบางชนิดอาจไม่ได้เป็นไปตามกระบวนการ ดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยระหว่างขั้นตอนแอฟฟิเคชัน ตัวทำละลายอาจเกิดการระเหย หรืออาจเกิดขั้นตอนฟิกเซชันและการบ่มขึ้นในเวลาเดียวกัน เช่น สารยึดชนิดแล็กเกอร์

### 2.13 การแห้งของสารยึด

สารยึดเมื่อผ่านการเคลือบลงบนผิวของวัสดุจะเกิดการแห้ง ซึ่งกรรมวิธีการแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ [24, 29] คือ

1. **การแห้งของสารยึดแบบทางฟิสิกส์ (Physical drying)** กล่าวคือตัวทำละลายในสารยึดจะเกิดการระเหยจนสารยึดกลายเป็นชั้นฟิล์มที่ยึดติดกับผิวหน้าของวัสดุแบบอ่อนๆ ด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary bond) เช่น สีที่ผลิตมาจากยางคลอรีเนตเตต (Chlorinated rubber)

2. **การแห้งของสารยึดแบบทางเคมี (Chemical drying)** ชั้นฟิล์มที่ได้จากการระเหยของตัวทำละลายจะมีความแข็งแรง และความคงทน เนื่องจากการแห้งของสารยึดอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ชั้นฟิล์มที่ได้จึงยึดติดกับผิวหน้าของวัสดุด้วยพันธะปฐมภูมิ (Primary bond) ตัวอย่างเช่น สีทาบ้านชนิดน้ำมันที่ทำมาจากอัลคิเดเรซิน (Alkyd resin) เมื่อสีเจอกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของสารยึดมีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้นจนเกิดเป็นชั้นฟิล์ม ถ้าต้องการเร่งปฏิกิริยาการแห้งของสารยึดชนิดดังกล่าว สามารถเติมสารเร่งแห้ง (Dryer) สารยึดประเภทดังกล่าวนิยมบรรจุอยู่ในภาชนะที่แยกกัน ก่อนการใช้งานจึงต้องนำมาผสมกันในอัตราส่วนตามคำแนะนำสินค้า

สารยึดชนิดที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อเกิดชั้นฟิล์มแห้งแข็งได้ที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า สารยึดชนิดบ่มเย็น (Cold curing coating) เช่น ยูเรียเรซิน (Urea resin) และพอลิยูรีเทนเรซิน (Polyurethane



resin) ส่วนสารยึดชนิดที่เกิดขึ้นฟิล์มแห้งแข็งได้ต้องอาศัยอุณหภูมิสูง เรียกว่า สารยึดชนิดอบ (Stoving or baking coatings)

## 2.14 การบ่มของสารยึดด้วยการผ่านรังสี

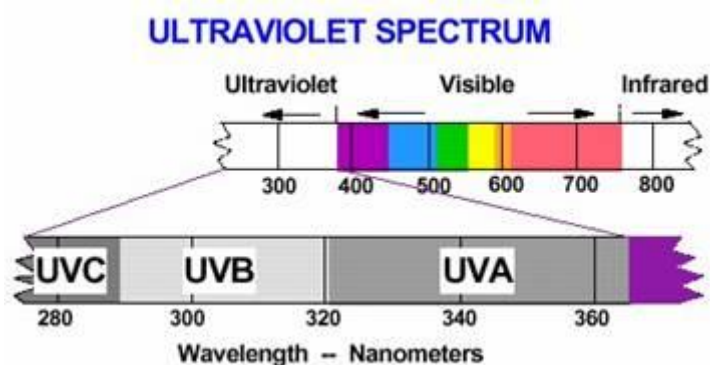
การบ่มสารยึดด้วยการผ่านรังสี เป็นการเปลี่ยนสารยึดที่อยู่ในสถานะของเหลวไปเป็นชั้นฟิล์มแห้งแข็งยึดติดกับผิวหน้าของวัสดุ โดยการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และเกิดการเชื่อมขวางด้วยการฉายรังสี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ

1. การบ่มสารยึดด้วยลำรังสีอิเล็กตรอน (Electron beam curing) เป็นการอาศัยลำรังสีอิเล็กตรอนกระตุ้นมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นจนเกิดอนุมูลอิสระขึ้น หลังจากนั้นอนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และเกิดการเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างร่างแห

2. การบ่มสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet curing) เป็นการอาศัยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ฉายลงบนสารยึดเพื่อกระตุ้นตัวริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงให้เกิดการแตกตัวของอนุมูลอิสระหรือประจุบวก หลังจากนั้นอนุมูลอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ของสารตั้งต้นของสารยึด

## 2.15 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

เป็นแสงที่อยู่ในช่วงสเปกตรัมระหว่างรังสีเอ็กซ์ (X-rays) และแสงที่ตาเปล่าสามารถมองเห็นได้ (Visible light) รังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งออกเป็น 4 สเปกตรัม ประกอบด้วย vacuum UV, UV C และ UV A ดังแสดงในรูปที่ 2.11



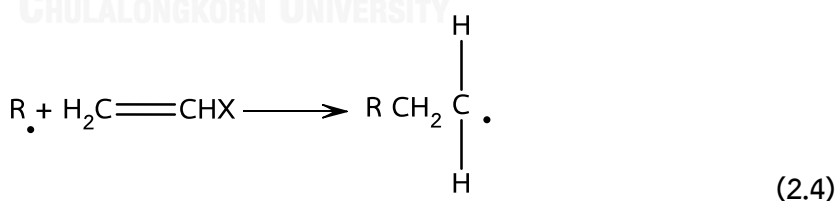
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ต [20]

รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถพบได้จากแหล่งพลังงานหลากหลาย ตัวอย่างเช่น แสงอาทิตย์ หลอดไฟยูวี หลอดแบล็คไลท์ หลอดชั้นแทน หลอดฆ่าเชื้อ หลอดคาร์บอนอาร์ค การเชื่อมและติด โลหะ เตาลอหม อุปกรณ์ทดสอบ และอุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องทดลอง

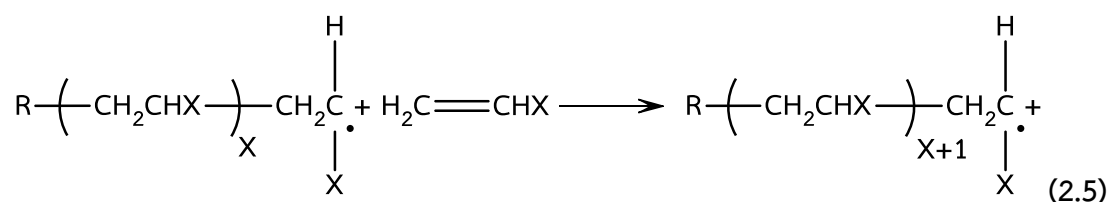
## 2.16 การแห้งของสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

การแห้งของสารยึดมาจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ถือได้ว่าเป็น กระบวนการที่มีความเร็วสูงในการทำให้สารยึดแห้ง และเกิดการแห้งที่สมบูรณ์ [27] ซึ่งกระบวนการ ดังกล่าวจะลดการสูญเสียพลังงาน ประหยัดพื้นที่ในการวางอุปกรณ์ และมีความเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม ชั้นฟิล์มที่ได้จากการแห้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตมีความสามารถในการยึดติดกับผิวหน้า ของวัสดุสูง ชั้นฟิล์มจึงมีความแข็งตัว ทนทานต่อแสงและตัวทำละลาย มีความมันวาวสูง และ ปราศจากการระเหยของสารออกสู่ภายนอก [8, 30] การแห้งของสารยึดจนเกิดชั้นฟิล์มจาก ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยแสงแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. **ปฏิกิริยาริเริ่ม (Initiation)** เป็นปฏิกิริยาขั้นแรกของการเกิดพอลิเมอไรเซชัน โดยสารริเริ่ม ปฏิกิริยาดำเนินการด้วยแสงจะได้รับพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ส่งผลทำให้อนุมูลอิสระเกิด การแตกตัว ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ในขั้นต่อไป ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ [27]

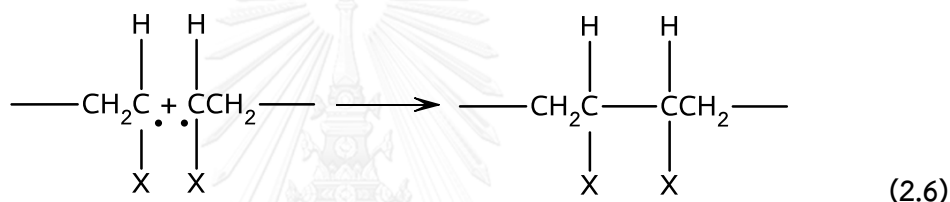


2. **ปฏิกิริยาการแผ่ (Propagation)** เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระเข้าไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ส่งผลทำให้เกิดสายโซ่ของอนุมูลอิสระ ที่มีความพร้อมในการเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์โมเลกุลถัดไป โมเลกุลที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากมอนอเมอร์หลายโมเลกุลมารวมตัว กัน ดังแสดงในสมการที่ (2.5) [27]

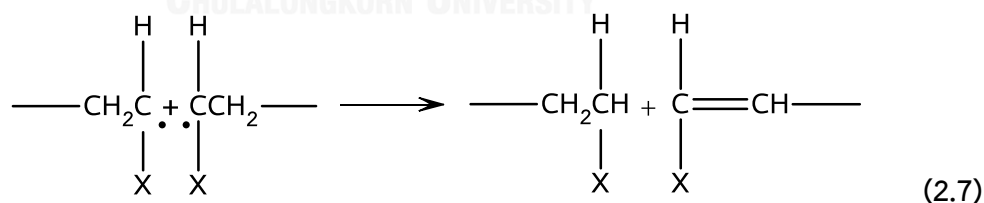


### 3. ปฏิกิริยาการหยุด (Termination) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ

3.1 ปฏิกิริยาการรวมตัว (Combination) โดยพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการรวมตัวจะเป็นชนิดอิมิตัว ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของอนุมูลอิสระในขั้นตอนปฏิกิริยาการแผ่ แสดงดังในสมการที่ (2.6) [27]



3.2 ปฏิกิริยาดิสพรอพพอร์ชันเนชัน (Disproportionation) โดยพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาดิสพรอพพอร์ชันเนชันจะเป็นชนิดอิมิตัวและไม่อิมิตัว ซึ่งเกิดจากไฮโดรเจนที่อยู่ในตำแหน่งบีตาของสายโซ่โมเลกุลหนึ่งถ่ายโอนไปยังอนุมูลอิสระของอีกสายโซ่หนึ่ง แสดงดังในสมการที่ (2.7) [27]



### 2.17 ส่วนประกอบของสารยึดที่บ่มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

1. สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (Photoinitiator) มีหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ส่งผลให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระหรือประจุบวก เพื่ออนุมูลอิสระหรือประจุบวกนำไปสู่การเริ่มต้นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

2. สารเจือจางที่มีความว่องไว (Reactive diluent) เป็นสารปรับความหนืด และมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของสารยึด

3. โอลิโกเมอร์ (Oligomer) ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Multifunctional monomer) เนื่องจากสามารถเกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุล สายโซ่หลักของโอลิโกเมอร์จะเป็นโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลายเช่น พอลิเอสเทอร์, ยูรีเทน และอีพอกซี โดยสายโซ่หลักจะมีอิทธิพลกับสมบัติทางกายภาพในเรื่องของความแข็ง ความทนทานต่อการขีดสี ความทนทานต่อสารละลาย และความยืดหยุ่น เป็นต้น

4. สารเติมแต่ง (Addition) เป็นสารช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของสารยึดให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน [20]

### 2.17.1 มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์

สารยึดที่ต้องผ่านการบ่มแบบผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ต จะใช้มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ชนิดมีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ เพราะสามารถเชื่อมขวางจนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห มอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ที่เหมาะสมและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับเป็นองค์ประกอบของสารยึดแบบผ่านการบ่มด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตแบ่งเป็น [20, 27]

1. โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical system) ได้แก่ อะคริเลตและเมทาคริเลต เป็นมอนอเมอร์ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสารยึด เพราะการสังเคราะห์โอลิโกเมอร์พวกอะคริเลตสามารถทำจากมอนอเมอร์ได้หลากหลายชนิด เช่น พอลิเอสเทอร์ อะคลิเลต, อีพอกซีอะคลิเลต และยูรีเทนอะคริเลต โดยความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันอะคลิเลตจะมีความว่องไวมากกว่าเมทาคริเลต เนื่องจากเมทาคริเลตมีโครงสร้างทางเคมีที่เกะกะ (Sterically hindered) มากกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างทางเคมีของอะคลิเลต ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาขั้นขยายตัว (Propagation polymerization) ดำเนินไปอย่างช้าๆ และสไตรีน/พอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว โดยพอลิเอสเทอร์ไม่อิ่มตัวสามารถสังเคราะห์จากมาลิกอิกแอนไฮดรายและกรดฟูมาริก ส่วนสไตรีนนิยมนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารเจือจางที่ว่องไว (Reactive diluent)

2. โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก (Cationic system) ได้แก่ อีพอกไซด์ การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบอีพอกไซด์เป็นแบบการเปิดวง เนื่องจากมีความไม่เสถียรเกิดขึ้นภายในวงจนสามารถเปิดวงได้อย่างง่าย โดยกรดบรอนสเตด (เช่น ไฮโดรเจนฟลูออไรด์) หรือกรดลิวอิส (เช่น โบรอนไตรฟลูออไรด์ และฟอสฟอรัสเพนตะฟลูออไรด์) ไซโคลอะลิฟลาติกอีพอกไซด์ และไกลซิดิ้งอีเทอร์ เป็นสารประกอบอีพอกไซด์ที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมสารยึดอย่างมาก และไวโนลอีเทอร์ ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก โดย

จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันการเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างร่างแหได้ง่าย ด้วยสาเหตุที่ว่า ไวนิลอีเทอร์มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่

โอลิโกเมอร์ที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบผสม (Hybrid system) ได้แก่ โอลิโกเมอร์ของ สารประกอบอ็อกไซด์ผสมกับสารเจือจางที่ว่องไวจำพวกอะคริเลต ซึ่งสารยึดจะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันต่างกันคือ อะคริเลตมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ และ อ็อกไซด์มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบประจุบวก นอกจากนี้ยังมีโอลิโกเมอร์ของอะคริเลตผสมกับ สารเจือจางที่ว่องไวจำพวกไวนิลอีเทอร์ และโอลิโกเมอร์ของไวนิลอีเทอร์ผสมกับสารเจือจางที่ว่องไว จำพวกอะคริเลต

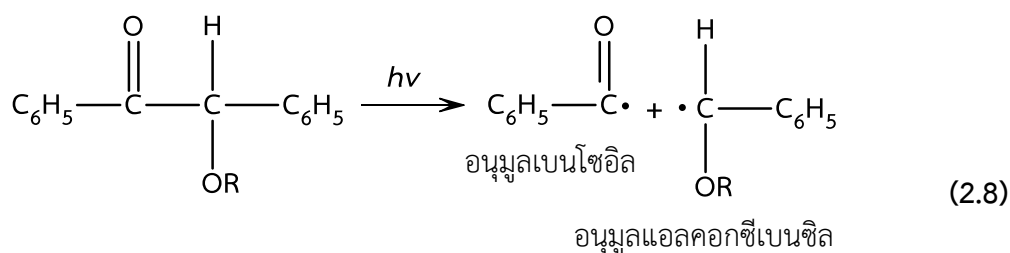
### 2.17.2 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (Photoinitiator)

สารประกอบทางเคมี ที่มีความสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือแสง แล้วเหนี่ยวนำทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และเกิดการสลายตัวได้ทั้งทางตรงหรือทางอ้อม ซึ่งรูปแบบของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง จึงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย ทำหน้าที่รับพลังงานแสง [17, 20, 27]

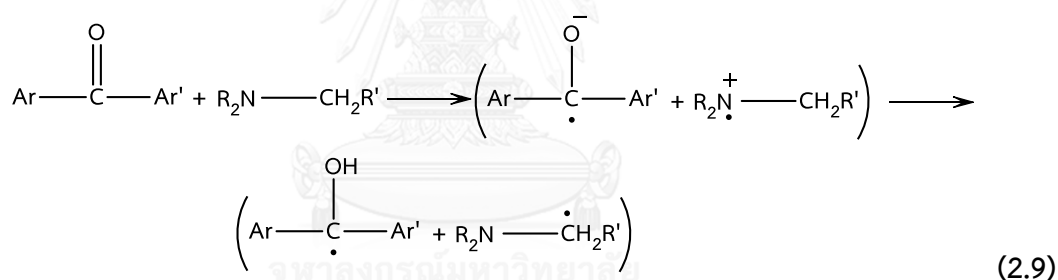
#### 2.17.2.1 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบอนุมูลอิสระ (Free radical photoinitiators)

เมื่อโมเลกุลของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบอนุมูลอิสระ เกิดการกระตุ้นโมเลกุลให้ไปยังชั้น Singlet state เกิด Intersystem crossing หลังจากนั้นโมเลกุลจะตกกลับลงมาอยู่ชั้น Triplet state เพื่อโมเลกุลเกิดความเสถียรเพิ่มมากขึ้น ระหว่างการเปลี่ยนแปลงชั้นจะเกิดการปล่อยฟลูออเรสเซน (Fluorescence) หรือเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน ส่งผลให้อาจเกิดการสูญเสียอนุมูลอิสระ สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ในชั้น Triplet state จะเกิดการแตกตัวก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกการเกิดอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลไก ดังนี้ [17]

1. นอร์ริชแบบ 1 (Norrish Type I หรือ  $\alpha$  - cleavage) หรือการแตกตัวแบบแอลฟา เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระได้ด้วยตัวเอง ตัวอย่างเช่น สารประกอบไฮดรอกซีคีโตน (hydroxyl ketone) หรือฟอสฟีนออกไซด์ (phosphine) เป็นต้น โดยสารจะเกิดกลไกการแตกพันธะ C-C ที่ตำแหน่งแอลฟาของหมู่คาร์บอนิล แบ่งอิเล็กตรอนเท่ากัน และเกิดอนุมูลอิสระ 2 อนุโมล ซึ่งอนุโมลแต่ละตัว สามารถเกิดการริเริ่มปฏิกิริยาที่ระดับเดียวกันหรือต่างกัน แสดงดังสมการ (2.8)



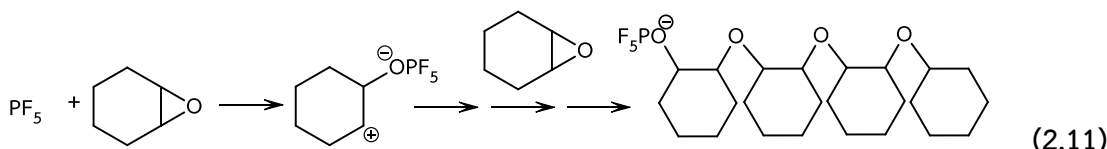
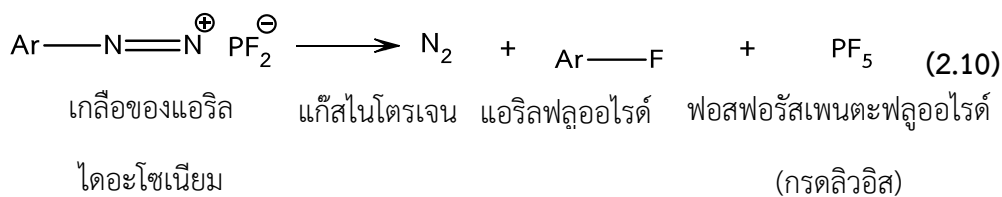
2. นอร์ริชแบบ 2 เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ต้องมีสารประกอบ เรียกว่า Synergist เพื่อช่วยในการแตกตัวให้อนุมูลอิสระด้วยการเกิด H-abstraction หรือ e-transfer สารช่วยที่ใช้ควบคู่ส่วนใหญ่มักจะเป็นสารที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจน เช่น สารประเภทเอมีน ตัวอย่างสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดนอร์ริชแบบ 2 คือ ไทโอแซนโทน (thioxanthone) หรือ แอนทราควิโนน (anthraquinone) เป็นต้น โดยสารจะเกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่เกิดจากกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน พร้อมทั้งการถ่ายโอนโปรตอนหรือไฮโดรเจน ตัวอย่างเช่น จากเอมีนไปสู่คีโตน ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.9) [17]



ชนิดของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงและชนิดของโอลิโกเมอร์ จะเป็นสิ่งที่กำหนดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงว่าเป็นกลไกแบบใด และถ้าเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกนอร์ริชแบบ 1 พบว่ามีข้อได้เปรียบมากกว่ากลไกนอร์ริชแบบ 2 เนื่องจากกลไกนอร์ริชแบบ 2 ต้องอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโมเลกุล 2 โมเลกุล (bimolecular reaction)

### 2.17.2.2 สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบแคตไอออน (Cationic photoinitiator)

เป็นปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยแสง ซึ่งใช้สารประเภทสารประกอบไอเนียม (onium compound) กล่าวคือ เมื่อผ่านการรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เกิดการแตกตัวให้กรดลิวอิส (Lewis acid) หรือกรดบรอนสเตด (Bronsted acid) ซึ่งมีความสามารถเริ่มเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ต่อไป แสดงดังสมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ [17]

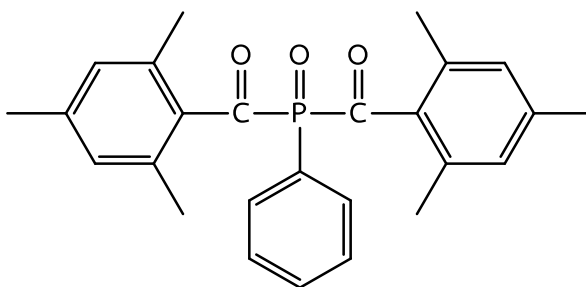


สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบแคตไอออน สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อมอนอเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ตั้งต้นมีความสามารถเปิดวง ตัวอย่างเช่น อีพอกไซด์, ไซคลิกอีเทอร์, แลคโตน, ไซคลิกซัลไฟด์, อะซิทัล, ไซลอกเซน, และไวนิลอีเทอร์

สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการแห้งของสารยึด เพราะว่สารแต่ละชนิดมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน นอกจากนี้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ในสถานะของเหลวจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ในสถานะของแข็ง ด้วยสาเหตุที่ว่าสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ในสถานะของเหลวจะสามารถกระจายตัวรอบล้อม โมเลกุลของมอนอเมอร์และโอลิโกเมอร์ได้เป็นอย่างดี การพิจารณาเลือกใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ให้สังเกตที่ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงบางชนิดเหมาะสมกับการแห้งด้านบนพื้นผิวของชั้นฟิล์ม และบางชนิดเหมาะสมกับการแห้งด้านล่างของชั้นฟิล์ม โดยสมบัติของชั้นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง เช่น ความเข้มข้นและความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง มีผลต่อความแข็งแรงของชั้นฟิล์ม เป็นต้น

อิร์กาเคียวร์ 819 ดีดับบลิว (Irgacure 819 DW) เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 45 มีชื่อทางเคมีว่า ฟีนิลบิส(2,4,6-ไตรเมทิลเบนโซอิล)-ฟอสฟีนออกไซด์ (Phenylbis(2,4,6-Trimethylbenzoyl)-Phosphineoxide) ซึ่งเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงเหมาะสำหรับสารยึดที่สามารถแห้งได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 295 และ 370 นาโนเมตร และเหมาะกับการใช้งานนั้นสามารถใช้แบบชนิดเดียวในระบบ หรือสามารถใช้ร่วมกับสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิดอื่น มีความสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับสารอื่นที่เป็นของผสมในน้ำได้เป็นอย่างดี เพราะเป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่อยู่ใน

สถานะของเหลวแบบกระจายตัวอยู่ในน้ำ ให้สีเหลืองสว่างหลังจากผ่านการเคลือบและการบ่ม รูปที่ 2.12 แสดงสูตรโครงสร้างของ อีร์กาเคียวร์ 819 [27]



รูปที่ 2. 12 สูตรโครงสร้างของ อีร์กาเคียวร์ 819 ดีดับบลิว [27]

### 2.18 ข้อดีของการบ่มสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

มีดังต่อไปนี้ [8, 20, 30]

1. การบ่มสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารยึดไม่ใช้ตัวทำละลายจึงไม่มีการปลดปล่อยตัวทำละลายสู่ชั้นบรรยากาศ
2. ประหยัดพื้นที่ในการวางเครื่องอบรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพราะเครื่องอบอัลตราไวโอเล็ตสำหรับการบ่มสารยึดมีขนาดเครื่องไม่ใหญ่มาก พื้นที่การวางเครื่องจึงน้อยกว่าเครื่องอบแบบลมร้อนหรือแบบแก๊ส
3. การบ่มสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะใช้เวลาในการผ่านกระบวนการที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับสารยึดชนิดที่มีตัวทำละลาย ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาการแห้งของสารยึดด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารยึดชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย

### 2.19 ความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ระหว่างกระบวนการใช้งานเครื่องอบรังสีอัลตราไวโอเล็ตผู้ปฏิบัติการจำเป็นต้องสวมใส่สิ่งป้องกันโดยสวมใส่เสื้อผ้าที่ปิดมิดชิด และแว่นตา เพราะเมื่อเกิดการสัมผัสกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลทำให้เกิดอันตรายกับร่างกายได้แก่ ผิวหนังแห้งไหม้เกรียม ผิวหนังเหี่ยวย่น เม็ดสีของผิวหนังเกิดความผิดปกติ หรือตาบอด และนอกจากนั้นยังพบว่าในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะส่งผลให้เกิดสารโอโซน ถ้าเกิดการรับสารโอโซนเกิดปริมาณพบว่าจะเกิดอาการแสบหน้าอกและอ่อนเพลีย ด้วยเหตุดังกล่าวเครื่องอบรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเท [20]



## 2.20 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### งานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยข่า

Mayachiew และคณะ [31] ได้ศึกษาการต้านจุลินทรีย์และการต้านการเกิดออกซิเดชันของสารสกัดมะขามป้อมและข่า แล้ววิเคราะห์ส่วนประกอบพบว่าสารสกัดข่ามี 1,8-cineole,  $\beta$ -bisabolene, caryophyllene และ  $\beta$ -selinene สารสกัดมะขามป้อมมีส่วนประกอบหลักคือสารประกอบฟีนอลเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นยังพบว่าสารสกัดข่ามีความสามารถต้านจุลินทรีย์ *S. aureus* มากกว่าสารสกัดมะขามป้อม ในทางตรงกันข้ามสารสกัดมะขามป้อมมีความสามารถต้านการเกิดออกซิเดชันมากกว่าสารสกัดข่า

Oonmetta-aree และคณะ [4] ได้ศึกษาสารสกัดจากพืชตระกูล *Zingiberaceae* ได้แก่ ข่า ขิง ขมิ้น และกระชาย ที่ผ่านการสกัดด้วยเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นสารต้านจุลินทรีย์ *S. aureus* และ *E. coli* พบว่าสารสกัดที่ได้จากข่ามีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. aureus* มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ได้จากขิง ขมิ้น และกระชาย ซึ่งความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ขึ้นกับเวลาที่ทิ้งสารสกัด และความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์ สารสกัดจะส่งผลต่อเซลล์ออสโมลาริตี (cell osmolarity) ไรโบโซม (ribosomes) และส่วนประกอบของเซลล์จะรวมตัวแล้วเกิดการตกตะกอนโดยผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของ *S. aureus* จะเริ่มเกิดการฉีกขาดและถูกทำลาย เมื่อเชื้อแช่อยู่ในสารสกัดข่า เป็นผลทำให้องค์ประกอบของเซลล์ภายในไซโทพลาซึมถูกปลดปล่อยออกมา

### งานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย

Podshivalov และคณะ [6] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันหอมระเหยข่าเป็นสารแกน และมีพอลิยูรีเทน-ยูเรียเป็นสารห่อหุ้มโดยวิธี Interfacial polymerization ซึ่งอัตราความเร็วรอบในการกวนผสมได้แก่ 2000-10000 รอบต่อนาที พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดกลมแบนมีวัสดุแกนหลายอนุภาคอยู่ในไมโครแคปซูล พื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีขนาดเล็กลงเมื่อความเร็วรอบในการกวนผสมเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบในการกวนผสม 4000 รอบต่อนาทีขึ้นไปให้ไมโครแคปซูลที่มีขนาดเล็กประมาณ 10 ไมโครเมตร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธี Interfacial polymerization มีขนาดเล็กและอยู่ในรูปร่างที่เหมาะสมและง่ายสำหรับนำไปตกแต่งสิ่งทอ

Tekin และคณะ [32] ได้ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ภายในบรรจุน้ำมันหอมระเหยข่า โดยวิธี Interfacial polymerization แล้วนำไปผสมเข้ากับน้ำยาปรับผ้านุ่ม พบว่าผนังห่อหุ้มช่วยลดอัตราการปลดปล่อยและเพิ่มความคงทนของกลิ่นหอม ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลอยู่ในช่วง 10-80 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มอัตราการปั่นผสมอิมัลชันอยู่ในช่วง 2000, 4000 และ 6000 รอบต่อนาที

จะได้ไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง โดยขนาดอนุภาคจะอยู่ในช่วงประมาณ 50-80 ไมโครเมตร, 20-30 ไมโครเมตร และ 10-20 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนั้นภาพ SEM ยังแสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลที่ได้รับความเสียหาย และเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เมื่อความเร็วในการปั่นผสมเพิ่มขึ้น การทดสอบการชักทำโดยนำผ้าไปซักในน้ำยาปรับผ้านุ่มที่ไม่มี และมีไมโครแคปซูลน้ำหอมที่ปริมาณแตกต่างกัน พบว่าหลังจากผ่านไปหนึ่งสัปดาห์ผ้าที่ซักด้วยน้ำยาปรับผ้านุ่มปริมาณร้อยละ 50 และไมโครแคปซูลน้ำหอมปริมาณร้อยละ 50 ยังคงมีกลิ่นหอมที่ชัดเจน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Headspace-GC แสดงถึงน้ำหอมปริมาณมากบนผ้าที่ระเหยออกจากไมโครแคปซูล

#### งานวิจัยเกี่ยวกับการตกแต่งสิ่งทอ

Chaliewsak และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาตกแต่งน้ำมันหอมระเหยเข้าบนผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านจุลินทรีย์ โดยใช้ น้ำมันหอมระเหยเข้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-10 แล้วนำไปทดสอบการต้านจุลินทรีย์ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเข้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ *S.aureus* ก็จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งความเข้มข้นร้อยละ 10 มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียสูงถึง 99.3 แต่มีผลต่อความระคายเคืองและความปลอดภัยของผิวหนัง ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการตกแต่งคือร้อยละ 3 ที่มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ร้อยละ 92 และผ้าหลังการตกแต่งไม่เกิดการเปลี่ยนสี นอกจากนั้นเมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ พบว่าผ้าที่ตกแต่งไม่มีความคงทนต่อแสง และเหงื่อ

Shiqi และคณะ [33] ศึกษาการตกแต่งไมโครแคปซูลที่บรรจุน้ำหอมบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีการจุ่มอัด โดยเปรียบเทียบการใช้สารยัด 3 ชนิด ได้แก่ dimethylol dihydroxyethyleneurea (DMDHEU) สารยัดชนิดพอลิยูรีเทน และสารยัดชนิดอะคริลิก อีกทั้งยังเปรียบเทียบวิธีการทำให้ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งแห้ง คือ การใช้ลมร้อน การใช้อินฟราเรด และการใช้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าการใช้สารยัดชนิดอะคริลิก และการทำให้ผ้าแห้งโดยใช้ลมร้อนสามารถทำให้กลิ่นหอมที่ถูกปลดปล่อยจากไมโครแคปซูลยังคงอยู่หลังจากผ่านการซัก 25 รอบ แต่กลับพบว่าความแข็งแรง ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งลดลงประมาณร้อยละ 11-13

Grabowska และคณะ [34] ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไมโครสเฟียร์ของ poly(L,L-lactide) ที่บรรจุไตรโคลซาน และนำมาตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าวิสโคสแบบ nonwoven โดยเปรียบเทียบวิธีการตกแต่งไมโครสเฟียร์ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยไมโครสเฟียร์ในน้ำกลั่น 2 วิธีได้แก่ การพ่นละออง และการเทโดยตรงลงบนผ้าวิสโคส พบว่าผ้าวิสโคสที่ผ่านการตกแต่งโดยการพ่นละอองมีประสิทธิภาพ

ในการต้านแบคทีเรีย และมีปริมาณของอนุภาคไมโครสเฟียร์บนผ้าวิสโคส มากกว่าผ้าวิสโคสที่ตกแต่ง โดยการเทโดยตรง

Neral และคณะ [8] ได้ศึกษาผ้าพิมพ์ด้วยสีพิกเมนต์ Bezaprint Red KF based C.I. Pigment Red 146 โดยการบ่มจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งการบ่มด้วยความร้อนใช้สารยึด Tubifast BN-35 ที่สามารถเกิดการเชื่อมขวางได้ด้วยตัวเอง และการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงคือ Esacure DP250 พบว่าการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการบ่มผ้าพิมพ์จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งที่ผ่านการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้น ความคงทนของสีจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของการกระจายตัวของสีเพิ่มขึ้นในการบ่มด้วยความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ปริมาณของสารพิมพ์น้อย แต่ที่ปริมาณสารพิมพ์มากจะพบว่าความคงทนของสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของการกระจายตัวของสีเพิ่มขึ้น และปริมาณความเข้มข้นของสารยึดมีผลกับความแข็งแรงต่างของผ้า โดยที่ปริมาณของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงสูง ความแข็งแรงต่างของผ้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารยึดลดลง เนื่องจากสารยึดทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันด้วยแสงเกิดได้ช้าลง

