การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่น ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี

นางสาวศิริพร นิ่มสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

COTTON FABRIC FINISHING FOR ODOR CONTROL, ANTIBACTERIAL AND UV-BLOCKING PROPERTIES

Miss Siriporn Nimsuk

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 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่น ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี
โดย	นางสาวศิริพร นิ่มสุข
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐ พิชญางกูร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐ พิชญางกูร)

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

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

ศิริพร นิ่มสุข: การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่น ต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี. (COTTON FABRIC FINISHING FOR ODOR CONTROL, ANTIBACTERIAL AND UV-BLOCKING PROPERTIES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร.รัฐ พิชญางกูร, 140 หน้า.

งานวิจัยนี้ตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวีไปพร้อมๆ กัน โดยใช้สารตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน และนาโนซิงค์ออกไซด์ ทั้งแบบใช้เดี่ยวและแบบใช้ร่วมกัน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด (พอลิยูรีเทนผสมอะคริลิก) ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายทอ 4 ชนิด (ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ซุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม) และบนผ้าฝ้ายถักย้อมสี แล้วนำไปทดสอบสมบัติด้านการควบคุมกลิ่น การต้านแบคทีเรีย การต้านรังสียูวี และสมบัติพื้นฐานอื่นๆ

จากผลการทดลอง การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักให้สามารถดูดกลิ่นตัว พบว่าการตกแต่งสำเร็จบนผ้าถักด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลดีที่สุดโดยสามารถดูดกลิ่นตัวได้ในระดับปานกลางและผ้ายังคงสามารถดูดกลิ่นตัวได้เมื่อผ่านการซัก สำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านแบคทีเรียพบว่า ผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์แบบใช้เดี่ยวและใช้ร่วมกับบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน สามารถต้านแบคทีเรียได้ดีถึงดีมาก (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากกว่า 99) ส่วนการตกแต่งสำเร็จบนผ้าทอ พบว่าผ้าทอย้อมสีเหมาะสำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านแบคทีเรียมากกว่าการใช้ผ้าทอที่ไม่ย้อม โดยเมื่อผ่านการซัก ผ้าทอย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้บ้าง (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 74–95) สำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านรังสียูวีทั้งการตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์เพียงชนิดเดียวและใช้ร่วมกับบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน พบว่าผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จ และสามารถต้านรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม (ค่า UPF มากกว่า 100) จากการทดลองนี้ยังพบว่าการตกแต่งสำเร็จโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกช่วยให้อนุภาคของนาโนซิงค์ออกไซด์กระจายตัวได้ดี ป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนที่ผิวผ้า และทำให้การตกแต่งสำเร็จผ้าได้ผลดีขึ้นกว่าการใช้เครื่องย้อมในห้องปฏิบัติการ

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5172618223: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS: COTTON FABRIC/ ANTIBACTERIAL/ ODOR CONTROL/ CYCLODEXTRIN/ ZINC OXIDE

SIRIPORN NIMSUK: COTTON FABRIC FINISHING FOR ODOR CONTROL, ANTIBACTERIAL AND UV-BLOCKING PROPERTIES. ADVISOR: ASST.PROF.USA SANGWATANAROJ, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST.PROF. RATH PICHYANGKURA, Ph.D., 140 pp.

This research relates the chemical finishing of cotton fabrics for body-odor control, antibacterial and UV-blocking properties. Woven fabric (dyed and undyed) and knitted (dyed) cotton fabrics were treated with both β-cyclodextrin and nano zinc oxide, and also treated individually, using padding and exhaustion techniques followed by a fixation were tested for their performance on body-odor control, antibacterial and UV-blocking, as well as other fabric properties.

For odor-control finishing, dyed knitted-fabric that finished with a combination of cyclodextrin and nano zinc oxide showed the best performance on body-odor control (decreasing the body-odor from the strongest level to the moderate level) and chemicals on fabric were durable to at least 3 laundering cycles. For antibacterial finishing dyed knitted-fabric that finished with both chemicals and finished with only nano zinc oxide showed high to highest antibacterial properties (>99% reduction of bacterial) while for woven, finished dyed fabrics showed better antibacterial property than finished undyed fabrics. Unfortunately, most nano zinc oxide finished fabrics showed undurable to laundering. For UV-blocking finishing dyed knitted-fabric that finished with both chemicals and finished with only nano zinc oxide showed excellent UV-blocking property (UPF>100) In terms of finishing techniques, results indicate an ultrasonic system or a high mechanical action was required for nano zinc oxide finishing of cotton fabric in odor to prevent an agglomeration of nano particles and to increase the finishing efficiency.

Department : Materials Science Student's Signature .....
Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011 Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเกิดจากความตั้งใจจริงและเป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ เครื่องมือ การทดสอบและวัตถุดิบสำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผศ.ดร.รัฐ พิชญางกูร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษาและการแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ผศ.ดร สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ และ ดร.นราพร รังสิมันตกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำหรับการสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับค่าใช้จ่ายบางส่วนในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท MAXX NANO จำกัด และ บริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการทดสอบ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อน และบุคลากรอันเป็นที่รักทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ..... 3

2.2 การตกแต่งสำเร็จต้านกลิ่น..... 4

2.3 การตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์..... 6

2.3.1 สมบัติของสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์..... 7

2.3.2 กลไกการทำงานของสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์..... 7

2.4 การตกแต่งสำเร็จป้องกันรังสียูวี..... 10

2.5 ไซโคลเดกซ์ทริน..... 13

2.6 ซิงค์ออกไซด์..... 18

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21

3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 25

3.1 วัสดุและสารเคมี 25

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 26

3.3 ขั้นตอนการทดลอง..... 27

3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ..... 27

บทที่ หน้า

3.3.1.1 การเตรียมผ้าฝ้ายชุบมัน..... 27
3.3.1.2 การเตรียมผ้าฝ้ายย้อมสี..... 28
3.3.2 การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้าย..... 30
3.3.2.1 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน..... 30
3.3.2.2 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 30
3.3.2.3 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินและนาโนซิงค์ออกไซด์. 30
3.3.2.4 การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการจุ่มอัด..... 31
3.3.2.5 การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการแช่..... 32
3.3.2.6 การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก..... 32
3.3.3 การทดสอบผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จ..... 34
3.3.3.1 การทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้า..... 34
3.3.3.2 การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้า..... 40
3.3.3.3 การทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้า..... 41
3.3.3.4 การทดสอบความคงทนของสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าต่อการซัก..... 43
3.3.3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า..... 44
3.3.3.6 การทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้า..... 44
3.3.3.7 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า..... 45
3.3.3.8 การวัดดัชนีความขาวของผ้า..... 46
3.3.3.9 การวัดความเพี้ยนของสีผ้าย้อม..... 47
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 49
4.1 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน..... 49
4.1.1 ผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้าย..... 49
4.1.1.1 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายทอ..... 50
4.1.1.1.1 ผ้าฟอก..... 50
4.1.1.1.2 ผ้าฟอกและชุบมัน..... 56
4.1.1.1.3 ผ้าฟอกและย้อม..... 61
4.1.1.1.4 ผ้าฟอก ชุบมัน และย้อม..... 66
4.1.1.2 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายถักย้อมสี..... 72

บทที่ หน้า

4.1.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทอ..... 75
4.1.3 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายทอ..... 75
4.1.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอ..... 77
4.1.5 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายทอ..... 79
4.1.6 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ..... 79
4.2 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์..... 82
4.2.1 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้าย..... 82
4.2.1.1 ผลการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายทอ..... 82
4.2.1.2 ผลการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายถักย้อมสี..... 85
4.2.2 ผลการทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้า..... 86
4.2.2.1 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายทอ..... 86
4.2.2.2 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายถักย้อมสี..... 88
4.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทอ..... 89
4.2.4 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายทอ..... 90
4.2.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอ..... 91
4.2.6 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายทอ..... 93
4.2.7 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ..... 94
4.3 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์.... 96
4.3.1 ผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้าย..... 96
4.3.1.1 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายทอ..... 96
4.3.1.1.1 ผ้าฟอก..... 97
4.3.1.1.2 ผ้าฟอกและชุบมัน..... 99
4.3.1.1.3 ผ้าฟอกและย้อม..... 101
4.3.1.1.4 ผ้าฟอก ชุบมัน และย้อม..... 103
4.3.1.2 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายถักย้อมสี..... 107
4.3.2 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้าย..... 112
4.3.2.1 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วย
บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 112

บทที่ หน้า

4.3.2.2 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 114
4.3.3 ผลการทดสอบการต้านรังสียูวีบนผ้าฝ้าย..... 115
4.3.3.1 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 116
4.3.3.2 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 117
4.3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทอ..... 118
4.3.5 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายทอ..... 119
4.3.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอ..... 121
4.3.7 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายทอ..... 123
4.3.8 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ..... 123
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 126
รายการอ้างอิง..... 130
ภาคผนวก..... 132
ภาคผนวก ก..... 133
ภาคผนวก ข..... 135
ภาคผนวก ค..... 137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างวิธีการดับกลิ่นไม่พึงประสงค์บนสิ่งทอ.....	5
2.2	ความยาวคลื่นของรังสีจากดวงอาทิตย์บนผิวโลก.....	11
2.3	ระบบการแบ่งค่า UPF.....	11
2.4	ค่า SPF ของผ้าชนิดต่างๆ ที่ไม่ผ่านการย้อม.....	13
2.5	สมบัติของไซโคลเดกซ์ทริน.....	15
2.6	สารละลายกรดไอโซวาเลอริกมาตรฐาน ใช้อ้างอิงในการวัดกลิ่นของผู้ประเมิน	23
3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไอโซวาเลอริกกับระดับความรุนแรงของกลิ่นตัวที่รับรู้ได้ด้วยจมูกมนุษย์.....	37
3.3	ตัวอย่างระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้า ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 โดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	39
3.4	การแบ่งระดับการต้านเชื้อแบคทีเรียของสิ่งทอ.....	41
4.1	ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฝ้ายฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ.....	52
4.2	ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ.....	55
4.3	ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ.....	58
4.4	ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ.....	60

ตารางที่ หน้า

4.5 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ..... 63

4.6 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ..... 65

4.7 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ..... 68

4.8 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ..... 70

4.9 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฝ้ายถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ..... 74

4.10 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน.... 75

4.11 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วย บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน..... 76

4.12 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน..... 78

4.13 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน..... 79

4.14 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน. 80

4.15 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 83

4.16 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 85

4.17 การต้านรังสียูวีของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 87

4.18 การต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 88

4.19 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 89

4.20 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 90

4.21 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 92

ตารางที่ หน้า

4.22 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 93

4.23 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์..... 94

4.24 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ... 105

4.25 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ... 111

4.26 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 113

4.27 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 114

4.28 การต้านรังสียูวีของผ้าทอตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 116

4.29 การต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 117

4.30 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 119

4.31 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 120

4.32 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 122

4.33 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 123

4.34 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์..... 124

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ไตรโคซาน	8
2.2	polyhexamethylene biguanide หรือ PHMB	9
2.3	ไคโตซานที่ได้จากไคติน	10
2.4	รังสียูวีที่กระทบผิวผ้า	12
2.5	โครงสร้างทางเคมีของแอลฟา- บีตา- และแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน และโมเดลโครงสร้างลักษณะถ้วยปลายเปิดของไซโคลเดกซ์ทริน	14
2.6	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน guest-cyclodextrin แบบ 1:1 และ 1:2.	15
3.1	กรอบโลหะกันสนิม ขนาด 2 ฟุต × 2 ฟุต	28
3.2	เครื่องวัดแรงตึงผ้า SEFAR	28
3.3	เครื่องย้อมแบบแช่ Labtec	29
3.4	ขั้นตอนการย้อมสีรีแอกทีฟ	29
3.5	เครื่องจุ่มอัด Labtec	33
3.6	เครื่องอบแห้ง Rapid	33
3.7	เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ	34
3.8	การอ่านข้อมูลจากหัวเซ็นเซอร์ 5 ชนิด ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (ก) สัญญาณกลิ่นตัวระดับ 1 (กลิ่นอ่อนมาก) วัดจากสารละลายไอไซวาเลอริก ความเข้มข้น 0.013 มิลลิลิตรต่อลิตร (ข) สัญญาณกลิ่นตัวระดับ 5 (กลิ่นรุนแรงมาก) วัดจากสารละลายไอไซวาเลอริก ความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร	35
3.9	ฐานข้อมูลกลิ่นตัวที่จัดอยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์	36
3.10	กรดไอโซวาเลอริก	37
3.11	PCA score plot แสดงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ของสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ ที่วัดโดยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์	37
3.12	ตัวอย่าง PCA Score Plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้าถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์	39
3.13	เครื่องทดสอบความคงทนของสารต่อการซัก Gyrowash	43
3.14	เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า SDL Atlas	44

ภาพที่		หน้า
3.15	เครื่องทดสอบแรงดึง Lloyd.....	45
3.16	เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000)....	46
4.1	PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0-5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่).....	51
4.2	PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0-5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ ซัก 1 รอบ (ค) ผ้าฟอกที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัด โดยมีสารช่วยผนึกติด (จ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัด โดยมีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ.....	53
4.3	PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่).....	57
4.4	PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมันไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมันที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัดโดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัดโดยมีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ.....	59
4.5	PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่).....	62

ภาพที่ หน้า

4.6 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ. 64

4.7 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)..... 67

4.8 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ..... 69

4.9 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จ ไซโคลเดกซ์ทรินถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ ซัก 1 รอบ (จ) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก (ฉ) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก ซัก 1 รอบ..... 72

4.10 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ ซัก 1 รอบ (ค) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ง) ผ้าฟอกที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (จ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ฉ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จโดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ซัก 5 รอบ..... 97

ภาพที่ หน้า

4.11 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมันที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (จ) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ซัก 5 รอบ..... 99