Li และคณะ [30] ได้ศึกษาผลการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการบ่มไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยบนผ้าฝ้ายโดยใช้สารยึดที่ประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ (unsaturated polyurethane) มอนอเมอร์ (tripropylene glycol diacrylate) และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการใช้แหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ต่างกัน ได้แก่ mercury lamp, iron lamp และ xenon lamp พบว่าการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้ความทนทานต่อการซักล้างที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การบ่มด้วยความร้อน ความทนทานต่อการซักล้างที่ได้จะขึ้นกับชนิดของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง, ชนิดของหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต และภาวะในการบ่ม โดยหากปราศจากสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ความทนทานต่อการซักล้างจะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบการใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงถึงสองเท่าขึ้นไป การบ่มด้วยหลอด mercury lamp และ iron lamp จะให้ค่าความทนทานต่อการซักล้างโดยรวมที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การบ่มด้วยหลอด xenon lamp แต่อย่างไรก็ตามความแข็งแรงต่างของผ้าก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับผ้าที่ผ่านการบ่มด้วยหลอด xenon lamp จะให้ผลที่แตกต่างออกไป โดยที่การใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิด 2-Benzyl-2-(dimethylamino)-1-[4-(-4-morpholinyl)-phenyl]-1-butanone และ Phenyl bis(2,4,6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide จะได้ค่าความทนทานต่อการซักมากถึง 50 รอบ ในขณะที่การใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิด Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phosphine oxide จะให้ค่าความทนทานต่อการซักเพียง 30 รอบ และยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการบ่มจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผ้าภายหลังการตกแต่ง โดยผ้าที่ผ่านการบ่มด้วยหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด mercury lamp หรือ xenon lamp จะให้คุณภาพที่ดีเมื่อใช้ความเร็วในการบ่มผ่านสายพานที่

49 นิ้ว/นาที่ ในขณะที่หลอด iron lamp จะให้คุณภาพที่ดีก็ต่อเมื่อเพิ่มความเร็วในการบ่มผ่านสายพานเป็น 91 นิ้ว/นาที่ สุดท้ายสภาวะการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้คุณภาพของผ้าเหมาะสมคือ การใช้สารเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงชนิด Phenyl bis(2,4,6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide บ่มโดยใช้ความเร็วของสายพานที่ความเร็ว 91 นิ้ว/นาที่ ในการผ่านหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด iron lamp

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้ทราบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน - ยูเรียจะมีลักษณะสัณฐานวิทยา และขนาดอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลเช่นตัวแปรความเร็วรอบรอบในการปั่นผสมอิมัลชัน น้ำมันหอมระเหยชำที่ตกแต่งบนผ้าจะมีประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* แต่จะไม่มี ความคงทนต่อการซัก งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาไมโครแคปซูลที่ภายในบรรจุน้ำมันหอมระเหยชำให้มีความเสถียรมากขึ้นเพื่อนำไปตกแต่งบนสิ่งทอ และเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ จากการศึกษา งานวิจัยพบว่าวิธีการตกแต่ง สารย้อม และการบ่มสารย้อมจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของไมโครแคปซูล ดังนั้นการตกแต่งแบบพ่นละออง สารย้อมชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่บ่มด้วยความร้อน และสารย้อมชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตที่บ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงถูกนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการใช้งานของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ตกแต่งบนผ้า

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ขอบเขตการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยแบ่งขอบเขตการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 การเตรียมไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยชาด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน โดยศึกษาผลของความเร็วรอบในการปั่นผสมและผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปที่แตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อน การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล และการหาปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุภายในไมโครแคปซูล

ส่วนที่ 2 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันด้วยวิธีการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง แล้วบ่มด้วยความร้อน

ส่วนที่ 3 การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ส่วนที่ 4 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ภายหลังจากนำไปใช้งานที่ภาวะต่างๆ ประกอบด้วย การซัก การอบแสง การอบแห้ง และการรีดร้อน

#### 3.2 วัสดุและสารเคมี

1. น้ำมันหอมระเหยชา (Galangal essential oil, GEO) ที่ใช้เป็นสารแกน จากบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอม ไทย-จีน จำกัด
2. เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate, HMDI) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Fluka เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์

3. พอลิเอทิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 400 (Polyethylene glycol 400, PEG 400) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรีย จากบริษัท Fluka เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) เป็นสาร Protective colloid จากบริษัท Ajax Finechem เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
5. ไดบิวทิลทินไดลอเรต (Dibutyltin dilaurate, DBTDL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากบริษัท Sigma-Aldrich เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
6. เอทิลีนไดเอมีน (Ethylenediamine, EDA) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิยูเรีย จากบริษัท Panreac เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
7. เอทานอล ร้อยละ 99.8 (ethanol 99.8%) จากบริษัท T.C. Sathaporn Group Ltd., Part. เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
8. สารลดแรงตึงผิว (Polysorbate 80, TWEEN 80) เพื่อช่วยการกระจายตัวของไมโครแคปซูลในน้ำ จากบริษัท Sigma-Aldrich เกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์
9. สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน (Nano-polyurethane binder) ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Tanatex Chemicals
10. ผ้าฝ้ายลักษณะ Single jersey ที่ผ่านการทำความสะอาด มีน้ำหนักต่อพื้นที่ 202.22 กรัมต่อตารางเมตร และความหนาของผ้าเท่ากับ 0.62 มิลลิเมตร ได้รับความอนุเคราะห์จัดหาให้โดยบริษัท ออกัสเคมี จำกัด
11. สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต (Polyurethane acrylate binder, Bayhydrol<sup>®</sup> UV 2280) ที่กระจายตัวในน้ำโดยมีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 39 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Bayer Thai Co., Ltd.
12. สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง (Photoinitiator, Irgacure<sup>®</sup> 819DW) ที่กระจายตัวในน้ำโดยมีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 45 เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงแบบอนุมูลอิสระ (Radical photoinitiator) ทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มหรือตัวเร่งในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันด้วยการดูดกลืนรังสี UV และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท BASF (Thai) Ltd.

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

รายชื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง

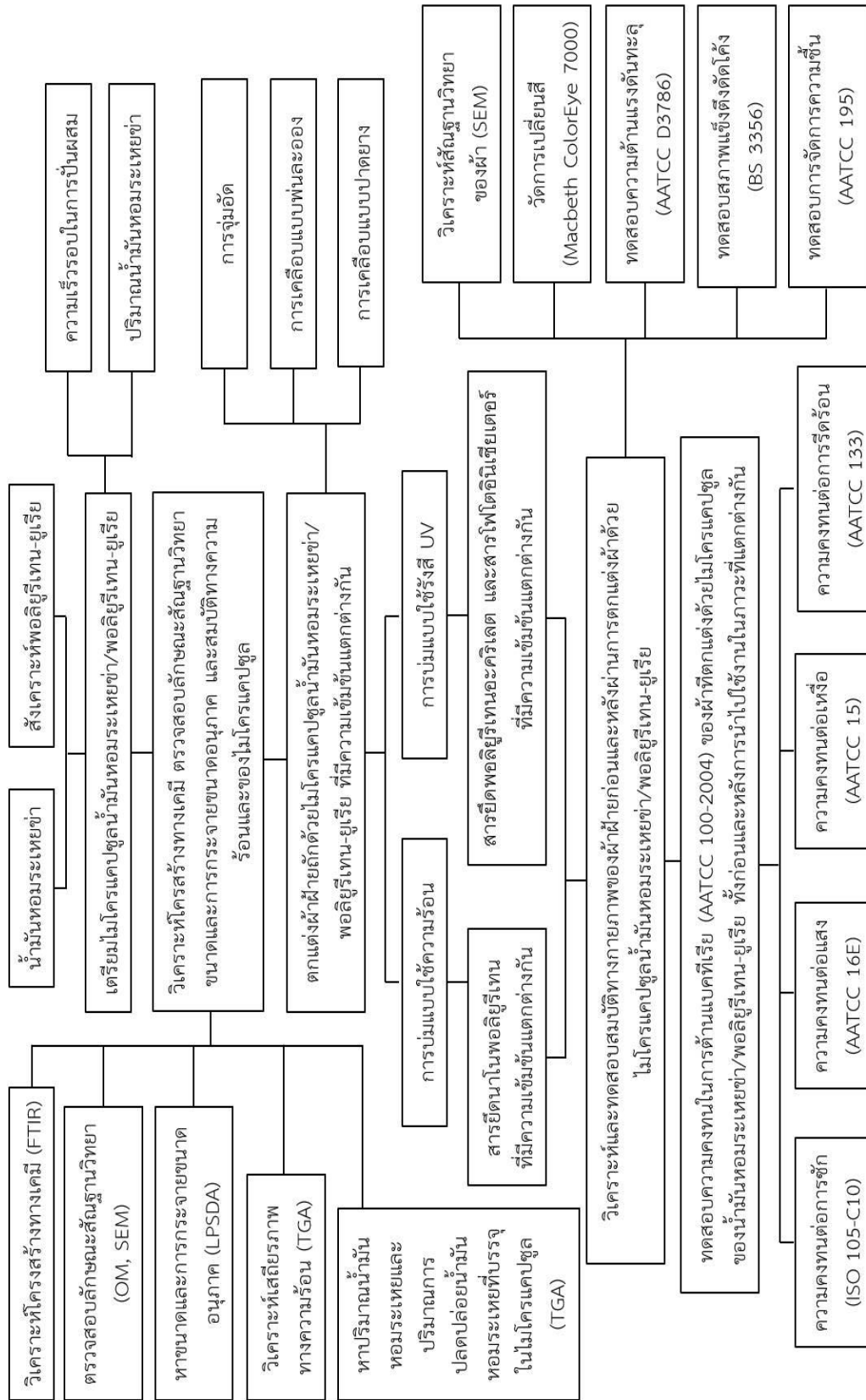
ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น/บริษัทผู้ผลิต
1. เครื่องปั่นกวนผสมแบบ Homogenizer	T 18 basic/ Ultra Turrax IKA/ Malaysia
2. เตาให้ความร้อนที่สามารถปั่นผสมสาร (Hot Plate Stirrer)	MS300HS/ Favorit <sup>®</sup> / South Korea
3. เครื่องปั่นเหวี่ยงสารละลาย (Centrifuge Machine)	Model 2420/ Kubota/ Japan
4. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)	OM BH2-UMA/ OLYMPUS/ United States of America
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	JSM 5410 LV/ JEOL., Ltd./ Japan
6. เครื่องวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบเลเซอร์ (Laser Particle Size Distribution Analyzer, LPSDA)	Mastersizer 2000/ Malvern/ United Kingdom
7. เครื่องวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA)	TGA/SDTA851e/ Mettler Toledo/ Switzerland
8. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)	Nicolet 6700/ Thermo Fisher Scientific Inc./ United States of America
9. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)	LVT/ Brookfield Engineering Laboratories, Inc./ United States of America
10. เครื่องจุ่มอัด (Padder)	PBO/ Labtec NewAve Lab Equipment Co., Ltd./ Taiwan
11. เครื่องพ่นละออง (Spray gun)	Model F-75 และ PC-4 C 400 c.c./ Somax/ Thailand

**ตารางที่ 3.1 (ต่อ)**

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น/บริษัทผู้ผลิต
12. เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer)	M231/ SDL Atlas Inc./ United of Kingdom
13. เครื่องทดสอบความคงทนต่อแสง (Xenon Solarbox 1500e)	1500e RH/ CO.FO.ME.GRA./ Italy
14. เครื่องวัดสีผ้า (Reflectance Spectrophotometer)	Macbeth color-eye 7000/ X-Rite, Incorporated, United States of America
15. เครื่องวัดริ้วร้อน (Scorch Tester)	M247A/ SDL Atlas Inc./ United of Kingdom
16. เครื่องอบยูวี (UV Curing)	UVTEC 12/ Comprint (T) Co., Ltd.
17. เครื่องวัดความเข้มแสง (UV-Integrator)	UV-technik/ Comprint (T) Co., Ltd.
18. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้า (Bursting Strength Testing Equipment)	CY-6103A1/ Chun Yen Testing Machines Co., Ltd./ Taiwan
19. เครื่องทดสอบการจัดการความชื้นของผ้า (Moisture Management Tester)	M290/ Technical Color Solution/ Pakistan
20. เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (Stiffness Tester)	M0038/ SDL Atlas Inc./ United of Kingdom
21. เครื่องทดสอบการซัก (Gyrowash)	Gyrowash 815/20/ James H. Heal & Co., Ltd./ United of Kingdom



### 3.4 การดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.4.1 การเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

1. นำ HMDI 7.5 มิลลิลิตร ผสมเข้ากับน้ำมันหอมระเหยข่า 10 มิลลิลิตร ลงในวัฏภาคของเหลวที่ 1 ซึ่งมี PVA เป็นองค์ประกอบ

2. นำของผสมดังกล่าวไปปั่นรวมด้วยเครื่องผสมสาร Homogenizer โดยใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่แตกต่างกัน คือ 10000, 12000, 14000, 16000 และ 18000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการเกิดระบบอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ)

3. นำอิมัลชันจากข้อที่ 2) มาทำปฏิกิริยาโดยให้ความร้อนกับระบบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่ต่อเนื่อง 150 รอบต่อนาที

4. เติมวัฏภาคของเหลวที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย PEG 400 ผสมกับ DBTDL ในน้ำ 25 มิลลิลิตร ลงในอิมัลชันที่ได้จากข้อที่ 2) และปั่นผสมอย่างต่อเนื่องนาน 1 ชั่วโมง (ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างผนังแคปซูลของพอลิยูรีเทนผ่านกระบวนการอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน)

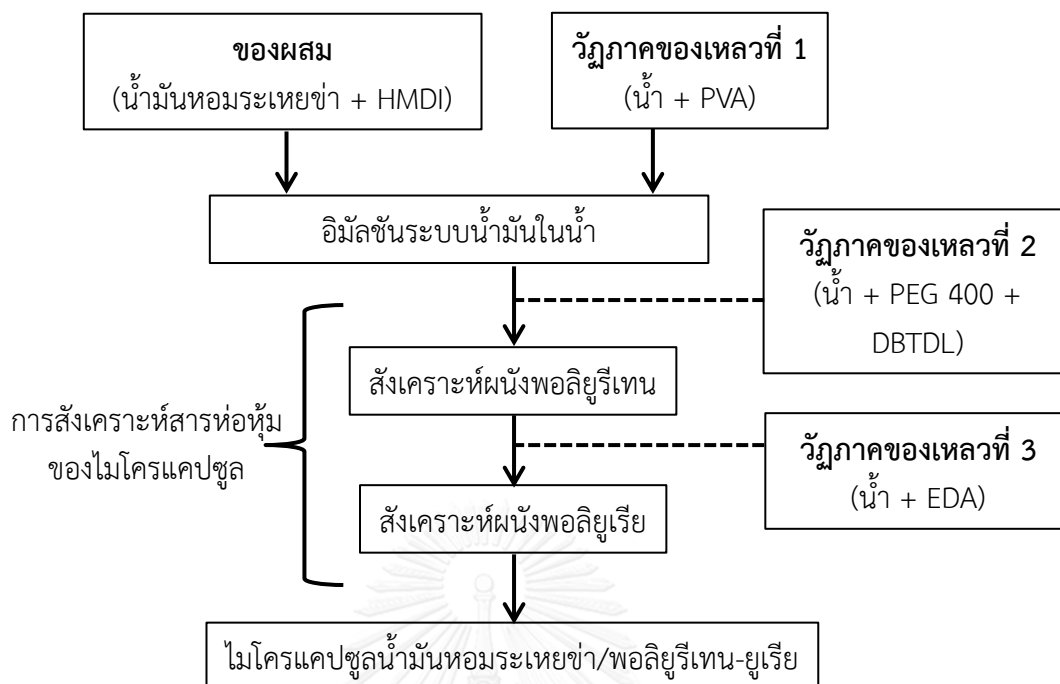
5. เติมวัฏภาคของเหลวที่ 3 ซึ่งเป็นของผสมระหว่างน้ำกับ EDA ลงในของผสมข้อที่ 4) โดยให้อุณหภูมิและความเร็วรอบในการปั่นผสมคงที่นาน 1 ชั่วโมง (ขั้นตอนนี้จะเกิดผนังแคปซูลของพอลิยูเรีย)

6. เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้น นำสารที่ได้ไปปั่นแยกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบที่ 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 10 นาที หลังจากนั้นชะล้างไมโครแคปซูลที่ได้ด้วยสารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร และชะล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วเท่าเดิม

7. นำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มาเก็บรักษาไว้ในรูปของสารแขวนลอยที่มี Tween 80 เป็นอิมัลซิฟายเออร์เพื่อป้องกันการรวมตัวจับกันเป็นกลุ่มก้อนของไมโครแคปซูล

ตารางที่ 3. 2 สูตรส่วนประกอบและปริมาณของสารเคมีที่ใช้เตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย  
 ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ						
	น้ำมันหอมระเหยข่า (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)	PVA (กรัม)	HMDI (มิลลิลิตร)	PEG 400 (มิลลิลิตร)	DBTDL (มิลลิลิตร)	EDA (มิลลิลิตร)
ของผสม	10, 20, 30	-		7.5	-	-	-
วิภูภาคของเหลวที่ 1	-	125	2.1	-	-	-	-
วิภูภาคของเหลวที่ 2	-	25	-	-	11.5	0.25	-
วิภูภาคของเหลวที่ 3	-	10	-	-	-	-	3



รูปที่ 3. 2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน

### 3.4.2 การหาปริมาณร้อยละของของแข็ง (% Solid content)

การหาปริมาณร้อยละของแข็งของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เก็บรักษาไว้ใน TWEEN 80 มีขั้นตอนดังนี้ ชั่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ 5 กรัม แล้วนำไปตกตะกอนในเอทานอล หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองความละเอียดสูง แล้วปล่อยกระดาษกรองดังกล่าวให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นคำนวณหาร้อยละของของแข็ง จากสมการที่ (3.1)

$$\text{ปริมาณร้อยละของแข็งของไมโครแคปซูล} = \left[ \frac{W_2 - W_p}{W_1} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

$W_1$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้และกระจายตัวอยู่ใน TWEEN 80

$W_2$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

$W_p$  หมายถึง น้ำหนักรวมของกระดาษกรอง

3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาค และการทดสอบสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยช่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

#### 3.4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยช่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยช่า และไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยช่าบรรจุอยู่ภายใน โดยใช้เครื่อง FT-IR แสดงดังรูปที่ 3.2 ใช้โหมดแสดงผลส่องผ่านตั้งแต่ ความยาวคลื่น  $600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  ความละเอียด  $4\text{ cm}^{-1}$  มีจำนวนครั้งการสแกน 16 ครั้ง เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างมี 2 แบบ คือ

1. ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ได้แก่ไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยช่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย เตรียมโดยบดไมโครแคปซูลที่เตรียมได้กับผง KBr (KBr pellets) ในอัตราส่วน 1:9 แล้วนำสารที่บดผสมได้มาอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกให้เป็นแผ่นบางและโปร่งใส

2. ตัวอย่างที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำมันหอมระเหยช่า เตรียมโดยใช้เซลล์สำหรับของเหลว (KBr liquid cell)



รูปที่ 3.3 เครื่อง FT-IR รุ่น Nicolet 6700 ของบริษัท Thermo Fisher

### 3.4.3.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope; OM)

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา คือ เครื่อง OM ของ OLYMPUS รุ่น OM BH2-UMA ดังแสดงในรูปที่ 3.4 มีกำลังขยาย 10 ถึง 100 เท่า จึงทำให้สามารถเห็นรูปร่างและการกระจายตัวของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 3. 4 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง รุ่น OM BH2-UMA ของบริษัท OLYMPUS

### 3.4.3.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ผิวภายนอกของไมโครแคปซูล และความสามารถในการยึดระหว่างไมโครแคปซูลกับผิวผ้าฝ้าย โดยใช้เครื่อง SEM ของ JEOL รุ่น JSM 6400 LV ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สำหรับงานวิจัยนี้เตรียมตัวอย่างของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ไปแช่ในเอทานอลนาน 24 ชั่วโมง จนเอทานอลเข้าไปแทนที่น้ำมันหอมระเหยชา แล้วนำตัวอย่างที่ได้เข้าเครื่อง Critical Point Dryer (CPD) CPD เป็นเครื่องมือที่ใช้เตรียมตัวอย่างเพื่อส่องด้วยกล้อง SEM โดยตัวอย่างจะแห้งแบบไม่เสียรูปร่าง เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะเกิดการแลกเปลี่ยนกับเอทานอล ณ จุดที่มีอุณหภูมิและความดันเหมาะสม แล้วให้ความร้อนจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเปลี่ยนเป็นแก๊สทั้งหมด หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปเคลือบด้วยทองผ่านเครื่อง sputter-coater ที่มีศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ กำลังขยายที่

ใช้สำหรับไมโครแคปซูลนั้นมีค่าเท่ากับ 3500 เท่า แต่สำหรับการตรวจสอบความสามารถในการยึดระหว่างไมโครแคปซูลกับผิวผ้าฝ้าย จะใช้กำลังขยายที่ 1000 เท่า สำหรับตัวอย่างผ้าที่ผ่านการตกแต่งก่อนการวิเคราะห์ต้องนำไปเคลือบทองด้วยเครื่อง sputter-coater ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์



รูปที่ 3. 5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 5410 LV ของบริษัท JEOL., Ltd.

#### 3.4.3.4 การหาขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค Laser Particle Size Distribution Analyzer

การหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยอาศัยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzer ของ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 นั้น ก่อนทำการวิเคราะห์ต้องนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ไปผ่านการสั่นโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (sonicate) นาน 30 วินาที เพื่อให้ไมโครแคปซูลเกิดการกระจายตัวที่ดี จากนั้นจึงนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzers ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ใช้หน่วยกระจายตัว Hydro 2000SM ซึ่งเป็นหน่วยกระจายตัวที่เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กหรือใช้ตัวทำละลายน้อย เพียงปริมาตร 50 มิลลิลิตร ถึง 120 มิลลิลิตร ภายใต้ค่า Particle refractive index เท่ากับ 1.5 และค่า Absorption เท่ากับ 0.1 มีน้ำเป็นตัวกลาง ขั้นตอนการวิเคราะห์ทำได้โดยหยดไมโครแคปซูลลงในหน่วยกระจาย หลังจากนั้นเครื่องจะทำการวัดขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาค สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ ค่า  $D[4,3]$  สำหรับอ่านค่าขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูล



รูปที่ 3. 6 เครื่อง Laser Particle Size Distribution Analyzers และหน่วยการกระจาย  
Hydro 2000SM รุ่น Mastersizer 2000 ของบริษัท Malvern

#### 3.4.3.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA

การวิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยซ่า ไมโคร-แคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุอยู่ภายใน ด้วยเครื่อง TGA ของบริษัท Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ภายใต้การทดสอบแบบไดนามิกส์ ซึ่งอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที เริ่มการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยซ่าบรรจุอยู่ภายใน ซึ่งไมโครแคปซูลที่เป็นสารตัวอย่างต้องอยู่ในสภาพแห้ง



รูปที่ 3. 7 เครื่อง TGA รุ่น TGA/SDTA851e ของบริษัท Mettler Toledo



### 3.4.3.6 การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล

การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล ด้วยเทคนิค TGA โดยทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาปริมาณร้อยละของน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูล จากสมการที่ (3.2)

$$\text{ปริมาณน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุในไมโครแคปซูล} = \left[ \frac{W_m - W_o}{W_m} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

(Loading capacity) (%)

$W_m$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ

$W_o$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังทดสอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

### 3.4.3.7 การหาปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าที่บรรจุภายในไมโครแคปซูล

การหาปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค TGA โดยวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไมโครแคปซูลเทียบกับเวลา ที่อุณหภูมิ 37 และ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะแบบไอโซเทอร์มอล แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณร้อยละของการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่าของไมโครแคปซูล จากสมการที่ (3.3)

$$\text{ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยซ่า} = \left[ \frac{W_m - W_{T(t)}}{W_m - W_{m(T,60\text{min})}} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

(Oil release content) (%)

$W_m$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลก่อนทดสอบ

$W_{T(t)}$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ  $T$  °C เป็นเวลานาน  $t$  นาที

$W_{m(T,60\text{min})}$  หมายถึง น้ำหนักของไมโครแคปซูลหลังการทดสอบที่อุณหภูมิ  $T$  °C เป็นเวลานาน 60 นาที

3.4.4 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง

3.4.4.1 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชาอย่างเดียว และด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการจุ่มอัด

3.4.4.1.1 การตกแต่งผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชา มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมน้ำมันหอมระเหยชากับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 3 พร้อมกับเติมสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนร้อยละ 3 และสารลดแรงตึงผิวร้อยละ 1 เพื่อช่วยให้น้ำมันหอมระเหยชากระจายตัวได้ดีในน้ำกลั่น

2. ปั่นผสมของผสมในข้อ 1) ที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

3. จุ่มอัดผ้าฝ้ายถักในของผสมข้อที่ 2) ด้วยเครื่องจุ่มอัด ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้ง และบ่ม ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

3.4.4.1.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมไมโครแคปซูลที่อยู่ในรูปของผสมในน้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เข้ากับสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนัก พร้อมกับเติมสารลดแรงตึงผิว และน้ำ ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

2. ปั่นของผสมข้อที่ 1) ผสมที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

3. จุ่มอัดผ้าฝ้ายถักในของผสมข้อที่ 2) ด้วยเครื่องจุ่มอัด ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้ง และบ่ม ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

**ตารางที่ 3.** 3 สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ

สาร	ปริมาณ		
ไมโครแคปซูล (กรัม)	100	100	100
สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน (กรัม)	20	30	40
สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)	10	10	10
น้ำ (มิลลิลิตร)	1000	1000	1000

3.4.4.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยข่าอย่างเดียว และด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง

3.4.4.2.1 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยข่า มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมน้ำมันหอมระเหยข่ากับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 3 แล้วเติมสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนร้อยละ 3 สารช่วยเปียกร้อยละ 2 และสารลดแรงตึงผิวร้อยละ 1 เพื่อช่วยให้น้ำมันหอมระเหยข่ากระจายตัวได้ดีในน้ำกลั่น

2. ปั่นผสมของผสมในข้อ 1) ที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

3. นำของผสมที่ได้จากข้อที่ 2) มาตกแต่งผ้าฝ้ายถักโดยใช้เครื่องพ่นละอองแบบใช้แรงลม ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้ง และบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

3.4.4.2.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมไมโครแคปซูลที่อยู่ในรูปของผสมในน้ำ กับสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารช่วยเปียก สารลดแรงตึงผิว และน้ำ ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 โดยสูตรตกแต่งแบ่งเป็น

2 สูตร ได้แก่ สูตรตกแต่งที่ไม่มีสารช่วยผนึก และสูตรตกแต่งที่มีสารช่วยผนึกที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร เป็นส่วนผสม

2. ปั่นของผสมข้อที่ 1) ผสมที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

3. นำของผสมที่ได้จากข้อที่ 2) มาตกแต่งผ้าฝ้ายถัก โดยใช้เครื่องพ่นละออง (Spray gun) แบบใช้แรงลม (Air spraying) ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

**ตารางที่ 3.** 4 สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ

สาร	ปริมาณ						
	20	40	60	80	100	150	200
ไมโครแคปซูล (กรัม)	20	40	60	80	100	150	200
สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน (กรัม)	30	30	30	30	30	30	30
สารช่วยเปียก (กรัม)	2	2	2	2	2	2	2
สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)	10	10	10	10	10	10	10
น้ำ (มิลลิลิตร)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

3.4.4.3 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชาอย่างเดียว และด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบปาดยาง

3.4.4.3.1 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชา (บ่ม 170 องศาเซลเซียส) มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมน้ำมันหอมระเหยชากับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 3 แล้วเติมสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนร้อยละ 3 สารชั้นสังเคราะห์ร้อยละ 2 และสารลดแรงตึงผิวร้อยละ 1 เพื่อช่วยให้น้ำมันหอมระเหยชากระจายตัวได้ดีในน้ำกลั่น

2. ปั่นผสมของผสมจากข้อที่ 1) ด้วยเครื่องผสมสาร Homogenizer ที่อัตราเร็ว 3200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าความหนืด

3. นำของผสมที่ได้จากข้อที่ 2) มาเคลือบบนผ้าฝ้ายถักโดยใช้ยางปาด ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้ง และบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

#### 3.4.4.3.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

##### 3.4.4.3.2.1 บ่มด้วยความร้อนที่ 170 องศาเซลเซียส มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมไมโครแคปซูลที่อยู่ในรูปของผสมในน้ำ กับสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว สารชั้นสังเคราะห์ และน้ำ ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

2. ปั่นผสมของผสมจากข้อที่ 1) ด้วยเครื่องผสมสาร Homogenizer ที่อัตราเร็ว 3200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แล้วนำไปวัดค่าความหนืด

3. นำของผสมที่ได้จากข้อที่ 2) มาเคลือบผ้าฝ้ายถักโดยใช้ยางปาด โดยให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อให้ฟิล์มของสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเกิดการเชื่อมขวาง

ตารางที่ 3. 5 สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารอื่นๆ

สาร	ปริมาณ
ไมโครแคปซูล (กรัม)	100
สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน (กรัม)	30
สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)	10
สารชั้นสังเคราะห์ (กรัม)	20
น้ำ (มิลลิลิตร)	1000

### 3.4.4.3.3 การวัดความหนืดโดยเครื่อง Brookfield มีขั้นตอนดังนี้

1. นำของผสมที่ได้จากสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียใส่ภาชนะที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดของ Spindle ในที่นี้จะเลือกใช้ Spindle ที่มีค่า Scale Factor = 500 สำหรับของผสมที่มีน้ำมันหอมระเหยเป็นส่วนประกอบ และใช้ Spindle ที่มีค่า Scale Factor = 2000 สำหรับของผสมที่มีไมโครแคปซูลเป็นส่วนประกอบ วัดความหนืดของผสมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
2. หมุน Spindle เข้ากับเดือยและปรับระดับ Viscometer ให้มีค่าเท่ากับ 20 รอบต่อนาที โดยให้ผิวของของผสมอยู่ที่เครื่องหมายขีดเป็นร่องบนแกน Spindle
3. เปิดเครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น LVT ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ปล่อยให้ Viscometer เดินจนกระทั่งเข็มชี้ไม่เคลื่อนที่ กดคลัทช์ลงและปิดเครื่อง บันทึกค่าที่อ่านได้จากสเกล ซึ่งค่าที่อ่านได้จากสเกลควรอยู่ในช่วง 10-100 และนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณความหนืด ดังสมการที่ (3.4)

$$\eta = \text{ค่าที่อ่านได้จากสเกล} \times F \quad (3.4)$$

$\eta$  = ค่าความหนืดมีหน่วยเป็น cps

F = Scale Factor



รูปที่ 3. 8 เครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น LVT ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratories, Inc.

### 3.4.5 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตโดยการเคลือบแบบพ่นละออง

1. ผสมไมโครแคปซูลที่อยู่ในรูปของผสมในน้ำกับสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง สารช่วยเปียก สารลดแรงตึงผิว และน้ำ ตามสัดส่วนที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 โดยสูตรตกแต่งแบ่งเป็น 2 สูตร ได้แก่ สูตรตกแต่งที่ไม่มีสารช่วยผืนิก และสูตรตกแต่งที่มีสารช่วยผืนิก 1 กรัมต่อลิตร เป็นส่วนผสม

2. ปั่นของผสมข้อที่ 1) ที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 15 นาที

3. นำของผสมที่ได้จากข้อที่ 2) มาเคลือบผ้าฝ้ายถักโดยใช้เครื่องพ่นละอองแบบใช้แรงลม ให้มี % wet pick up ประมาณ 100 แล้วนำผ้าที่ได้มาบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 102.75 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร (กำลังของหลอดยูวีเท่ากับ 78.74 วัตต์ต่อเซนติเมตร และอัตราเร็วของสายพานเท่ากับ 0.18 เมตรต่อวินาที) เพื่อให้ฟิล์มของสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเกิดการเชื่อมขวาง

ตารางที่ 3. 6 สูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/  
พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารอื่นๆ

สารริเริ่มปฏิกิริยา ด้วยแสง (ร้อยละโดยน้ำหนัก ของสารยัด)	สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต (กรัม)	ไมโครแคปซูล (กรัม)	สารช่วยเปียก (กรัม)	สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)	น้ำ (มิลลิลิตร)
1	10	100	2	10	1000
	20	100	2	10	1000
	30	100	2	10	1000
	40	100	2	10	1000
2	10	100	2	10	1000
	20	100	2	10	1000
	30	100	2	10	1000
	40	100	2	10	1000

### 3.4.6 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายถักก่อนและหลังการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วย น้ำมันหอมระเหยชา และไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

#### 3.4.6.1 การทดสอบสภาพแข็งตึงตัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้า

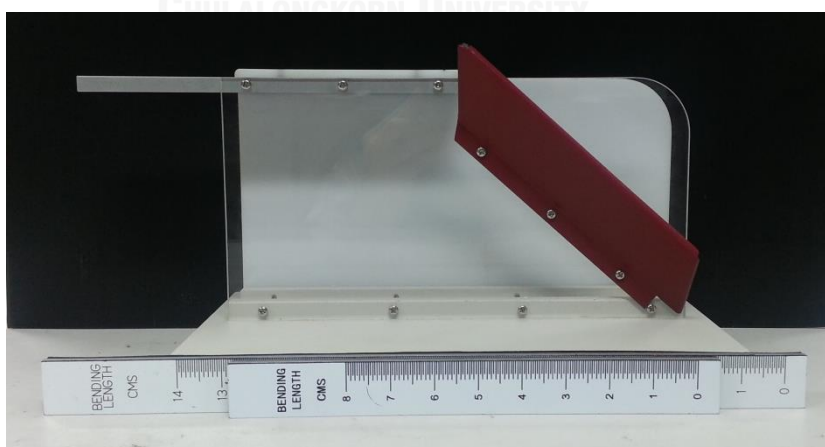
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสภาพแข็งตึงตัดโค้งของผ้าฝ้ายถักก่อนและหลังการตกแต่งด้านแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน BS 3356:1990 Method for the determination of bending length and flexural rigidity of fabrics ด้วยเครื่องวัดสภาพแข็งตึงตัดโค้งของผ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยตัดชิ้นผ้าขนาด 200 มิลลิเมตร X 25 มิลลิเมตร จากนั้นวางผ้าลงบนแท่นวางโดยวางปลายผ้าให้พอดีกับจุดอ้างอิง แล้วนำไม้บรรทัดที่ใช้วัดระยะการโค้งงอที่ลงบนผ้า จากนั้นเคลื่อนผ้าไปพร้อมไม้บรรทัดด้วยอัตราความเร็วประมาณ 120 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งปลายผ้าพอดีกับจุดอ้างอิง อ่านค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัด แล้วนำผ้าตัวอย่างแต่ละผืนมากลับด้าน ทดสอบแบบเดิม แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาค่าสภาพแข็งตึงตัดโค้ง ดังสมการที่ (3.5) ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากแสดงว่าผ้าตัวอย่างมีความกระด้างมาก

$$G = 0.1 MC^3 \quad (3.5)$$

G หมายถึง ค่าสภาพแข็งตึงตัดโค้งของผ้า (มิลลิกรัม-เซนติเมตร)

M หมายถึง น้ำหนักผ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (กรัม/ตารางเมตร)

C หมายถึง ความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)



รูปที่ 3. 9 เครื่องวัดสภาพแข็งตึงตัดโค้งของผ้า รุ่น M0038 ของบริษัท SDL Atlas Inc.



### 3.4.6.2 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้า

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุตามมาตรฐาน ASTM D 3786 08a ด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ รุ่น CY-6103A1 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยวางผ้าทดสอบในสภาพที่เรียบและไม่มีแรงดึงลงบนไดอะแฟรม จากนั้นยึดผ้าทดสอบด้วยที่ยึดวงกลมให้แน่นเพื่อป้องกันการลื่นหลุดออกระหว่างการทดสอบ เมื่อทำการยึดผ้าเรียบร้อยแล้วให้ปรับเข็มวัดค่าของเครื่องให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ แล้วเปิดเครื่องเพื่อทดสอบ รอจนกระทั่งผ้าเกิดการทะลุขาด บันทึกค่าแรงดันทะลุที่ได้ และทดสอบซ้ำแบบเดิมในตำแหน่งต่างๆ กันบนผ้าตัวอย่างอีก 4 ครั้ง



รูปที่ 3. 10 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้า รุ่น CY-6103A1  
ของบริษัท Chun Yen Testing Machines Co., Ltd.

### 3.4.6.3 การทดสอบความสามารถการจัดการความชื้นของผ้า

งานวิจัยนี้ทดสอบความสามารถการจัดการความชื้นตามมาตรฐาน AATCC 195-2010 Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics ด้วยเครื่องทดสอบการจัดการความชื้นของผ้า รุ่น M290 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ภายใต้ภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 21 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 โดยตัดชิ้นผ้าตัวอย่างให้มีขนาด 8 เซนติเมตร X 8 เซนติเมตร หลังจากนั้นวางผ้าตัวอย่างบนเครื่องทดสอบและยึดจับขึ้นทดสอบ เครื่องจะหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตามมาตรฐานที่เตรียมได้จากโซเดียมคลอไรด์ 9 กรัม ละลายใน

น้ำ 1 ลิตร) นาน 20 วินาที บันทึกค่าระยะเวลาที่ทำให้ผ้าเปียก อัตราการดูดซึม รัศมีการเปียกสูงสุด ความเร็วในการกระจายตัวของผิวผ้าด้านบนและล่าง แล้วคำนวณค่า Accumulative One-way Transport Capability (R) และ Overall (liquid) Moisture Management Capability (OMMC) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.9) และสมการที่ (3.10) ตามลำดับ สุดท้ายเครื่องจะประเมินระดับการจัดการความชื้นของผ้า ซึ่งระดับการประเมินจะแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย

ระดับที่ 1 หมายถึง ผ้ามีความสามารถการจัดการความชื้นต่ำ

ระดับที่ 2 หมายถึง ผ้ามีความสามารถการจัดการความชื้นปานกลาง

ระดับที่ 3 หมายถึง ผ้ามีความสามารถการจัดการความชื้นดี

ระดับที่ 4 หมายถึง ผ้ามีความสามารถการจัดการความชื้นดีมาก

ระดับที่ 5 หมายถึง ผ้ามีความสามารถการจัดการความชื้นดีเยี่ยม

$$R = \frac{[\text{Area}(U_B) - \text{Area}(U_T)]}{\text{Total testing time}} \quad (3.9)$$

$U_B$  = Total water content ของผิวผ้าด้านล่าง

$U_T$  = Total water content ของผิวผ้าด้านบน

$$\text{OMMC} = C_1 * AR_{B\_ndv} + C_2 * R_{ndv} + C_3 * SS_{B\_ndv} \quad (3.10)$$

$C_1$ ,  $C_2$  และ  $C_3$  เป็นค่าน้ำหนักของ  $AR_{B\_ndv}$ ,  $R_{ndv}$  and  $SS_{B\_ndv}$

( $AR_B$ ) = Absorption Rate คำนวณได้ดังสมการที่ (3.11)

( $R$ ) = One-Way Transport คำนวณได้ดังสมการที่ (3.12)

( $SS_B$ ) = Spreading Speed คำนวณได้ดังสมการที่ (3.13)

$$AR_{B\_ndv} = \begin{cases} 1 & , AR_B \geq AR_{B\_max} \\ \frac{AR_B - AR_{B\_min}}{AR_{B\_max} - AR_{B\_min}} & , AR_B \in [AR_{B\_min}, AR_{B\_max}] \\ 0 & , AR_B \leq AR_{B\_min} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$R_{ndv} = \begin{cases} 1, R \geq R_{max} \\ \frac{R-R_{min}}{R_{max}-R_{min}}, R \in [R_{min}, R_{max}] \\ 0, R \leq R_{min} \end{cases} \quad (3.12)$$

$$SS_{B\_ndv} = \begin{cases} 1, SS_B \geq SS_{B\_max} \\ \frac{SS_B - SS_{B\_min}}{SS_{B\_max} - SS_{B\_min}}, SS_B \in [SS_{B\_min}, SS_{B\_max}] \\ 0, SS_B \leq SS_{B\_min} \end{cases} \quad (3.13)$$

$AR_{B\_max}$ ,  $AR_{B\_min}$ ,  $R_{max}$ ,  $R_{min}$ ,  $SS_{B\_max}$ , และ  $SS_{B\_min}$  เป็นค่าการจัดลำดับสูงสุดและค่าต่ำสุดของแต่ละดัชนีโดยรวมที่ได้จากการทดสอบแต่ละตัวอย่าง

\* $C_1$ ,  $C_2$  และ  $C_3$  เป็นค่าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยความสัมพันธ์ของค่าดัชนีทั้งสามค่าจะขึ้นกับชนิดของผ้าและการนำไปใช้งาน ค่าน้ำหนักของผ้าที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ MMT ก็ต่อเมื่อ  $C_1=0.25$ ,  $C_2=0.5$  และ  $C_3 = 0.25$  โดยขึ้นอยู่กับความรู้ของมนุษย์ด้วยเช่นกัน ซึ่งจะพบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านในทิศทางเดียวของความชื้น (one-way transport capability) มีค่าเป็นสองเท่าของอัตราการดูดซึม (absorption rate) และความเร็วในการแพร่กระจาย (spreading speed)



รูปที่ 3. 11 เครื่องทดสอบการจัดการความชื้นของผ้า รุ่น M290  
ของบริษัท Technical Color Solution

### 3.4.6.4 การวัดการเปลี่ยนสีของผ้า

งานวิจัยนี้วัดการเปลี่ยนสีของผ้าด้วยเครื่องวัดสีของ Macbeth Color-Eye 7000 (X-Rite) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยใช้โหมดในการวัดดังนี้ ไม่รวมความมันเงา (specular exclude, SPE) รวมแสง UV (UV include) Illuminant D 65 และ 10° Standard observer โดยนำชิ้นผ้าตัวอย่างมาวัดสีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง แล้วให้เครื่องคำนวณค่าเฉลี่ยดัชนีความขาว (CIE whiteness index) และค่าเฉลี่ยดัชนีความเหลือง (Yellowness Index, ASTM Method E313) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.14) และสมการที่ (3.15) ตามลำดับ

$$W = Y + 800(0.3138 - x) + 1700(0.3310 - y) \quad (3.14)$$

W = ดัชนีความขาว (CIE whiteness index)

Y = CIE Tristimulus value

x, y = Chromaticity coordinate

$$YIE313 = \frac{100(C_x X - C_z Z)}{Y} \quad (3.15)$$

YIE313 = ดัชนีความเหลือง (Yellowness Index ตามมาตรฐาน ASTM Method E313)

X, Y, Z = CIE Tristimulus values

C<sub>x</sub>, C<sub>z</sub> = เลขสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับ Illuminant และ Observer



รูปที่ 3. 12 เครื่องวัดสีผ้า รุ่น Macbeth color-eye 7000 ของบริษัท X-Rite, Incorporated

### 3.4.6.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ของผ้า

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ตามมาตรฐาน AATCC 100 - 2004 ของผ้าฝ้ายถักทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยข่าและไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการนำไปใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้คือ เตรียมเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในหลอดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (nutrient broth) ทำการเลี้ยงเชื้อนาน 24 ชั่วโมง ซึ่งแบคทีเรียมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ประมาณ  $10^9$  ถึง  $10^{11}$  CFU/ml และขึ้นตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุด A และชุด B

#### ชุด A

1. ตัดผ้าตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปผ่านการอบรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อทำการฆ่าเชื้อ
2. นำผ้าตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในขวดที่มีเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และนำมาล้างทันทีด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำขวดดังกล่าวไปเขย่านาน 1 นาที
3. ดูดสารละลายที่ผสมได้ ใส่หลอดทดลองปริมาณ 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ในอัตราส่วน  $1/10^3$ ,  $1/10^4$  และ  $1/10^5$  ตามลำดับ เพื่อทำการเจือจางเชื้อ
4. ดูดสารละลายเจือจางที่เหมาะสมปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร หลังจากนั้นหยดสารละลายเจือจางลงในจานเพาะเชื้อ (Plate) ที่เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (nutrient agar) ไว้โดยใช้แท่งแก้วรูปตัววาย (Y-loop) เกลี่ยเชื้อแบคทีเรียให้ทั่วจานเพาะเชื้อจำนวน 3 จาน
5. นับจำนวนโคโลนี (Colony) ในจานเพาะเชื้อ ที่ผ่านการบ่มเพาะเชื้อนาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาจำนวนแบคทีเรียต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ซึ่งมีหน่วยเป็น CFU (Colony forming unit) ต่อมิลลิลิตร

#### ชุด B

1. ตัดผ้าตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปผ่านการอบรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อทำการฆ่าเชื้อ

2. นำผ้าตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในขวดที่มีเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำขวดดังกล่าวไปเขย่านาน 1 นาที

3. ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 5 ของชุด A เปรียบเทียบเชื้อแบคทีเรียระหว่างชุด A ที่ล้างทันที กับ ชุด B ที่ทิ้งให้เชื้อสัมผัสผ้านาน 24 หรือ 48 ชั่วโมง แล้วนำจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่ลดลงมาคำนวณเป็นร้อยละ (% Reduction, %R) ดังสมการที่ (3.16)

$$\% R = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad (3.16)$$

A หมายถึง จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากผ้าตัวอย่างที่นำมาทดสอบ โดยผ่านการบ่มเพาะเชื้อเป็นเวลา 0 ชั่วโมง

B หมายถึง จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากผ้าตัวอย่างที่นำมาทดสอบ โดยผ่านการบ่มเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 หรือ 48 ชั่วโมง

#### 3.4.6.6 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งด้านแบคทีเรียต่อการซักล้าง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายสักที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยข่า และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ต่อการซักล้างตามมาตรฐาน ISO 105 – E40: 2008 โดยนำผ้าตัวอย่างมาซักด้วยสารละลายโดยใช้ L:R เท่ากับ 1:50 (สารละลายสบูตามมาตรฐานที่เตรียมได้จากผงสบู่ปริมาณ 5 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร) และนำกระบอกดังกล่าวไปซักโดยเครื่อง Gyrowash ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำผ้าตัวอย่างออกมาชะล้างโดยปล่อยให้ไหลผ่าน น้ำไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง และสุดท้ายจึงนำผ้าตัวอย่างไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย



รูปที่ 3. 13 เครื่อง Gyrowash สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อการซักล้าง  
รุ่น Gyrowash 815/20 ของบริษัท James H. Heal & Co., Ltd.

#### 3.4.6.7 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการ ตกแต่งด้านแบคทีเรียต่อเหงื่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายหลักที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ต่อเหงื่อตามมาตรฐาน AATCC 15 - 2002 ด้วยการนำผ้าตัวอย่างมาแช่ด้วยสารละลายเหงื่อเทียมโดยใช้ L:R เท่ากับ 1:50 ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำผ้าตัวอย่างวางไว้ระหว่างแผ่นอะคริลิกเรซินของเครื่อง Perspirometer แล้วกดทับด้วยแผ่นน้ำหนัก นำเครื่อง Perspirometer ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ตั้งทิ้งไว้ในเครื่องอบที่อุณหภูมิ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำผ้าตัวอย่างออกจากแผ่นอะคริลิกเรซินไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง และสุดท้ายจึงนำผ้าตัวอย่างไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย



รูปที่ 3.14 เครื่อง Perspirometer สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อเหงื่อ รุ่น M231 ของบริษัท SDL Atlas Inc.

#### 3.4.6.8 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งด้านแบคทีเรียต่อการรีดร้อน

การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ต่อการรีดร้อนตามมาตรฐาน AATCC 133 - 2002 โดยนำผ้าตัวอย่างเข้าเครื่อง Scorch tester ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ที่อุณหภูมิ  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส และปล่อยทิ้งไว้นาน 15 วินาที หลังจากนั้นนำผ้าตัวอย่างไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย





รูปที่ 3. 15 เครื่อง Scorch tester สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อการรีดร้อน รุ่น M247A ของบริษัท SDL Atlas Inc.

#### 3.4.6.9 การทดสอบความคงทนของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งต้านแบคทีเรียต่อแสง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความคงทนต่อแสงของฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ถูกผ่านการตกแต่งต้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยซ่า และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ตามมาตรฐาน AATCC 16.3-2012 โดยใช้เครื่อง Xenon Solarbox 1500e แสดงดังรูปที่ 3.16 แสงที่ใช้ในการอาบแสงจะเป็นแสงที่มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับแสงแดดคือ แสงซีนอนอาร์ก (Xenon arc) ทดสอบโดยนำผ้าตัวอย่างเข้าเครื่องอาบแสง และตั้งทิ้งไว้ 20 ชั่วโมง ภายใต้แสงซีนอนอาร์ก หลังจากนั้นนำผ้าตัวอย่างไปทำการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย



รูปที่ 3. 16 เครื่อง Solarbox 1500e สำหรับทดสอบความคงทนของผ้าตัวอย่างต่อแสง ร้อน 1500e RH ของบริษัท CO.FO.ME.GRA.



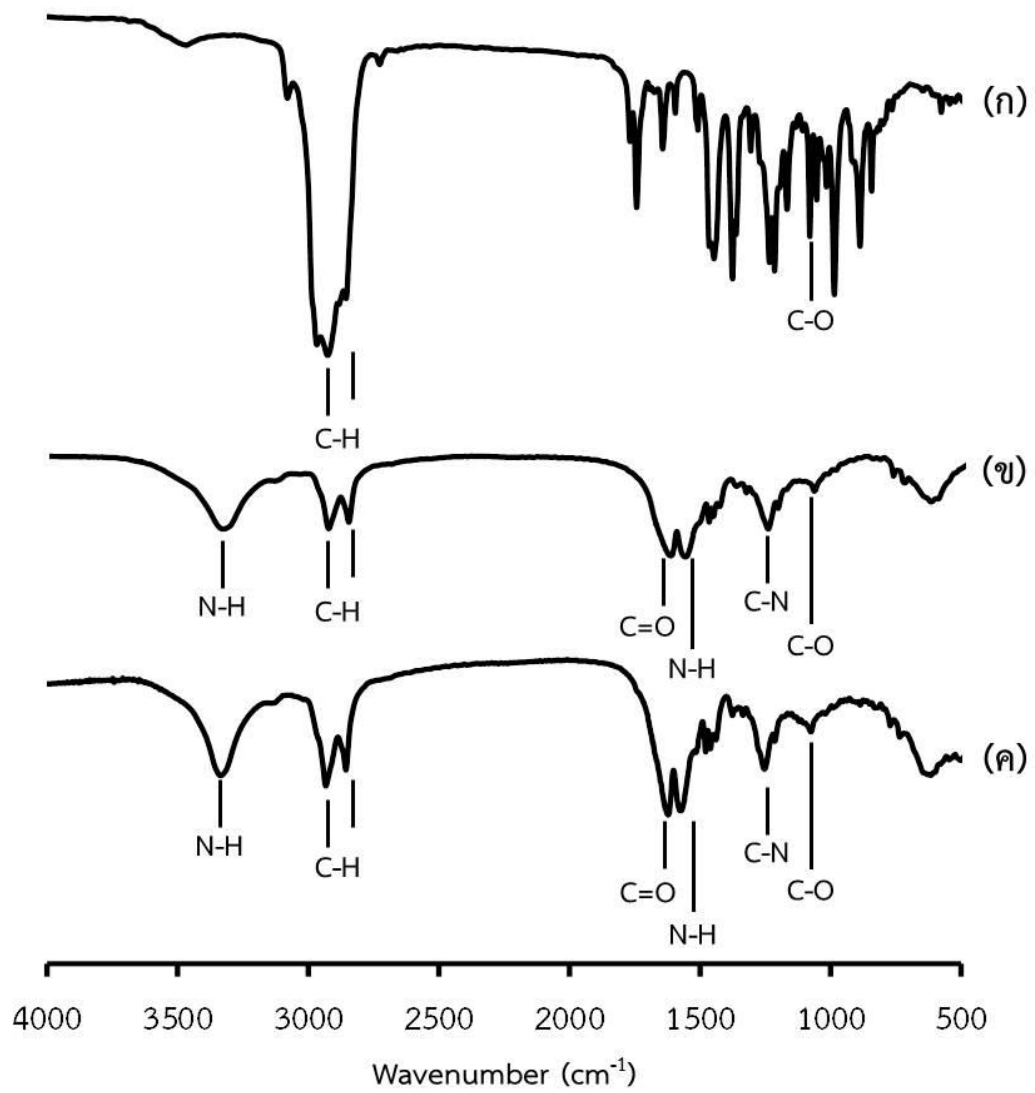
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาค และสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเทคนิค FT-IR

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยข่า ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุอยู่ภายในที่เตรียมจากความเร็วยรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร ความเร็วยรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที โดยใช้เทคนิค FT-IR แสดงดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พบว่า FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แสดงหมู่ฟังก์ชัน N-H, C-H, C=O, C-N, และ C-O ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกับสเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุอยู่ภายใน และยังพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันใกล้เคียงกับหมู่ฟังก์ชันที่พบบนสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยข่าที่ประกอบด้วย C-H และ C-O ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถพบได้ในสเปกตรัมของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยข่า เพราะสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และมีองค์ประกอบของอีเทอร์ ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันทั้งสองมีความคล้ายคลึงกับหมู่ฟังก์ชันที่พบบนสเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุอยู่ภายใน ดังนั้นสเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยข่า จึงสามารถซ้อนทับกับสเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยข่าบรรจุอยู่ภายใน



รูปที่ 4. 1 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) น้ำมันหอมระเหยข่า (ข) ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ (ค) ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

ตารางที่ 4. 1 หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหอมระเหยชำ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

Functional group	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )			
	Reported	น้ำมันหอมระเหยชำ	ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย	ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย
N-H	1530-1570	-	1565	1574
	3050-3550	-	3320	3336
C-H	2925-2890	2855	2854	2856
		2926	2929	2933
C=O	1640-1690	-	1616	1621
C-N	1250-1340	-	1238	1254
C-O	1050-1300	1080	1057	1076

#### 4.1.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยเช่า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค OM และ SEM

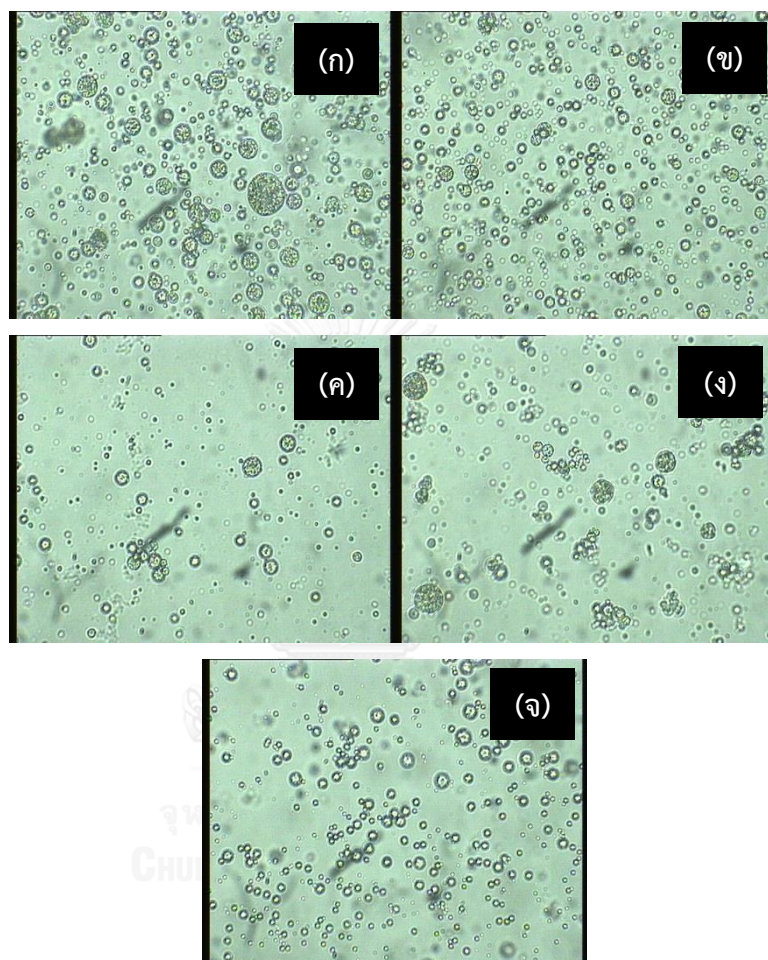
##### 4.1.2.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม

การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค OM และ SEM เป็นการศึกษาภาพรวมและลักษณะเบื้องต้นของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วยรอบในการปั่นผสมต่างๆ โดยมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเช่าที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลเท่ากันคือ 10 มิลลิลิตร และระยะเวลาการปั่นผสม 5 นาที จากรูปที่ 4.2 แสดงภาพ OM ของไมโครแคปซูล พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะค่อนข้างกลม มีการกระจายขนาด และมีการกระจายตัวอย่างตืออยู่ในตัวกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าไมโครแคปซูลมีขอบที่หนาและสีเข้ม แต่ส่วนตรงกลางของไมโครแคปซูลมีความใสแบบที่แสงสามารถทะลุผ่านได้ซึ่งเกิดจากน้ำมันหอมระเหยเช่าที่บรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูล

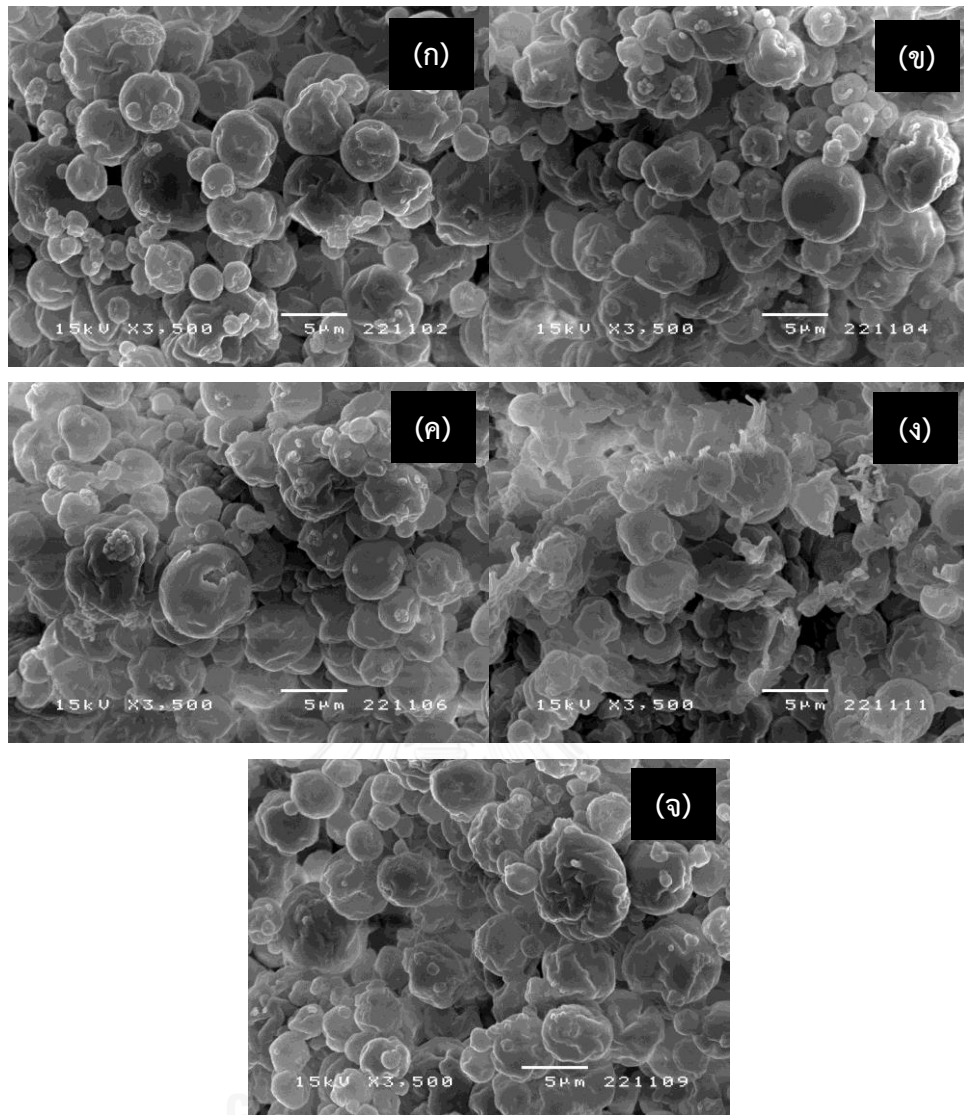
ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่ 10000 รอบต่อนาที มีอนุภาคของไมโครแคปซูลหลายขนาดปะปนกันและกระจายตัวอยู่ในตัวกลางแบบที่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนบ้าง และแบบอิสระบ้าง ในขณะที่อนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่ 12000 รอบต่อนาที มีขนาดที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน และกระจายตัวกันอย่างอิสระมากกว่า เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วยรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที พบว่าขนาดอนุภาคมีความใกล้เคียงกัน และสามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระในตัวกลางเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการปั่นผสม ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กลง เพราะน้ำมันหอมระเหยเช่าสามารถกระจายตัวเป็นหยดน้ำมันที่มีขนาดใกล้เคียงกันได้ดีกว่าเมื่อความเร็วยรอบในการปั่นผสมต่ำ และไมโครแคปซูลที่ได้จะไม่เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน [6] ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการปั่นผสมถึง 16000 รอบต่อนาที พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเล็ก แต่จะรวมตัวแล้วจับกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากความเร็วยรอบในการปั่นผสม 18000 รอบต่อนาที มีอนุภาคขนาดเล็กและเกิดรวมตัวเป็นกลุ่มเพียงบางส่วน ทั้งนี้เนื่องมาจากความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่ 16000 และ 18000 รอบต่อนาที เป็นการปั่นผสมที่รุนแรงมากเกินไปจนทำให้ไมโครแคปซูลมีกระจายตัวไม่เพียงพอจึงสามารถเกิดการรวมตัวกันอีกครั้ง

รูปที่ 4.3 แสดงภาพ SEM ของไมโครแคปซูล พบว่า เมื่อความเร็วยรอบในการปั่นผสมเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะมีค่าลดลง และมีการกระจายขนาดอนุภาคที่แคบ อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วยรอบในการปั่นผสมเพิ่มขึ้นเป็น 16000 และ 18000 รอบต่อนาที พบว่าขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลกลับมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งผิวของไมโครแคปซูลไม่มีความเรียบ และ

มีส่วนเว้ามากกว่าเมื่อเทียบกับไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมอื่น จากผลที่กล่าวมาข้างต้นเป็นไปได้ว่าความเร็วรอบในการปั่นผสมที่สูงมากเกินไปอาจทำให้ ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เกิดความไม่เสถียร และรูปร่างเกิดการเปลี่ยนแปลง [35]



รูปที่ 4. 2 ภาพ OM ของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 10000 (ข) 12000 (ค) 14000 (ง) 16000 และ (จ) 18000 รอบต่อนาทีที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ (ก) 10000 (ข) 12000 (ค) 14000 (ง) 16000 และ (จ) 18000 รอบต่อนาทีที่กำลังขยาย 3500 เท่า

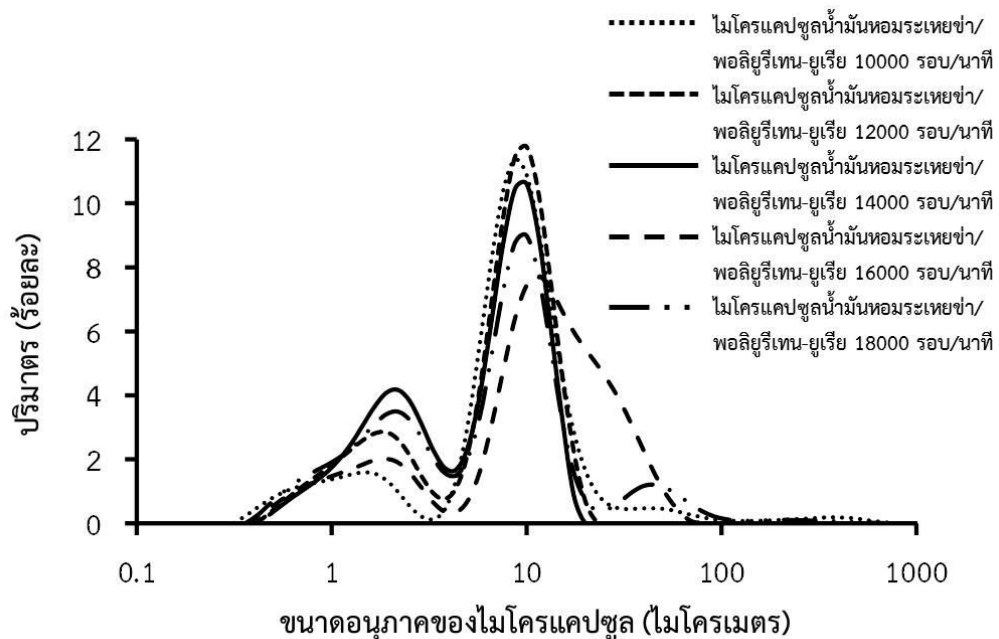
#### 4.1.3 การหาขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค Laser Particle Size Distribution Analyzers

##### 4.1.3.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม

การกระจายขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง LPSDA ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าเราไม่สามารถเตรียมไมโครแคปซูลให้มีขนาดเดียวกันทั้งหมดได้ ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคเป็น 2 ช่วง ช่วงที่มีขนาดเล็กประมาณ 1 ไมโครเมตร มีปริมาณน้อย ในขณะที่ขนาด



อนุภาคใหญ่กว่าอยู่ในช่วง 6 - 16 ไมโครเมตร มีปริมาณมากกว่า ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการปั่นผสมถึง 14000 รอบต่อนาที โดยขนาดอนุภาคที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (6.27 ไมโครเมตร) และมีค่า span น้อยกว่า 2 (1.58) หมายถึงไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีการกระจายขนาดที่แคบ ไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคที่ไม่แตกต่างกัน [36] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าที่ความเร็วรอบในการปั่นผสมที่สูงถึง 14000 รอบต่อนาที มีบทบาทสำคัญต่อการทำให้หยดน้ำมันหอมระเหยขาดแตกกระจายออกจากกันเนื่องจากมีแรงเฉือนที่สูงส่งผลให้แคปซูลที่ห่อหุ้มมีขนาดเล็กลง นั่นคือขนาดของไมโครแคปซูลเล็กลง และมีขนาดที่ไม่แตกต่างกันมาก [6] แต่เมื่อความเร็วรอบในการปั่นผสมมากกว่า 14000 รอบต่อนาที (16000 และ 18000 รอบต่อนาที) พบว่าขนาดอนุภาคกลับมีค่าเพิ่มขึ้นและมีการกระจายของขนาดที่กว้าง (ค่า span มากกว่า 2) ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดเท่ากับ 13.26 และ 11.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีการกระจายของขนาดที่มีค่ากว้างมากกว่า 2 คือ 2.48 และ 2.26 ตามลำดับ เนื่องจากไมโครแคปซูลเกิดการรวมตัวกันอีกครั้ง