4.12 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (จ) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ซัก 5 รอบ..... 101

4.13 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (จ) ผ้าฟอก/ย้อมตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ซัก 5 รอบ..... 103

4.14 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก) (ค) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 1 (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 2 (จ) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 3..... 108

ภาพที่ หน้า

4.15 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก) (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 1 (ค) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 2 (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก) ซักรอบที่ 3..... 110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผ้าฝ้ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เนื่องจากสวมใส่สบาย สามารถดูดซับเหงื่อและระบายความร้อนได้ดี อย่างไรก็ตามฝ้ายมีความต้านรังสียูวีได้ไม่ดีนัก นอกจากนี้ยังพบว่าเสื้อผ้าฝ้ายที่ผ่านการสวมใส่แล้วหรือขณะสวมใส่ มักมีกลิ่นตัวของผู้สวมใส่ รวมทั้งกลิ่นของสารที่แบคทีเรียบนเสื้อผ้าปลดปล่อยออกมา โดยจะมีกลิ่นเหม็นเร็วขึ้นและมากขึ้น เมื่อเสื้อผ้าเปียกเหงื่อไคล และอยู่ในบริเวณที่อับชื้น และถ้าเสื้อผ้าอยู่ในที่ที่มีการสูบบุหรี่หรือบริเวณประกอบอาหาร เสื้อผ้าจะดูดกลิ่นเหล่านี้ติดมาด้วยทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกไม่สบายตัวจากกลิ่นอันไม่พึงประสงค์เหล่านี้ จึงมีการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารเคมีให้สามารถควบคุมกลิ่น ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี ไปพร้อมๆ กัน ในการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้ดูดกลิ่นตัว จะใช้สารไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากการย่อยสลายแป้งทางชีวภาพด้วยเอนไซม์ มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ แอลฟา- บีตา- และแกมมา- ไซโคลเดกซ์ทริน โครงสร้างประกอบด้วยกลูโคส 6 – 8 หน่วย ต่อกันเป็นวงแหวน ตามลำดับ มีรูปร่างคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้งสองด้าน ผิวด้านนอกมีความเป็นไฮโดรฟิลิก ในขณะที่ด้านในของหน่วยกลูโคสเป็นไฮโดรโฟบิก สามารถใช้เป็นที่กักเก็บสารไฮโดรโฟบิก และสารที่มีกลิ่น ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้าย นอกจากนี้การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติต้านแบคทีเรีย ยังช่วยลดกลิ่นที่เกิดจากแบคทีเรียได้ โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ มีความสามารถในการดูดซับรังสียูวีและต้านเชื้อแบคทีเรีย เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เนื่องจากทนต่อภาวะในกระบวนการผลิตสิ่งทอเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ทั่วไปและเป็นสารที่มีความปลอดภัย ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคนาโน จะมีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีและต้านแบคทีเรียได้ดีขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้งแบบใช้เดี่ยวและแบบใช้ร่วมกัน โดยใช้เทคนิคการจุ่มอัด (padding) และการแช่ (exhaustion) ตามด้วยขั้นตอนการผนึกสาร (fixation) ซึ่งใช้เทคนิคการจุ่มอัดผ้าด้วยสารช่วยผนึกติด (binder) และให้ความร้อนกับผ้าเพื่ออบผนึกสารตกแต่งสำเร็จให้ติดบนผ้า และทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ การทดสอบด้านการดูดกลิ่นตัวของผ้าโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ การต้านแบคทีเรียของผ้า การต้านรังสียูวีของผ้า และสมบัติทางกายภาพอื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารไซโคลเดกซ์ทริน และซิงค์ออกไซด์
2. ศึกษาสมบัติด้านการควบคุมกลิ่น การต้านแบคทีเรีย การต้านรังสียูวี และสมบัติพื้นฐานอื่นๆ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ รวมทั้งความคงทนของสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้าย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยนี้ คือ การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักด้วยด้วยสารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและนาโนซิงค์ออกไซด์ ทั้งแบบใช้เดี่ยวและแบบใช้ร่วมกัน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ แล้วอบผนึกติดด้วยสารช่วยผนึกติด และทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ได้ผ้าฝ้ายที่สามารถควบคุมกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ [1]

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ หมายถึง การตกแต่งสำเร็จบนผ้าที่มักกระทำก่อนนำผ้าไปตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าสำเร็จรูป หรือผลิตภัณฑ์ เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าภายหลังการย้อมหรือการพิมพ์ อย่างไรก็ตามจาก หลักการการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ อาจครอบคลุมถึงการตกแต่งสำเร็จบนเส้นด้ายหรือเสื้อผ้าสำเร็จรูปด้วย

การตกแต่งสำเร็จมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ผ้ามีสมบัติที่เหมาะสมตามการใช้งานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น

- การปรับเปลี่ยนลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติบางชนิดของผ้า เช่น ความนิ่ม (softening) ความแข็งกระด้าง (stiffening) การลดความมันเงา (delustering) ความสว่าง (brightening) เป็นต้น
- การทำให้ผ้ามีสมบัติหรือลักษณะเฉพาะขึ้นมาใหม่ เช่น การตกแต่งสำเร็จความคงตัวของผ้า (durable press finishes) การตกแต่งสำเร็จหน่วงไฟ (flame retardant finishes) เป็นต้น
- การยืดอายุการใช้งาน และการเพิ่มความคงทนของผ้า

กระบวนการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ แยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ตามกลไกการทำงานของการตกแต่งสำเร็จ

1) การตกแต่งสำเร็จเชิงกล (mechanical finishing)

การตกแต่งสำเร็จเชิงกล หรือ การตกแต่งสำเร็จแบบแห้ง (dry finishing) คือการดัดแปลงหรือตกแต่งสำเร็จบนผ้าโดยการใช้กลไกการทำงานของเครื่องจักร เช่น การรีด (calendering) การทำให้คงตัวหรืออยู่ตัวทางเชิงกล (mechanical stabilization) การขูดขน (raising) การทำให้นิ่มเชิงกล (mechanical softening) การทำฟล็อกกิ้ง (flocking)

2) **การตกแต่งสำเร็จเชิงเคมี** (chemical finishing)

การตกแต่งสำเร็จเชิงเคมี หรือ การตกแต่งสำเร็จแบบเปียก (wet finishing) เป็นการใช้สารเคมีปรับปรุงสมบัติของผ้าตามที่ต้องการ ซึ่งรวมถึงกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของผ้า วิธีการตกแต่งสำเร็จบนผ้าที่ใช้ขึ้นกับชนิดสารเคมี ผ้าและเครื่องจักรที่ใช้

ในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการตกแต่งสำเร็จเชิงเคมีบนผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี จึงขออธิบายสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จการควบคุมกลิ่นตัว การต้านแบคทีเรียและการต้านรังสียูวี ในหัวข้อต่อไป

2.2 **การตกแต่งสำเร็จต้านกลิ่น** (anti-odour finishing)

ปัญหากลิ่นเหม็นบนสิ่งทอพบมากเมื่อผลิตภัณฑ์สิ่งทออยู่ในบรรจุภัณฑ์ อยู่ระหว่างการขนส่ง และมีการเก็บเป็นเวลานาน รวมถึงทั้งกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการใช้งานหรือการสวมใส่ วิธีที่ง่ายที่สุดในการกำจัดกลิ่นเหม็นเหล่านี้คือ การผึ่งให้ระเหยและการซักล้าง อีกทั้งยังมีผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฉีดบนผ้าเพื่อป้องกันและลดกลิ่นเหม็นเหล่านี้ ซึ่งวิธีโดยทั่วไปนี้จะทำให้ผ้าที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์มีกลิ่นที่ดีขึ้น แต่ไม่ทนต่อการซักล้าง ดังนั้นผลิตภัณฑ์สิ่งทอจึงจำเป็นต้องตกแต่งสำเร็จต้านกลิ่นที่มีความคงทนต่อการซักล้าง (permanent anti-odour finish) ตัวอย่างวิธีการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์บนสิ่งทอ แสดงในตารางที่ 2.1

วิธีหนึ่งที่ป้องกันการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ คือการตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรียหรือการดัดแปรเส้นใยให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะทำให้สามารถลดปริมาณแบคทีเรียและสารที่มีกลิ่นที่แบคทีเรียขับออกมา โดยการตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรียอธิบายไว้ในข้อ 2.3 ส่วนอีกวิธีที่ป้องกันการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ คือการตกแต่งสำเร็จต้านกลิ่น โดยใช้สารเคมีดูดซับสารที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์บนสิ่งทอ สารเคมีที่มีสมบัติในการดูดกลิ่นชนิดหนึ่งคือ ไซโคลเดกซ์ทริน

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างวิธีการดับกลิ่นไม่พึงประสงค์บนสิ่งทอ [2]

หลักการ	วิธีลดกลิ่นไม่พึงประสงค์	ข้อดีและข้อเสีย
- การปกปิด (covering)	- ส่วนใหญ่ใช้วิธีการพ่นน้ำหอม	- ง่าย แต่ไม่ขจัดกลิ่น ได้ผลในระยะสั้น และไม่มีความคงทน
- การกำจัดออก (removing)	- การผึ่งอากาศ (airing)	- ง่ายและไม่ต้องใช้สารเคมี แต่ต้องใช้เวลานานและมีข้อจำกัดกระทำได้ยากเมื่อผ้ามีขนาดใหญ่
- การกำจัดออก	- การซักล้างเอาสารที่มีกลิ่นออก	- เป็นเทคนิคธรรมดาซึ่งให้ผลดี และทำให้สะอาด แต่ค่าใช้จ่ายในการทำให้แห้งสูง
- การกำจัดออก	- การดูดซับสารให้กลิ่น เช่นการใช้ไซโคลเดกซ์ทริน หรือถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	- คงทนต่อการซักล้างและซักแห้ง แต่มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณการใช้และความอิ่มตัว (saturation) และต้องการการฟื้นฟูใหม่ (regeneration) เช่น โดยการซักซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการทำให้แห้งสูง
- การสลายตัว (decomposition)	- โอโซไนเซชัน (ozonisation)	- ได้ผลดีมาก และสามารถฆ่าเชื้อได้ แต่ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะและอาจจะทำลายสีย้อม และเส้นใยบางชนิดเช่น ไนลอน
- การป้องกัน (prevention)	- การตกแต่งสำเร็จต้านแบคทีเรีย หรือ การดัดแปรเส้นใย (fiber modifications) ซึ่งขัดขวางการสลายตัวของเหงื่อ	- มีความคงทนต่อการซักและซักแห้ง โดยเฉพาการดัดแปรเส้นใย เป็นการยับยั้งการเกิดกลิ่นจากการสลายตัวของเหงื่อ ดังนั้น จึงใช้ได้ผลเฉพาะเสื้อผ้าที่สัมผัสกับผิวหนัง

ไซโคลเดกซ์ทรินมีลักษณะคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้งสองด้าน ช่องว่างหรือโพรงภายในโมเลกุลค่อนข้างไม่ชอบน้ำมีขนาด 0.5 ถึง 0.85 นาโนเมตร สามารถกักเก็บสารโมเลกุลอื่นไว้ภายในช่องว่างได้ขึ้นอยู่กับขนาดและการดึงดูดระหว่างโมเลกุล (intermolecular attraction) ช่องว่างภายในสามารถบรรจุโมเลกุลสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายเหงื่อด้วยจุลินทรีย์และเปลี่ยนรูปเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็น คือสารที่มีกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการย่อยสลายนี้สามารถเก็บในช่องว่างนี้ (ถ้าสามารถเข้าไปภายในช่องว่างนั้นได้) และโมเลกุลเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปด้วยการซักล้างแบบปกติ

การตกแต่งสำเร็จต้านกลิ่นด้วยไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าให้มีความคงทนต่อการซัก โดยวิธีทำให้ยึดติดกับเส้นใยด้วยพันธะทางเคมี ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของเส้นใย เช่น เส้นใยพอลิเอไมด์ อนุพันธ์ของไซโคลเดกซ์ทรินที่มีหมู่ซัลโฟนิก (sulfonic groups) จะสร้างพันธะไอออนกับหมู่แอมิโนของเส้นใยพอลิเอไมด์ สำหรับเส้นใยพอลิเอสเทอร์ ไซโคลเดกซ์ทรินจะยึดติดด้วยแรงดึงดูดของหมู่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic attraction) ซึ่งขึ้นอยู่กับการดัดแปรไซโคลเดกซ์ทรินให้มีสายโซ่อัลคิลยาวหรือหมู่ไม่ชอบน้ำอื่นๆ อีกวิธีหนึ่งคือ การใช้สารช่วยผนึกติด (binder) ที่มีวิธีการใช้คล้ายกับการพิมพ์พิกเมนท์ (pigment printing) การให้สารช่วยผนึกติดบนผ้าจะใช้กระบวนการจุ่มอัด (padding) และผนึกติดด้วยความร้อน ซึ่งวิธีนี้สารดูดซับหรือไซโคลเดกซ์ทรินต้องไม่ถูกปกคลุมด้วยฟิล์มของสารช่วยยึดติดทั้งหมด ทั้งนี้ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถยึดติดบนเซลลูโลสโดยการใช้ร่วมกับสารตกแต่งสำเร็จดูแลรักษาง่าย (easy-care finish) เช่น สารประกอบ N-methylol โดยไม่ทำให้สูญเสียความสามารถในการกักเก็บโมเลกุลของสารอินทรีย์

2.3 การตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial finishing)

วัตถุประสงค์ของการตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์บนผ้า คือ เพื่อการป้องกันการเกิดโรค ป้องกันการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และเพื่อป้องกันสิ่งทอจากการถูกทำลายด้วยเชื้อรา หรือเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงเชื้อราบนสิ่งทอยังทำให้เกิดปัญหาหลายอย่าง เช่น ผ้ามีสีเปลี่ยนไป และเส้นใยถูกทำลาย ส่วนเชื้อแบคทีเรียทำลายเส้นใยเพียงเล็กน้อย แต่จะสร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ และทำให้เกิดคราบบนผ้า

การตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์มีความสำคัญโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผ้าที่ต้องสัมผัสกับสภาวะของอากาศ เช่น ผ้าที่ใช้สำหรับเป็นที่บังแดด จอฉายภาพยนตร์ เต็นท์ ผ้าใบ และเชือก เป็นต้น รวมถึงเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในบ้าน เช่น พรม ผ้าม่าน ที่นอน และผ้าบุเครื่องเรือนต่างๆ ซึ่ง

ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จำเป็นต้องตกแต่งสำเร็จด้วยสารต้านจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันการติดเชื้อ ได้แก่ ผ้าที่ใช้ในสถานพยาบาล โรงเรียน โรงแรม และในที่ชุมชน

ในการใช้สารต้านเชื้อจุลินทรีย์เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเสื้อผ้า ชุดชั้นใน ถุงเท้า และชุดกีฬา เป็นตลาดที่สำคัญ เนื่องจากแบคทีเรียจะย่อยสลายเหงื่อและของเหลวที่ร่างกายผลิตทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งการควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยการตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรียจะช่วยลดและกำจัดกลิ่นที่เกิดขึ้นนี้ รวมทั้งการตกแต่งสำเร็จการต้านกลิ่นในหัวข้อ 2.2

2.3.1 สมบัติของสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์

สารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดีต้องต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว (เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตเร็วมาก) คือ ต้องฆ่าหรือหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และสารตกแต่งสำเร็จต้องคงสมบัตินี้เมื่อผ่านการซักซ้ำหรือเมื่อมีการใช้งาน สารตกแต่งสำเร็จต้องมีความปลอดภัยต่อผู้ผลิตเสื้อผ้าและผู้สวมใส่ ต้องเป็นไปตามกฎข้อบังคับ (regulations) ของรัฐบาล มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สารตกแต่งสำเร็จสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถใช้ร่วมกับสารตกแต่งสำเร็จอื่นได้ มีผลต่อสมบัติที่ดีอื่นๆ ของผ้าน้อย เช่น ความสบายต่อการสวมใส่ และมีราคาถูก

2.3.2 กลไกการทำงานของสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์

สารเคมีตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารยับยั้งเชื้อจุลิทรีย์ (biostatic) คือสารตกแต่งสำเร็จที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (bacteriostatic) และสารยับยั้งเชื้อรา (fungistatic) อีกประเภทคือ สารชีวฆาต (biocides) คือสารตกแต่งสำเร็จที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เช่น สารฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bacteriocides) และสารฆ่าเชื้อรา (fungicides) โดยในทางกฎหมายสารที่เป็นสารชีวฆาตจะมีการควบคุมที่เข้มงวดกว่า สำหรับสารเคมีที่ใช้ตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์ในสิ่งทอจะเป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

กลไกการควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรีย มีหลายรูปแบบ เช่น ป้องกันการแพร่พันธุ์ของแบคทีเรีย หยุดการทำงานของเอนไซม์ในแบคทีเรีย

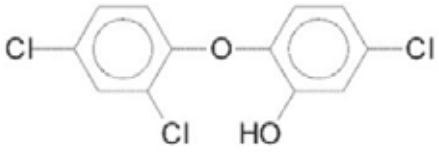
และทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย โดยเข้าทำปฏิกิริยากับเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย (ตัวอย่างเช่น silver ions) โดยกลไกการทำงานของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) Control Release Antibacterial [2]

สารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด control release antibacterial สารตกแต่งสำเร็จจะค่อยๆ ปลดปล่อยออกจากผิวผ้าหรือภายในเส้นใยบริเวณที่มีการตกแต่งสำเร็จ ดังนั้นสารจะมีประสิทธิภาพต่อการต้านเชื้อจุลินทรีย์มากบนผิวของเส้นใยหรือบริเวณโดยรอบเส้นใย อย่างไรก็ตามสารตกแต่งสำเร็จที่อยู่บนผ้าอาจหมดลงทำให้ผ้าไม่ต้านจุลินทรีย์อีก และสารตกแต่งสำเร็จนี้ยังสามารถถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจไปรบกวนจุลินทรีย์อื่นได้ เช่น รบกวนกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ชนิด control release antibacterial

2,4,4′-trichloro-2′-hydroxdiphenyl ether หรือที่เรียกว่า "ไตรโคซาน" (รูปที่ 2.1) เป็นสารต้านจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ใช้มากในน้ำยาบ้วนปาก ยาสีฟัน สบู่ล้างมือ ยาระงับกลิ่น และผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกันนี้ สารชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่อการต้านแบคทีเรียมาก แต่มีสมบัติในการต้านเชื้อราต่ำ ไตรโคซานเป็นสารตกแต่งสำเร็จบนสิ่งทอที่สำคัญ แต่เนื่องจากเป็นสารที่มีสมบัติด้านการละลายน้ำต่ำมาก ดังนั้นการใช้งานจึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยกระจาย (dispersing agents) และสารช่วยผนึกติด



2,4,4'-Trichloro-2'hydroxydiphenyl ether

รูปที่ 2.1 ไตรโคซาน [2]

Quaternary ammonium salts เป็นสารต้านแบคทีเรียที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด และใช้เป็นสารฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารนี้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอจะมีข้อจำกัดในเรื่องการละลายน้ำ

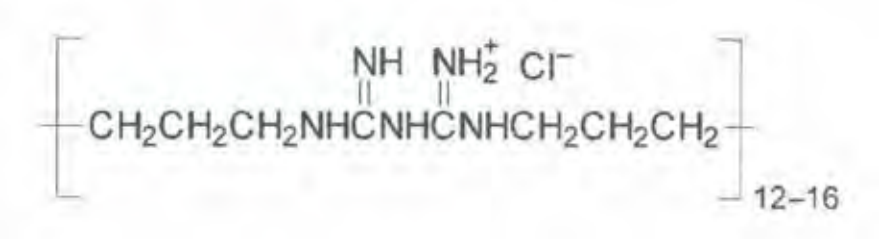
ทั้งนี้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการดัดแปรเส้นใยให้มีสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์ และการตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชั่น (microencapsulation) โดยการใส่แคปซูลที่มีสารต้านจุลินทรีย์ในเส้นใยระหว่างกระบวนการปั่นเส้นใย (spinning) หรือโดยการเคลือบบนผิวผ้า

2) Bound Antimicrobial [2]

สารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด bound antimicrobial สารตกแต่งสำเร็จจะต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่บนผิวเส้นใยหรือผิวผ้าเท่านั้น ไม่รวมถึงบริเวณโดยรอบเส้นใย

ตัวอย่างของสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด bound antimicrobial

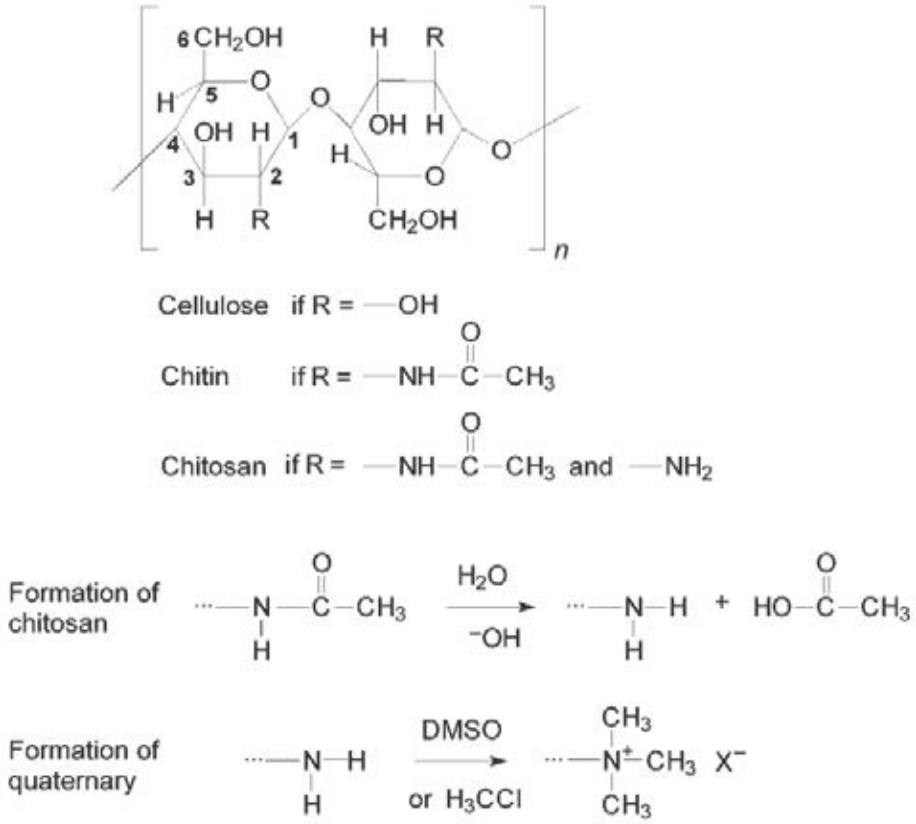
polyhexamethylene biguanide หรือ PHMB (รูปที่ 2.2) ใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าด้วยเทคนิคการจุ่มอัดหรือการแช่ สารสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยประจุบวก โดยโมเลกุลของสารที่มีประจุบวก (cationic molecule) จะทำปฏิกิริยากับประจุลบของฟอสโฟไลปิด (anionic phospholipids) ที่อยู่ในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเชื่อว่าปฏิกิริยานี้ไปเพิ่มการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ยอมให้สารผ่าน (cell permeability) ทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรียและทำให้แบคทีเรียตาย



รูปที่ 2.2 polyhexamethylene biguanide หรือ PHMB [2]

ไคโตซานเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งผลิตได้จากไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง/ปู/แกนกลางปลาหมึกที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลและประมง โดยนำไคตินมาผ่านกระบวนการไฮโดรลิซิสในภาวะด่าง (ดีแอเซทิลเลชัน) ทำให้หมู่แอเซทิลในโครงสร้างบางส่วนเปลี่ยนเป็นหมู่แอมิโน (รูปที่ 2.3) ซึ่งไคโตซานชนิดที่มีระดับการแทนที่หมู่แอเซทิลสูง (ร้อยละ 75 - 95) จะสามารถใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ ไคโตซานที่ได้นี้จะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์น้อย โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้วยกระบวนการเมทิเลชัน (methylation) ของหมู่แอมิโนให้มีโครงสร้าง quaternary trimethylammonium สามารถตกแต่งสำเร็จไคโตซานบนผ้าได้ด้วยการทำไมโครแคปซูล (microencapsulation) หรือการทำให้

เกิดพันธะเชื่อมขวางกับเซลลูโลส สมบัติที่ดีอื่นๆ ของไคโตซานที่เหมาะสำหรับใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ได้แก่ สมบัติการดูดซึมน้ำ การควบคุมความชื้น ไม่ทำให้เกิดการแพ้ ไม่เป็นพิษ และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 ไคโตซานที่ได้จากไคติน [2]

2.4 **การตกแต่งสำเร็จป้องกันรังสียูวี** (Ultraviolet protection finishes)

ผลของรังสียูวีหรือรังสีอัลตราไวโอเลตต่อมนุษย์ ได้แก่ การเกิดผิวหนังแก่ก่อนวัย (skin ageing) โรคผิวหนัง (photodermatosis) ผิวเป็นจ้ำแดง (erythema) ผิวไหม้แดด (sunburn) มะเร็งผิวหนัง (skin cancer) ตาถูกทำลาย และดีเอ็นเอถูกทำลาย เสื้อผ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสียูวี โดยค่าความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลต แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความยาวคลื่นของรังสีจากดวงอาทิตย์บนผิวโลก [2]

ชนิดของรังสี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
รังสียูวี – บี	280-320
รังสียูวี – เอ$_1$	320-360
รังสียูวี – เอ$_2$	360-400
แสงที่มองเห็น	400-800
รังสีอินฟราเรด	800-3000

การวัดความสามารถในการป้องกันแสงแดดของผ้า สามารถวัดเป็นค่า SPF (sun protection factor) คือ อัตราส่วนผลของรังสียูวี (ความยาวคลื่น 280 – 400 นาโนเมตร) ที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง เทียบกับผลของรังสียูวีที่ส่องผ่านผ้าที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง โดยประเทศในกลุ่มยุโรปและออสเตรเลียจะใช้ค่า UPF (ultraviolet protection factor) ซึ่งค่า UPF คือ ค่าอัตราส่วนผลของรังสียูวี (effective UVR irradiance) ที่คำนวณจากผิวหนังที่ไม่มีการปกป้อง เทียบกับผลของรังสียูวีที่คำนวณจากผิวหนังที่ปกป้องด้วยผ้าทดสอบ ค่า UPF สามารถวัดและคำนวณได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยมีการแบ่งประเภทของผ้าปกป้องแสงแดด ตามระดับการปกป้องรังสียูวี (ค่า UPF) แสดงในตารางที่ 2.3

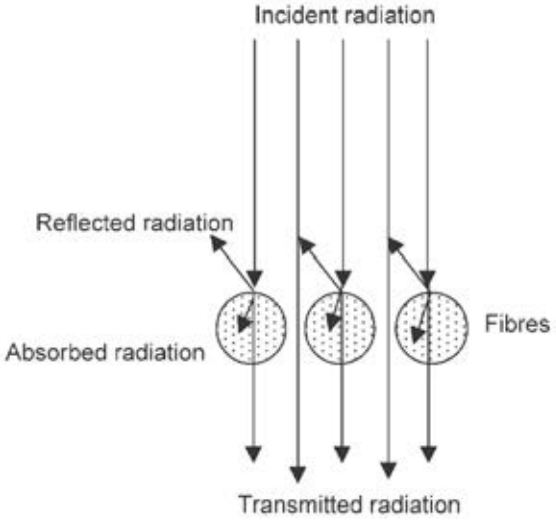
ตารางที่ 2.3 ระบบการแบ่งค่า UPF [3]

ค่า UPF	ประเภทการปกป้องรังสียูวี	ร้อยละของรังสียูวีที่ส่องผ่าน
15 – 24	ปกป้องรังสียูวีดี	6.7 – 4.2
25 – 39	ปกป้องรังสียูวีดีมาก	4.1 – 2.6
40 – 50, 50+	ปกป้องรังสียูวีดีเยี่ยม	$\leq$ 2.5

2.4.1 กลไกการป้องกันรังสียูวีของผ้า[2]

เมื่อรังสียูวีมากระทบที่ผิวผ้าจะเกิดการสะท้อนกลับ (reflected radiation) การดูดกลืน (absorbed radiation) และการส่องผ่าน (transmitted radiation) ของรังสียูวีบนเส้นใย (ตามรูปที่ 2.4) โดยปริมาณของรังสีที่สะท้อนกลับ ดูดกลืน และส่องผ่าน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง รวมถึงชนิดเส้นใย ความเรียบของผิวเส้นใย ค่า cover factor (สัดส่วนระหว่างพื้นที่ของผ้าที่เป็นเส้นด้ายต่อ

พื้นที่ของผ้า) ของผ้า และสารเคมีในเส้นใยเช่น สารลดความมันเงา (delustrants) สีย้อม และสารดูดซับรังสียูวี (UV absorbers)



รูปที่ 2.4 รังสียูวีที่กระทบผิวผ้า [2]

การเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของเส้นใยแต่ละชนิด พิจารณาได้จากค่า SPF ของผ้าไม่ผ่านการย้อม และเป็นผ้าที่มีโครงสร้างคล้ายกัน แสดงในตารางที่ 2.3 พบว่าเส้นใยฝ้ายและไหมสามารถป้องกันรังสียูวีได้ต่ำ เนื่องจากรังสียูวีสามารถทะลุผ่านเส้นใยโดยไม่มีการดูดซับไว้ ส่วนเส้นใยขนสัตว์และพอลิเอสเทอร์มีค่า SPF ค่อนข้างสูงเพราะเส้นใยสามารถดูดซับรังสียูวีได้ เส้นใยไนลอนและพอลิเอสเทอร์สามารถดูดซับรังสียูวีได้ดีขึ้น โดยการใส่สารลดความเงามัน หรือไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในเส้นใย เพราะเป็นสารที่ดูดซับรังสียูวีได้ดีมาก

ผ้าที่ทำจากเส้นใยชนิดเดียกันที่มีน้ำหนักและโครงสร้างการทอเหมือนกัน พบว่า ผ้าที่ทำจากเส้นใยไมโครจะสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าที่ทำจากเส้นใยขนาดปกติ และผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีเข้มจะมีค่า SPF ได้ถึง 50 หรือมากกว่า เนื่องจากสีย้อมหลายชนิดสามารถดูดซับรังสียูวีได้ ดังนั้นการเลือกชนิด โครงสร้าง และสีของผ้าจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการปกป้องผิวหนังต่อรังสียูวี แต่ทั้งนี้เนื่องจากความนิยม แฟชั่น และความสบายต่อการสวมใส่ ยังมีการเลือกใช้ผ้าสีอ่อนและผ้าเนื้อบางเป็นเสื้อผ้าสวมใส่สำหรับช่วงฤดูร้อน จึงจำเป็นต้องเพิ่มวัสดุดูดซับรังสียูวีลงบนเส้นใยเพื่อให้ได้ค่า SPF ที่ต้องการ

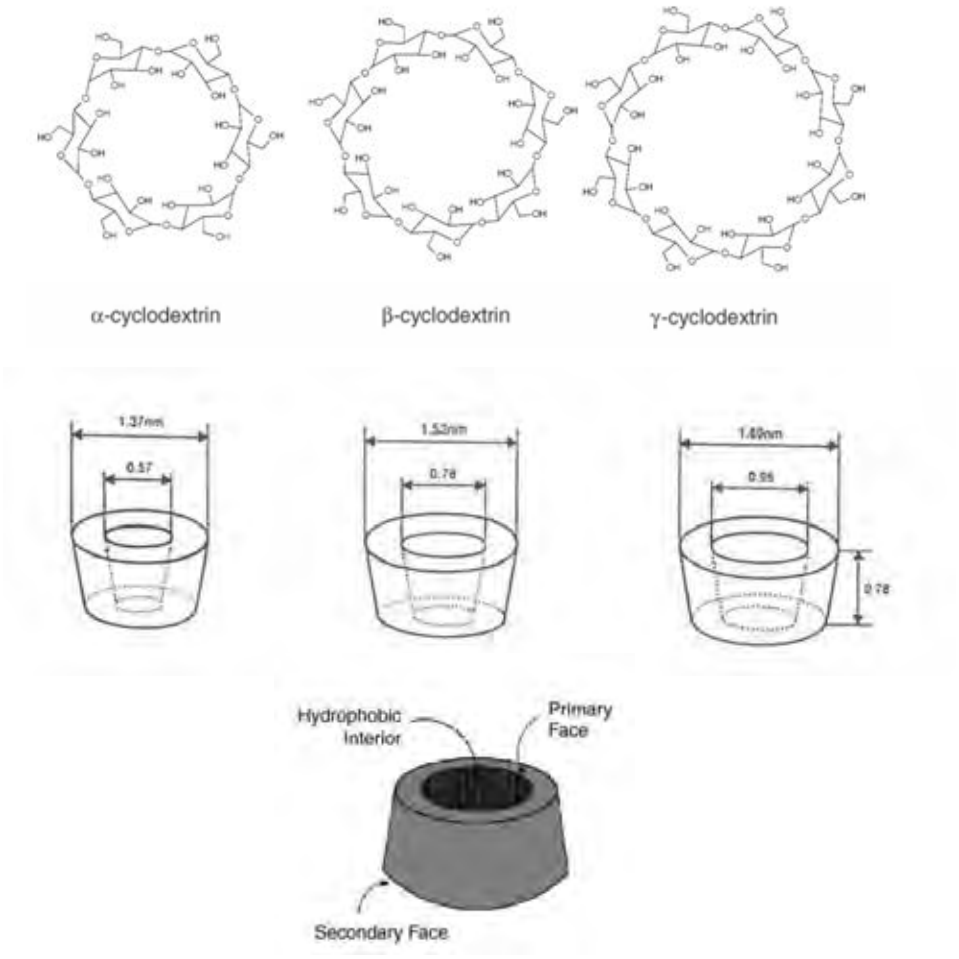
ตารางที่ 2.4 ค่า SPF ของผ้าชนิดต่างๆ ที่ไม่ผ่านการย้อม [2]

ชนิดผ้า	**ค่า SPF (โดยประมาณ)**
ผ้าฝ้าย (cotton tricot)	4
ผ้าขนสัตว์ (wool tricot)	45
ผ้าไหมลายสอง (silk twill)	7
ผ้าพอลิเอสเทอร์ (polyester tricot)	26
ผ้าไนลอน (nylon/elastomer 80/20 tricot)	12

2.5 ไซโคลเดกซ์ทริน

ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารออลิโกแซ็กคาไรด์วงปิดของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยแป้งหรือเดกซ์ทรินโดยเอนไซม์ ส่วนใหญ่มี 3 รูปแบบ คือ แอลฟา- บีตา- และแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน (α-, β-, γ-CD) ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 6, 7, และ 8 โมเลกุล ตามลำดับ (รูปที่ 2.5) ไซโคลเดกซ์ทรินมีรูปร่างคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้ง 2 ด้าน (torus-shaped) โดยทุกหน่วยของกลูโคสหันหมู่มีขั้วออกด้านนอกโมเลกุลโดยหันหมู่ secondary hydroxyl (คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3) ไปทางปลายเปิดด้านกว้าง และหมู่ primary hydroxyl (คาร์บอนตำแหน่งที่ 6) ไปทางปลายเปิดด้านแคบ และหันส่วนที่ค่อนข้างไม่มีขั้วคือ ไฮโดรเจนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 5 รวมทั้งไกลโคซิดิกออกซิเจนเข้าด้านในโมเลกุล ทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินมีสมบัติชอบน้ำ (ไฮโดรฟิลิก) ด้านนอก จึงละลายน้ำได้ ในขณะที่ช่องว่างหรือโพรงในโมเลกุล (inner cavity) ค่อนข้างไม่ชอบน้ำ (ไฮโดรโฟบิก) ขนาดของโพรงและความสามารถในการละลายน้ำของไซโคลเดกซ์ทรินแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.5) ซึ่งส่งผลให้ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (inclusion complex) กับโมเลกุลต่างๆ ที่มีขนาด โครงสร้าง และโพลาริตี้ที่เหมาะสม ด้วยปฏิสัมพันธ์ที่เรียกว่า host-guest interactions หรือ molecular encapsulation โดยไซโคลเดกซ์ทรินทำตัวเป็น host และโมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าน้ำ ซึ่งสามารถเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในโพรงตรงกลางไซโคลเดกซ์ทรินได้ ทำหน้าที่เป็น guest (รูปที่ 2.6) สารประกอบเชิงซ้อนจึงมีความเสถียรเพิ่มขึ้น และมีสถานะพลังงานที่ต่ำกว่าการอยู่ในรูปแบบอิสระ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของ guest เปลี่ยนไปซึ่งเป็นสมบัติเด่นของ

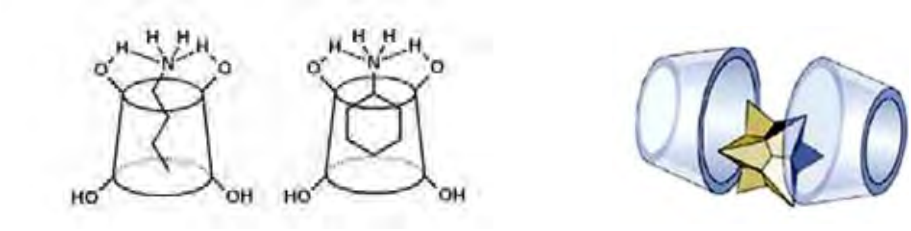
ไซโคลเดกซ์ทรินทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินถูกนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ตัวอย่างที่สำคัญคือ ใช้สร้างสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน เพื่อเพิ่มความเสถียรของสี กลิ่น รส ในอาหาร ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร เพิ่มการละลายของยา เป็นต้น [4]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของแอลฟา- บีตา- และแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน และโมเดลโครงสร้างลักษณะถ้วยปลายเปิดของไซโคลเดกซ์ทริน [4, 5]

ตารางที่ 2.5 สมบัติของไซโคลเกซ์ทริน [6]

สมบัติ	แอลฟา-ไซโคลเดกซ์ทริน	บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน	แกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน
จำนวนกลูโคสในโมเลกุล	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล (ดาลตัน)	972	1135	1297
ขนาดโพรงกลางโมเลกุล (Å, เส้นผ่านศูนย์กลาง)	4.7 – 5.3	6.0 – 6.5	7.5 – 8.3
ขนาดโมเลกุล			
- เส้นผ่านศูนย์กลางปลายเปิดด้านกว้าง (Å)	14.6±0.4	15.4±0.4	17.5±0.4
- ความสูง (Å)	7.9±0.1	7.9±0.1	7.9±0.1
- การละลายน้ำ (กรัม/100 มล.ที่ 25°C)	14.5	1.85	23.2



รูปที่ 2.6 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน guest-cyclodextrin แบบ 1:1 และ 1:2 [7, 8]

ความเป็นพิษของไซโคลเดกซ์ทริน [4]

เนื่องด้วยมีการนำไซโคลเดกซ์ทริน และอนุพันธ์บางชนิดไปใช้ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยเฉพาะด้านอาหาร เครื่องสำอาง และยา ข้อมูลด้านการเปลี่ยนรูปโมเลกุลและความเป็นพิษจึงมีความสำคัญ จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า ในช่วงต้นไซโคลเดกซ์ทริน จะถูกย่อยสลายช้ากว่าแป้งและน้ำตาลกลูโคสมาก แต่หลังจาก 24 ชั่วโมง ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายไม่แตกต่างกัน และการกระจายของสารในสัตว์ทดลองไม่ต่างกับเมื่อสัตว์ได้รับแป้ง ในด้านความเป็นพิษ พบว่าผลเฉียบพลัน (acute effect) ไซโคลเดกซ์ทรินมีความเป็นพิษต่ำมาก และเมื่อศึกษาผลเรื้อรัง (chronic effect) ก็ไม่พบความเป็นพิษเช่นกัน

การประยุกต์ไซโคลเดกซ์ทรินในอุตสาหกรรม [4]

การที่ไซโคลเดกซ์ทรินถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในแง่เป็นสารเพิ่มความเสถียร เพิ่มการละลายน้ำ เพิ่มความคงอยู่ทางชีวภาพ หรือใช้กำจัดสารที่ไม่ต้องการ สมบัติเหล่านี้ล้วนเกิดจากโครงสร้างของไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งมีโพรงกลางโมเลกุล ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชันกับโมเลกุล guest จึงเปลี่ยนแปลงสมบัติของ guest ได้ ปัจจุบันมีการนำไซโคลเดกซ์ทรินไปใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา นอกจากนี้ ยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เคมี การเกษตร และวัสดุบรรจุผลิตภัณฑ์ (packaging material) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมที่ประกอบด้วยไซโคลเดกซ์ทรินมีมากมาย โดยชนิดของไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นชนิดบีตา โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษในปริมาณที่ใช้และราคาถูก ในผลิตภัณฑ์ยาส่วนใหญ่ใช้ชนิดแกมมาและอนุพันธ์ของบีตา/แกมมา ที่ละลายน้ำได้ดี เช่น อนุพันธ์ไฮดรอกซีโพรพิลและซัลโฟบิวทิล ส่วนในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและอื่นๆ มีการใช้ชนิดบีตา แกมมา และในรูปอนุพันธ์ โดยประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดใหญ่ของการผลิตไซโคลเดกซ์ทรินและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไซโคลเดกซ์ทริน รองลงมาคือประเทศในกลุ่มยุโรปโดยเฉพาะฮังการี และประเทศสหรัฐอเมริกา

1) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม**

มีการนำไซโคลเดกซ์ทรินไปใช้ประโยชน์ในหลายวัตถุประสงค์ ที่ใช้มากคือการป้องกันการสลายตัวของสารองค์ประกอบในอาหาร เนื่องจากออกซิเจน แสง การระเหย และความร้อนในระหว่างการเก็บหรือการผลิตอาหาร รวมทั้งการลดปริมาณสารที่ไม่ต้องการ

2) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง**

เพื่อช่วยการละลายและป้องกันการระเหยของสารหอม ช่วยรักษาความเสถียรของสารที่ให้ความชุ่มชื้น ลดกลิ่นหรือป้องกันสารต้านแบคทีเรีย/รา ในผลิตภัณฑ์ และเพื่อการควบคุมการปลดปล่อยสารหอมจากน้ำหอมและผลิตภัณฑ์อื่นๆ

3) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมยา**

เพื่อช่วยการละลายของตัวยาเพื่อรักษาความเสถียร เพื่อเพิ่มความคงอยู่ทางชีวภาพ (bioavailability) และเพื่อลดการระคายเคืองจากการใช้ยา

4) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ**

เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสมบัติพิเศษ ได้แก่ การช่วยรักษาความชุ่มชื่นในผลิตภัณฑ์ การรักษาความเสถียรของสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารต้านอาการแพ้ สารต้านแบคทีเรีย/รา สารกรองแสงยูวี และการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นเหงื่อ กลิ่นควันบุหรี่

5) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมเคมี**

ใช้ไซโคลเดกซ์ทรินช่วยในการแยกสารโดยเฉพาะสารไครัล โดยเคลือบไซโคลเดกซ์ทรินบนวัสดุเช่น เม็ดซิลิกาพรุน (porous silica beads) ในระบบ HPLC เพื่อให้การแยกสารไครัลประสิทธิภาพสูง และใช้ไซโคลเดกซ์ทรินช่วยการละลายของสาร เช่น สารประกอบแพลทินัม และสารไวแสงในวัสดุถ่ายภาพ เป็นต้น

6) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมด้านการเกษตร**

การใช้งานส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับการทดลองผลิต เช่น เพื่อรักษาความเสถียรต่อแสงและควบคุมการระเหย เพิ่มการละลายและควบคุมการปลดปล่อยของยาฆ่าแมลงและยาฆ่าเชื้อรา

7) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมวัสดุบรรจุภัณฑ์**

ช่วยป้องกันการระเหย และการสลายด้วยออกซิเจนของสารต้านแบคทีเรียและรา (allylisothiocyanate ซึ่งสกัดจากรากพืชวาซาบิ) ซึ่งใช้เคลือบในถาดและวัสดุห่อหุ้มอาหารเพื่อให้อาหารโดยเฉพาะเนื้อสัตว์และปลาดิบสดอยู่เสมอ โดยวัสดุบรรจุผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะประกอบด้วย

วัสดุหลายชั้น เช่น สำหรับวัสดุห่ออาหาร ชั้นนอกเป็นฟิล์มไนลอนเคลือบ vinylidene chloride ชั้นกลางบรรจุผงสกัด cyclodextrin-wasabi และชั้นในสุดเป็นวัสดุผ้าชนิดพิเศษเพื่อช่วยในการดูดซับความชื้น เมื่อความชื้นจากอาหารกระทบวัสดุบรรจุภัณฑ์ สาร allylisothiocyanate จะค่อยๆ ระเหยออกมาจากผงสกัด cyclodextrin-wasabi อยู่ในแพ็กอาหารนั้น ซึ่งจะมีผลลดการเจริญของแบคทีเรียหรือรา

2.6 ซิงค์ออกไซด์

สมบัติของซิงค์ออกไซด์ [9]

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ สูตรโครงสร้าง คือ ZnO มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้น้อย ซิงค์ออกไซด์ที่พบบนเปลือกโลกจะอยู่ในรูปของแร่ซิงค์ไซท์ (Zincite) แต่ซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้น ซิงค์ออกไซด์นิยมใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น พลาสติก เซรามิก แก้ว ซีเมนต์ ยาง สารหล่อลื่น สีย้อม กาว อาหาร เป็นต้น

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทเอนไทป์ (n-type) II-VI มีสมบัติเด่นคือ ความโปร่งแสง อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ง่าย ช่องว่างแถบพลังงานสูง (Wide Band Gap) และมีความสามารถในการดูดซับรังสียูวีหรือรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) เป็นต้น ทำให้ประยุกต์กับงานได้ในหลากหลาย เช่น เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความไวแสง การปลดปล่อยพลังงาน แก๊สเซ็นเซอร์ วาลิสเตอร์ และทรานดิวเซอร์

สมบัติการต้านแบคทีเรียของซิงค์ออกไซด์

สารต้านเชื้อแบคทีเรีย สามารถแบ่งเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงและ/หรือที่ความดันสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ เช่น โลหะ และโลหะออกไซด์ มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เนื่องจากทนต่อภาวะในกระบวนการผลิตสิ่งทอ สารอนินทรีย์ที่ใช้ เช่น ซิงค์ออกไซด์

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติก (photocatalytic) หรือกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของซิงค์ออกไซด์ โดยซิงค์ออกไซด์ดูดซับพลังงานแสงที่มีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงานทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยัง

แถบการนำไฟฟ้า (conduction band) (สมการ 2.1) ทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (hole, h_{VB}^{+}) โดยอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบการนำไฟฟ้า (e_{CB}^{-}) สามารถกลับมาอยู่ในสภาวะเดิมได้อีก เป็นการลดประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตแคตาลิติกของซิงค์ออกไซด์ (สมการ 2.2) แต่อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนไปยังผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจนทำให้เกิดซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion, O_2^{-}) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ (สมการ 2.3) และอิเล็กตรอนที่ว่างในแถบวาเลนซ์ (h_{VB}^{+}) บนผิวซิงค์ออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลน้ำและไฮดรอกไซด์แอนไอออน (hydroxide anion) ได้เป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals, $HO^{\cdot}$) (สมการ 2.4 และ 2.5) ซึ่งอนุมูลอิสระและอิเล็กตรอนในแถบที่ว่างนี้ทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ (สมการ 2.6) [10]

$$ZnO + h\nu \rightarrow e_{CB}^{-} + h_{VB}^{+} \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$

$$e_{CB}^{-} + h_{VB}^{+} \rightarrow ZnO + heat \qquad \text{(สมการ 2.2)}$$

$$e_{CB}^{-} + O_{2\,(adsorbed)} \rightarrow O_2^{\cdot -} \qquad \text{(สมการ 2.3)}$$

$$h_{VB}^{+} + H_2O_{\,(adsorbed)} \rightarrow H^{+} + HO^{\cdot} \qquad \text{(สมการ 2.4)}$$

$$h_{VB}^{+} + HO^{-}_{\,(adsorbed)} \rightarrow HO^{\cdot} \qquad \text{(สมการ 2.5)}$$

$$h_{VB}^{+} + \text{organic matter (OM) } OM^{\cdot\cdot} \rightarrow \text{oxidized products} \qquad \text{(สมการ 2.6)}$$

กลไกการต้านแบคทีเรียเกิดขึ้นโดยซิงค์ออกไซด์จะถูกกระตุ้นด้วยรังสียูวีและแสงที่มองเห็น (visible light) ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกให้ออกซิเจนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (active oxygen) เช่น อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($HO^{\cdot}$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O_2^{-}) โดยจะเกาะอยู่ที่ผิวเซลล์ของแบคทีเรีย และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถซึมเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียได้ ซึ่งกลไกการต้านแบคทีเรียเกี่ยวข้องโดยตรงต่อปฏิกิริยาระหว่างผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และผนังเซลล์ โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจนที่ว่องไวกับเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งมีผลต่อการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์และทำให้เซลล์ตาย [11] อีกกลไกหนึ่งของการต้านแบคทีเรียของซิงค์ออกไซด์ที่อาจเกิดขึ้นได้คือการปล่อยประจุซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) [12]

สมบัติการป้องกันรังสียูวีของซิงค์ออกไซด์ [13]

สมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าเกิดขึ้นจากสมบัติของเส้นใย สีย้อม พิกเมนท์ สารลดความมันเงา หรือ สารดูดซับรังสียูวีที่ตกแต่งสำเร็จบนผ้า โดยโมเลกุลเหล่านี้จะดูดซับและป้องกันการส่องผ่านของรังสียูวีจากผิวผ้าสู่ผิวหนัง โลหะออกไซด์เช่น ซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันรังสียูวี (UV-blocker) ที่มีความเสถียรมากกว่าสารอินทรีย์ และซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคนาโนมีสมบัติป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก (ปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น) และทำให้ดูดซับรังสียูวีได้มากขึ้น ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่อยู่ในเนื้อพอลิเมอร์สามารถใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จป้องกันรังสียูวีในสิ่งทอ โดยการเคลือบอยู่ที่ผิวของสิ่งทอหรือเสื้อผ้าทำให้มีอนุภาคนาโนที่ว่องไวอยู่ที่ผิว

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่มีความปลอดภัย โดยมีรายชื่ออยู่ใน General Recognized and Safe; GRAS ที่ออกให้โดย U.S. Food and Drug Administration ซิงค์ออกไซด์ขนาดอนุภาคนาโนมีความสามารถป้องกันรังสียูวีเอ ยูวีบี และต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กระดับนาโน (10^{-9} เมตร) มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยากับแบคทีเรียได้ดีกว่า ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสามารถต้านแบคทีเรียได้ทั้งชนิดแกม-บวก และ แกม-ลบ ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพต่อการต้านแบคทีเรียชนิดแกม-บวก ได้ดีกว่า

ซิงค์ออกไซด์สามารถนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น

1) **การประยุกต์ในด้านเภสัชกรรม**

ใช้เป็นยาสมานแผล และรักษาโรคติดเชื้อที่ผิวหนังบางชนิด โรคผิวหนังเป็นตุ่มพุพองจากการติดเชื้อแบคทีเรีย โรคกลากเกลื้อน ฝี และการคันหรือระเคืองผิวหนัง

2) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง**

นำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์กันแดดเพื่อป้องกันรังสียูวี ซึ่งมีความปลอดภัยต่อร่างกาย (ได้รับการยืนยันจาก Food and Drug Administration; FDA)

3) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมการผลิตยาง**

ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว ช่วยยืดอายุการใช้งาน และป้องกันรอยขูดขีด

4) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมเซรามิก**

โดยทั่วไปจะใช้เป็นสารให้สีขาว สำหรับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสามารถช่วยลดอุณหภูมิการเผาเซรามิกให้เหลือเพียง 400 – 600 องศาเซลเซียส และทำให้ผิวเซรามิกมีความมันวาว

5) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและสารเคมีอื่น ๆ**

ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จป้องกันแบคทีเรีย และป้องกันรังสียูวี

6) **การประยุกต์ในอุตสาหกรรมสี**

ใช้ผลิตสีป้องกันรังสียูวี สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสามารถใช้เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิตในเรซินได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยงานวิจัยที่ใช้ไซโคลเดกซ์ทริน ซิงค์ออกไซด์เป็นสารตกแต่งสำเร็จบนผ้า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบกลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (ใช้สำหรับทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้) ดังนี้

Wang และคณะ [14] ศึกษาการใช้บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคโซลเจล บรรจุน้ำมันหอมระเหย พบว่าสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าสามารถคงทนต่อการซักได้เกิน 15 รอบการซัก ผ้าฝ้ายสามารถเก็บกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยได้นานเกิน 30 วัน และสามารถเติมน้ำมันหอมระเหยเพิ่มหรือเปลี่ยนกลิ่นน้ำมันหอมระเหยบนผ้าได้ง่าย

El-Tahlawy และคณะ [15] ศึกษาการกราฟต์บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินซิเตรทกับไคโตซานและทดสอบการต้านแบคทีเรียของสารที่สังเคราะห์ได้เทียบกับไคโตซาน พบว่า บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินกราฟต์ไคโตซานสามารถต้านแบคทีเรียต่างๆ ได้เช่นเดียวกับไคโตซาน และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยลดปริมาณการใช้ลงมาได้ถึงครึ่งหนึ่ง

Abdel-Halim และคณะ [7] ศึกษาการต่อกิ่ง (graft) ของผสมของ Glycidyl methacrylate และบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (GMA/β-CD mixture) บนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการฉายอิเล็กตรอนเชิงเส้น (linear electron beam irradiation technique) แล้วตกแต่งสำเร็จต้าน

จุลินทรีย์ด้วย chlorohexidin diacetate พบว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ดี และเมื่อนำผ้ามาต่อกิ่งซ้ำ (regraft) ด้วย β-CD แล้วตกแต่งสำเร็จด้วย chlorohexidin diacetate พบว่าการต่อกิ่งซ้ำช่วยปรับปรุงสมบัติการต้านแบคทีเรียได้ดีขึ้น เนื่องจากการต่อกิ่งซ้ำเป็นการเพิ่มจำนวนโพรงหรือช่องว่างของ host ทำให้มีปริมาณสารต้านจุลินทรีย์อยู่บนผ้าเพิ่มขึ้น และเมื่อผ่านการซักซ้ำ 5 รอบ พบว่าผ้ายังคงสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี เนื่องจากผ้าที่ผ่านการต่อกิ่งไม่พียงแค่ดูดซึมสารตกแต่งสำเร็จต้านจุลินทรีย์ไว้ที่ผิว แต่สาร β-CD ทำหน้าที่เป็น host ช่วยกักเก็บสารตกแต่งสำเร็จในช่องว่างหรือโพรงของโมเลกุล