รูปที่ 4. 4 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ

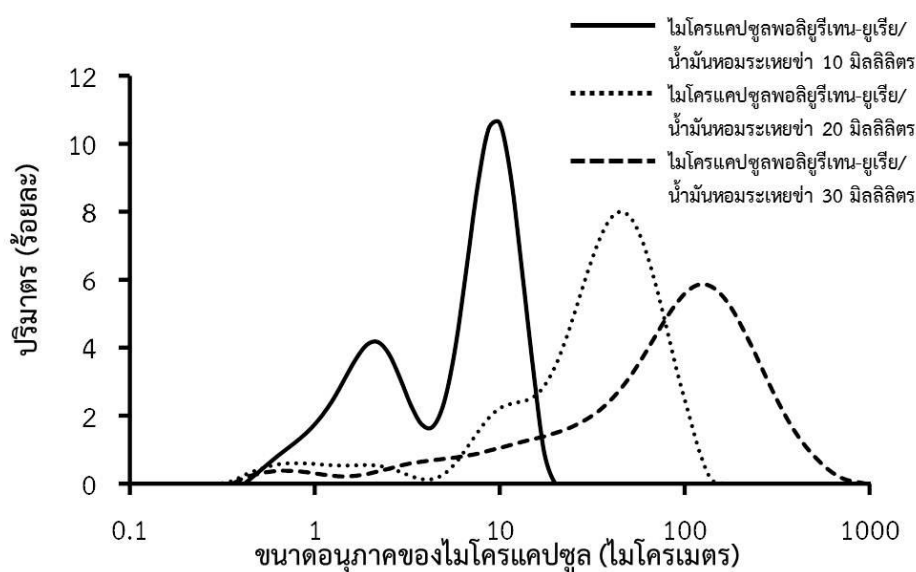
ตารางที่ 4. 2 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้ด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ

ความเร็วรอบในการปั่นผสม (รอบต่อนาที)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)	Span
10000	16.04	1.82
12000	7.18	1.52
14000	6.27	1.58
16000	13.26	2.48
18000	11.56	2.26

#### 4.1.3.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป

การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากการปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที แต่มีปริมาณของน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปแตกต่างกัน ด้วยเครื่อง LPSDA แสดงดังรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 พบว่าเราไม่สามารถเตรียมไมโครแคปซูลให้มีขนาดเดียวกันทั้งหมดได้ ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ยิ่งปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปมากขึ้นส่งผลทำให้ขนาดของไมโครแคปซูลใหญ่ขึ้น กล่าวคือไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีขนาดอนุภาคเล็กอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.48 ถึง 17.38 ไมโครเมตร และมีค่าขนาดอนุภาค D[4,3] น้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (6.27 ไมโครเมตร) ในขณะที่ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปปริมาณ 20 มิลลิลิตร มีช่วงขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.32 ถึง 158.49 ไมโครเมตร และมีค่าขนาดอนุภาค D[4,3] เท่ากับ 36.41 ไมโครเมตร และในขณะที่ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปปริมาณสูงขึ้น 30 มิลลิลิตร มีขนาดอนุภาคช่วงตั้งแต่ 0.36 ถึง 831.76 ไมโครเมตร และมีค่าขนาดอนุภาค D[4,3] สูงมากถึง 111.36 ไมโครเมตร นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 20 และ 30 มิลลิลิตร ยังมีผลต่อค่า Span ที่กว้างมากขึ้น โดยมีค่าการกระจายขนาดอนุภาคเท่ากับ 1.95 และ 2.83 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงเลือกเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยเติมน้ำมันหอมระเหยชาลงไปปริมาณ 10 มิลลิลิตร บันผสมที่ความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่มีความเสถียร และสามารถนำไปใช้งาน มาใช้ในการทดสอบสมบัติทางความร้อน



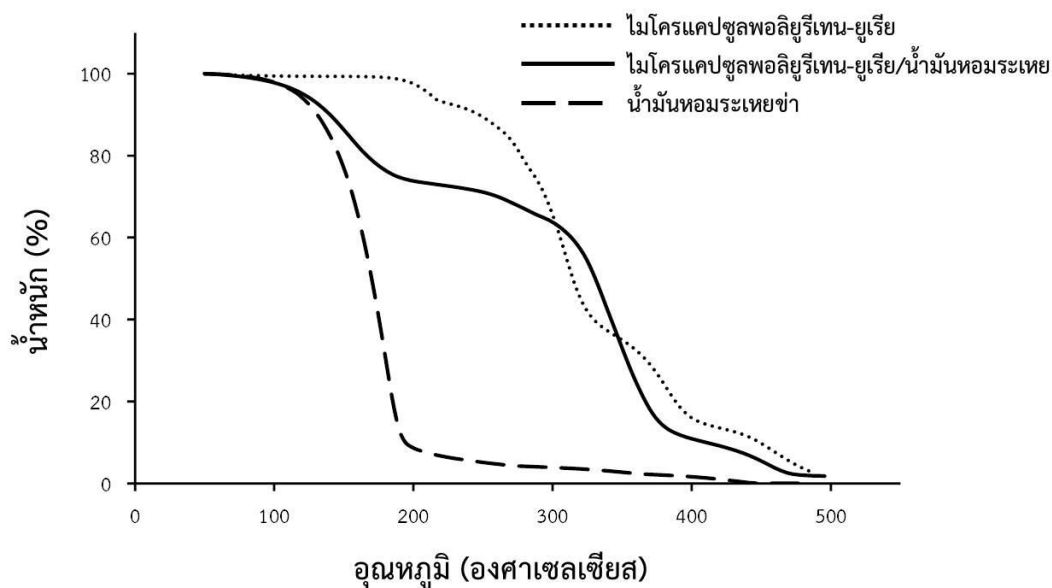
รูปที่ 4. 5 การกระจายขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4. 3 ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไปปริมาณต่างๆ

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชา (มิลลิลิตร)	ขนาดอนุภาค (D[4,3]) ของไมโครแคปซูล (ไมโครเมตร)	Span
10	6.27	1.58
20	36.41	1.95
30	111.36	2.83

#### 4.1.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA

เสถียรภาพทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยชำ ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชำบรรจุอยู่ภายใน และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมจากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วปั่นผสมที่ความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที แสดงผลของ TGA เทอร์โมแกรมภายใต้การให้ความร้อนแบบไดนามิกส์ ในรูปที่ 4.6 พบว่า น้ำมันหอมระเหยชำที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูลเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และสูญเสียน้ำหนักทั้งหมดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สันนิษฐานว่าเป็นการระเหยของน้ำมันหอมระเหยชำ ในขณะที่ไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชำบรรจุอยู่มีการสูญเสียน้ำหนักเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 300 ถึง 370 องศาเซลเซียส และชั้นที่ 2 เกิดขึ้นที่ 400 ถึง 470 องศาเซลเซียส ในขณะที่ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีการสูญเสียน้ำหนักเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักไปเพียงร้อยละ 20 สันนิษฐานว่าเป็นการระเหยของน้ำและน้ำมันหอมระเหยชำ ชั้นที่ 2 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 300 ถึง 370 องศาเซลเซียส ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักที่อุณหภูมิดังกล่าวสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิการสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชำบรรจุอยู่ภายในไมโครแคปซูล จากผลของ TGA เทอร์โมแกรมที่กล่าวมาข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุอยู่ในรูปไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าน้ำมันหอมระเหยชำที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล ดังนั้นเมื่อนำไปตกแต่งบนผ้าฝ้ายน้ำมันหอมระเหยชำก็จะไม่ระเหยหรือปล่อยสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียรวดเร็วเกินไปนับเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและยังคงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผลิตภัณฑ์สิ่งทอไว้ได้ นอกจากนี้เมื่อนำผล TGA เทอร์โมแกรมดังกล่าวไปวิเคราะห์ร่วมกับผลการวิเคราะห์ของ FT-IR เราสามารถยืนยันได้ว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้มีน้ำมันหอมระเหยชำห่อหุ้มด้วยผนังของพอลิยูรีเทน-ยูเรีย



รูปที่ 4. 6 TGA เทอร์โมแกรมของน้ำมันหอมระเหยชา โพลีเอทิลีนไกลคอล และ โพลีเอทิลีนไกลคอล/น้ำมันหอมระเหยชา/โพลีเอทิลีนไกลคอล

#### 4.1.5 การหาปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุอยู่ในโพลีเอทิลีนไกลคอลน้ำมันหอมระเหยชา/โพลีเอทิลีนไกลคอลด้วยเทคนิค TGA

##### 4.1.5.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุในโพลีเอทิลีนไกลคอลที่เตรียมได้ด้วยความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยชาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเร็วยรอบในการปั่นผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยชากระจายตัวในระบบอิมัลชันได้ดีและมีความคงตัวกว่าความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่ต่ำกว่า [6] สำหรับงานวิจัยนี้ความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่ 14000 รอบต่อนาทีได้ทำให้โพลีเอทิลีนไกลคอลที่เตรียมได้มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุอยู่สูงที่สุดประมาณร้อยละ 16

ตารางที่ 4. 4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้ด้วยความเร็วรอบในการปั่นผสมต่างๆ

ความเร็วรอบในการปั่นผสม (รอบต่อนาที)	Oil loading capacity (wt %)
10000	11.09 ± 0.1
12000	11.59 ± 0.1
14000	16.87 ± 0.1
16000	10.82 ± 0.1
18000	16.48 ± 0.1

#### 4.1.5.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไป

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุในไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปแตกต่างกันคือ 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุภายในไมโครแคปซูลลดลง

ตารางที่ 4. 5 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชำที่เติมลงไปแตกต่างกัน

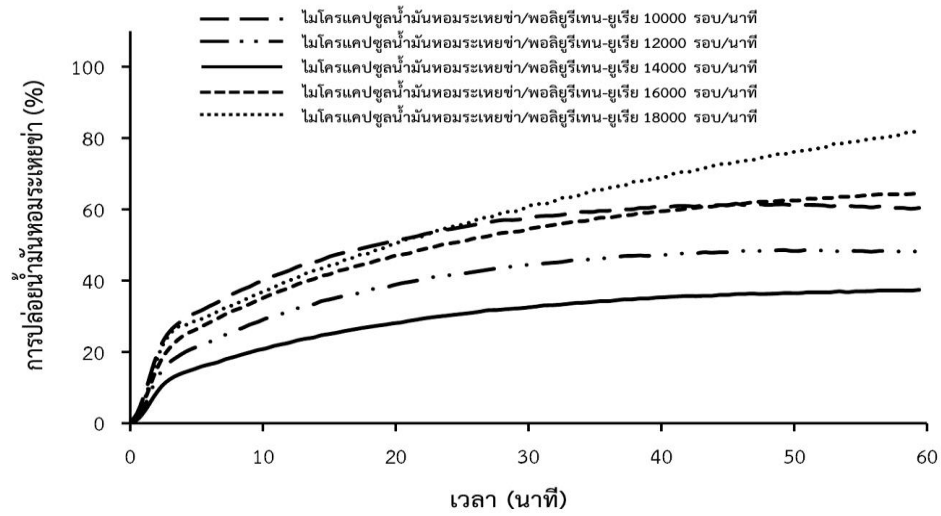
ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยชำ (มิลลิลิตร)	Oil loading capacity (wt %)
10	16.87 ± 0.1
20	14.07 ± 0.1
30	11.58 ± 0.1

#### 4.1.6 การหาปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียด้วยเทคนิค TGA

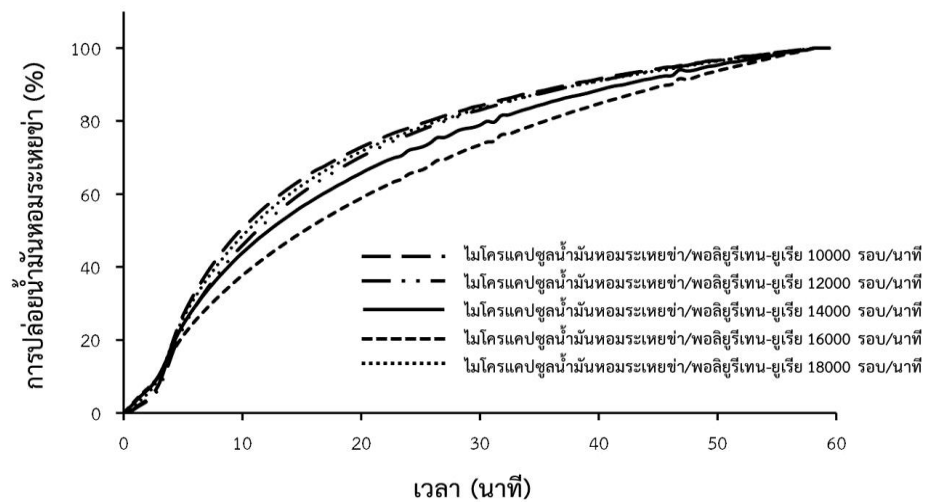
##### 4.1.6.1 ผลของความเร็วยรอบในการปั่นผสม

ปริมาณการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร เวลาในการปั่นผสมนาน 5 นาที แต่ใช้ความเร็วยรอบในการปั่นผสมที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในช่วงประมาณ 3 นาทีแรกไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาเพียงร้อยละ 10 ถึง 20 หลังจากนั้นก็ยังมีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาเรื่อยๆ ซ้ำๆ ไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ความเร็วยรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาทีพบว่าจะค่อยๆ ปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาช้าและน้อยกว่าที่ใช้ความเร็วยรอบในการปั่นผสมสูงๆ (ที่ 16000 และ 18000 รอบต่อนาที)

ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้น ถึง 30 นาทีแรก ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาอย่างรวดเร็วและในปริมาณสูง หลังจากนั้นจะปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาเรื่อยๆ จนกระทั่งน้ำมันหอมระเหยจากที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลหมดภายใน 1 ชั่วโมง และในทำนองเดียวกันไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากการปั่นผสมที่ความเร็วยรอบสูงๆ (ที่ 16000 และ 18000 รอบต่อนาที) จะปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมาเร็วมาก และปล่อยออกมาในปริมาณมากจนกระทั่งน้ำมันหอมระเหยทั้งหมด



รูปที่ 4.7 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากการปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่างกัน



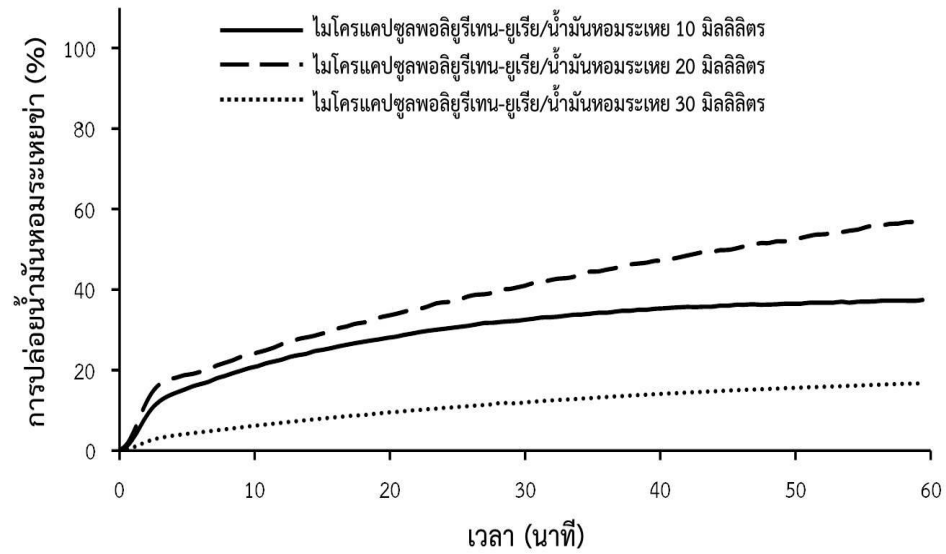
รูปที่ 4.8 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมจากการปั่นผสมที่ความเร็วรอบต่างกัน



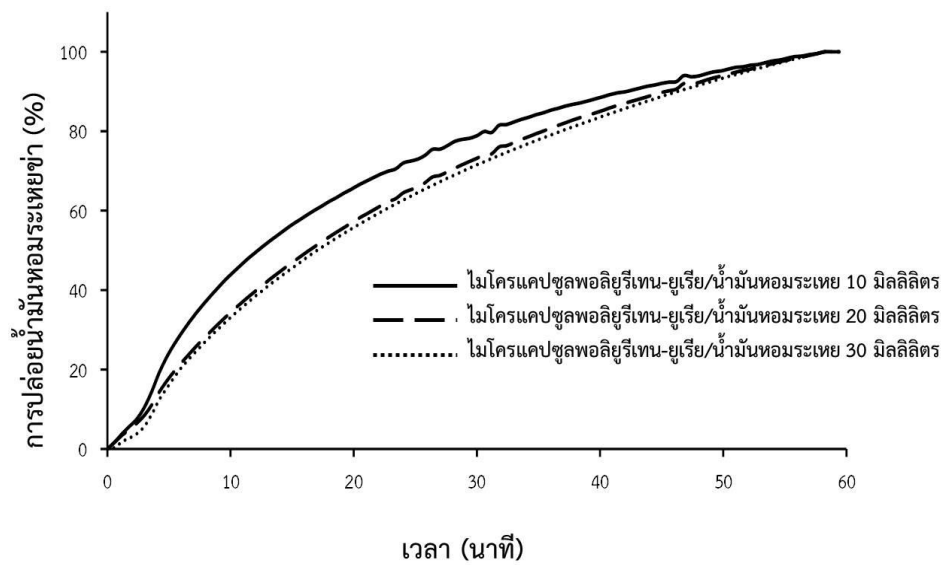
#### 4.1.6.2 ผลของปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป

ปริมาณการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที เวลาในการปั่นผสมนาน 5 นาที แสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในช่วงประมาณ 3 นาทีแรกไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาไม่สูงมาก หลังจากนั้นก็ยังมีการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาเรื่อยๆ ซ้ำๆ ไมโครแคปซูลที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 10 และ 20 มิลลิลิตร พบว่าจะค่อยๆ ปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาร้อยละ 37.44 และ 57.19 ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง เป็นที่น่าสังเกตว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 30 มิลลิลิตร มีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาน้อยมากเพียงร้อยละ 16.38 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง

ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาอย่างรวดเร็วในปริมาณสูงและปล่อยออกมาเรื่อยๆ จนกระทั่งน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลเกือบหมดภายใน 1 ชั่วโมง ไมโครแคปซูลที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 20 และ 30 มิลลิลิตร มีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาใกล้เคียงกัน แต่ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จากน้ำมันหอมระเหยชาปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีอัตราการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาที่สูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 4. 9 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างกัน



รูปที่ 4. 10 การปล่อยน้ำมันหอมระเหยจากที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่เติมลงไปต่างกัน

















จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมด้วยวิธี Interfacial polymerization โดยใช้เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต พอลิเอทิลีนไกลคอล และ เอทิลีนไดเอมีนในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน-ยูเรียห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยชา ปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตร ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ได้ถูกเลือกมาใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูลสำหรับการตกแต่งด้านแบคทีเรียต่อไป เนื่องจากเป็นภาวะที่เหมาะสมที่จะได้ไมโครแคปซูลที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน มีขนาดอนุภาคเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีการกระจายขนาดที่แคบ มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยชาที่บรรจุในไมโครแคปซูลสูง มีเสถียรภาพความร้อนที่ดี และมีการปล่อยน้ำมันหอมระเหยชาออกมาไม่รวดเร็วเกินไป

## 4.2 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการจุ่มอัด

### 4.2.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรีย

ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียสำหรับการจุ่มอัด แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำมันหอมระเหยชา สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว และน้ำ หลังจากปั่นผสมสารทั้งหมดสามารถเข้ากันได้ และเป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อปล่อยของผสมดังกล่าวตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 8 ชั่วโมง พบว่าของผสมค่อยๆเกิดการแยกชั้นและแยกชั้นกันอย่างชัดเจนหลังจากตั้งไว้นาน 1 วัน และไม่พบการแยกชั้นอีกหลังระยะเวลา 3 วัน ของผสมเกิดการแยกตัวออกเป็น 2 ชั้น คือชั้นบนเป็นสารแขวนลอยสีขาวขุ่นซึ่งอาจประกอบไปด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารลดแรงตึงผิวบางส่วน เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยชามีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงลอยตัวเหนือน้ำ ส่งผลให้สารลดแรงตึงผิวที่ล้อมรอบหยดน้ำมันลอยตามขึ้นมา ชั้นล่างมีลักษณะสีขาวขุ่นโปร่งแสงอาจเป็นของผสมระหว่างน้ำและสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และอาจมีหยดน้ำมันที่ถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ในชั้นล่างด้วย เนื่องจากถ้าของผสมเป็นเพียงน้ำและสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนจะต้องเป็นของผสมแบบไม่มีสีและโปร่งใส ในขณะที่สูตรตกแต่งที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว และน้ำ มีความเข้ากันได้ เป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ไม่พบการแยกชั้นของของผสม





ตารางที่ 4. 6 ความเข้ากันได้ของส่วนประกอบของสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีน้ำมันหอมระเหยชาไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียและสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนสำหรับการจุ่มอัด


น้ำมันหอมระเหยชา										
ชั่วโมง					วัน					
2	4	6	8	10	1	2	3			
										
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย										
ชั่วโมง					วัน					
2	4	6	8	10	1	2	3			
										

#### 4.2.2 ผลของความเข้มข้นของสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนต่อประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย

ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรีย ร้อยละ 10 และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนัก โดยการจุ่มอัด แล้วนำผ้าที่ได้ไปทดสอบการต้านแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยกำหนดให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสกับผ้าตัวอย่างนาน 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4. 7 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 ของผ้าฝ้าย ก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ร้อยละ 10 และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่ ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยการจุ่มอัด

ความเข้มข้นของ สารยัดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 48 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0		0
0	31.06		35.61
2	32.24		84.93
3	32.81		99.82

ความเข้มข้นของ สารยีสชนิดนาโน พอลิยูรีเทน (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 48 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
4	30.09		96.57

จากตารางที่ 4.7 พบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชาเพียงอย่างเดียว และที่มีสารยีสชนิดพอลิยูรีเทนอยู่ด้วยสามารถต้านแบคทีเรียได้ และยังสามารถต้านแบคทีเรียได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนร้อยละ 3 สามารถลดแบคทีเรียลงได้มากที่สุดถึงร้อยละ 99.82 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็นร้อยละ 4 กลับพบว่าความสามารถในการต้านแบคทีเรียลดลงเล็กน้อยโดยการลดแบคทีเรียที่ร้อยละ 96.57

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้นของสารยีสชนิด นาโนพอลิยูรีเทนที่ร้อยละ 3 มาใช้ในการศึกษาการตกแต่งต้านแบคทีเรียอื่นๆต่อไป

#### 4.3 การตกแต่งต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยชา ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการตกแต่งแตกต่างกัน

















##### 4.3.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งต้านแบคทีเรีย สำหรับการเคลือบแบบพ่นละออง

ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบของสูตรตกแต่งต้านแบคทีเรียสำหรับการเคลือบแบบพ่นละออง ที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยชา สารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว สารช่วยเปียก และน้ำ แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าสารทั้งหมดสามารถเข้ากันได้และเป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน หลังจากปั่นผสมแต่เมื่อปล่อยให้ผสมดังกล่าวตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็น

เวลานาน 6 ชั่วโมง พบว่าของผสมค่อยๆเกิดการแยกชั้น และแยกชั้นกันอย่างชัดเจนหลังจากตั้งทิ้งไว้ นาน 2 วัน และไม่พบการแยกชั้นเพิ่มขึ้นหลังทิ้งไว้ นาน 3 วัน ของผสมเกิดการแยกตัวออกเป็น 2 ชั้น คือชั้นบนเป็นสารแขวนลอยสีขาวขุ่นซึ่งอาจประกอบไปด้วยน้ำมันหอมระเหยซ่า สารลดแรงตึงผิว และสารช่วยเปียกบางส่วน เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยซ่ามีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจึงลอยตัวเหนือ น้ำ ส่งผลให้สารลดแรงตึงผิวที่ล้อมรอบหยดน้ำมันลอยตามขึ้นมาและอาจมีสารช่วยเปียกปะปนอยู่ ชั้นล่างมีลักษณะสีขาวขุ่นโปร่งแสงอาจเป็นของผสมระหว่างน้ำ สารช่วยเปียก และสารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน และอาจมีหยดน้ำมันที่ถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ในชั้นล่างด้วย เนื่องจาก ถ้าของผสมเป็นเพียงน้ำ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยเปียกจะต้องเป็นของผสมแบบไม่มี สีและโปร่งใส สำหรับสูตรตกแต่งที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว และน้ำ พบว่าหลังปั่นผสมมีความเข้ากันได้ดีเป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ยังไม่พบการแยกชั้น ของของผสม



ตารางที่ 4. 8 ความเข้ากันได้ของสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีน้ำมันหอมระเหยชา ไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สำหรับวิธีการเคลือบแบบพ่นละออง

น้ำมันหอมระเหยชา									
ชั่วโมง					วัน				
2	4	6	8	10	1	2	3		
									
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย									
ชั่วโมง					วัน				
2	4	6	8	10	1	2	3		
									

















#### 4.3.2 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรีย สำหรับการเคลือบแบบพ่นละออง

ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบของสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียสำหรับการเคลือบแบบพ่นละอองที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยชา สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว สารเพิ่มเนื้อหรือสารข้นสังเคราะห์ และน้ำ แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าสารทั้งหมดสามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันหลังจากปั่นผสม มีความหนืดเท่ากับ 10500 cps และสีขาวขุ่น เมื่อปล่อยให้ผสมดังกล่าวตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานถึง 3 วัน ไม่พบการแยกชั้น เนื่องจากมีสารข้นสังเคราะห์ที่ส่งผลให้ของผสมเป็นของเหลวหนืดที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน



สำหรับส่วนประกอบของสูตรตกแต่งที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว สารชั้นสังเคราะห์ และน้ำ พบว่าสูตรตกแต่งมีความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันหลังปั่นผสมมี ความหนืดเท่ากับ 46660 cps และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ไม่พบการแยกชั้นของของผสม

**ตารางที่ 4. 9** ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีน้ำมันหอมระเหยซ่า ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดนาโนพอลิยูรีเทน สำหรับวิธีการเคลือบแบบปาดยาง

น้ำมันหอมระเหยซ่า										
ชั่วโมง					วัน					
2	4	6	8	10	1	2	3			
										
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย										
ชั่วโมง					วัน					
2	4	6	8	10	1	2	3			
										

#### 4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยน้ำมันหอมระเหยชา โดยการตกแต่งแบบต่างๆ

จากตารางที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการตกแต่งโดยการจุ่มอัด การเคลือบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง ผ้าที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารยีสตินดนาโนพอลิยูรีเทน พบว่าผ้าตกแต่งโดยการเคลือบแบบปาดยางมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียมากที่สุดโดยร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.72 รองลงมาเป็นวิธีการจุ่มอัดที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 70.79 และสุดท้ายเป็นการเคลือบแบบพ่นละอองที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียง 37.83 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่น้อยอาจเกิดจากสาเหตุที่ว่า การเคลือบแบบพ่นละอองส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยชาที่ถูกพ่นออกมาเป็นละอองขนาดเล็กสามารถเกิดการระเหยได้ง่ายในระหว่างขั้นตอนการตกแต่ง ส่วนวิธีการจุ่มอัดผ้าที่ตกแต่งจะแช่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยชาก่อนนำไปอัดด้วยลูกกลิ้งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันหอมระเหยชาระหว่างขั้นตอนการตกแต่งเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับการเคลือบแบบปาดยางจะปาดน้ำมันหอมระเหยชาเพียงครั้งเดียวถือว่าใช้ระยะเวลาสั้นมากเมื่อเทียบกับการตกแต่งแบบวิธีการอื่นๆ ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยชาที่เป็นสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียจึงสามารถแสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียได้อย่างเต็มที่

ตารางที่ 4. 10 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารยีสตินดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการตกแต่งแบบต่างๆ




วิธีการตกแต่ง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)		
	การจุ่มอัด	การพ่นละออง	การปาดยาง
	70.79	37.83	99.72
% add on	8	6	13

#### 4.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรีย โดยการตกแต่งแบบต่างๆ

ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียร้อยละ 10 และสารยีสตินดนาโนพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดย

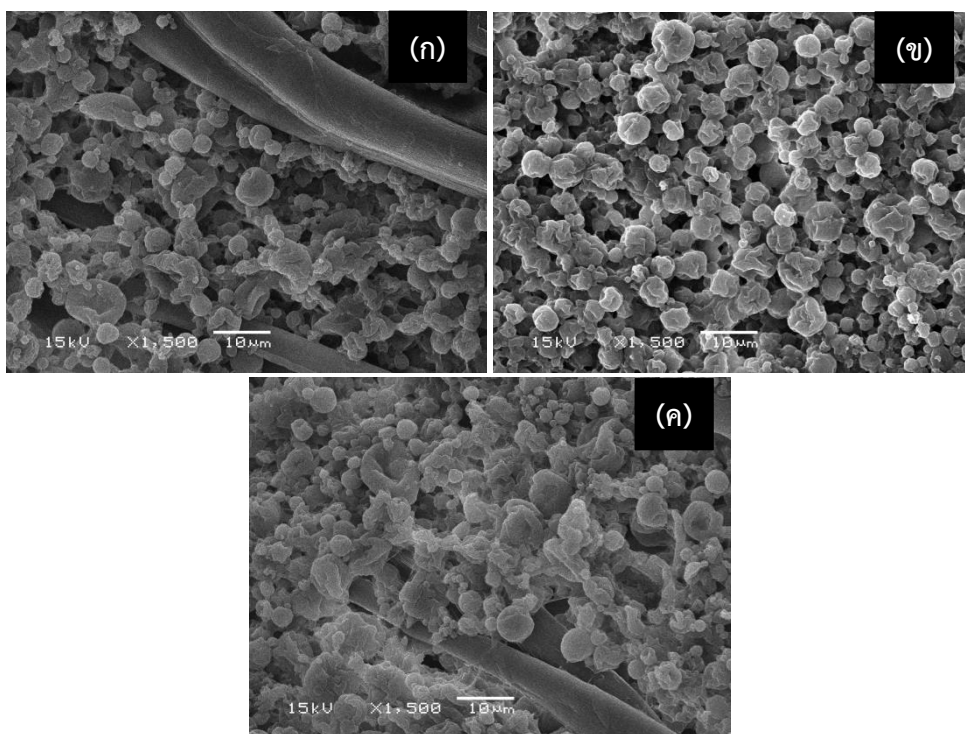
น้ำหนัก โดยการตกแต่งแบบต่างๆ ได้แก่การจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง การเคลือบแบบปาด ยาง แล้วนำผ้าที่ได้ไปทดสอบการต้านแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยกำหนดให้เชื้อสัมผัส ผ้าเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบพ่นละอองมี การลดลงของแบคทีเรียถึงร้อยละ 99.89 กล่าวได้ว่าผ้ามีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม เมื่อ เปรียบเทียบกับผ้าที่ผ่านการตกแต่งโดยการจุ่มอัดที่มีการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 43.54 ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบปาดยังไม่แสดงผลการต้านแบคทีเรียเลย

**ตารางที่ 4. 11** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการตกแต่งแบบต่างๆ

วิธีการตกแต่ง	% add on	ความหนาของ ผ้า(นาโนเมตร)	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0.62		0
การจุ่มอัด	30.15	0.8		43.54
การพ่นละออง	33.84	0.8-0.9		99.89

วิธีการตกแต่ง	% add on	ความหนาของ ผ้า(นาโนเมตร)	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
การปาดยาง	16.67	0.6-0.7		0

เหตุผลที่การจุ่มอัดและการเคลือบแบบปาดยางให้ผลการต้านแบคทีเรียน้อยมากหรือไม่มีเลย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเคลือบแบบพ่นละออง อาจยืนยันได้จากการพิจารณาภาพ SEM ที่แสดงผิวผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลโดยวิธีที่แตกต่างกัน ในรูปที่ 4.11 ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียบางส่วนที่ผ่านลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัด และยางปาดมีการบอบสลาย หรือมีการยุบตัวจนส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยชำที่บรรจุอยู่ภายในถูกปลดปล่อยออกมาก่อนระยะเวลาอันสมควร อีกทั้งไมโครแคปซูลยังไม่ปิดผิวเส้นใยทั้งหมด ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยวิธีดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียน้อยกว่าหรือไม่มีเลยซึ่งต่างจากผิวผ้าที่เคลือบแบบพ่นละอองที่ใช้หัวฉีดแบบอาศัยแรงลมเท่านั้น จึงทำให้อนุภาคไมโครแคปซูลไม่บอบสลายและกระจายอยู่ทั่วผิวผ้า



**รูปที่ 4. 11** ภาพ SEM ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย แบบ (ก) การจุ่มอัด (ข) การเคลือบฟั่นละออง และ (ค) การเคลือบแบบปาดยาง ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

สำหรับผลความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียหรือไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าผ้าที่เคลือบแบบฟั่นละอองมีประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม มีการลดลงของแบคทีเรียมากถึงร้อยละ 99.89 และหลังการซักล้างที่จำนวนรอบการซัก 10 รอบ พบว่าการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 97.77 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งก่อนการซักล้าง แสดงถึงประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียและความคงทนต่อการซักของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียที่ดี ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยการจุ่มอัดก่อนการซักล้างมีการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 43.54 และผ้าที่เคลือบแบบปาดยางก่อนนำไปซักจะไม่มีประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียเลย อาจเนื่องจากสูตรเคลือบดังกล่าวต้องใช้สารชั้นสังเคราะห์ห่อหุ้มคริสตัลเพื่อให้อายุการใช้งานมีความเหนียวที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบผิวผ้าได้ แต่สารชั้นสังเคราะห์ห่อหุ้มคริสตัลอาจพบว่าเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรีย แบคทีเรียจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี

อย่างไรก็ตามเมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยการจุ่มอัด การเคลือบโดยการฟั่นละออง และการเคลือบแบบปาดยางไปผ่านการซักล้าง 10 รอบพบว่าต่างก็มีประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นหรือ

ใกล้เคียงกันคือมีการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.41, 97.77 และ 11.11 จากผลดังกล่าวอาจสันนิษฐานได้ว่าการซักผ้าเป็นการขจัดสิ่งสกปรกที่เป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรีย และส่งผลทำให้สารชั้นของสูตรเคลือบแบบปาดยางเกิดการหลุดออกของจนกระทั่งสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าสามารถแสดงประสิทธิภาพได้มากขึ้น [9]

**ตารางที่ 4. 12** ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียโดยวิธีการแตกต่างกัน

วิธีการตกแต่ง จำนวนรอบการซัก (รอบ)	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)		
	การจุ่มอัด	การฟั่นละออง	การปาดยาง
0	43.54	99.89	0
10	99.41	97.77	11.11
% add on	33	34	19


จากผลการทดลองตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยวิธีที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยได้เลือกวิธีการเคลือบแบบฟั่นละอองมาใช้ในการตกแต่งด้านแบคทีเรียผ้าฝ้ายสักเพราะเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียและช่วยให้ผ้ามีความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน

**4.4 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการเคลือบแบบฟั่นละออง และทำให้แห้งและบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน**

#### 4.4.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้า

ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนด้วยการเคลือบแบบฟั่นละออง และทำให้แห้งและบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4. 13 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียโดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและปมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0		0
130	33.84		0
150	32.98		0
170	33.84		99.89

จากตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียและสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งต้านแบคทีเรียไม่มีการลดลงของแบคทีเรียเลย เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิบ่ม 130 และ 150 องศาเซลเซียส ที่ในขณะที่ที่อุณหภูมิบ่ม 170 องศาเซลเซียส ผ้ามีการลดลงของแบคทีเรียมากที่สุดถึงร้อยละ 99.89 ทั้งนี้เนื่องจากสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนสามารถเกิดการเชื่อมขวางได้ด้วยตัวเองดีที่สุดภายใต้อุณหภูมิการทำให้แห้งและบ่มที่ 170 องศาเซลเซียส จึงมีไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียติดอยู่บนผ้าแล้วออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ [26]

ดังนั้นงานวิจัยจึงเลือกอุณหภูมิการทำให้แห้งและบ่มที่ 170 องศาเซลเซียส สำหรับสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพื่อให้เกิดการเชื่อมขวางได้ด้วยตัวเอง มาใช้ในการศึกษาการตกแต่งต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายอีกด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรีย และศึกษาความคงทนของสารต้านแบคทีเรียต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน

#### 4.5 การตกแต่งต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง

##### 4.5.1 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งต้านแบคทีเรีย

ความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่นำมาใช้ในการตกแต่งบนผ้าฝ้าย จะส่งผลทำให้ผ้าฝ้ายกักสูญเสียความอ่อนนุ่ม หรือเกิดความแข็งกระด้าง ซึ่งอาจไม่เหมาะต่อการนำมาใช้งาน เราจึงได้ทดสอบค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 เปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งแสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 86 มิลลิกรัม-เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นต่างกัน ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่ได้แปรผันตรงกับปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่ใช้ในการตกแต่ง ยิ่งมีการเพิ่มปริมาณไมโครแคปซูลมากเท่าใดก็จะยิ่งทำให้ผ้ามีสัมผัสที่แข็งกระด้างมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไมโครแคปซูลที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้เคลือบเป็นชั้นฟิล์มบนผิวหน้าของผ้า นอกจากนี้ยังเข้าไปแทรกตามช่องว่างของเส้นใยและเส้นด้ายอีกด้วย อีกทั้งไมโครแคปซูลเองยังเกิดการเกาะตัวกันค่อนข้างแน่น จึงส่งผลทำให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายเกิดการขยับตัวได้ยากมากขึ้น ดังนั้นค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายก็จึงมีค่าสูงขึ้น แสดงถึงการมีสัมผัสที่แข็งกระด้างของผ้ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรีย [11]



ตารางที่ 4. 14 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรีย ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง

ความเข้มข้นของไมโครแคปซูล (% solid content)	ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)
0	86
2	92
4	204
6	517
8	584
10	689
15	718
20	887





จากผลการทดลองที่กล่าวมาเบื้องต้นเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กของไมโครแคปซูลเคลือบเป็นชั้นฟิล์มบนผิวหน้าของผ้า และเข้าไปแทรกตามช่องว่างของเส้นใยและเส้นด้าย อีกทั้งไมโครแคปซูลยังเกิดการเกาะตัวกันที่ค่อนข้างหนาแน่น จึงส่งผลทำให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายเกิดการขยับตัวได้ยากมากขึ้น ดังนั้นค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งจึงมีค่าสูงขึ้น แสดงถึงการมีสัมผัสที่แข็งกระด้างมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ [11]





#### 4.5.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้า

ตารางที่ 4.15 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งไม่มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย ซึ่งคล้ายกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4 และ 6 ในขณะที่ผ้าฝ้ายซึ่งตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 8, 10, 15 และ 20 แสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยพบว่าไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทนยูเรียที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ดีกว่า

ไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 8, 15 และ 20 ซึ่งผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียอยู่ที่ 99.89 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยชา มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย โดยน้ำมันหอมระเหยชาและสารสกัดชา จะมีองค์ประกอบของ 1,8-cineol และ  $\beta$ -caryophyllene ที่มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* [31] ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยชาที่น้อย จึงไม่เพียงพอเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *S. aureus* และนอกจากนั้นยังพบว่า การตกแต่งไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ ไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียลดลงเมื่อเทียบกับไมโครแคปซูลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 95.31 และไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียค่อนข้างใกล้เคียงกับไมโครแคปซูลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.32 ซึ่งจากผลดังกล่าวอาจเกิดจากปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลบนผ้าที่มากเกินไปจนส่งผลให้ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียไม่เป็นไปตามนัยสำคัญ

ตารางที่ 4. 15 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง

ความเข้มข้นของ ไมโครแคปซูล (% solid content)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0		0
2	29.9		0
4	30.82		0
6	31.24		0

ความเข้มข้นของ ไมโครแคปซูล (% solid content)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
8	30.12		15.15
10	33.84		99.89
15	33.81		95.31
20	34.05		99.32

ดังนั้นงานวิจัยจึงเลือกใช้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ ให้มีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ ร้อยละ 10 ซึ่งสามารถต้านแบคทีเรียได้สูงถึงร้อยละ 99.82 มาใช้ในการศึกษาสำหรับตกแต่งแบบวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาและปรับปรุงวิธีการตกแต่งให้ผ้าฝ้ายมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย และมีความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน







#### 4.6 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการจุ่มอัด และการเคลือบแบบพ่นละออง

##### 4.6.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลที่เคลือบแบบพ่นละอองด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาปริมาณ 10 มิลลิกรัม และใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที ซึ่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 10 พบว่าเมื่อปล่อยให้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* สัมผัสกับผ้าฝ้าย 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.89 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสกับผ้าฝ้ายเป็น 48 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 99.99 แสดงดังตารางที่ 4.16 จากผลดังกล่าวแสดงถึงประสิทธิภาพของการตกแต่งโดยการเคลือบแบบพ่นละออง ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคไมโครแคปซูลไม่บวมและกระจายอยู่ทั่วผิวผ้า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งจึงมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียแบบดีเยี่ยม ถึงแม้เชื้อแบคทีเรียจะสัมผัสผ้าเพียงระยะเวลาไม่นาน

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งโดยการเคลือบแบบพ่นละอองด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมจากน้ำมันหอมระเหยชาปริมาณ 10 มิลลิกรัม และใช้ความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที ซึ่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 10 พบว่าเมื่อปล่อยให้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* สัมผัสกับผ้าฝ้าย 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.89 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสกับผ้าฝ้ายเป็น 48 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 99.99 แสดงดังตารางที่ 4.16 จากผลดังกล่าวแสดงถึงประสิทธิภาพของการตกแต่งโดยการเคลือบแบบพ่นละออง ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคไมโครแคปซูลไม่บวมและกระจายอยู่ทั่วผิวผ้า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งจึงมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียแบบดีเยี่ยม ถึงแม้เชื้อแบคทีเรียจะสัมผัสผ้าเพียงระยะเวลาไม่นาน

ดังนั้นผ้าที่ผ่านการตกแต่งโดยการเคลือบแบบพ่นละอองจะใช้วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสผ้าฝ้าย 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับนำมาทดสอบตัวอย่างชิ้นอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 4. 16 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยวิธีการจุ่มอัดและการเคลือบแบบพ่นละออง ซึ่งปล่อยให้เชื้อสัมผัสผ้าเป็นระยะเวลาแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาที่ เชื้อแบคทีเรีย สัมผัสกับผ้า (ชั่วโมง)	% add on		จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL)		การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)	
	พ่นละออง	จุ่มอัด	พ่นละออง	จุ่มอัด	พ่นละออง	จุ่มอัด
ไม่ตกแต่ง	0	0			0	0
24	33.84	33			99.89	43.54
48	34.61	32.81			99.99	99.82

















4.7 การตกแต่งต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน









#### 4.7.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งต้านแบคทีเรีย

ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งต้านแบคทีเรีย แสดงในตารางที่ 4.17 พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารลดแรงตึงผิว และน้ำ ทั้งแบบไม่มีและมีสารช่วยผิวกั้น หลังจากปั่นผสมสารทั้งหมดสามารถเข้ากันได้ เป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ไม่พบการแยกชั้นของของผสม มีลักษณะเหมือนกับส่วนประกอบของสูตรตกแต่งที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูล

น้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารลดแรงตึงผิว สารช่วยผืนิก และน้ำ หลังปั่นผสมมีความเข้ากันได้ เป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ไม่พบการแยกชั้นของผสม

ตารางที่ 4. 17 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนิก สำหรับการบ่มด้วยความร้อน

ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน									
ชั่วโมง					วัน				
2	4	6	8	10	1	2	3		
									
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน + สารช่วยผืนิก									
ชั่วโมง					วัน				
2	4	6	8	10	1	2	3		
									

ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วยผืนึก							
ชั่วโมง					วัน		
2	4	6	8	10	1	2	3
							

#### 4.7.2 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่าผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน แสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 74 มิลลิกรัม-เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งที่แสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 86 มิลลิกรัม-เซนติเมตร เนื่องมาจากความลื่นของน้ำมันหอมระเหยชาจึงส่งผลให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการตกแต่งสามารถยับได้มากขึ้น และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนนอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดติดแล้วยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้ผ้านุ่มอีกด้วย [26] สำหรับผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน แสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 689 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผืนึกมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง 718 มิลลิกรัม-เซนติเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นผ้าที่ตกแต่งแบบมีสารช่วยผืนึกจะทำให้ผ้าแข็งกระด้างขึ้น แต่ให้สัมผัสกระด้างที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนึก แสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 924 มิลลิกรัม-เซนติเมตร ซึ่งผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกถ้ามีการเพิ่มสารช่วยผืนึก ทั้งนี้เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งมาเปรียบเทียบกับค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง พบว่ามีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเพิ่มขึ้นอย่างมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าผ้ามีสัมผัสที่แข็งกระด้างอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการตกแต่งไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่มีความ



เข้มข้นมากถึงร้อยละ 10 บนผ้าเพื่อสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่เพียงพอสำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจนเกิดชั้นฟิล์มที่ค่อนข้างหนา และทำให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายถักขยับได้ยากมากขึ้น

**ตารางที่ 4. 18** ความแข็งตึงตัดโค้งของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึกโดยการเคลือบแบบฟ่นละออง และทำให้แห้งและปมด้วยความร้อน

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ค่าสภาพแข็งตึงตัดโค้ง (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	86
ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา ความเข้มข้นร้อยละ 3	ความร้อน	74
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน		689
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน + สารช่วยผนึก	ความร้อน	718
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วยผนึก		924

#### 4.7.3 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.19 พบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา และสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน มีค่า WI-CIE ที่เป็นค่าดัชนีความขาวของผ้าเท่ากับ 56.94 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า WI-CIE ของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งที่มีค่าเท่ากับ 68.88 จึงแสดงสีที่ใกล้เคียงกัน ส่วนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนแบบไม่มีและมีส่วนช่วยยีสต์ ทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน ผ้ามีสีค่อนข้างเหลือง เพราะมีค่า  $b^*$  สูง แสดงถึงผ้ามีสีโทนเหลือง และค่า YI-E313 ที่เป็นค่าดัชนีความเหลืองของผ้ามากถึง 15.41 และ 17.01 รวมทั้งมีค่า WI-CIE ซึ่งเป็นค่าดัชนีความขาวของผ้าเท่ากับ 49.20 และ 45.96 บนผ้าตกแต่งที่ไม่มีสารช่วยยีสต์ และมีสารช่วยยีสต์ ตามลำดับ โดยมีค่า DE\* มากถึงประมาณ 7 ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของสี ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีความแตกต่างของสีมาก เนื่องจากสีของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย มีสีขาออกเหลือง ทั้งนี้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยยีสต์พบว่าผ้ามีสีค่อนข้างเหลือง ค่า  $b^*$  สูงถึง 12.19 ค่า YI-E313 ที่เป็นค่าดัชนีความเหลืองของผ้ามากถึง 20.87 และค่า WI-CIE ซึ่งเป็นค่าดัชนีความขาวของผ้าเหลืองเพียง 32.91 โดยมีค่า DE\* มากถึง 10 จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าการใช้สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตไม่เหมาะสมกับการบ่มจากความร้อน เพราะจะทำให้ผ้าที่ตกแต่งมีความเหลืองเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4. 19** การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนิก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	L*	a*	b*	WI-CIE	YI-E313	DE*
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	92.14	-0.36	2.60	68.88	4.81	0
น้ำมันหอมระเหยชา ร้อยละ 3	93.64	-0.50	5.97	56.94	6.94	3.69
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน	95.61	-1.00	8.81	49.20	15.41	7.14
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน + สารช่วยผืนิก	95.72	-0.70	9.60	45.96	17.01	7.87
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ผืนิก	95.29	-1.54	12.19	32.91	20.87	10.16

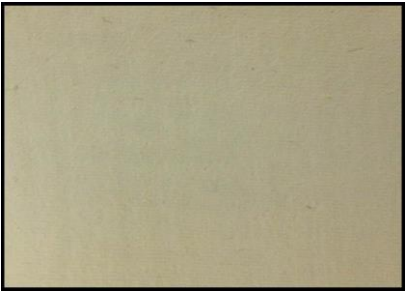
#### 4.7.4 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

จากตารางที่ 4.20 เป็นการอธิบายลักษณะภายนอกที่สัมผัสด้วยมือ และการสังเกตของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนิก ทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

ตารางที่ 4. 20 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยฉีก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและปมด้วยความร้อน

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการปม	ลักษณะภายนอกของผ้า
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	 <p>ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งมีสัมผัสที่นุ่มและมีสีขาวของผ้าฝ้ายปกติ</p>
ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชา ค่าความเข้มข้นร้อยละ 3	ความร้อน	 <p>ผ้ามีสัมผัสที่นุ่มลิ้นขึ้นและสีออกเหลืองขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง</p>

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ลักษณะภายนอกของผ้า
<p>ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย            ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย +            สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน</p>	<p>ความร้อน</p>	 <p>ผ้าให้สัมผัสที่แข็งกระด้าง เมื่อสัมผัสผิวผ้า จะเกิดการหลุดของไมโครแคปซูลออกจาก ผ้าที่ตกแต่ง และผ้าเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง มากขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยน้ำมัน หอมระเหยข่า</p>
<p>ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย            ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย +            สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน            + สารช่วยผนึก</p>	<p>ความร้อน</p>	 <p>ผ้าให้สัมผัสที่แข็งกระด้าง เมื่อสัมผัสผิวผ้า พบว่าไม่มีการหลุดของไมโครแคปซูลออก จากผ้าที่ตกแต่ง ให้สัมผัสที่เรียบเนียนของ สารเคลือบผิวบนผ้า และผ้าเปลี่ยนสีเป็นสี เหลือง</p>

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ลักษณะภายนอกของผ้า
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดพอลิยูรีเทน อะคริเลต + สารช่วยผนึก	ความร้อน	 <p>ผ้าให้สัมผัสที่แข็งกระด้าง เมื่อสัมผัสผิวผ้าพบว่าไม่มีการหลุดของไมโครแคปซูลออกจากผ้าที่ตกแต่ง ให้สัมผัสที่เรียบเนียนของสารเคลือบผิวบนผ้า และผ้าเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองมากที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าที่ตกแต่งทั้งหมด</p>

4.8 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน บนผ้าฝ้ายล็กที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน





#### 4.8.1 ความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง




4.8.1.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน

นำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียร้อยละ 10 และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายหลังจากนั้นนำไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 ดังแสดงในตารางที่ 4.21 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งก่อนการซักมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.89 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม และหลังจำนวนรอบการซัก 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบพบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าใกล้เคียงกันคือ 97.78, 97.77, 98.07, 99.82 และ 99.82 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียมีความคงทนต่อการซักล้าง และสารยัดมีความสามารถช่วยยึดติดได้ดีบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่ง และเมื่อสังเกตจากร้อยละไมโครแคปซูลที่

หายไปพบว่าจำนวนรอบการชัก 5 รอบ มีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปเพียงเล็กน้อยคือร้อยละ 6.51 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการชัก 10, 15, 20 และ 25 รอบ ที่มีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปใกล้เคียงกันคือประมาณ ร้อยละ 20 นับได้ว่าจำนวนรอบการชักที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียไมโครแคปซูลเพิ่มสูงขึ้น

**ตารางที่ 4. 21** ความคงทนต่อการชักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

จำนวนรอบการชัก (รอบ)	% add on ก่อนชัก	% add on หลังชัก	% ไมโครแคปซูลที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	33.84	33.84	0		99.89
5	32.5	25.99	6.51		97.78
10	33.61	12.31	21.30		97.77

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโคร แคปซูลที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
15	29.87	7.88	21.99		98.07
20	30.9	10.82	20.08		99.82
25	30.65	10.89	19.76		99.82





#### 4.8.1.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก




จากตารางที่ 4.22 แสดงถึงความคงทนต่อการซักของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียบนผ้าก่อนการซักล้างเท่ากับร้อยละ 98.97 ซึ่งมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียใกล้เคียงกับผ้าที่ไม่ได้ใช้สารช่วยผนึกที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.89 จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนมีประสิทธิภาพในการช่วยยึดติดสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม ถึงแม้ว่าจะไม่มีสารช่วยผนึกก็ตาม เนื่องจากสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนสามารถเกิดการเชื่อมขวางได้ด้วยตัวเองโดยใช้เทคโนโลยีการบ่มด้วยความร้อน แต่เมื่อสังเกตร้อยละของไมโครแคปซูลที่หายไปจากตารางที่ 4.21 จะพบว่าถ้าไม่มีสารช่วยผนึกเมื่อเพิ่มจำนวนรอบการซักล้าง จะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียไมโครแคปซูลที่ตกแต่งบนผ้ามากกว่าผ้าที่ตกแต่งแบบมีสารช่วยผนึก และเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.22 ร้อยละของไมโครแคปซูลที่หายไปจะลดน้อยลง โดยเมื่อจำนวนรอบการซักเป็น 5, 10, 15 และ 20 รอบ จะมีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปเพียง 12.63, 8.87, 9.87 และ 8.29 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นจำนวนรอบ



การซักล้าง 25 รอบ มีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปเท่ากับ 4.83 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบการซักล้างประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียยังมีความใกล้เคียงกับผ้าก่อนซักคือจำนวนรอบการซัก 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบ มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียประมาณ 99.99 กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มสารช่วยฟีนิกนั้นเป็นการช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซักล้างของสารต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านตกแต่งให้มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปบนผ้ายังมีค่าลดน้อยลงเมื่อเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว

**ตารางที่ 4. 22** ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยฟีนิกโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโครแคปซูลที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	40.13	40.13	0		98.97
5	38.92	26.29	12.63		99.80
10	32.74	23.87	8.87		99.99

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโคร แคปซูลที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
15	32.40	22.53	9.87		99.99
20	30.37	22.09	8.29		99.99
25	29.41	24.58	4.83		99.99




#### 4.8.1.3 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัตชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก





จากตารางที่ 4.23 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารช่วยผนึก และสารยัตชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตทำหน้าที่ช่วยยึดติดแทนการใช้สารยัตชนิดนาโนพอลิยูรีเทน พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียของผ้าที่ตกแต่งก่อนการซักมีค่าเท่ากับร้อยละ 92.30 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัตชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ทั้งแบบไม่มีสารช่วยผนึก และมีสารช่วยผนึก ซึ่งมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.89 และ 98.97 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังจากการซักผ้าที่ตกแต่งจะมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนการซัก 5, 10, 15 และ 20 รอบ มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.80, 98.80, 99.99 และ 99.80 ยกเว้นผ้าที่ตกแต่งหลังซัก 25 รอบ มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเหลือเพียงร้อยละ 95.57 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ลดลงเกิดจากจำนวนรอบการซักที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความไม่คงทนต่อการซักของสารยัตชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตถึงแม้ว่าจะเพิ่มสารช่วยผนึก จากผลการทดลองดังกล่าว

เกิดจากสาเหตุที่ว่าสารยีสชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต เป็นสารยีสที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยใช้เทคโนโลยีการบ่มด้วยความร้อน ถึงแม้จะมีสารช่วยยีสเพิ่มประสิทธิภาพการยีสติดสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้า เพราะสารยีสชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และอยู่ภายใต้เทคโนโลยีการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

ดังนั้นจากผลการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้เทคโนโลยีการบ่มด้วยความร้อนเหมาะสมกับสารยีสชนิดนาโนพอลิยูรีเทนมากกว่าสารยีสชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และเพื่อเพิ่มความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียจำเป็นต้องใช้สารช่วยยีส

**ตารางที่ 4. 23** ความคงทนต่อการซักล้างของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยยีส โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโครแคปซูลที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	45.32	45.32	0		92.30
5	40.39	39.08	1.31		99.80

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโคร แคปซูลที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
10	40.40	35.55	4.85		98.80
15	36.98	31.60	5.38		99.99
20	35.97	30.86	5.11		99.80
25	31.58	29.47	2.11		95.57

#### 4.8.2 ความคงทนต่อการอบแสงของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.8.2.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

จากตารางที่ 4.24 เป็นการนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียร้อยละ 10 และสารช่วยยึดติดที่แตกต่างกัน ตกแต่งบนผ้าฝ้ายแล้วนำไปอบแสงตามมาตรฐาน AATCC 16E หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทน เมื่อผ่านการอบแสงเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.99 ซึ่งมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียใกล้เคียงกับผ้าที่ตกแต่งก่อนการอบแสงคือมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.89 ในขณะที่ผ้าที่ใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนและสารช่วยผนึกพบว่าแนวโน้มเป็นไปใน

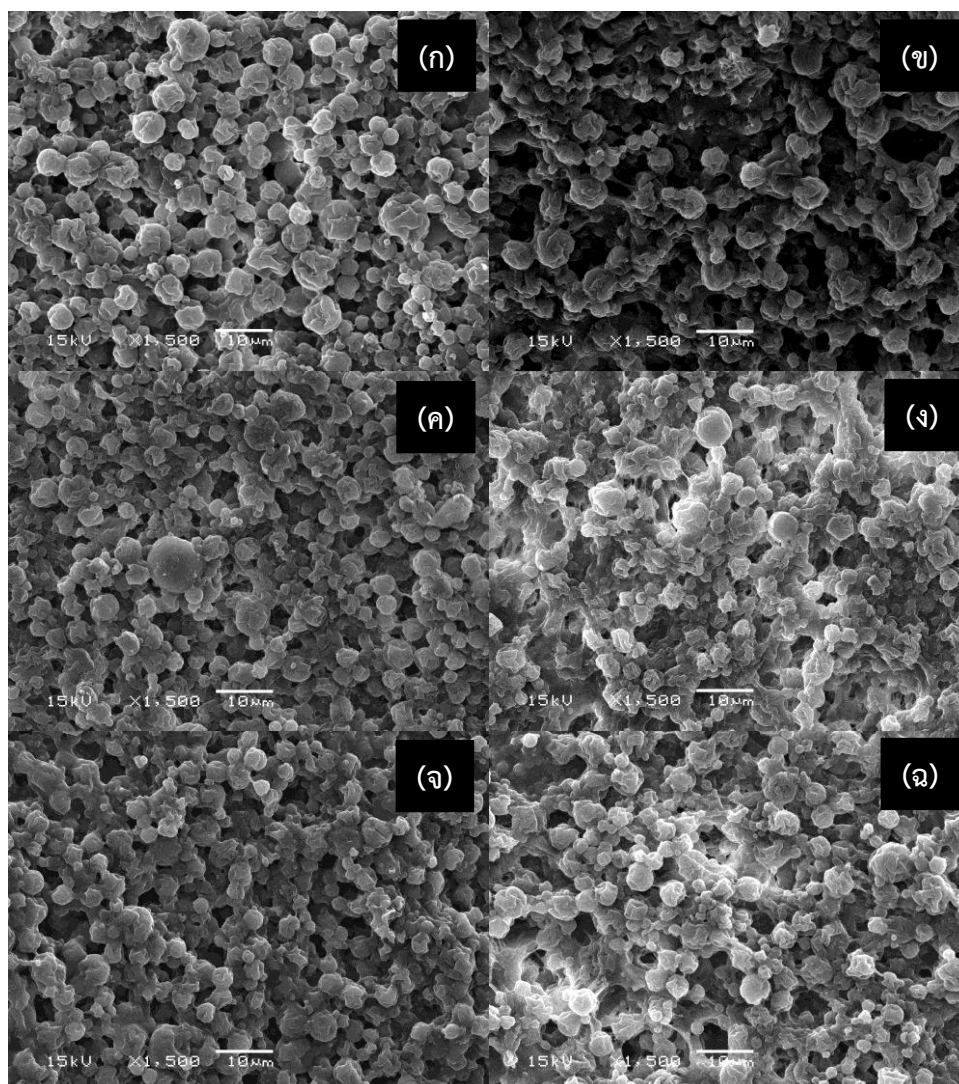
ทิศทางเดียวกัน คือผ้าที่ตกแต่งก่อนการอบแสงมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 98.97 และผ้าหลังการอบแสงมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 99.99 จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ทั้งแบบมีสารช่วยผนึกและไม่มีสารช่วยผนึกมีความคงทนต่อแสงดีเยี่ยม

นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึกหลังการอบแสงมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าก่อนการอบแสงที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 92.30 ส่วนผ้าหลังการอบแสงมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 99.99 และถ้าสังเกตจากภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า พบว่าไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึกไม่เกิดการยุบตัวหรือไม่บวมสลายอย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 4.12 ผลการทดลองดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากอบแสงทำให้น้ำมันหอมระเหยชำที่เป็นสารแกนภายในไมโครแคปซูลสามารถระเหยออกมาจนแสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียได้อย่างเต็มที่

ตารางที่ 4. 24 ความคงทนต่อการอาบแสงของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่งก่อนการอาบแสง	0		0
ผ้าไม่ตกแต่งหลังการอาบแสง	0		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนก่อนการอาบแสง	33.84		99.89
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนหลังการอาบแสง	31.46		99.99

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน + สารช่วย ผนึก ก่อนการอบแสง	40.13		98.97
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโน พอลิยูรีเทน + สารช่วย ผนึก หลังการอบแสง	32.28		99.99
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สาร ช่วยผนึก ก่อนการอบแสง	45.32		92.30
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน- ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สาร ช่วยผนึก หลังการอบแสง	39.87		99.99



รูปที่ 4. 12 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการอบแสง (ข) หลังการอบแสง สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการอบแสง (ง) หลังการอบแสง สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (จ) ก่อนการอบแสง (ฉ) หลังการอบแสง

#### 4.8.3 ความคงทนต่อการรีดร้อนของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.8.3.1 ประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

จากตารางที่ 4.25 เป็นการนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ร้อยละ 10 และสารช่วยยึดติดที่แตกต่างกัน ตกแต่งบนผ้าฝ้ายถักแล้วนำไปรีดร้อนด้วยวิธีตาม







มาตรฐาน AATCC 133 หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ และสารยิดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียวหลังการรีดร้อน มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ลดต่ำลง เพราะร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าเพียงร้อยละ 92.58 ในขณะที่ผ้าที่ตกแต่งก่อนการรีดร้อนมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียสูงถึง 99.89 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีมากกว่า แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มสารช่วยผนึกเข้าไปในการตกแต่งบนผ้าพบว่าผ้าที่ตกแต่งหลังผ่านการรีดร้อนจะทำให้ค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียใกล้เคียงกับผ้าที่ตกแต่งก่อนการรีดร้อนคือร้อยละ 99.99 และ 98.97 ตามลำดับ แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม จากผลที่กล่าวมาข้างต้น แสดงถึงประสิทธิภาพการช่วยยิดติดของสารช่วยผนึกเพราะเนื่องจากทำให้สารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งมีความคงทนต่อการรีดร้อนได้อย่างดีมาก

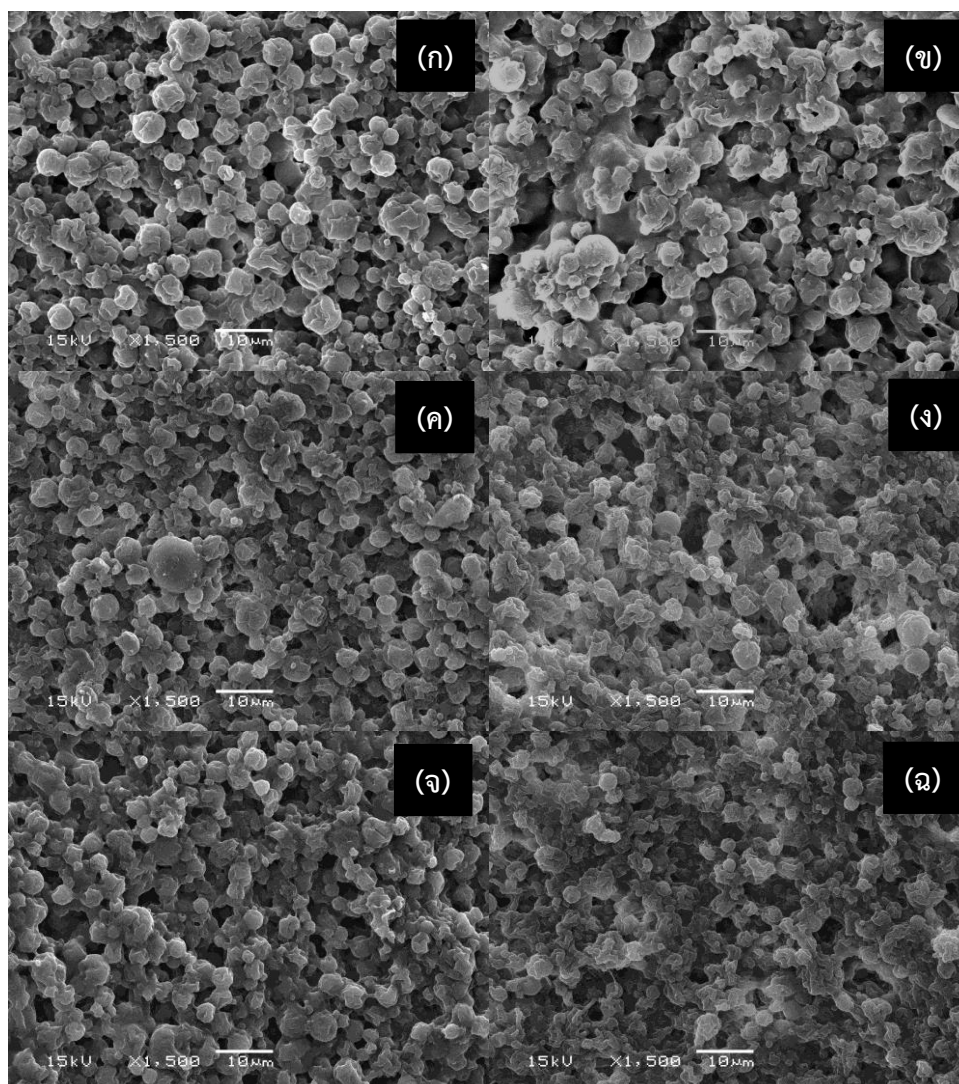
นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยิดพอลิยูรีเทน อะคริเลต และสารช่วยผนึก มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นบนผ้าที่ผ่านการรีดร้อนโดยมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากถึงร้อยละ 99.71 ในขณะที่ผ้าที่ตกแต่งก่อนการรีดร้อนมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 92.30 เนื่องมาจากความร้อนของการรีดร้อนช่วยให้เกิดการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนผ้าได้จึงส่งผลให้ผ้าที่ตกแต่งหลังการรีดร้อนมีประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียได้เพิ่มมากขึ้น [9] และจากภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยิดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตและสารช่วยผนึกไมโครแคปซูลเกิดการบวมสลายจำนวนมาก แต่กลับมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่เพิ่มมากขึ้น โดยไมโครแคปซูลบางส่วนที่เกิดการยุบตัว และหลอมรวมกันค่อนข้างชัดเจนจะพบบนผ้าที่ใช้สารยิดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียลดลงหลังการรีดร้อน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสารยิดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนมีประสิทธิภาพในการช่วยยิดติดได้น้อยกว่าผ้าที่ใช้สารยิดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนและสารช่วยผนึกที่มีความคงทนต่อการรีดร้อนมากกว่า ส่วนผ้าที่ใช้สารยิดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตนั้นถึงแม้ว่าจะมีสารช่วยผนึกเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยิดติด ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียก็ยังไม่สูงเมื่อเทียบกับการใช้สารยิดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ถึงแม้ว่าเมื่อผ้าที่ใช้สารยิดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตหลังการรีดร้อนจะมีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 4. 25 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน (หลังการรีดร้อน)