Trinh และคณะ [16] ได้ผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด (ลูกกลิ้งหรือแท่งดับกลิ่นตัว ผ้าอ้อมเด็ก กระดาษเช็ดมือ ผ้ารองในชุดชั้นใน ฯลฯ) ที่ใช้กับมนุษย์ซึ่งมีสารไซโคลเดกซ์ทรินและสารเคมีอื่นๆ ช่วยควบคุมกลิ่นจากของเหลวที่ร่างกายขับออกมา โดยเลือกใช้ไซโคลเดกซ์ทรินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 12 ไมครอนในปริมาณที่เหมาะสม

Hooper และคณะ [17] ศึกษาสารซักล้างที่มีส่วนผสมของสารระงับกลิ่น หรือ สารซักล้างที่ช่วยระงับกลิ่นกาย (deodorant detergent product) ประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่ใช่สบู่ (non-soap detergent active compound) และสารระงับกลิ่น ทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์โดยให้คนทดลองใช้ (50 คน) แล้วใช้ผู้ประเมินเป็นผู้หญิง 3 คน เป็นผู้ประเมินกลิ่นโดยการสูดกลิ่นรักแร้ของผู้ทดสอบโดยตรง ซึ่งผู้ประเมินต้องมีความสามารถในการดมและแยกกลิ่นของสารละลายไอโซวาเลอริกตามตารางที่ 2.6 ได้อย่างถูกต้อง และผู้ประเมินสามารถรับรู้ได้ถึงกลิ่นตัวที่ลดลงเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์นี้ พบว่าผลิตภัณฑ์นี้สามารถใช้ชำระล้างร่างกายซึ่งช่วยลดกลิ่นตัว และผลิตภัณฑ์นี้ยังใช้เป็นสารซักล้างของเสื้อผ้าที่มีการสัมผัสกับผิวเพื่อลดกลิ่นเหม็นที่มาจากกลิ่นตัวได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.6 สารละลายกรดไอโซวาเลอริกมาตรฐาน ใช้อ้างอิงในการวัดกลิ่นของผู้ประเมิน [17]

คะแนน	ระดับของกลิ่น	ความเข้มข้นของสารละลายกรดไอโซวาเลอริก (มิลลิลิตรต่อลิตร)
0	ไม่มีกลิ่น	0
1	มีกลิ่นเพียงเล็กน้อย	0.013
2	มีกลิ่นบ้าง	0.053
3	มีกลิ่นปานกลาง	0.22
4	มีกลิ่นรุนแรง	0.87
5	มีกลิ่นรุนแรงมาก	3.57

Wongchoosuk และคณะ [18] ศึกษาการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (electronic nose) ตรวจวัดและจำแนกกลิ่นรักแร้ของมนุษย์ โดยใช้เซ็นเซอร์อะเรย์กลุ่มโลหะออกไซด์ และใช้ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองและประมวลผลโดยใช้หลักการคำนวณ Principal component analysis (PCA) ในการจำแนกกลิ่นรักแร้ของมนุษย์ งานทดลองนี้ใช้สารละลายกรดไอโซวาเลอริกที่ระดับ 0-5 (ตารางที่ 2.6) ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (ก่อนใช้แยกความเข้มกลิ่นตัวคน) โดยใช้แผ่นสำลีที่มีสารละลายกรดไอโซวาเลอริก 0.15 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะที่เป็นแก้วแล้วทำการวัด แล้วทำการวัดกลิ่นตัวคนโดยใช้แผ่นสำลีซับเหงื่อบริเวณรักแร้ของผู้ทดสอบ และวัดกลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าเครื่องสามารถแยกความแตกต่างของกลิ่นรักแร้ของ 2 บุคคล ที่มีวิถีชีวิตและกิจกรรมที่คล้ายกันได้ และยังพบว่าสารระงับกลิ่นกาย (deodorant) ไม่มีผลต่อการระบุตัวบุคคล

Yadav และคณะ [19] ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากซิงค์ไนเตรทและโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีแป้งเป็นสารช่วยให้เสถียร ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 40 นาโนเมตร ใช้เคลือบบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด-ทำให้แห้ง-อบผนึกและใช้อะคริลิกเป็นสารช่วยผนึกติด พบว่าผ้าสามารถป้องกันรังสียูวีได้ร้อยละ 75 เมื่อตกแต่งสำเร็จด้วยซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 และอากาศสามารถทะลุผ่านได้ดี

Becheri และคณะ [20] ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายและผ้าขนสัตว์ด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากซิงค์คลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาด 21 นาโนเมตร (เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาในน้ำ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส) และซิงค์ออกไซด์

ขนาด 9 นาโนเมตร (เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาใน 1,2-ethanediol ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส) พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้น โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่า และมีความแข็งแรงในแนวด้ายยืนสูงกว่าเดิมแต่มีการยืดตัว (elongation) ลดลง สำหรับผ้าขนสัตว์ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยซิงค์ออกไซด์ทั้งสองชนิดสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้นใกล้เคียงกัน และมีความแข็งแรงและการยืดตัวดีกว่าเดิม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้สารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน และนาโนซิงค์ออกไซด์ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายก่อนย้อมและผ้าฝ้ายหลังย้อม ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดสารเคมีและเทคนิคการแช่สารเคมี เพื่อให้ผ้าฝ้ายสามารถควบคุมกลิ่น ต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี หลังจากการตกแต่งสำเร็จ ผ้าถูกนำมาทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ตามวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 **วัสดุและสารเคมี** ที่ใช้สำหรับงานวิจัยมีดังนี้

1) ผ้าฝ้ายทอลายขัดที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว น้ำหนักผ้า 77 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนเส้นด้ายแนวยืนและแนวพุ่ง 106 และ 86 เส้นต่อนิ้ว ตามลำดับ
2) ผ้าฝ้ายถัก (single jersey) ที่ผ่านการย้อมสีแล้ว
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Scharlau)
4) กรดฟอร์มิค (RCI Labscan)
5) สีรีแอกทีฟ/Procion Red H-E7B (C.I.Reactive Red 141) บริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด
6) โซเดียมซัลเฟต (RCI Labscan)
7) โซเดียมคาร์บอเนต (Ajax Finechem)
8) นาโนซิงค์ออกไซด์ (บริษัท MAXX NANO จำกัด)
9) สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (Apcopon ELO) ของบริษัท Phisit Group
10) บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (Wacker Chemicals (South Asia) Pte. Ltd.)
11) สารช่วยผนึกติด/Lava Fix NFA (บริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด)
12) สารช่วยผนึกติด/Evo Fin PUS (บริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด)
13) สารช่วยผนึกติด/Evo Top A 30 (บริษัท ไดสตาร์ไทย จำกัด)
14) ผงซักฟอกไม่มีสารเรืองแสง ECE phosphate type B (James H. Heal & Co.,Ltd.)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

รายชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

	ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	รุ่น / บริษัทผู้ผลิต
1)	เครื่องทดสอบการซัก launder-o-meter, Gyrowash	James H. Heal
2)	เครื่องทดสอบแรงดึง tensile strength - universal testing machine, LLOYD	รุ่น LR 100K / Intro Enterprise
3)	เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer, Macbeth	รุ่น color–eye7000 / X-Rite
4)	เครื่องวัดพีเอช	pH Tester20/Eutech Instrument
5)	กรอบเหล็กไร้สนิม (stainless steel frame) ขนาด 2 ฟุต × 2 ฟุต	-
6)	เครื่องวัดแรงตึง (tension meter)	SEFAR
7)	เครื่องย้อมแบบแช่ Labtec	Newave Lab Equipments
8)	เครื่องอัลตราโซนิก	575HTAE / Crest Ultrasonics
9)	เครื่องจุ่มอัด padding machine, Labtec	PB0 / Newave Lab Equipments
10)	เครื่องอบแห้ง Rapid	Labortex
11)	เครื่องวัดความแข็งกระด้างของผ้า (stiffness tester)	รุ่น M003B / SDL Atlas
12)	จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (electronic nose)	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเตรียมผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (สำหรับผ้าทอ)
2) การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้าย
3) การทดสอบผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จ

3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (สำหรับผ้าทอ)

ผ้าฝ้ายทอที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด เพื่อศึกษาชนิดของผ้าที่เหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการตกแต่งสำเร็จ ได้แก่

1) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว (สำหรับตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายก่อนย้อม)
2) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว และชุบมัน (สำหรับตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายก่อนย้อม)
3) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว ชุบมัน และย้อมสี (สำหรับตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายหลังย้อม)
4) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว และย้อมสี (สำหรับตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายหลังย้อม)

โดยก่อนการตกแต่งสำเร็จ นำผ้าฝ้ายทอลายขัดที่ผ่านการฟอกขาวจากโรงงาน มาเตรียมเป็นผ้าชุบมัน ผ้าย้อมสี และผ้าชุบมันและย้อมสี ตามวิธีการชุบมันและการย้อมสีมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1.1 การเตรียมผ้าฝ้ายชุบมัน

แช่ผ้าฝ้ายฟอกขาวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นขึงผ้าบนกรอบโลหะไร้สนิมขนาด 2 ฟุต × 2 ฟุต (รูปที่ 3.1) ให้มีแรงตึงคงที่ที่ 6 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 นาที (วัดแรงตึงผ้าด้วยเครื่องวัดแรงตึง (tension meter) ตามรูปที่ 3.2) แล้วล้างผ้าด้วยน้ำ นำผ้าออกจากกรอบโลหะ แช่ผ้าลงในสารละลายกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 1 แล้วล้างผ้าด้วยน้ำจนค่าพีเอชของผ้าเป็นกลาง จากนั้นทำให้ผ้าแห้ง

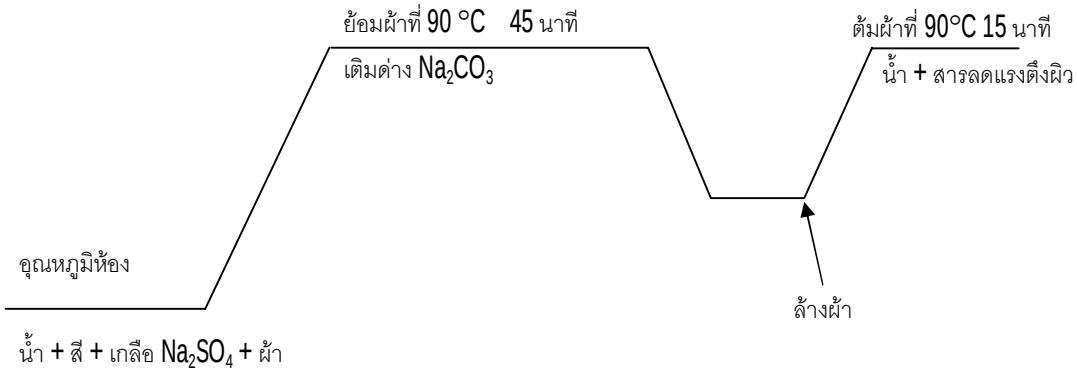
รูปที่ 3.1 กรอบโลหะไร้สนิม ขนาด 2 ฟุต × 2 ฟุต

รูปที่ 3.2 เครื่องวัดแรงตึงผ้า SEFAR

3.3.1.2 การเตรียมผ้าฝ้ายย้อมสี

ย้อมผ้าฝ้ายฟอกขาว และผ้าฝ้ายฟอกขาวและชุบมัน ด้วยสีรีแอกทีฟ Procion Red H-E7B ความเข้มข้นร้อยละ 2 ของน้ำหนักผ้า สารช่วยย้อมคือ เกลือโซเดียมซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักผ้า ใช้ด่างโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ของน้ำหนักผ้า โดยเตรียมอัตราส่วนผ้าต่อน้ำสีย้อมเท่ากับ 1 ต่อ 20 กระทำการย้อมในกระบอกโลหะไร้สนิมของเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec (รูปที่ 3.3) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (เติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเมื่ออุณหภูมิการย้อมถึง 90 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 45 นาที แล้วล้างน้ำเย็น ต้มผ้าในสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ล้างผ้าในน้ำเย็นอีกครั้งแล้วทำให้ผ้าแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.3 เครื่องย้อมแบบแช่ Labtec



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการย้อมสีรีแอกทีฟ

จากขั้นตอนการเตรียมผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จนี้ จะได้ผ้าฝ้าย 4 ชนิด คือ ผ้าฟอกขาว (ที่มีอยู่แล้วในเบื้องต้น) ผ้าฟอกขาวและซุบมัน ผ้าฟอกขาวและย้อมสี และผ้าฟอกขาว ซุบมันและย้อมสี สำหรับใช้ในการตกแต่งสำเร็จในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้าย

นำผ้าทอทั้ง 4 ชนิดจากข้อ 3.3.1 และผ้าถักมาตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคมี ดังนี้

3.3.2.1 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน

ไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไซโคลเดกซ์ทรินทางการค้า บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ชื่อการค้าว่า Cavatex W7 เป็นชนิดผง

เตรียมสารตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร โดยเติมบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (Cavatec W7) น้ำหนัก 20 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้บีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินละลายจนกระทั่งได้สารละลายใส วัดค่าพีเอชได้เท่ากับ 6.29

3.3.2.2 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นนาโนซิงค์ออกไซด์ทางการค้า (Maxx Nano ZnO) ชนิดเหลวขุ่น ที่มีความเข้มข้น 100,000 ppm (10%) อนุภาคซิงค์ออกไซด์มีขนาด 20-30 นาโนเมตร โดยก่อนการเตรียมสารตกแต่งสำเร็จนี้ จำเป็นต้องเขย่านาโนซิงค์ออกไซด์ในภาชนะด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่งโมง เพื่อให้นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ตกตะกอนที่ก้นภาชนะเกิดการกระจายตัว

เตรียมสารตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2,000 ppm (0.2%) โดยเติมปริมาตร 2 มิลลิลิตรของนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 100,000 ppm (ที่ผ่านการเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิก) ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าทันที

3.3.2.3 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน และนาโนซิงค์ออกไซด์

เตรียมสารตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 2,000 ppm โดยเติมบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน น้ำหนัก 20 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วเขย่าให้สารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินละลาย เติมปริมาตร 20 มิลลิลิตร ของนาโนซิงค์ออกไซด์ ความเข้มข้น 100,000 ppm (ที่ผ่านการเขย่าด้วย

เครื่องอัลตราโซนิก) เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าทันที

การเตรียมความเข้มข้นของสารตกแต่งสำเร็จและภาวะที่ใช้สำหรับการตกแต่งสำเร็จเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตสารและผู้มีประสบการณ์การใช้สารเหล่านี้ ใช้วิธีการตกแต่งสำเร็จสารลงบนผ้า 2 เทคนิคเปรียบเทียบกันคือ เทคนิคการจุ่มอัดผ้า (padding) และเทคนิคการแช่ผ้า (exhaustion) จากนั้นตามด้วยการผนึกสาร (fixation) ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดผ้าในสารช่วยผนึกติด (binder) ซึ่งประกอบด้วยพอลิยูรีเทนและอะคริลิก แล้วจึงให้ความร้อนกับผ้าเพื่ออบผนึกสารตกแต่งสำเร็จให้ติดบนผ้าโดยมีรายละเอียดดังข้อ 3.3.2.4 ถึงข้อ 3.3.2.6

3.3.2.4 **การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการจุ่มอัด** มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ตัดผ้าขนาด 7 นิ้ว × 11 นิ้ว (เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องจุ่มอัด Labtec รูปที่ 3.5) และชั่งน้ำหนักผ้า
2) เตรียมสารตกแต่งสำเร็จตามวิธีและตามความเข้มข้นที่แสดงในข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.3 และปริมาตรตามอัตราส่วนผ้าต่อสารตกแต่งสำเร็จเท่ากับ 1 ต่อ 10
3) จุ่มผ้าลงในสารตกแต่งสำเร็จเป็นเวลา 5 นาที แล้วผ่านผ้าไประหว่างลูกกลิ้งทั้งสองของเครื่องจุ่มอัด โดยปรับระยะห่างของลูกกลิ้งให้สามารถอัดรีดผ้าให้มีสารตกแต่งสำเร็จอยู่บนผ้า (% wet pick up) ราวร้อยละ 70 – 80 ของน้ำหนักผ้า จากนั้นตากผ้าให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
4) จุ่มผ้าในสารช่วยผนึกติดเป็นเวลา 5 นาที (พอลิยูรีเทน Evo Fin PUS ผสมกับอะคริลิก Lava Fix NFA ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2) โดยใช้อัตราส่วนผ้าต่อสารช่วยผนึกติดเท่ากับ 1 ต่อ 10 อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัดให้ผ้าได้ % wet pick up ในช่วงร้อยละ 70 – 80 ของน้ำหนักผ้า
5) ขึงผ้าบนกรอบตะปู (pin frame) ของเครื่องอบผ้า Rapid (รูปที่ 3.6) แล้วอบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

3.3.2.5 **การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการแช่** มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ตัดผ้าขนาด 7 นิ้ว × 11 นิ้ว และชั่งน้ำหนักผ้า
2) เตรียมสารตกแต่งสำเร็จตามวิธีและตามความเข้มข้นที่แสดงในข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.3 และปริมาตรตามอัตราส่วนผ้าต่อสารตกแต่งสำเร็จเท่ากับ 1 ต่อ 10 แล้วเทลงในกระบอกย้อมของเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec (รูปที่ 3.3)
3) แช่ผ้าลงในสารตกแต่งสำเร็จในกระบอก ประกอบกระบอกเข้ากับเครื่อง เดินเครื่องที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที แล้วตากผ้าให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
4) จุ่มผ้าในสารช่วยผนึกติดเป็นเวลา 5 นาที (พอลิยูรีเทน Evo Fin PUS ผสมกับอะคริลิก Lava Fix NFA ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2) โดยใช้อัตราส่วนผ้าต่อสารช่วยผนึกติดเท่ากับ 1 ต่อ 10 อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัดให้ผ้าได้ % wet pick up ในช่วงร้อยละ 70 – 80 ของน้ำหนักผ้า
5) ขึงผ้าบนกรอบตะปูของเครื่องอบผ้า แล้วอบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

3.3.2.6 **การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก** มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ตัดผ้าขนาด 7 นิ้ว × 11 นิ้ว และชั่งน้ำหนักผ้า
2) เตรียมสารตกแต่งสำเร็จตามวิธีและตามความเข้มข้นที่แสดงในข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.3 และปริมาตรตามอัตราส่วนผ้าต่อสารตกแต่งสำเร็จเท่ากับ 1 ต่อ 20 แล้วเทลงในกระบอกย้อมเครื่องย้อม labtec
3) เขย่าสารตกแต่งสำเร็จด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4) ใส่ผ้าลงในสารตกแต่งสำเร็จในกระบอกย้อม แล้วเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัดให้ผ้าได้ % wet pick up ในช่วงร้อยละ 70 – 80 ของน้ำหนักผ้า จากนั้นตากผ้าให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (สำหรับเทคนิคการจุ่มอัด)
5) ใส่ผ้าลงในสารตกแต่งสำเร็จในกระบอก แล้วเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที แล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (สำหรับเทคนิคการแช่)
6) จุ่มผ้าในสารช่วยผนึกติดเป็นเวลา 5 นาที (พอลิยูรีเทน Evo Fin PUS ผสมกับอะคริลิก Evo Top A 30) โดยใช้อัตราส่วนผ้าต่อสารช่วยผนึกติดเท่ากับ 1 ต่อ 10 อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งของเครื่องจุ่มอัดให้ผ้าได้ % wet pick up ในช่วงร้อยละ 70 – 80 ของน้ำหนักผ้า

7) ขึงผ้าบนกรอบตะปูของเครื่องอบผ้า แล้วอบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที (ภาวะที่ใช้ในการอบผนึกเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตสาร)

รูปที่ 3.5 เครื่องจุ่มอัด Labtec

รูปที่ 3.6 เครื่องอบแห้ง Rapid

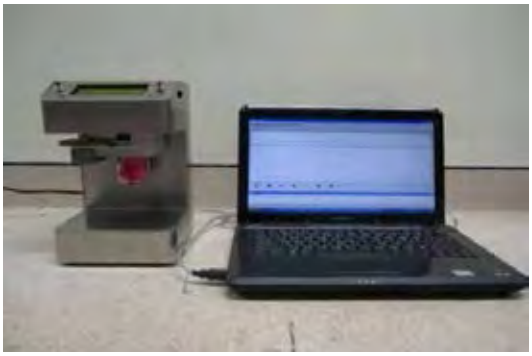
3.3.3 การทดสอบผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จ

การทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การทดสอบด้านการดูดกลิ่นตัวของผ้า การต้านแบคทีเรียของผ้า การต้านรังสียูวีของผ้า การดูดซึมน้ำของผ้า ความคงทนต่อการซักของผ้า สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า การทดสอบความแข็งแรงของผ้า ดัชนีความขาวของผ้า และความเพี้ยนของสีผ้าย้อม

3.3.3.1 การทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้า

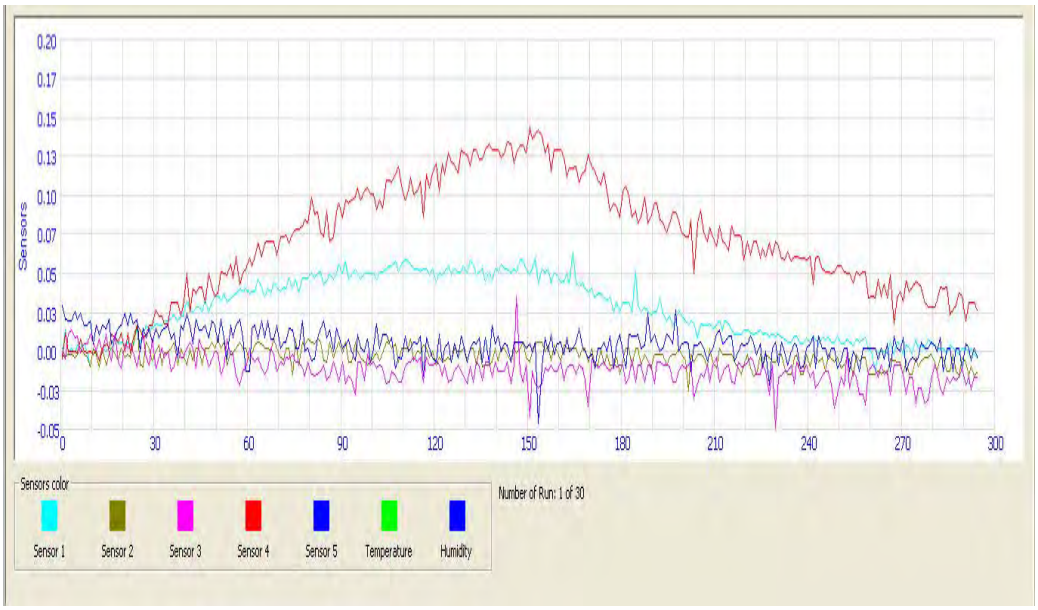
งานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพด้านการดูดกลิ่นตัวของผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (รูปที่ 3.7) หลักการทำงานจะอาศัยการเลียนแบบระบบประสาทของมนุษย์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนเก็บฐานข้อมูลกลิ่นที่วัดได้จากเครื่องโดยใช้เซ็นเซอร์อะเรย์กลุ่มโลหะออกไซด์ (TGS2602 ชนิด Air Contaminant, TGS2610 ชนิด Liquefied Petroleum Gas, TGS825 ชนิด H_2S, TGS826 ชนิด Ammonia และ TGS822 ชนิด Alcohol) โปรแกรมจะบันทึกไว้เป็นฐานข้อมูลและนำไปสู่การวิเคราะห์ ในการบันทึกข้อมูลกลิ่นจะมีการบันทึกกลิ่นอย่างน้อย 30 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่างที่มีกลิ่น (รูปที่ 3.8) ส่วนที่สองคือส่วนที่นำข้อมูลกลิ่นที่บันทึกไว้มาจัดให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์ที่เหมาะสมต่อโปรแกรมวิเคราะห์ (รูปที่ 3.9) และส่วนสุดท้ายคือส่วนวิเคราะห์และประมวลผลโดยใช้หลักการคำนวณทางสถิติที่เรียกว่า Principal Component Analysis (PCA) ซึ่งเป็นการประมวลผลจำแนกลักษณะรูปแบบของกลิ่นที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ซึ่งทำการวัดสารนั้นพร้อมๆ กัน เซ็นเซอร์เหล่านี้ทำงานคล้ายเซลล์ประสาทชนิดต่างๆ ของมนุษย์โดยแปลงสัญญาณการตอบสนองเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อนำมาประมวลผลเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่

ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายกรดไอโซวาเลอริก (iso-valeric acid; IVA) แทนกลิ่นตัวคน (เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของกลิ่นรักแร้มนุษย์ [16]) โดยมีขั้นตอนดังนี้

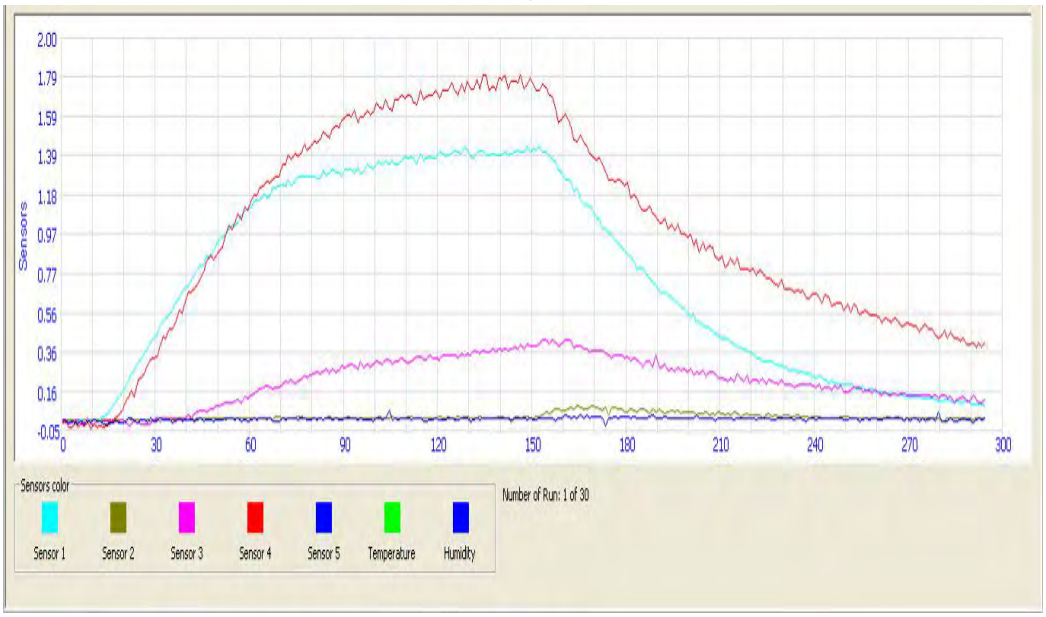


รูปที่ 3.7 เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

(ก)