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่งก่อนการรีดร้อน	0		0
ผ้าไม่ตกแต่งหลังการรีดร้อน	0		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ก่อนการรีดร้อน	33.84		99.89
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน หลังการรีดร้อน	30.13		92.58
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน + สารช่วยผนึก ก่อนการรีดร้อน	40.13		98.97

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิ ยูรีเทน + สารช่วยผนึก หลังการรีดร้อน	41.05		99.25
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ผนึก ก่อนการรีดร้อน	45.32		92.30
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ผนึก หลังการรีดร้อน	39.18		99.71



รูปที่ 4.13 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และ สารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการรีดร้อน (ข) หลังการรีดร้อน สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการรีดร้อน (ง) หลังการรีดร้อน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (จ) ก่อนการรีดร้อน (ฉ) หลังการรีดร้อน

#### 4.8.4 ความคงทนต่อการแช่เหงื่อเทียมของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.8.4.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน


จากตารางที่ 4.26 เป็นการนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียร้อยละ 10 และสารช่วยยึดติดที่แตกต่างกัน ตกแต่งบนผ้าฝ้ายแล้วนำไปแช่เหงื่อเทียมที่เตรียมและทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 15 หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียวเป็นสารช่วยยึดติดจะไม่มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเนื่องจากร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 0 ซึ่งในขณะที่ผ้าตกแต่งก่อนการแช่เหงื่อแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากถึงร้อยละ 99.89 เนื่องจากเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4 - 10 ผ้าหลังการแช่สารละลายเหงื่อกรดเทียม pH 5.5 และสารละลายเหงื่อต่างเทียม pH 8 จึงไม่แสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย [37] และจากภาพถ่าย SEM ของผ้าตัวอย่างพบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เกิดการบวมสลายและหลอมรวมติดกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้งสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและความสามารถในการยึดติดของสารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนไม่มีความคงทนต่อเหงื่อเทียม ในทางตรงกันข้ามกับพบว่าผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนและสารช่วยผนึก ทั้งก่อนและหลังการแช่เหงื่อต่างเทียมมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม ซึ่งมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียใกล้เคียงกันคือร้อยละ 98.97 และ 99.42 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งหลังการแช่เหงื่อกรดเทียมจะมีค่าเพียงร้อยละ 72.57 ดังนั้นผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึกมีความคงทนต่อเหงื่อเทียมมากกว่าผ้าที่ตกแต่งแบบใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว แสดงถึงประสิทธิภาพของสารช่วยผนึกช่วยยึดติดที่ดีเยี่ยม และสังเกตจากภาพถ่าย SEM ของผ้าตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าไมโครแคปมีการบวมสลายเพียงบางส่วนและน้อยกว่าภาพถ่าย SEM ของผ้าตัวอย่างที่ใช้สารยึดติดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว

นอกจากนั้นผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดติดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึกพบว่าผ้าที่ตกแต่งก่อนการแช่เหงื่อมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียง 92.30 ในส่วนของผ้าที่ตกแต่งหลังจากการแช่เหงื่อต่างเทียมมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียที่เพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 97.14 ซึ่งมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่มากกว่า และผ้าที่ตกแต่งหลังแช่เหงื่อกรดก็มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 22.85 ภาพถ่าย SEM จะสังเกตเห็นว่าไมโครแคปซูลบนผ้าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เหงื่อต่างเทียมเกิดการยุบตัวเพียงบางส่วน และมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับไมโครแคปซูลบนผ้าตัวอย่างที่ผ่านการแช่เหงื่อกรดเทียม แสดงดังในรูปที่ 4.14

จากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียหลังจากการแช่ห้องต่างเทียมบนผ้าตักแต่งที่ใช้ทั้งสารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทนและสารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต แสดงว่าการมีสารช่วยผนึกจะส่งผลทำให้สารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียมีความคงทนต่อห้องต่างมากขึ้น และห้องกรดได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารช่วยผนึกมีความจำเป็นสำหรับการช่วยยีสต์ติดสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย หรืออาจกล่าวว่ามีความสามารถในการช่วยให้ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยฆ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สามารถยีสต์ติดบนผ้าได้อย่างดีเยี่ยม

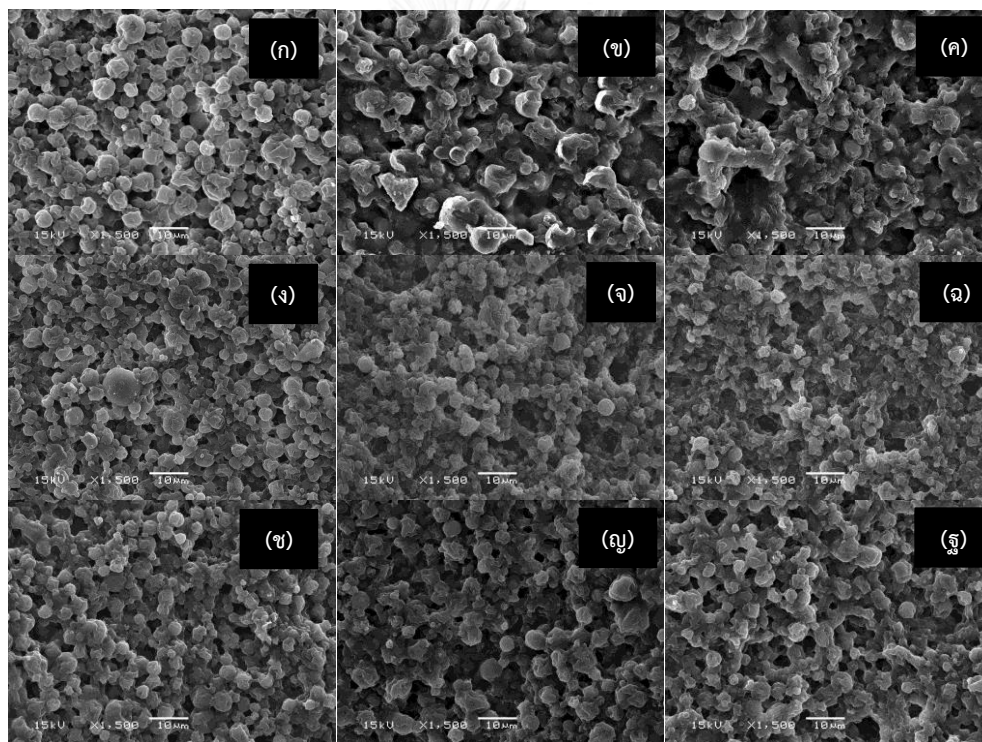
**ตารางที่ 4. 26** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยฆ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน (หลังการแช่ห้องเทียม)

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่งก่อนการแช่ห้อง	0		0
ผ้าไม่ตกแต่งหลังการแช่ห้อง	0		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยฆ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน ก่อนการแช่ห้อง	33.84		99.89
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยฆ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยีสต์ชนิดนาโนพอลิยูรีเทน หลังการแช่ห้อง	29.87		0

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิ ยูรีเทน + สารช่วยฉนิก ก่อนการแช่เหงื่อ	40.13		98.97
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิ ยูรีเทน + สารช่วยฉนิก หลังการแช่เหงื่อกรด	39.05		72.57
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิ ยูรีเทน + สารช่วยฉนิก หลังการแช่เหงื่อต่าง	41.39		99.42
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ฉนิก ก่อนการแช่เหงื่อ	45.32		92.30
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ฉนิก หลังการแช่เหงื่อกรด	29.05		22.85



ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารช่วย ผนึก หลังการแช่เหงื่อต่าง	30.16		97.14



**รูปที่ 4. 14** ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน : (ก) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ข) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ค) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม

สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก : (ง) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (จ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฉ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม

สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก : (ช) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ญ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฐ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม

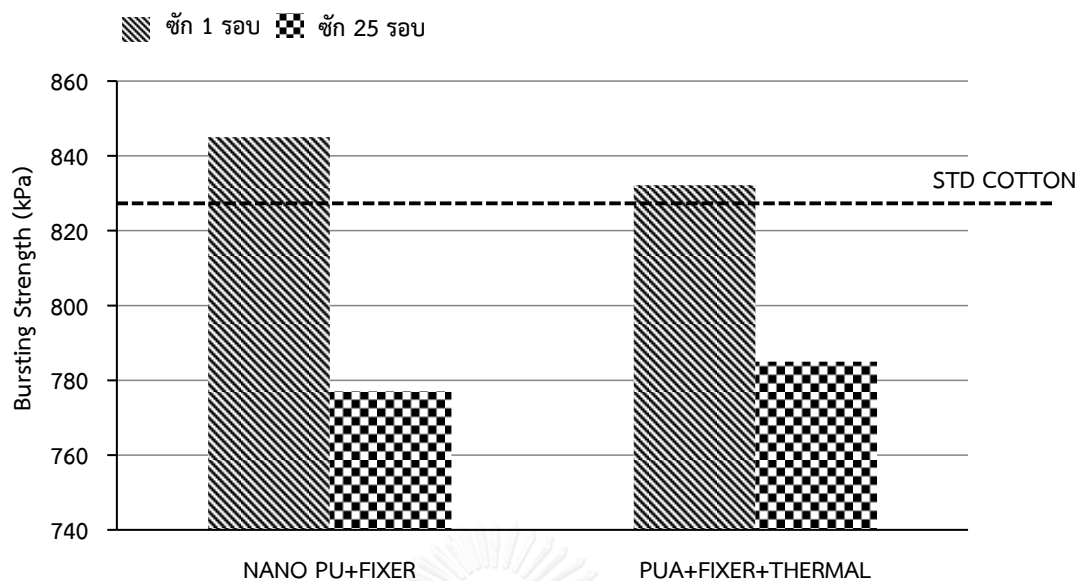


#### 4.9 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

เนื่องจากผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก มีประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม และสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียมีความคงทนต่อการซักล้าง อาบแสง รีดร้อน และเหงื่อไคล ดังนั้นการทดสอบความแข็งแรงของผ้าหลังผ่านการตกแต่งจึงเลือกผ้าดังกล่าวมาทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ ตารางที่ 4.27 แสดงค่าความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการตกแต่งหลังการซัก 1 และ 25 รอบ การซักเปรียบกับภาวะใช้งานจริงที่จะต้องซักเสื้อผ้าก่อนนำไปใช้งาน และหลังจากการใช้งาน พบว่าผ้าที่ตกแต่งจะมีความแข็งแรงและสามารถต้านทานต่อแรงดันทะลุได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งที่มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเพียง 822.5 กิโลปาสคาล เมื่อเทียบระหว่างผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากความร้อนผ้าหลังซัก 1 รอบ มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุต่ำสุดเพียง 832.2 กิโลปาสคาล ทั้งนี้เนื่องมาจากสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเหมาะกับการบ่มด้วยความรังสีอัลตราไวโอเล็ตชั้นฟิล์มที่ได้จึงมีความแข็งแรงมากกว่าการบ่มจากความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 แต่กลับพบว่าผ้าที่ตกแต่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากความร้อนหลังการซัก 25 รอบมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 785.0 กิโลปาสคาล นอกจากนั้นผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากความร้อนผ้าหลังซัก 1 รอบ มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุ 845.0 กิโลปาสคาล และหลังซัก 25 รอบ มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเท่ากับ 777.0 กิโลปาสคาล ทั้งนี้เนื่องมาจากชั้นฟิล์มหนาของไมโครแคปซูลช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงดันทะลุ แต่เมื่อผ่านการซักหลายรอบจะทำให้ชั้นฟิล์มเกิดความเสียหายจนผ้ามีความแข็งแรงที่ลดลง

ตารางที่ 4. 27 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ค่าความต้านแรงดันทะลุ (กิโลปาสคาล)	
		จำนวนรอบการซัก (รอบ)	
		1	25
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	822.5	822.5
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน + สารช่วยผนึก	ความร้อน	845.0	777.0
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทน อะคริเลต + สารช่วยผนึก	ความร้อน	832.2	785.0



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง และผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผืนึก

**หมายเหตุ:** NANO PU+FIXER คือ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผืนึก ผ่านการบ่มจากความร้อน

PUA+FIXER+THERMAL คือ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนึก ผ่านการบ่มจากความร้อน

STD COTTON คือ ผ้าฝ้ายถักไม่ผ่านการตกแต่ง

#### 4.10 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

เนื่องจากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าหลังซัก 1 รอบ โดยผ้าตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรี และสารช่วยผืนึก มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบผ้าที่ไม่ตกแต่ง ดังนั้นจึงสนใจผ้าที่ตกแต่งมาทดสอบความสามารถการจัดการความชื้น โดยกำหนดให้ผ้าด้านที่ไม่เคลือบจะสัมผัสกับผิวหนังร่างกายจึงกำหนดให้ผิวด้านที่ไม่เคลือบเป็นด้านบน และผิวด้านที่เคลือบจะกำหนดให้เป็นด้านล่าง พบว่าด้านที่เคลือบผ้าโดยใช้สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผืนึก จะให้ระดับของ Overall moisture management

เท่ากับ 1 เป็นระดับที่ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าไม่ตกแต่งที่มี Overall moisture management ระดับที่ 2 แสดงว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งจะมีความสามารถการจัดการความชื้นที่ลดลงด้วยสาเหตุที่ว่าอนุภาคของไมโครแคปซูลแทรกซึมเข้าไประหว่างเส้นด้ายและเส้นใย และเคลือบเป็นชั้นฟิล์มที่ผิวหน้าของผ้าฝ้ายถักจึงส่งผลให้ความชื้นและน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก จะมีระดับของเวลาที่ทำให้ผ้าเปียก อัตราการดูดซึม และรัศมีการเปียกสูงสุด ของด้านที่เคลือบมีระดับเท่ากับ 2, 1.5 และ 3 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.28 ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากพอลิยูรีเทนจะมีสมบัติยอมให้แก๊สและไอน้ำซึมผ่านได้ [10] และสมบัติพิเศษของสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่มีอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตรจึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยจนเกิดฟิล์มรอบๆเส้นใยได้ และสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนยังสามารถใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จบนสิ่งทอให้มีสมบัติชอบน้ำและมีความคงทนต่อการใช้งาน [26] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพบว่าสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึกมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารช่วยตกแต่งสำหรับการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียโดยวิธีการเคลือบแบบพ่นละออง

**ตารางที่ 4. 28** ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

หัวข้อการทดสอบ	STD COTTON		NANO PU+FIXER	
	ด้านบนของ ผิวผ้า	ด้านล่างของ ผิวผ้า	ด้านบนของ ผิวผ้า	ด้านล่างของ ผิวผ้า
ระดับของเวลาที่ ทำให้ผ้าเปียก	3.5	2.5	3.5	2
ระดับของอัตราการ ดูดซึม	2.5	5	3.5	1.5
ระดับของรัศมี การเปียกสูงสุด	4	3	2	3

หัวข้อการทดสอบ	STD COTTON		NANO PU+FIXER	
	ด้านบนของ ผิวผ้า	ด้านล่างของ ผิวผ้า	ด้านบนของ ผิวผ้า	ด้านล่างของ ผิวผ้า
ระดับของอัตราเร็ว ในการกระจายความชื้น	2	2.5	1	1
ระดับของ One-way transport index	2		1	
ระดับของ Overall moisture management	2		1	

**หมายเหตุ:** STD COTTON คือ ผ้าฝ้ายถักไม่ผ่านการตกแต่ง

NANO PU+FIXER คือ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากความร้อน

ระดับ 1 หมายถึง น้อย

ระดับ 2 หมายถึง ปานกลาง

ระดับ 3 หมายถึง ดี

ระดับ 4 หมายถึง ดีมาก

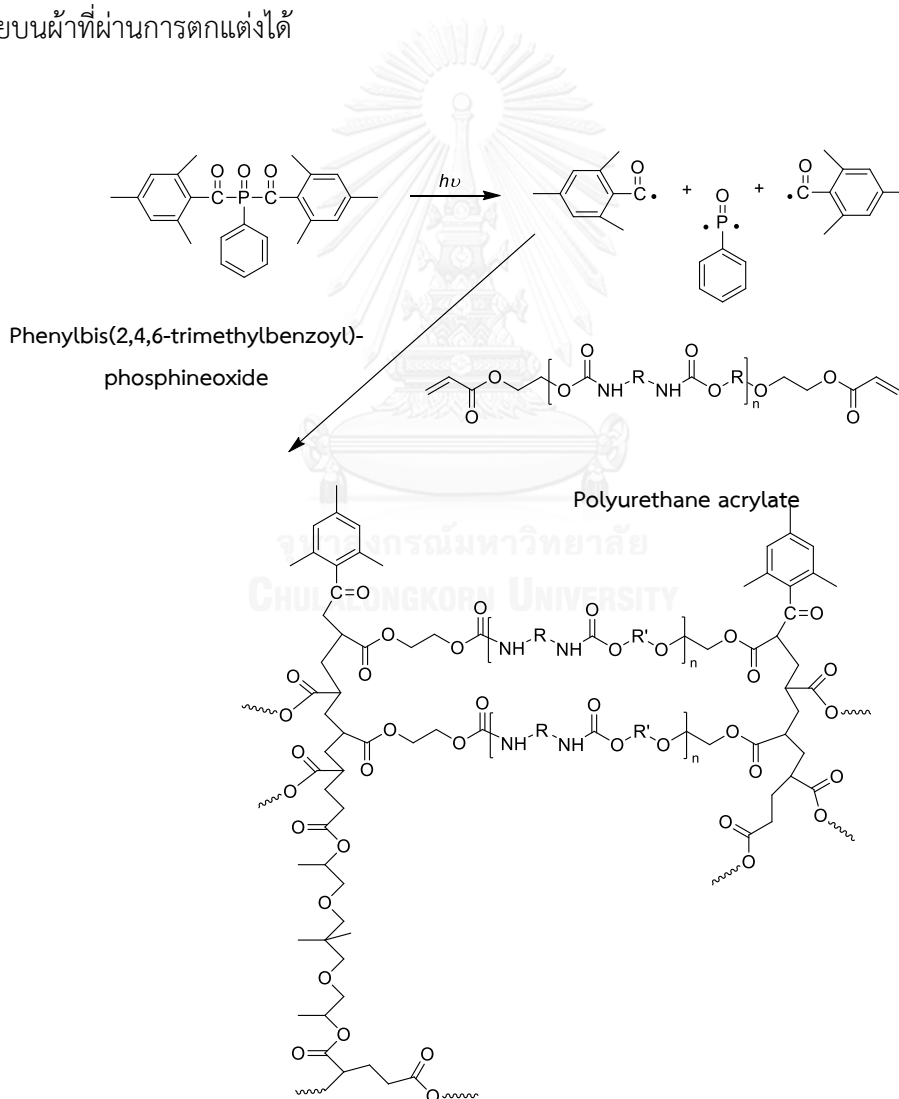
ระดับ 5 หมายถึง ดีเยี่ยม

4.11 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### 4.11.1 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันภายใต้การบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยสารยึดที่เป็นโอลิโกเมอร์ประเภทยูรีเทนอะคริเลตจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน

แบบอนุมูลอิสระ โดยได้อนุมูลอิสระมาจากการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงส่งผลทำให้โอลิโกเมอร์ที่มีองค์ประกอบของหมู่อะคริเลตเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระจะเกิดการเติมเข้าที่พันธะคู่ในหมู่อะคริเลตของโอลิโกเมอร์ หลังจากนั้นพันธะคู่จะเปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยว และทำให้โอลิโกเมอร์มีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับพันธะคู่ของโอลิโกเมอร์โมเลกุลอื่นๆ ต่อไปจนกระทั่งเกิดเป็นพอลิเมอร์แบบโครงข่าย 3 มิติ เนื่องจากสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงสามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระถึง 2 ตำแหน่ง จึงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพันธะคู่อย่างรวดเร็ว กลไกของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงในการแตกตัวให้อนุมูลอิสระ และการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต [27] แสดงดังในรูปที่ 4.16 จากกลไกดังกล่าวทำให้เกิดชั้นฟิล์มของสารยึดพอลิยูรีเทนอะคริเลตช่วยยึดติดสารออกฤทธิ์ หรือไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยเข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งได้



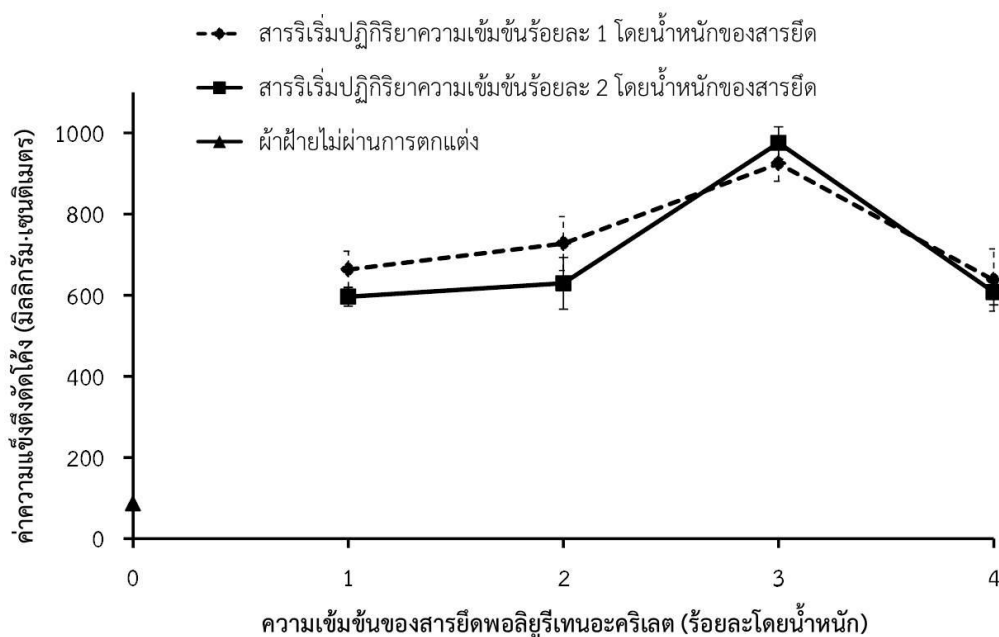
รูปที่ 4.16 กลไกการแตกตัวให้อนุมูลอิสระของสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และก่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต [27]

เมื่อสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงบนผ้าที่ตกแต่งจะส่งผลทำให้ผ้ามีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเพิ่มขึ้น หรือให้สัมพัทธ์ที่กระด้างมากขึ้น [8, 30] จากตารางที่ 4.29 แสดงถึงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเพื่อยืนยันการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแล้วหาปริมาณที่เหมาะสมของสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่จะนำมาตกแต่งไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย บนผ้าให้มีสมบัติด้านแบคทีเรียโดยใช้เทคโนโลยีการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้วยสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของสารยัด มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตมากขึ้นคือที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 663, 727 และ 924 มิลลิกรัม-เซนติเมตร ตามลำดับ ยกเว้นผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเท่ากับ 637 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และผ้าที่ตกแต่งด้วยสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของสารยัด พบว่าสารยัดมีปริมาณเพิ่มขึ้นคือความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ผ้าที่ผ่านการตกแต่งมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูงขึ้นคือ 596, 629 และ 975 มิลลิกรัม-เซนติเมตร แต่ที่ความเข้มข้นของสารยัดเท่ากับร้อยละ 4 มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งเพียง 607 มิลลิกรัม-เซนติเมตร จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตร้อยละ 3 มีปริมาณมากเกินไปสำหรับใช้ตกแต่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ลงบนผ้าฝ้ายถัก จึงส่งผลให้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่ลดต่ำลง แสดงดังรูปที่ 4.17

**ตารางที่ 4. 29** ความแข็งดึงตัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตโดยการเคลือบแบบพ่นละออง และบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยของพื้นที่ (Heat Flux) เท่ากับ  $102.75 \text{ mJ/cm}^2$  (0.18 m/s per 78.74 W/cm lamp)

ความเข้มข้นของ สารริเริ่มปฏิกิริยา (ร้อยละโดยน้ำหนักของสารยึด)	ความเข้มข้นของสารยึด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสภาพแข็งดึงตัดโค้ง (มิลลิกรัม-เซนติเมตร)
0	0	86
1 (0.1)	1	663
1 (0.2)	2	727
1 (0.3)	3	924
1 (0.4)	4	637
2 (0.2)	1	596
2 (0.4)	2	629
2 (0.6)	3	975
2 (0.8)	4	607





รูปที่ 4. 17 ความแข็งแรงดึงดัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยี่ห้อชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ความเข้มข้นแตกต่างกันโดยการเคลือบแบบพ่นละออง









เนื่องจากมีงานวิจัยที่หลากหลายพบว่าสารยี่ห้อชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงบนผ้าที่ตกแต่ง ผ้าจะมีค่าสภาพแข็งแรงดึงดัดโค้งที่เพิ่มขึ้นและให้สัมผัสที่กระด้างขึ้น [8, 30] ดังนั้นจากผลการทดสอบค่าสภาพแข็งแรงดึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยี่ห้อชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของสารยี่ห้อ แสดงค่าสภาพแข็งแรงดึงดัดโค้งมากที่สุด ดังรูปที่ 4.17 จึงสันนิษฐานว่าชั้นฟิล์มเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเลือกใช้สูตรตกแต่งดังกล่าว และเพื่อยืนยันสมมติฐานข้างต้นจึงทดสอบความคงทนต่อการใช้งานของสารยี่ห้อชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน









#### 4.12 การตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายถักด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

##### 4.12.1 ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรีย สำหรับการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สูตรตกแต่งที่ประกอบด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง สารลดแรงตึงผิว และน้ำ ทั้งแบบไม่มีและมีส่วนช่วยผนึก พบว่าสูตรตกแต่งหลังปั่นผสมมีความเข้ากันได้ เป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน และมีสีขาวขุ่น หลังจากตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 วัน ไม่พบการแยกชั้นของของผสม ดังแสดงในตารางที่ 4. 30

**ตารางที่ 4. 30** ความเข้ากันได้และเสถียรภาพของส่วนประกอบในสูตรตกแต่งด้านแบคทีเรียที่มีไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก สำหรับการบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง									
ชั่วโมง					วัน				
2	4	6	8	10	1	2	3		
									

ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผนึก							
ชั่วโมง				วัน			
2	4	6	8	10	1	2	3
							

#### 4.12.2 ความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

ผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการตกแต่งจะสูญเสียสัมผัสที่อ่อนนุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แสดงดังตารางที่ 4.31 ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งโดยใช้การบ่มจากการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึกมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งมากถึง 1095 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และผ้าที่ตกแต่งแบบใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยา มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่ใกล้เคียงกันคือ 975 มิลลิกรัม-เซนติเมตร แสดงถึงผ้ามีสัมผัสที่แข็งกระด้างมากเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง ซึ่งผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกถ้ามีการเพิ่มสารช่วยผนึก หรืออาจกล่าวได้ว่าผ้ามีสัมผัสที่แข็งกระด้างอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการตกแต่งไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียความเข้มข้นมากถึงร้อยละ 10 บนผ้าเพื่อสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียที่เพียงพอสำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจนเกิดชั้นฟิล์มที่ค่อนข้างหนา และทำให้โครงสร้างของผ้าฝ้ายถักยับได้ยากมากขึ้น

**ตารางที่ 4. 31** ความแข็งดึงตัดโค้งของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย  
 ข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยฉนีก  
 โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ค่าสภาพแข็งดึงตัดโค้ง (มิลลิกรัม-เซนติเมตร)
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	86
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง	รังสี อัลตราไวโอเล็ต	975
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/พอลิยูรี เทน-ยูเรีย + สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยฉนีก	รังสี อัลตราไวโอเล็ต	1095

#### 4.12.3 การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ได้โดยใช้สารยึดชนิด  
 พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ทั้งแบบไม่มีและมีสารช่วยฉนีก แสดงดังตารางที่  
 4.32 พบว่ามีค่า  $b^*$  สูงถึงประมาณ 11 ค่า YI-E313 ที่เป็นค่าดัชนีความเหลืองของผ้ามากประมาณ  
 18 และค่า WI-CIE ซึ่งเป็นค่าดัชนีความขาวของผ้าเหลืองเพียงประมาณ 40 โดยมีค่า  $DE^*$  สูงถึง 8  
 จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/  
 พอลิยูรีเทน-ยูเรียจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากสีขาวออกเหลืองของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้  
 ถึงแม้จะไม่มีและมีสารช่วยฉนีก

**ตารางที่ 4. 32** การเปลี่ยนสีของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหย  
 ข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผืนึก  
 โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

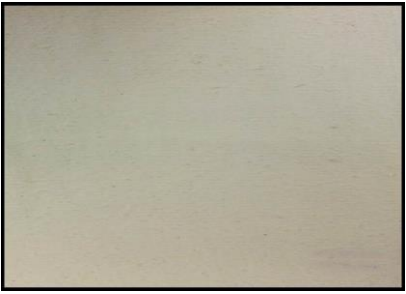
ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	L*	a*	b*	WI-CIE	YI-E313	DE*
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	92.14	-0.36	2.60	68.88	4.81	0
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง	95.62	-1.49	10.68	40.73	18.27	8.87
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/ พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผืนึก	94.95	-1.36	10.48	39.76	18.13	8.42

#### 4.12.4 ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรีย

จากตารางที่ 4.33 เป็นการอธิบายลักษณะภายนอกที่สัมผัสด้วยมือ และการสังเกตได้ของผ้า  
 ที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข้า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทน  
 อะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผืนึก ผ่านการบ่มจากการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

**ตารางที่ 4. 33** ลักษณะภายนอกของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ลักษณะภายนอกของผ้าที่ตกแต่ง
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	 <p>ผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งมีสัมผัสที่นุ่มและมีสีขาวของผ้าฝ้ายปกติ</p>
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง	รังสีอัลตราไวโอเล็ต	 <p>ผ้าให้สัมผัสที่แข็งกระด้างมากกว่าสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน เมื่อสัมผัสผิวผ้าเกิดการหลุดของไมโครแคปซูลออกจากผ้าที่ตกแต่งเพียงเล็กน้อย และผ้าเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเทียบเท่ากับผ้าที่ตกแต่งด้วยสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน</p>

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ลักษณะภายนอกของผ้าที่ตกแต่ง
<p>ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหย            ข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย +            สารยัดชนิดพอลิยูรีเทน            อะคริเลต + สารริเริ่ม            ปฏิกริยาด้วยแสง +            สารช่วยผนึก</p>	<p>รังสี            อัลตราไวโอเล็ต</p>	 <p>ผ้าให้สัมผัสที่แข็งกระด้างมากกว่าสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน เมื่อสัมผัสผิวผ้าไม่เกิดการหลุดของไมโครแคปซูลออกจากผ้าที่ตกแต่ง สารเคลือบผิวบนผ้าให้สัมผัสที่เรียบเนียน และผ้าเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง เทียบเท่ากับผ้าที่ตกแต่งด้วยสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน</p>

4.13 ความคงทนของสารต้านแบคทีเรียต่อการใช้งานภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน บนผ้าฝ้ายล็กที่ ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### 4.13.1 ความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

4.13.1.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกริยาด้วยแสง

นำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียร้อยละ 10 สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และสารริเริ่มปฏิกริยาด้วยแสงความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของสารยัด ตกแต่งลงบนผ้าฝ้าย หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100






จากตารางที่ 4.34 พบว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งก่อนการซักมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 93.65 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตหลังการเกิดปฏิกริยา

พอลิเอไมโรเซชันทำให้ได้ชั้นฟิล์มที่ค่อนข้างแข็งแรงจนปกคลุมไมโครแคปซูลเป็นสาเหตุให้สารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่เมื่อผ้าที่ตกแต่งผ่านการซักจำนวน 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบ มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าใกล้เคียงกันคือ 97.80, 98.21, 99.36, 99.58 และ 99.82 แสดงถึงเพิ่มจำนวนรอบการซักบนผ้าที่ตกแต่งจะทำให้สารออกฤทธิ์สามารถแสดงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียได้อย่างมากขึ้น ถึงแม้ว่าความแข็งแรงของชั้นฟิล์มจะลดลงหลังผ้าผ่านการซัก แต่ร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปบนผ้าหลังการซัก 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบ มีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปใกล้เคียงกันคือร้อยละ 6.24, 6.82, 6.04, 5.50 และ 4.80 นับได้ว่ามีสูญเสียไมโครแคปซูลที่เตรียมได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าตกแต่งที่ใช้สารยีนนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการใช้สารยีนพอลิยูรีเทนอะคริเลตและใช้เทคโนโลยีการบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต มีประสิทธิภาพช่วยให้ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้สามารถยึดติดอยู่บนผ้าฝ้าย และส่งผลให้สารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียมีความคงทนต่อการซักล้างได้เป็นอย่างดี

**ตารางที่ 4. 34** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยีนชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเคลือบแบบพ่นละอองและทำให้แห้ง และบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเลต (หลังการซัก)

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโครแคปซูลที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	32.15	32.15	0		93.65





จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโคร แคปซูลที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
5	30.05	23.81	6.24		97.80
10	32.82	26.00	6.82		98.21
15	32.85	26.81	6.04		99.36
20	32.03	26.53	5.50		99.58
25	33.15	28.35	4.80		99.82






#### 4.13.1.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริลิต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก

จากตารางที่ 4.35 แสดงถึงความคงทนต่อการซักล้างของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริลิต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียที่ของผ้าที่ไม่ผ่านการซักล้างเท่ากับร้อยละ 98.07 ซึ่งมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียมากกว่าผ้าที่ไม่ได้ใช้สารช่วยผนึกที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 93.65 จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าสารช่วยผนึกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการช่วยยึดติดสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียให้ดีขึ้น และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบการซัก

ล้างพบว่าประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียยังคงมีอยู่อย่างดีเยี่ยม เพราะร้อยละการลดลงของแบคทีเรียใกล้เคียงกันกับผ้าก่อนซักคือจำนวนรอบการซัก 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบ มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.71, 99.55, 99.55, 99.99 และ 99.75 นอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละของไมโครแคปซูลที่หายไปจากตารางที่ 4.35 ทั้งนี้สารช่วยผืนิกช่วยให้เกิดการสูญเสียไมโครแคปซูลที่ตกแต่งบนผ้าลดน้อยลงถึงแม้ว่าจำนวนรอบการซักล้างจะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อผ้าหลังการซัก 5, 10, 15, 20 และ 25 รอบ จะมีร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปเท่ากับ 3.70, 4.22, 2.64, 0.53 และ 0.53 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวได้ว่าเมื่อเพิ่มสารช่วยผืนิกนั้นเป็นผลทำให้เพิ่มความคงทนต่อการซักล้างของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งให้มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม และร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งมีค่าลดน้อยลงเมื่อเทียบกับผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงเพียงอย่างเดียว

**ตารางที่ 4. 35** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผืนิก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการซัก)

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโครแคปซูลที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	38.56	38.56	0		98.07

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% ไมโคร แคปซูลที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลง ของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
5	34.18	30.48	3.70		99.71
10	33.80	29.58	4.22		99.55
15	32.48	29.84	2.64		99.55
20	29.20	28.67	0.53		99.99
25	25.90	25.37	0.53		99.75

#### 4.13.2 ความคงทนต่อการอบแสงของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.13.2.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

จากตารางที่ 4.36 เป็นการนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ร้อยละ 10 สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ตกแต่งบนผ้าฝ้ายแล้วนำไปอบแสงตามมาตรฐาน AATCC 16E หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยา เมื่อผ่านการอบแสงเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง มี

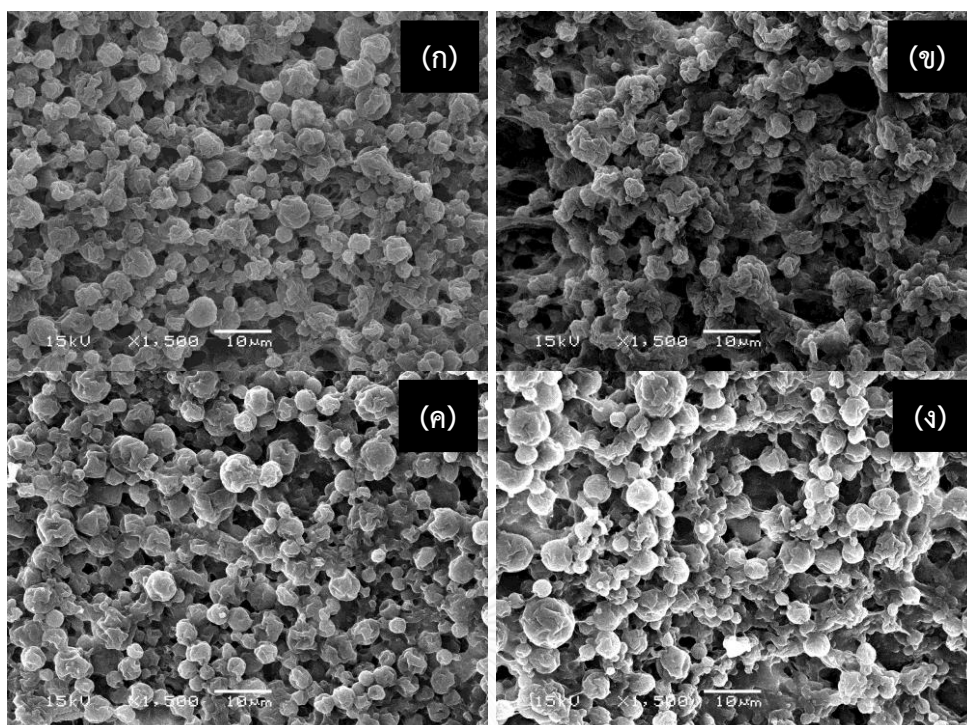
ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเพิ่มขึ้นโดยมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.99 เมื่อเทียบกับผ้าตกแต่งก่อนการอาบแสงซึ่งมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 93.65 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไมโครแคปซูลบนผ้าเกิดการยุบตัวจนส่งผลให้น้ำมันหอมระเหยที่บรรจุอยู่ภายในถูกปลดปล่อยออกมาจนผ้าหลังการอาบแสงมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.18 ส่วนผ้าตกแต่งที่ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก พบว่าก่อนการอาบแสงมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 98.07 ซึ่งมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียใกล้เคียงกับผ้าหลังการอาบแสง โดยมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.99 และเมื่อสังเกตจากภาพ SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่า พบการยุบตัวของไมโครแคปซูลเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.18 จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก จะส่งผลทำให้ผ้าที่ตกแต่งมีความคงทนต่อแสงดีเยี่ยม



**ตารางที่ 4. 36** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการอบแสง)

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่งก่อนการอบแสง	0		0
ผ้าที่ไม่ตกแต่งหลังการอบแสง	0		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงก่อนการอบแสง	32.15		93.65
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสงหลังการอบแสง	27.56		99.99

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วย ผนึก ก่อนการอบแสง	38.56		98.07
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอม ระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิ ยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่ม ปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วย ผนึก หลังการอบแสง	35.34		99.99



**รูปที่ 4. 18** ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการอบแสง (ข) หลังการอบแสง สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการอบแสง (ง) หลังการอบแสง

#### 4.13.3 ความคงทนต่อการรีดร้อนของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.13.3.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

จากตารางที่ 4.37 เป็นการนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ร้อยละ 10 สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ตกแต่งบนผ้าฝ้ายถักแล้วนำไปรีดร้อนด้วยวิธีตามมาตรฐาน AATCC 133 หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง หลังการรีดร้อน มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ใกล้เคียงกับผ้าที่ตกแต่งก่อนการรีดร้อนคือร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าร้อยละ 93.65 และ 94.77 ตามลำดับ ถึงแม้ว่าไมโครแคปซูลบนผ้าจะยุบตัวไปบางส่วน ดังรูปที่ 4.19 ในขณะที่เดียวกันผ้าที่ตกแต่งโดยเพิ่มสารช่วยผนึกเข้าไปในการตกแต่งบนผ้า

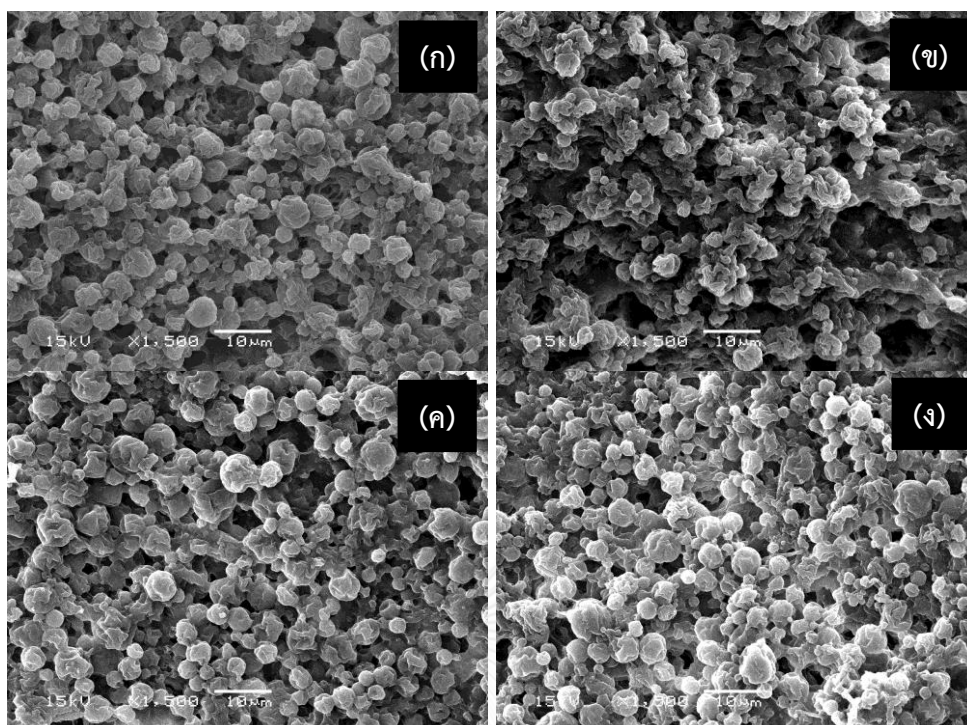
พบว่าผ้าที่ตากแห้งหลังผ่านการรีดร้อนจะให้ค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับร้อยละ 99.99 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผ้าที่ตากแห้งก่อนผ่านการรีดร้อนที่มีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 98.07 แสดงถึงประสิทธิภาพความคงทนต่อการรีดร้อนที่ดียเยี่ยม และเมื่อสังเกตจากภาพ SEM ไมโครแคปซูลไม่เกิดการยุบตัวมากนัก แสดงดังในรูปที่ 4.19 จากผลที่กล่าวมาข้างต้นแสดงถึงประสิทธิภาพการช่วยยึดติดและมีความคงทนต่อการรีดร้อนของสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และทั้งแบบไม่มีและมีสารช่วยผนึก

**ตารางที่ 4. 37** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตากแห้งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการรีดร้อน)

ผ้าที่ผ่านการตากแห้ง	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตากแห้งก่อนรีดร้อน	0		0
ผ้าไม่ตากแห้งหลังรีดร้อน	0		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ก่อนการรีดร้อน	32.15		93.65







**รูปที่ 4. 19** ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยัดได้แก่ สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการรีดร้อน (ข) หลังการรีดร้อน สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก : (ค) ก่อนการรีดร้อน (ง) หลังการรีดร้อน

#### 4.13.4 ความคงทนต่อการแช่เหงื่อเทียมของสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียบนผ้าที่ผ่านการตกแต่ง

##### 4.13.4.1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

จากตารางที่ 4.38 เป็นการตกแต่งไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ร้อยละ 10 สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก บนผ้าฝ้ายแล้วนำไปแช่เหงื่อเทียมที่เตรียมและทดสอบตามมาตรฐาน AATCC 15 หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 พบว่าผ้าที่ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาเป็นสารช่วยยัดติดหลังการแช่เหงื่อเทียมจะไม่มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียเนื่องจากร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 0 ในขณะที่ผ้าตกแต่งก่อนการแช่เหงื่อเทียมแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรียถึงร้อยละ 93.65 จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้ง

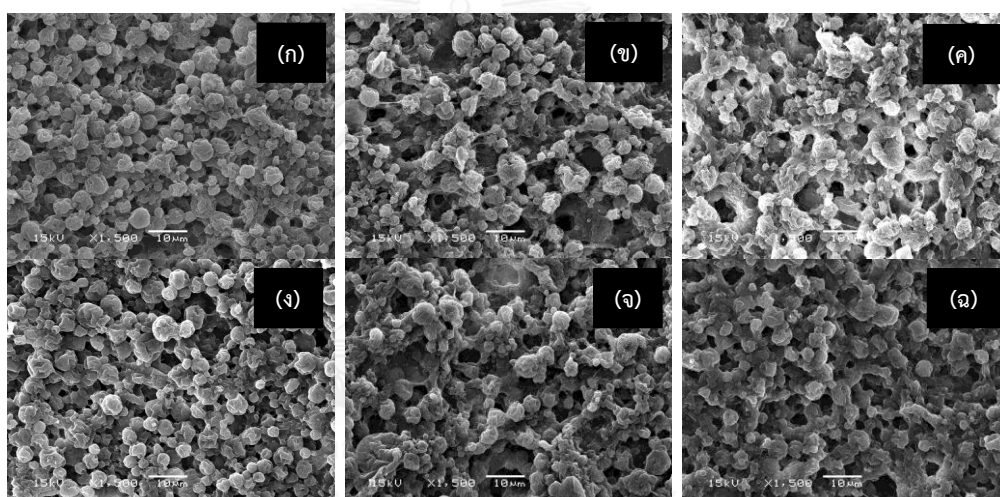
สารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย และความสามารถในการยึดติดของสารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตไม่มี ความคงทนต่อเหงื่อเทียม เนื่องจากเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 4 - 10 ผ้าหลังการแช่สารละลายเหงื่อกรดเทียม pH 5.5 และสารละลายเหงื่อต่างเทียม pH 8 จึงไม่แสดง ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย [37] และจากภาพถ่าย SEM ของผ้าตัวอย่างพบว่าไมโครแคปซูลที่ เตรียมได้เกิดการบวมสลายและหลอมรวมติดกันบนผ้าหลังการแช่เหงื่อต่างเทียม แสดงดังในรูปที่ 4.20 นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตและสารช่วยผนึกหลังการแช่ เหงื่อกรดเทียมมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเพียงร้อยละ 37.14 และร้อยละการลดลงของ แบคทีเรียบนผ้าที่ตกแต่งหลังการแช่เหงื่อต่างเทียมมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งที่ผ้าตกแต่งก่อนการแช่เหงื่อ เทียมมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยมคือมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากถึง 98.07 แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ต่ำมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต ทั้งแบบมีสารช่วยผนึกและไม่มีสารช่วยผนึกจะไม่มี ความคงทนต่อเหงื่อเทียม ถึงแม้เมื่อสังเกตจากภาพ SEM จะไม่พบการยุบตัวของไมโครแคปซูลที่ชัดเจน ดังรูปที่ 4.20

**ตารางที่ 4. 38** ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้าย ทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิด พอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการแช่เหงื่อเทียม)

ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลและสารเคมีอื่นๆ	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่งก่อนการแช่เหงื่อ	0		0
ผ้าไม่ตกแต่งหลังการแช่เหงื่อ	0		0

ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลและสารเคมีอื่นๆ	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง ก่อนการแช่เหงื่อ	32.15		93.65
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง หลังการแช่เหงื่อ	32.05		0
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผนึก ก่อนการแช่เหงื่อ	38.56		98.07
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผนึก หลังการแช่เหงื่อกรด	34.05		37.41

ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลและสารเคมีอื่นๆ	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผนึก หลังการแช่เหงื่อต่าง	39.18		0



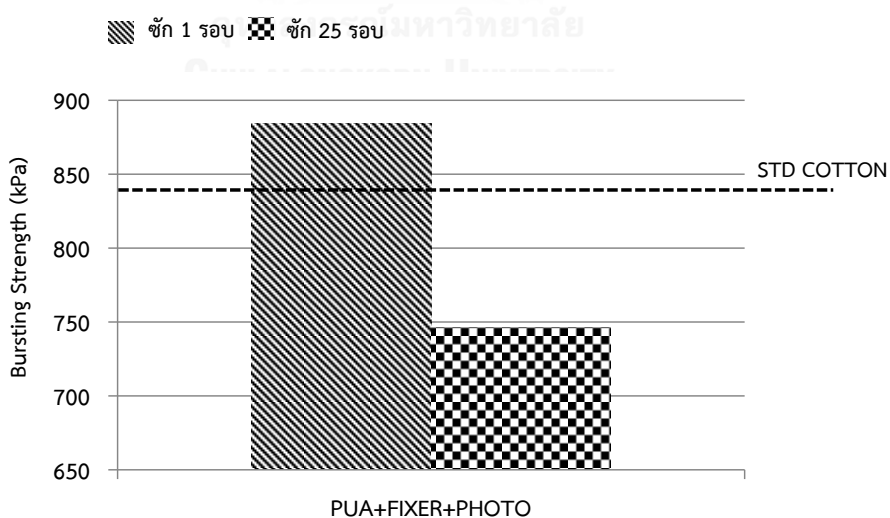
รูปที่ 4. 20 ภาพ SEM ของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดได้แก่ สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง : (ก) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (ข) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ค) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก : (ง) ก่อนการแช่เหงื่อเทียม (จ) หลังการแช่เหงื่อกรดเทียม (ฉ) หลังการแช่เหงื่อต่างเทียม

#### 4.14 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบฟองและทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เนื่องจากผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก มีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม และสารออกฤทธิ์ด้านแบคทีเรียมีความคงทนต่อการซักล้าง อาบแสง และรีดร้อน ดังนั้นการทดสอบความแข็งแรงของผ้าหลังผ่านการตกแต่งจึงเลือกผ้าดังกล่าวมาทำการทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ ตารางที่ 4.39 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายถักที่ผ่านการตกแต่งหลังการซัก 1 และ 25 รอบ การซักเปรียบกับภาวะใช้งานจริงที่จะต้องซักเสื้อผ้าก่อนนำไปใช้งาน และหลังจากการใช้งาน พบว่าผ้าที่ตกแต่งจะมีความแข็งแรงและสามารถต้านทานต่อแรงดันทะลุได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งที่มีค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุเพียง 822.5 กิโลปาสคาล เมื่อเทียบระหว่างผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตผ้าหลังซัก 1 รอบ จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุสูงที่สุดเท่ากับ 884.2 กิโลปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเหมาะกับการบ่มด้วยความรังสีอัลตราไวโอเล็ตชั้นฟิล์มที่ได้จึงมีความแข็งแรงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.21 แต่กลับพบว่าผ้าที่ตกแต่งไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก หลังการซัก 25 รอบ มีค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุเท่ากับ 745.9 กิโลปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากชั้นฟิล์มหนาของไมโครแคปซูลช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงดันทะลุ แต่เมื่อผ่านการซักหลายรอบจะทำให้ชั้นฟิล์มเกิดความเสียหายจนผ้ามีความแข็งแรงที่ลดลง และหลังจากที่ชั้นฟิล์มเกิดความเสียหายพบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้เส้นใยและโครงสร้างของผ้าฝ้ายสูญเสียความแข็งแรง แสดงดังในรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4. 39 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ผ้าที่ผ่านการตกแต่ง	ภาวะของการบ่ม	ค่าความต้านแรงดันทะลุ (กิโลปาสคาล)	
		จำนวนรอบการซัก (รอบ)	
		1	25
ผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง	-	822.5	822.5
ไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย + สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต + สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง + สารช่วยผนึก	รังสีอัลตราไวโอเล็ต	884.2	745.9



รูปที่ 4. 21 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง และผ้าที่ตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก

**หมายเหตุ:** PUA+FIXER+PHOTO คือ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

STD COTTON คือ ผ้าฝ้ายถักไม่ผ่านการตกแต่ง

#### 4.15 ความสามารถในการจัดการความชื้นของผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เนื่องจากการทดสอบความต้านต่อแรงดันทะเลของผ้าหลังซัก 1 รอบ โดยผ้าตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง นอกจากนี้ผ้ายังมีประสิทธิภาพการด้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม ดังนั้นจึงสนใจนำผ้าที่ตกแต่งมาทดสอบความสามารถในการจัดการความชื้น เนื่องจากผ้าด้านที่ไม่เคลือบจะสัมผัสกับผิวหนังร่างกายจึงกำหนดให้ผิวผ้าด้านที่ไม่เคลือบเป็นด้านบน และผิวผ้าด้านที่เคลือบจะกำหนดให้เป็นด้านล่าง พบว่าด้านที่เคลือบผ้าโดยใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึกมีระดับ Overall moisture management เท่ากับ 1 เป็นระดับที่ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าไม่ตกแต่งที่มี Overall moisture management ระดับที่ 2 แสดงว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งจะมีความสามารถในการจัดการความชื้นที่ลดลงด้วยสาเหตุที่ว่าอนุภาคของไมโครแคปซูลแทรกซึมเข้าไประหว่างเส้นด้ายและเส้นใย และเคลือบเป็นชั้นฟิล์มที่ผิวหน้าของผ้าฝ้ายถักจึงส่งผลให้ความชื้นและน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึกที่มีระดับของเวลาที่ทำให้ผ้าเปียก อัตราการดูดซึม และรัศมีการเปียกสูงสุด ของด้านที่เคลือบมีระดับเท่ากับระดับ 1 ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.40



**ตารางที่ 4. 40** ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าทั้งก่อนและหลังการตกแต่งด้วยไมแคปซูล น้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสี อัลตราไวโอเล็ต

หัวข้อการทดสอบ	STD COTTON		PUA+FIXER +PHOTO	
	ด้านบนของ ผืนผ้า	ด้านล่างของ ผืนผ้า	ด้านบนของ ผืนผ้า	ด้านล่างของ ผืนผ้า
ระดับของเวลาที่ ทำให้ผ้าเปียก	3.5	2.5	3.5	1
ระดับของอัตราการ ดูดซึม	2.5	5	3.5	1
ระดับของรัศมี การเปียกสูงสุด	4	3	1	1
ระดับของอัตราเร็ว ในการกระจายความชื้น	2	2.5	1	1
ระดับของ One-way transport index	2		1	
ระดับของ Overall moisture management	2		1	

**หมายเหตุ:** STD COTTON คือ ผ้าฝ้ายถักไม่ผ่านการตกแต่ง

PUA+FIXER+PHOTO คือ ผ้าที่ตกแต่งด้วยไมแคปซูลน้ำมันหอมระเหยซ่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ผ่านการบ่มจากการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ระดับ 1 หมายถึง น้อย

ระดับ 2 หมายถึง ปานกลาง

ระดับ 3 หมายถึง ดี

ระดับ 4 หมายถึง ดีมาก

ระดับ 5 หมายถึง ดีเยี่ยม



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ด้วยเฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยานาต พอลิเอทิลีนไกลคอล และเอทิลีนไดแอมีนโดยวิธีอินเทอร์เฟเชียลพอลิเมอไรเซชัน แล้วนำไมโครแคปซูลที่เหมาะสมมาตกแต่งด้านแคปซูลที่เรียงลงบนผ้าฝ้ายถักโดยเปรียบเทียบวิธีการตกแต่งด้านแคปซูลที่เรียงต่างๆ กันได้แก่ การจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบการใช้เทคโนโลยีการบ่มที่แตกต่างกัน ได้แก่การบ่มด้วยความร้อนและการบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้ได้ผ้าฝ้ายถักที่มีประสิทธิภาพด้านแคปซูลและมีความคงทนต่อการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ ได้แก่ต่อการซัก ต่อแสง ต่อเหงื่อและต่อการรีดร้อน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

##### 5.1.1 ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย

1. ความเร็วรอบในการปั่นผสมมีผลต่อขนาดอนุภาคไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ พบว่าขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลเล็กลงเมื่อความเร็วรอบในการปั่นผสมเพิ่มสูงขึ้นถึง 14000 รอบต่อนาที โดยไมโครแคปซูลมีรูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (6.27 ไมโครเมตร) มีช่วงการกระจายขนาดของไมโครแคปซูลที่แคบเท่ากับ 1.58 (ค่า span น้อยกว่า 2) และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่บรรจุในไมโครแคปซูลมากถึงร้อยละ 16 แสดงถึงความเสถียรต่อการใช้งาน น้ำมันหอมระเหยข่าปริมาณ 10 มิลลิลิตร

2. ปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไปมีผลต่อขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ พบว่าไมโครแคปซูลที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมโครเมตรเมื่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไปเป็น 10 มิลลิลิตร แต่ขนาดอนุภาคกลับใหญ่ขึ้นมากถึง 36.41 และ 111.36 ไมโครเมตรเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันหอมระเหยข่าเป็น 20 และ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยข่าที่บรรจุภายในไมโครแคปซูลกลับมีปริมาณลดลง

ดังนั้นไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที และเติมน้ำมันหอมระเหยข่าปริมาณ 10 มิลลิลิตร มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร และมีการกระจายขนาดอนุภาคที่แคบ มีน้ำมันหอมระเหยข่าที่บรรจุภายในไมโครแคปซูลปริมาณสูง จึงเหมาะสำหรับนำไปตกแต่งบนผ้าฝ้ายถักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการด้านแคปซูลที่เรียงและมีความคงทนในการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ

### 5.1.2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยน้ำมันหอมระเหยชาที่ไม่อยู่ในรูปไมโครแคปซูล และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง

ผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยน้ำมันหอมระเหยชาที่ไม่ได้อยู่ในรูปไมโครแคปซูล และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนโดยการเคลือบแบบปาดยาง มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *S. aureus* มากที่สุดถึง 99.72 รองลงมาเป็นการจุ่มอัด และสุดท้ายเป็นการเคลือบแบบพ่นละออง

### 5.1.3 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน โดยการจุ่มอัด การเคลือบแบบพ่นละออง และการเคลือบแบบปาดยาง

1. ผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักโดยการจุ่มอัด มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *S. aureus* มากถึง 99.82 เมื่อให้ผ้าสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียนาน 48 ชั่วโมง แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม

2. ผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 และสารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ผ่านการเคลือบแบบพ่นละออง ทำให้แห้งและบ่มที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *S. aureus* มากถึง 99.89 เมื่อปล่อยให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสกับผ้าานาน 24 ชั่วโมง ดังนั้นผ้าฝ้ายลึที่ผ่านการตกแต่งด้านแบคทีเรียด้วยการเคลือบแบบพ่นละอองมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 ที่ดีเยี่ยมโดยให้เชื้อแบคทีเรียสัมผัสผ้าานานเพียง 24 ชั่วโมง

### 5.1.4 ความคงทนของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยการเคลือบแบบพ่นละออง หลังการใช้งานภายใต้ภาวะต่างๆ

1. ผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก ทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน พบว่าสารต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายยังมีความคงทนต่อการซักล้าง อบแสง รีดร้อน และเหงื่อเทียม โดยแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *S. aureus* มากกว่า 99 นอกจากนี้ร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปบนผ้ามีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนเพียงอย่างเดียว

2. ผ้าฝ้ายลึที่ตกแต่งด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย สารยึดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก ทำให้แห้งและบ่มด้วย

รังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสารต้านแบคทีเรียบนฝ้ายยังมีความคงทนต่อการซักล้าง อบแสง และ รีดร้อน โดยแสดงร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *S. aureus* มากกว่า 99 แต่ไม่มีความคงทนต่อเหงื่อ เทียม นอกจากนี้ร้อยละไมโครแคปซูลที่หายไปบนฝ้ายมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งโดยใช้สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผืนิก

3. ฝ้ายฝ้ายถักที่ตกแต่งมีค่าความต้านแรงดันทะลุเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง โดยผ้าที่ตกแต่งแบบใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และ สารช่วยผืนิก ทำให้แห้งและบ่มด้วยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต มีค่าความต้านแรงดันทะลุสูง (884.2 กิโลปาสคาล) มากกว่าผ้าที่ตกแต่งแบบใช้สารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผืนิก (845.0 กิโลปาสคาล) ทำให้แห้งและบ่มด้วยความร้อน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย ที่เตรียมได้จากงานวิจัยเป็นเพียงการใช้ น้ำมันหอมระเหยชาเป็นสารแทนเท่านั้น ดังนั้นควรปรับเปลี่ยนสารแทนเป็นน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของสารออกฤทธิ์ต้านแบคทีเรียบนผ้า

2. งานวิจัยนี้ใช้สารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลตเพียงอย่างเดียวในการบ่มผ้าด้วยรังสี อัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นจึงควรศึกษาสารยัดชนิดอื่นๆ เพื่อลดความกระด้างของผ้าที่ผ่านการตกแต่ง แต่ ยังคงรักษาประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียที่ดีที่สุด

## รายการอ้างอิง

- [1] Gorenssek, M. and Recelj, P. Nanosilver Functionalized Cotton Fabric. Textile Research Journal 77(3) (2007): 138-141.
- [2] Ocepek, B., Boh, B., Šumiga, B., and Tavčer, P.F. Printing of antimicrobial microcapsules on textiles. Coloration Technology 128(2) (2012): 95-102.
- [3] Tomšič, B., et al. Sol-gel coating of cellulose fibres with antimicrobial and repellent properties. Journal of Sol-Gel Science and Technology 47(1) (2008): 44-57.
- [4] Oonmetta-aree, J., Suzuki, T., Gasaluck, P., and Eumkeb, G. Antimicrobial properties and action of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) on *Staphylococcus aureus*. LWT - Food Science and Technology 39(10) (2006): 1214-1220.
- [5] JIAMRUNGRAKSA, T. and Charuchinda, S. Preparation and Characteristics of Galangal Essential Oil/Alginate Microcapsules. Journal of Metals, Materials and Minerals 20(2) (2010): 89-92.
- [6] Podshivalov, A.V., Bronnikov, S., Zuev, V.V., Jiamrungraksa, T., and Charuchinda, S. Synthesis and characterization of polyurethane-urea microcapsules containing galangal essential oil: statistical analysis of encapsulation. J Microencapsul 30(2) (2013): 198-203.
- [7] Uğur, Ş.S., Sarıışık, M., and Aktaş, A.H. Nano-TiO<sub>2</sub> based multilayer film deposition on cotton fabrics for UV-protection. Fibers and Polymers 12(2) (2011): 190-196.
- [8] Neral, B., Sostarturk, S., and Voncina, B. Properties of UV-cured pigment prints on textile fabric. Dyes and Pigments 68(2-3) (2006): 143-150.
- [9] จิตต์โสภาคย์ เณตีสยัคคัตติ. การปรับปรุงสมบัติด้านจุลินทรีย์ของผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันหอมระเหยชาและสารสกัดชา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [10] จูชันนีย์ เจริญรุ่งรักษา. การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยชา/แอลจินตและน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

- [11] ลิปตา อังกิตานนท์. การเตรียมไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยใบฝรั่ง/พอลิยูรีเทน-ยูเรียสำหรับการตกแต่งด้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.
- [12] บทความที่ดี มีสาระ. กลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านจุลินทรีย์การยับยั้งและการทำลายจุลินทรีย์. 2011.
- [13] Dziezak, J. Microencapsulation and encapsulated ingredients. Food Technol 42(4) (1988): 139-151.
- [14] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. จิวแต่แจ้วด้วย...Microencapsulation Available from: [http://www.thaitextile.org/tdc/?page\\_id=517](http://www.thaitextile.org/tdc/?page_id=517) [25 สิงหาคม 2557]
- [15] Ghosh, S.K. Functional coatings and microencapsulation: A general perspective (2006).
- [16] Carla Sofia Nogueira Rodrigues Teixeira. Microencapsulation of Perfumes For Application in Textile Industry. For the degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering University of Porto, 2010.
- [17] คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปิโตรเคมีและพอลิเมอร์. พจนานุกรมศัพท์พอลิเมอร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ: บริษัท แพลนปริทัศน์ จำกัด, 2551.
- [18] Rodrigues, S.N., et al. Scentfashion®: Microencapsulated perfumes for textile application. Chemical Engineering Journal 149(1-3) (2009): 463-472.
- [19] Nelson, G. Application of microencapsulation in textiles. International Journal of Pharmaceutics 242 (2002): 55-62.
- [20] ลีลี่ โกศยานนท์. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. กรุงเทพฯ: บริษัท ทีทีไอเอส จำกัด และ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2541.
- [21] มณฑา จันทร์เกิดเล็ก. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2541.
- [22] Gordon, N. Microencapsulation in textile finishing. Rev. Prog. Color. 31 (2001): 57-64.
- [23] Kondo, A. Microcapsule processing and technology. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [24] อรุษา สรวารี. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). กรุงเทพฯ: พิมพ์ที่โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [25] Global Security.org. Chapter 13 Deck Maintenance Parts of the spray gun 2000. Available from:

<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/55-501/chap13.htm> [13 June 2014]

- [26] Tanatex Chemical. BAYPRET NANO-PU. 2007: TANATEX Chemicals B.V.
- [27] สมเกียรติ ลวะวิบูลย์. ผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงในหมึกพิมพ์สกินยูวีต่อการแห้งบนพลาสติก. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [28] Haggag, K., M. El-Molla, M., O. Shake, N., A. Alian, N., and N. El-Shall, F. Use of the Novel Synthesized Aqueous Binders for Pigment Printing Cotton Fabrics Using Three Modes of Fixation. International Journal of Textile Science 1(6) (2013): 49-61.
- [29] จุฬาลักษณ์ พัทธภัทร and วัลลา พงษ์ชัยญา. การทดสอบการติดสีของสารเคลือบผิวที่บ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อประยุกต์ใช้งานวัสดุฐานพื้นปลอม. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [30] Li, S., Boyter, H., and Qian, L. UV curing for encapsulated aroma finish on cotton. Journal of the Textile Institute 96(6) (2005): 407-411.
- [31] Mayachiew, P. and Devahastin, S. Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. LWT - Food Science and Technology 41(7) (2008): 1153-1159.
- [32] Tekin, R., Bac, N., and Erdogmus, H. Microencapsulation of Fragrance and Natural Volatile Oils for Application in Cosmetics, and Household Cleaning Products. Macromolecular Symposia 333(1) (2013): 35-40.
- [33] Li, S., Lewis, J.E., Stewart, N.M., Qian, L., and Boyter, H. Effect of finishing methods on washing durability of microencapsulated aroma finishing. Journal of the Textile Institute 99(2) (2008): 177-183.
- [34] Grabowska, B.G., Królikowska, H., and Gadzinowski, M. Polymer Microspheres as Carriers of Antibacterial Properties of Textiles: A Preliminary Study. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 12( 4 (48)) (2004).
- [35] Hong, K. and Park, S. Characterization of ovalbumin-containing polyurethane microcapsules with different structures. Polymer Testing 19 (2000): 975-984.



- [36] Nora, Y.K.C. and Chan, H.K. Effect of Powder Polydispersity on Aerosol Generation. *J Pharm Pharmaceut Sci* 5(2) (2002): 162-8.
- [37] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ and นิธิยา รัตนาปนนท์. Staphylococcus aureus / สเตฟิโลค็อกคัส ออเรียส 2010. Available from:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1197/staphylococcus-aureus>  
[5 กุมภาพันธ์ 2558]



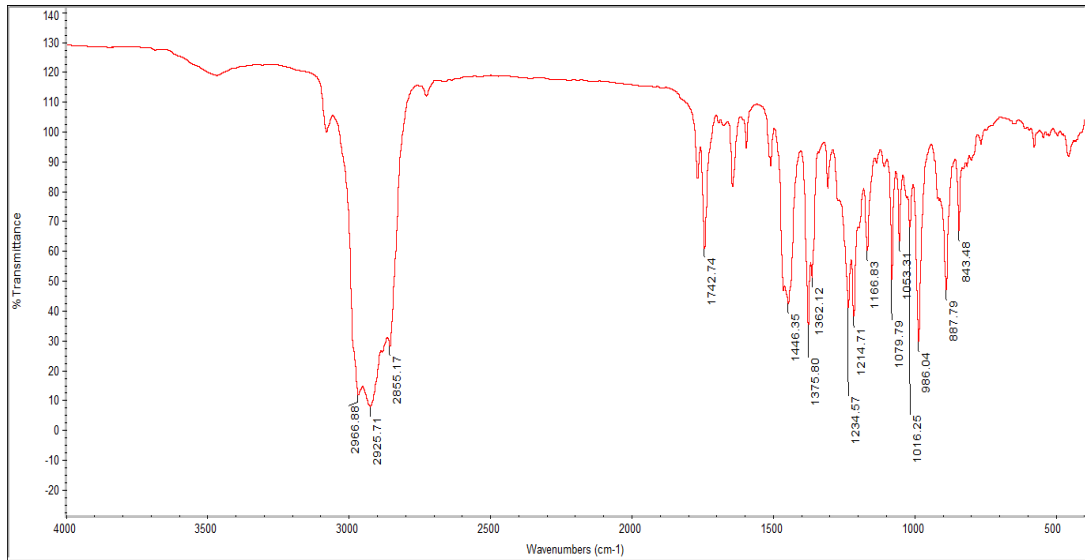


ภาคผนวก

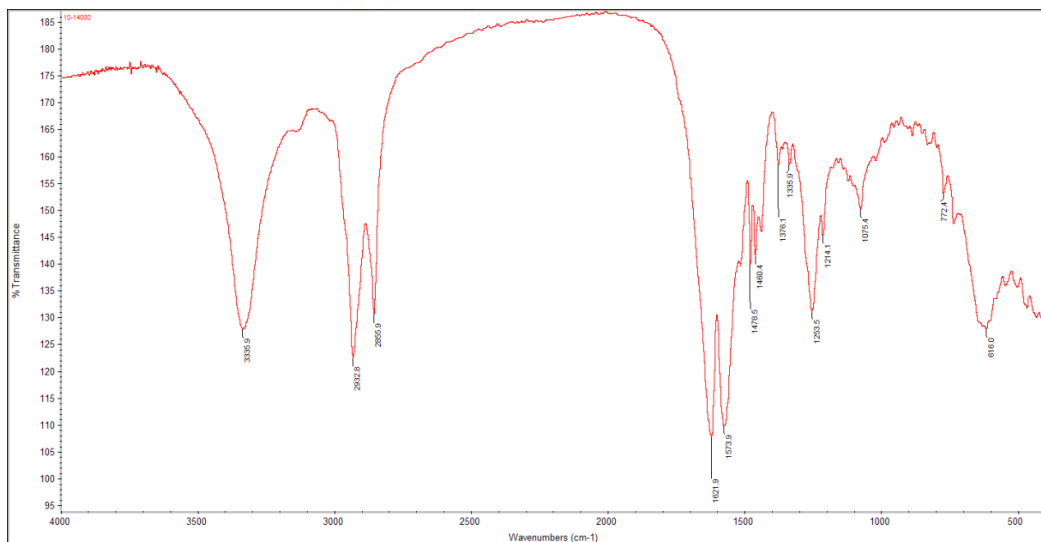
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ก

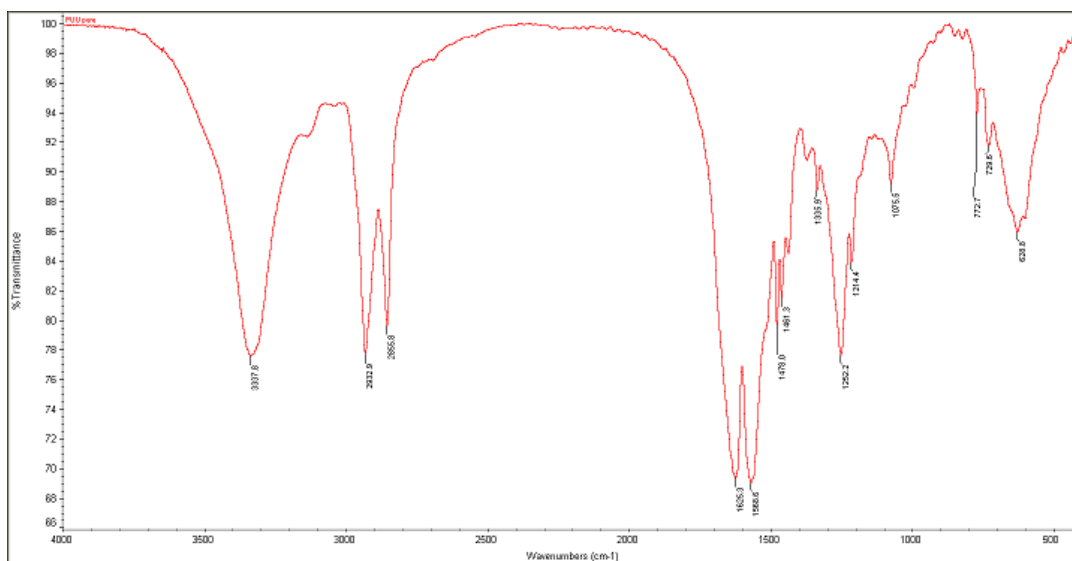
การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยชา พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ ก.1 FT-IR สเปกตรัมของน้ำมันหอมระเหยชา



รูปที่ ก.2 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่ออนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

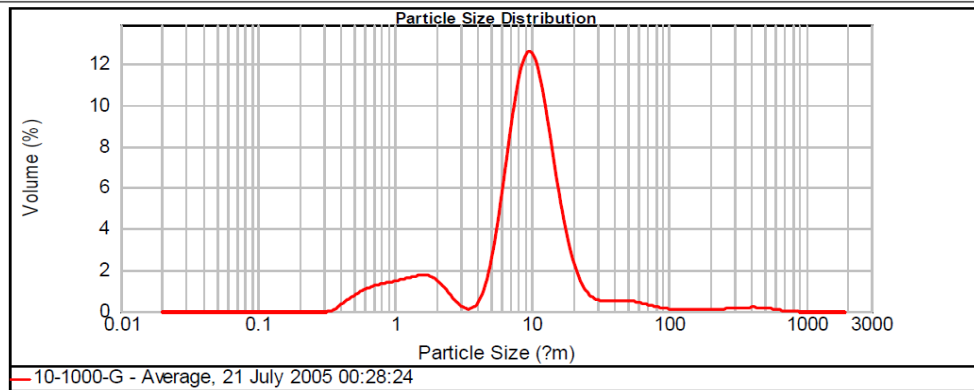


รูปที่ ก.3 FT-IR สเปกตรัมของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยข้างบรรจุอยู่ ภายในโดยเตรียมจากความถี่รอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที

## ภาคผนวก ข

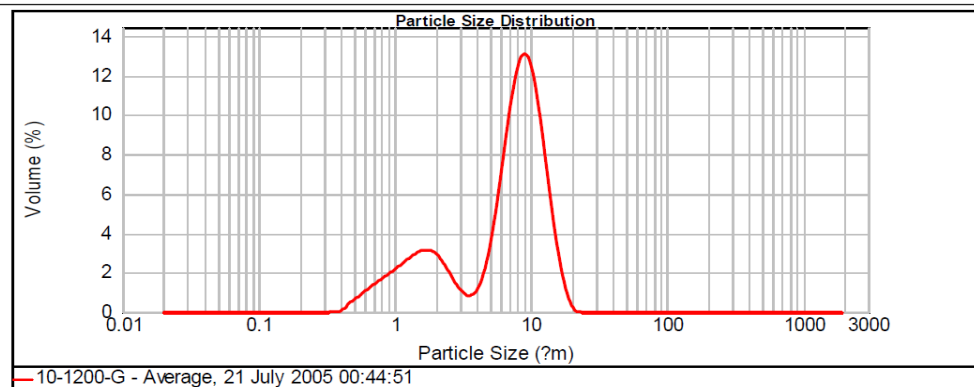
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยใช้เทคนิค Laser Particle Size Analyzer (LPSA)

<b>Concentration:</b> 0.0197 %Vol	<b>Span :</b> 1.821	<b>Uniformity:</b> 1.18	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 1.49 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 4.035 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 16.035 um	
<b>d(0.1):</b> 1.411 um	<b>d(0.5):</b> 9.154 um	<b>d(0.9):</b> 18.081 um	



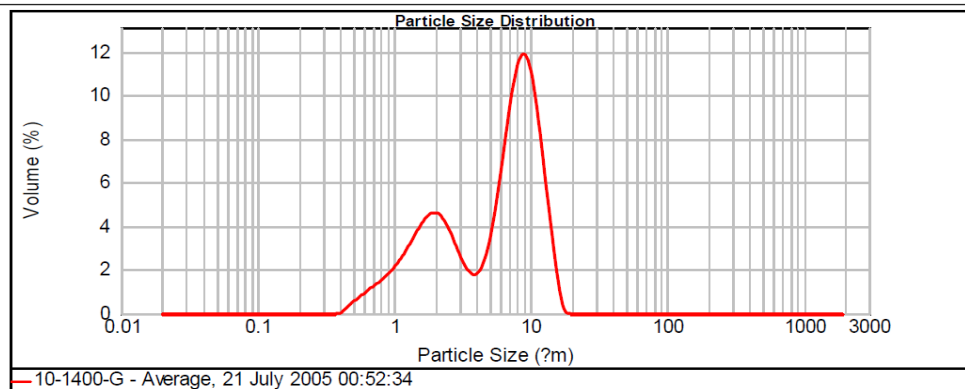
**รูปที่ ข.1** ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 10000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0156 %Vol	<b>Span :</b> 1.519	<b>Uniformity:</b> 0.468	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 1.83 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 3.275 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 7.179 um	
<b>d(0.1):</b> 1.215 um	<b>d(0.5):</b> 7.496 um	<b>d(0.9):</b> 12.601 um	



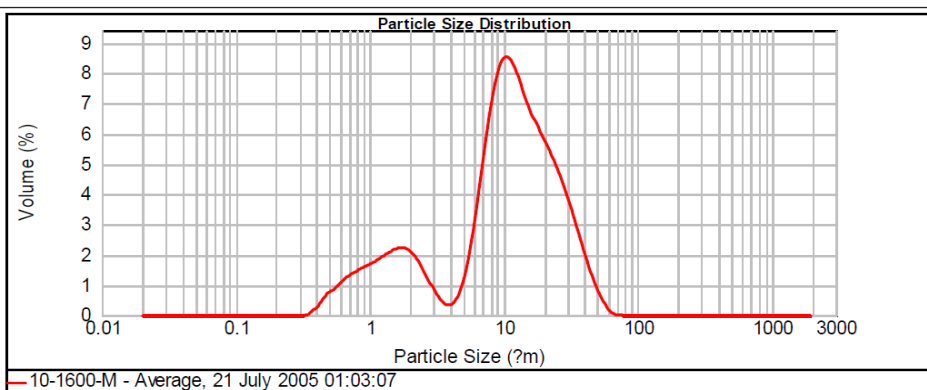
**รูปที่ ข.2** ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 12000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0109 %Vol	<b>Span :</b> 1.584	<b>Uniformity:</b> 0.529	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 2 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 3.005 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 6.271 um	
<b>d(0.1):</b> 1.248 um	<b>d(0.5):</b> 6.541 um	<b>d(0.9):</b> 11.607 um	



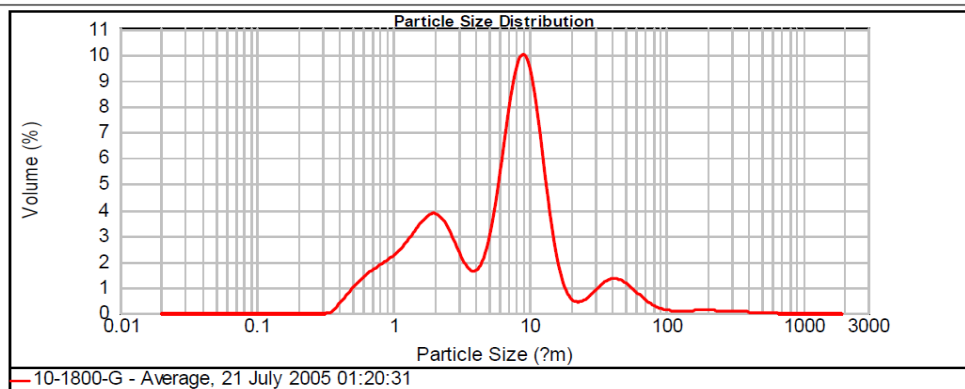
รูปที่ ข.3 ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0171 %Vol	<b>Span :</b> 2.476	<b>Uniformity:</b> 0.727	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 1.51 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 3.967 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 13.256 um	
<b>d(0.1):</b> 1.309 um	<b>d(0.5):</b> 10.855 um	<b>d(0.9):</b> 28.189 um	



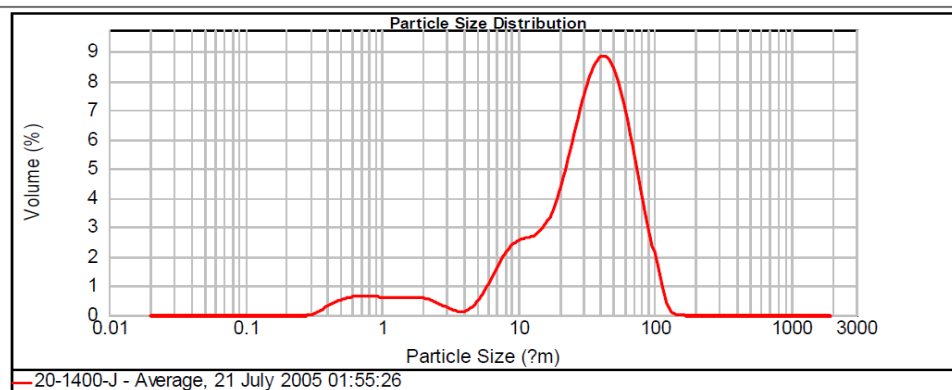
รูปที่ ข.4 ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยข่า/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 16000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยข่าที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0139 %Vol	<b>Span :</b> 2.259	<b>Uniformity:</b> 1.22	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 2.07 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 2.900 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 11.558 um	
<b>d(0.1):</b> 1.096 um	<b>d(0.5):</b> 7.055 um	<b>d(0.9):</b> 17.033 um	



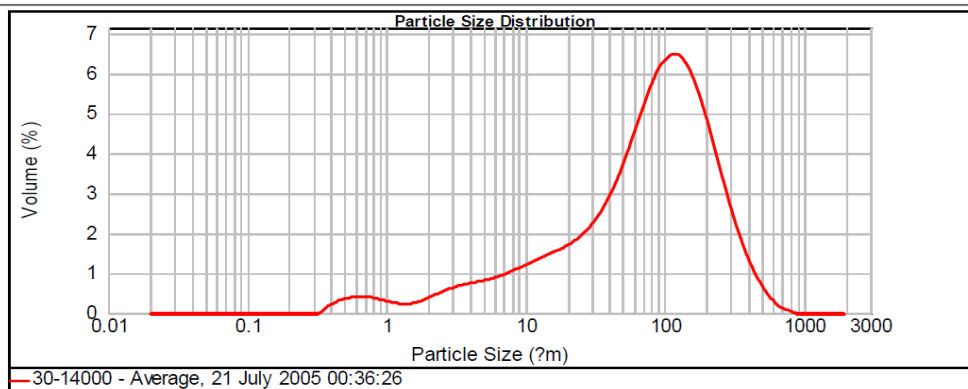
รูปที่ ข.5 ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 18000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0376 %Vol	<b>Span :</b> 1.952	<b>Uniformity:</b> 0.604	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.756 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 7.939 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 36.413 um	
<b>d(0.1):</b> 6.558 um	<b>d(0.5):</b> 33.135 um	<b>d(0.9):</b> 71.225 um	



รูปที่ ข.6 ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

<b>Concentration:</b> 0.0292 %Vol	<b>Span :</b> 2.832	<b>Uniformity:</b> 0.893	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.488 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 12.291 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 111.364 um	
<b>d(0.1):</b> 7.655 um	<b>d(0.5):</b> 84.861 um	<b>d(0.9):</b> 248.019 um	

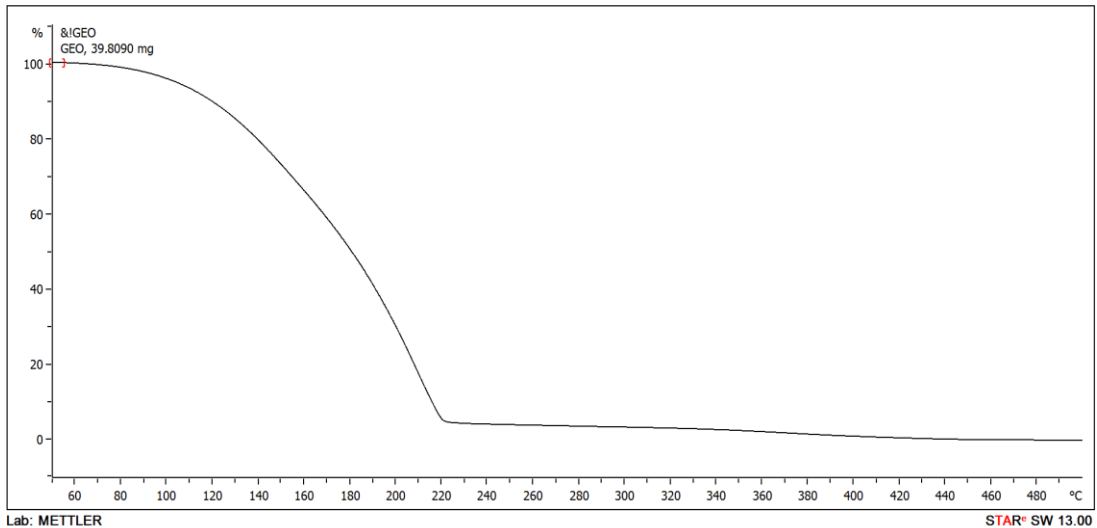


รูปที่ ข.7 ขนาดของอนุภาคไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชาที่เติมลงไป ปริมาณ 30 มิลลิลิตร

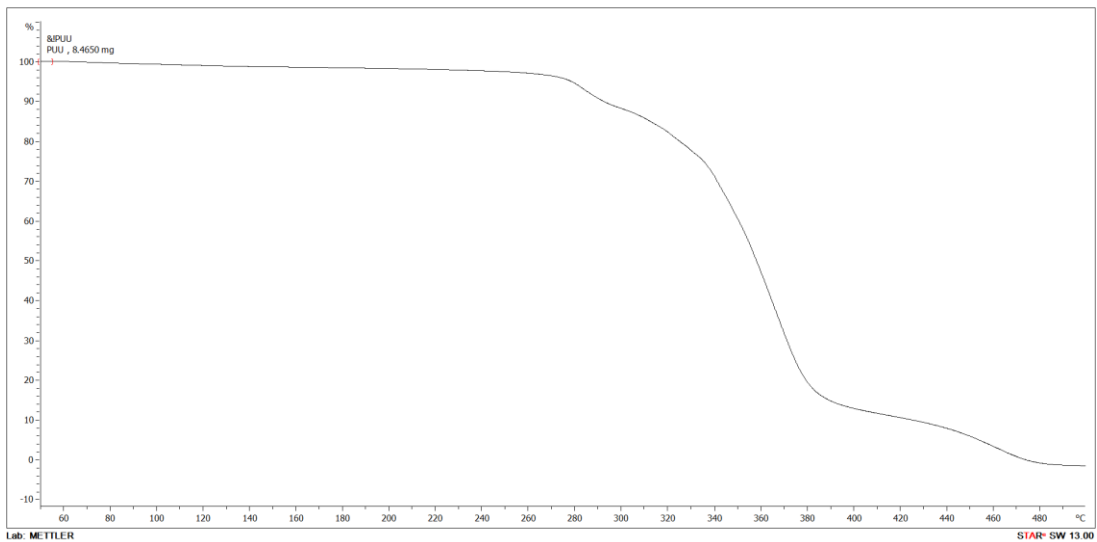


## ภาคผนวก ค

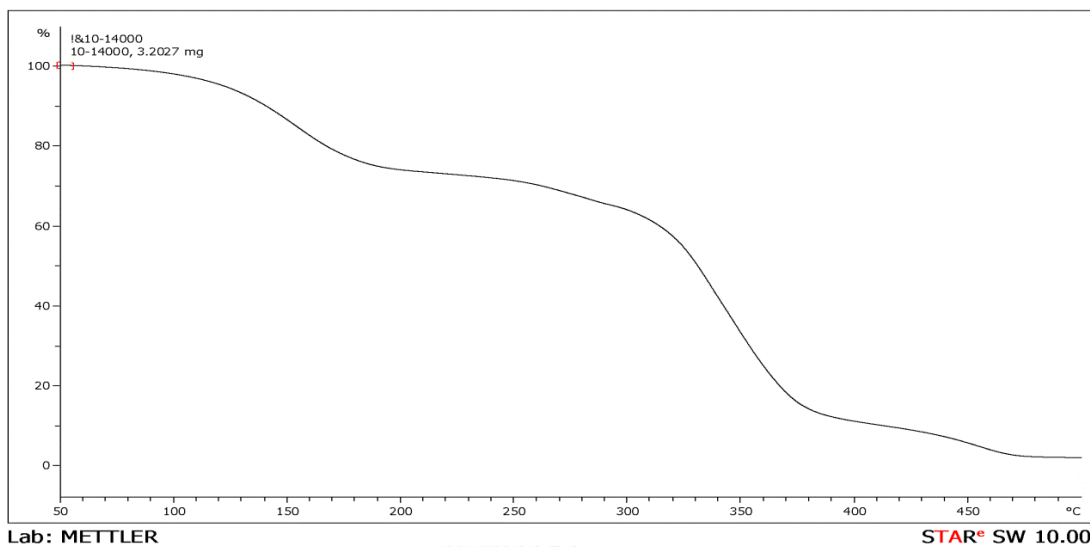
การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยชา พอลิยูรีเทน-ยูเรีย และไมโครแคปซูล น้ำมันหอมระเหยชา/พอลิยูรีเทน-ยูเรีย โดยเทคนิค Thermogravimetric Analyzer (TGA)



รูปที่ ค.1 สมบัติทางความร้อนของน้ำมันหอมระเหยชา






รูปที่ ค.2 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลพอลิยูรีเทน-ยูเรียที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยชาบรรจุอยู่ภายในเตรียมได้จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที







รูปที่ ค.3 สมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยชำ/พอลิยูรีเทน-ยูเรียที่เตรียมได้ จากความเร็วรอบในการปั่นผสม 14000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และใช้น้ำมันหอมระเหยชำที่เติม ลงไปปริมาณ 10 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ง





ตารางที่ ง 1 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ไม่  
ตกแต่ง (หลังการซัก)

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
0	0		0
5	0		0
10	0		0





ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยสารยีสตินานาโนพอลิยูรีเทน โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และบ่มด้วยความร้อน (หลัง การซัก)

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% สารตกแต่งที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ ตกแต่ง	0	0	0		0
0	8.92	8.92	0		0
5	7.61	2.76	4.85		0
10	7.59	2.95	4.64		0





ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยสารยัดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และป่ม ด้วยความร้อน (หลังการซัก)

จำนวนรอบการซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% สารตกแต่งที่หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลงของแบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	7.55	7.55	0		92.57
5	8.02	5.71	2.31		0
10	7.88	5.66	2.22		0





ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยสารยีสต์ชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารช่วยผนึก โดยการเคลือบแบบพ่นละออง และ ปั่นด้วยความร้อน (หลังการซัก)

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% สาร ตกแต่งที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลง ของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ตกแต่ง	0	0	0		0
0	8.48	8.48	0		97.14
5	8.64	6.36	2.28		0
10	9.49	8.48	1.01		0

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยสารย้อมชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต และสารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง โดยการเคลือบแบบพ่น ละออง และบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลังการซัก)

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% สาร ตกแต่งที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลง ของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ ตกแต่ง	0	0	0		0
0	8.96	8.96	0		42.85
5	8.87	7.69	1.18		0
10	8.64	7.33	1.31		0

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ตามมาตรฐาน AATCC 100 บนผ้าฝ้ายที่ ตกแต่งด้วยสารยัดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผนึก โดยการ เคลือบแบบพ่นละออง และบ่มด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (หลังการซัก)

จำนวนรอบ การซัก (รอบ)	% add on ก่อนซัก	% add on หลังซัก	% สาร ตกแต่งที่ หายไป	จำนวนแบคทีเรีย (CFU/mL) ที่ 24 ชั่วโมง	การลดลง ของ แบคทีเรีย (ร้อยละ)
ผ้าไม่ ตกแต่ง	0	0	0		0
0	8.90	8.90	0		99.71
5	8.90	8.39	0.51		0
10	8.64	7.28	1.36		81.14



ภาคผนวก จ

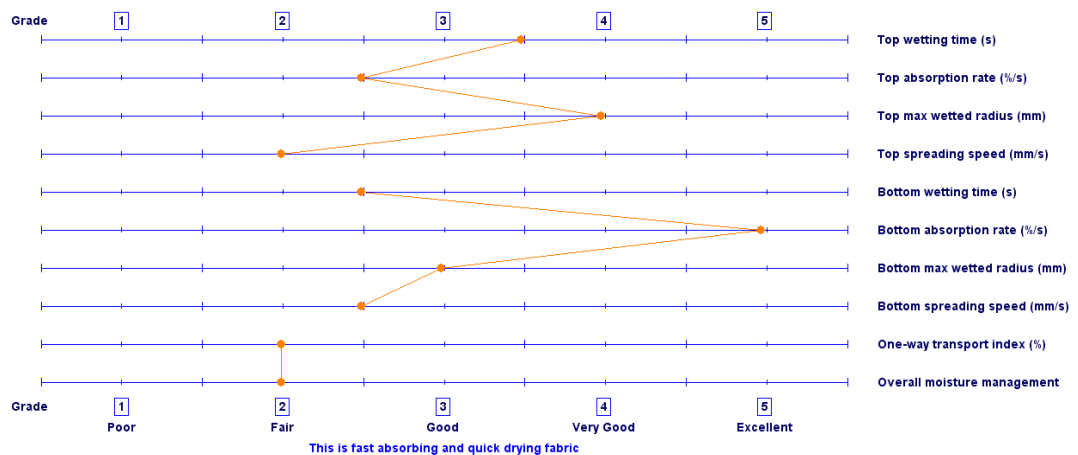
ตารางที่ จ 1 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าฝ้ายถักไม่ผ่านการตกแต่ง

สมบัติความสามารถการจัดการความชื้นของสิ่งทอผ้าฝ้าย: ทดสอบตามมาตรฐาน AATCC TM 195: 2009		
	ด้านบนของผิวผ้า	ด้านล่างของผิวผ้า
หน่วยการวัด		
- เวลาที่ทำให้ผ้าเปียก (วินาที)	6.60	21.16
- อัตราการดูดซึม (ร้อยละต่อวินาที)	29.24	112.93
- รัศมีการเปียกสูงสุด (มิลลิเมตร)	20.00	16.67
- อัตราเร็วในการกระจายความชื้น (มิลลิเมตรต่อวินาที)	1.26	1.81
- ACCUMULATIVE ONE-WAY TRANSPORT CAPABILITY (ร้อยละ)	156.51	
- OVERALL (LIQUID) MOISTURE MANAGEMENT CAPABILITY	0.42	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Finger Print of Moisture Management Properties**

(Average for Fabric: F)

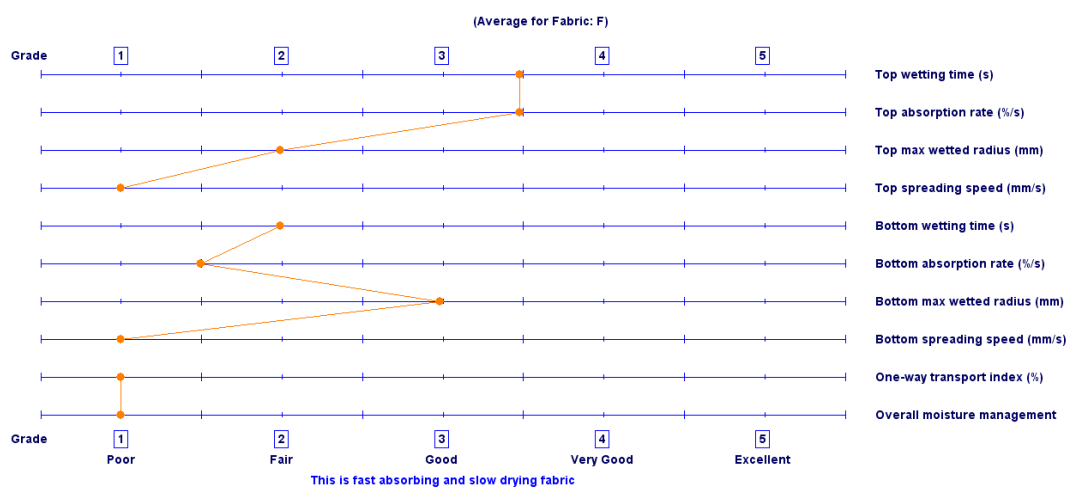


ตารางที่ 2 ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมแคปซูลที่เตรียมได้โดยใช้สายยึดชนิดนาโนพอลิยูรีเทน และสารช่วยผืนึก

สมบัติความสามารถการจัดการความชื้นของสิ่งทอผ้าฝ้าย: ทดสอบตามมาตรฐาน AATCC TM 195: 2009		
	ด้านบนของผิวผ้า	ด้านล่างของผิวผ้า
หน่วยการวัด		
- เวลาที่ทำให้ผ้าเปียก (วินาที)	7.08	78.20
- อัตราการดูดซึม (ร้อยละต่อวินาที)	66.54	11.62
- รัศมีการเปียกสูงสุด (มิลลิเมตร)	11.67	13.33
- อัตราเร็วในการกระจายความชื้น (มิลลิเมตรต่อวินาที)	0.77	0.79
- ACCUMULATIVE ONE-WAY TRANSPORT CAPABILITY (ร้อยละ)	-526.21	
- OVERALL (LIQUID) MOISTURE MANAGEMENT CAPABILITY	0.01	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Finger Print of Moisture Management Properties**



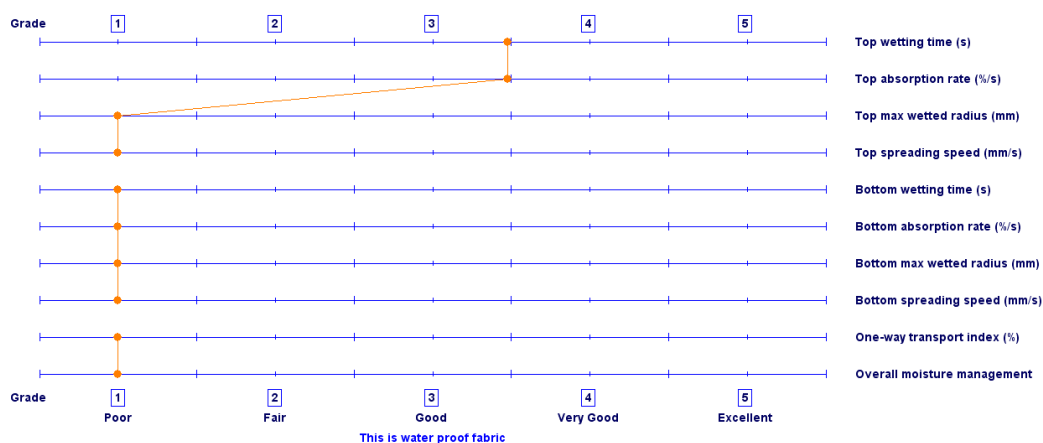
**ตารางที่ จ 3** ความสามารถการจัดการความชื้นของผ้าที่ตกแต่งด้วยไมแคปซูลที่เตรียมได้โดยใช้สารยึดชนิดพอลิยูรีเทนอะคริเลต สารริเริ่มปฏิกิริยาด้วยแสง และสารช่วยผืนึก

สมบัติความสามารถการจัดการความชื้นของสิ่งทอผ้าผืน: ทดสอบตามมาตรฐาน AATCC TM 195: 2009		
	ด้านบนของผิวน้ำ	ด้านล่างของผิวน้ำ
หน่วยการวัด		
- เวลาที่ทำให้ผ้าเปียก (วินาที)	6.89	119.95
- อัตราการดูดซึม (ร้อยละต่อวินาที)	50.94	0.00
- รัศมีการเปียกสูงสุด (มิลลิเมตร)	5.00	0.00
- อัตราเร็วในการกระจายความชื้น (มิลลิเมตรต่อวินาที)	0.71	0.00
- ACCUMULATIVE ONE-WAY TRANSPORT CAPABILITY (ร้อยละ)	-92.69	
- OVERALL (LIQUID) MOISTURE MANAGEMENT CAPABILITY	0.00	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Finger Print of Moisture Management Properties**

(Average for Fabric: F)



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอารีรัตน์ พรามศิริ เกิดเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2532 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ จากคณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2554 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นของปีการศึกษา 2555 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2557

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

1. Abstract (International) Pramsiri, A., and Charuchinda, S. Durable antibacterial coating of galangal essential oil/polyurethane-urea microcapsules onto cotton fabric using nano-polyurethane binder. The 9th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress (9th MPSGC), p. 77, 8-10 Jan 2014, Faculty of Science University of Malaya, Malaysia.

2. Proceeding (International) Pramsiri, A., and Charuchinda, S. Antibacterial finishing onto cotton fabric with galangal essential oil/polyurethane-urea microcapsules by spray-coating. The IUPAC World Polymer Congress MACRO 2014, p. 261, 6-11 July 2014, Chiang Mai International Convention and Exhibition Center (CMICE), Chiang Mai, Thailand.