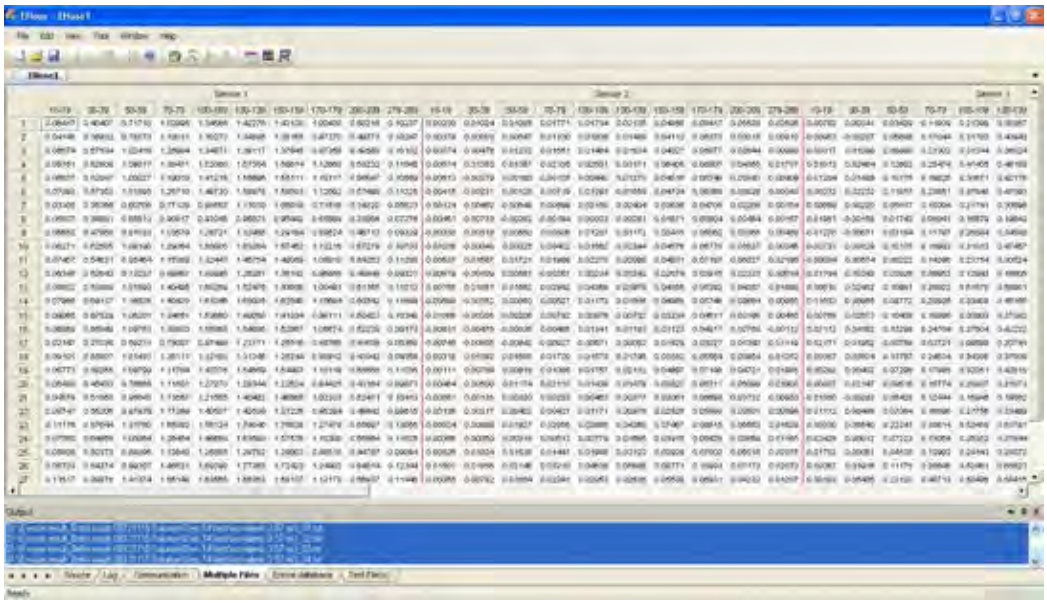
(ข)



รูปที่ 3.8 การอ่านข้อมูลจากหัวเซ็นเซอร์ 5 ชนิด ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

(ก) สัญญาณกลิ่นตัวระดับ 1 (กลิ่นอ่อนมาก) วัดจากสารละลายไอไซวาเลอริก ความเข้มข้น 0.013 มิลลิลิตรต่อลิตร

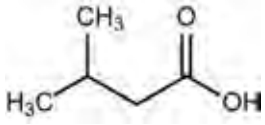
(ข) สัญญาณกลิ่นตัวระดับ 5 (กลิ่นรุนแรงมาก) วัดจากสารละลายไอไซวาเลอริก ความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร



รูปที่ 3.9 ฐานข้อมูลกลิ่นตัวที่จัดอยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์

1) สร้างฐานข้อมูลมาตรฐานของกลิ่นตัวมนุษย์

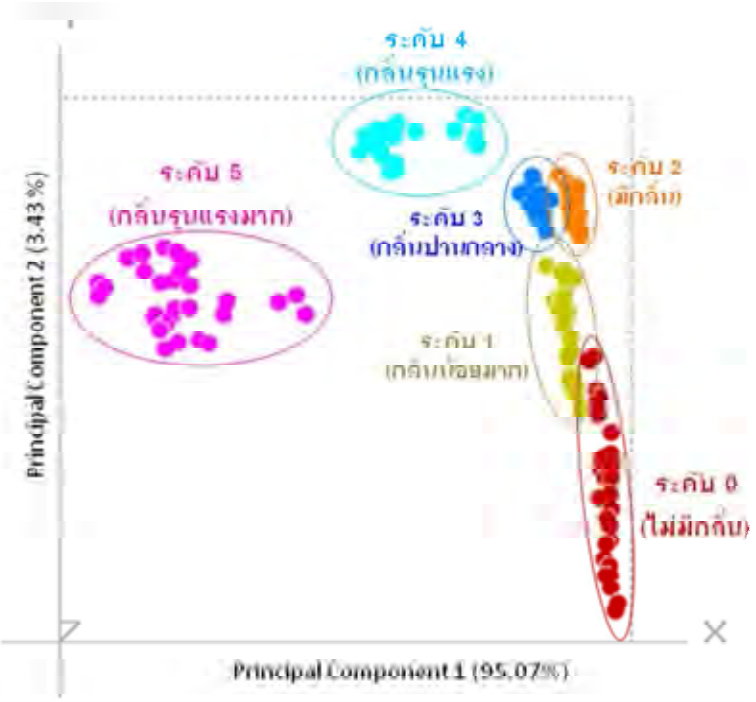
สร้างฐานข้อมูลกลิ่นตัวมนุษย์โดยใช้สารละลายไอโซวาเลอริก (รูปที่ 3.10) ที่มีความเข้มข้น 0, 0.013, 0.053, 0.22, 0.87 และ 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร ซึ่งแต่ละความเข้มข้นของสารละลายจะเป็นตัวแทนกลิ่นตัวคนที่มีระดับความรุนแรงของกลิ่นตั้งแต่ไม่มีกลิ่นจนถึงมีกลิ่นรุนแรงมากตามลำดับ (ตารางที่ 3.2) โดยวัดกลิ่นสารละลายดังกล่าว 30 ครั้งต่อสารละลายหนึ่งความเข้มข้นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจะบันทึกผลเป็นกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับความรุนแรง 0 ถึง 5 โปรแกรมจะบันทึกไว้เป็นฐานข้อมูลและถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์ที่เหมาะสมต่อโปรแกรมวิเคราะห์ จากนั้นเครื่องจะวิเคราะห์และประมวลผลโดยใช้หลักการคำนวณทางสถิติที่เรียกว่า Principal Component Analysis (PCA) หรือ การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคการลดจำนวนตัวแปร โดยสร้างตัวแปรใหม่ (ในที่นี้ใช้ 3 ตัวแปร) ที่มีความผันแปรของตัวแปรเดิมในตัวแปรใหม่ โดยตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบใหม่ที่สร้างขึ้นจะมีความผันแปรของตัวแปรเดิมมากที่สุด และแสดงผลออกมาในลักษณะ PCA score plot ของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวทั้ง 6 ระดับ ตามรูปที่ 3.11 โดยตัวประกอบหลักที่ 1 (PC1) อธิบายความผันแปรของตัวแปรเดิมได้ร้อยละ 95.07 และตัวประกอบหลักที่ 2 (PC2) อธิบายความผันแปรของตัวแปรเดิมได้ร้อยละ 3.43)



รูปที่ 3.10 กรดไอโซวาเลอริก

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไอโซวาเลอริกกับระดับความรุนแรงของกลิ่นตัวที่รับรู้ได้ด้วยจมูกมนุษย์ [16-17]

ระดับ	ความเข้มข้นของสารละลายไอโซวาเลอริก (มิลลิลิตรต่อลิตร)	ระดับความรุนแรงของกลิ่นตัว (Body Odor Level)
0	0	ไม่มีกลิ่น
1	0.013	มีกลิ่นอ่อนมาก (slight)
2	0.053	มีกลิ่น (definite)
3	0.220	มีกลิ่นปานกลาง (moderate)
4	0.870	มีกลิ่นรุนแรง (strong)
5	3.570	มีกลิ่นรุนแรงมาก (very strong)



รูปที่ 3.11 PCA score plot แสดงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ของสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ ที่วัดโดยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

2) **วัดการดูดกลิ่นของตัวอย่าง**

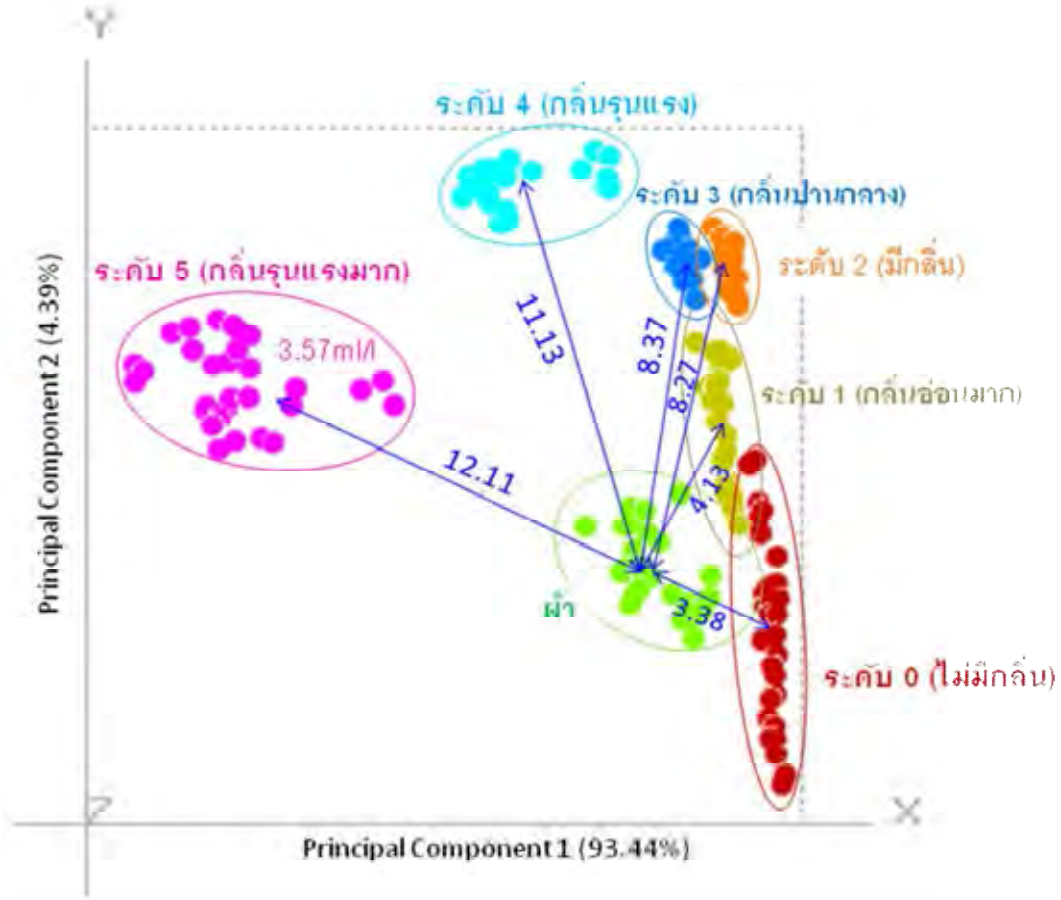
ทดสอบความสามารถในการดูดกลิ่นตัวของตัวอย่างผ้า โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร (แทนกลิ่นตัวระดับรุนแรงมาก ตามตารางที่ 3.2) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงบนผ้าหนัก 3.6 กรัม ที่บรรจุในขวดวัดกลิ่น แล้วตรวจวัดกลิ่นบนผ้าจำนวน 30 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างผ้า โดยแต่ละขวดตัวอย่างสามารบันทึกกลิ่นได้ 5 ครั้ง ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ที่อุณหภูมิห้อง หลังหยดสารละลายแล้วไม่เกิน 10 นาที

3) **การวิเคราะห์และประมวลผลของกลุ่มข้อมูลกลิ่น**

เครื่องจะนำกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้าที่วัดได้ (ในข้อ 2) มาคำนวณหาความต่างหรือความห่างจากฐานข้อมูลมาตรฐานของกลิ่นตัว 6 ระดับที่บันทึกไว้แล้ว (ในข้อ 1 และรูปที่ 3.10) ได้เป็นค่าระยะขจัดที่ไม่มีหน่วย ซึ่งเป็นความยาวเชิงเส้นลากจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้าที่วัดได้ถึงค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวแต่ละระดับ (0-5) บนแผนที่กลิ่น PCA score plot แสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่ง PCA score plot ที่แสดงในงานวิจัยนี้เป็นภาพเสมือนเพื่อให้ง่ายต่อการวิจารณ์ผล โดยที่ค่าระยะขจัดที่ต่ำสุดหรือความยาวเชิงเส้นที่ลากจากกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้าไปกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับใดมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่ากลิ่นผ้ามีกลิ่นใกล้เคียงกลิ่นตัวระดับนั้นที่สุด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.11 และตารางที่ 3.3

ตัวอย่างค่าระยะขจัดในรูปที่ 3.12 และตารางที่ 3.3 แสดงค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 3.38 เป็นระยะขจัดระหว่างกลิ่นผ้ากับกลิ่นตัวระดับ 0 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 0 มิลลิลิตร/ลิตร หรือน้ำกลั่นนั่นเอง แสดงว่าผ้ามีกลิ่นใกล้เคียงกับกลิ่นน้ำกลั่นหรือไม่มีกลิ่นตัวเลย จากผลข้างต้นนี้ สรุปได้ว่าผ้าที่นำมาทดสอบกลิ่นไม่มีกลิ่นตัวเลยหรือมีกลิ่นน้อยที่สุดนั่นเอง

โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเพื่อดูดกลิ่นตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรสามารถลดระดับความรุนแรงของกลิ่นตัวบนผ้าได้ เช่น จากงานวิจัยนี้ ควรลดจากที่มีกลิ่นรุนแรงมาก (ระดับ 5) เป็นระดับที่มีกลิ่นเพียงเล็กน้อย (ระดับ 1-2) หรือไม่มีกลิ่นตัวบนผ้าเลย (ระดับ 0)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่าง PCA Score Plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้าถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นผ้า ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 โดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ผ้าทดสอบการดูดกลิ่น	ระยะขจัดจากกลิ่นผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
	ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
ผ้า	3.38	4.13	8.27	8.37	11.13	12.11

IVA = Isovaleric acid

3.3.3.2 การทดสอบการต้านแบคทีเรีย (antibacterial activity) ของผ้า

การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้า กระทำตามมาตรฐาน AATCC 100: 2004 Antibacterial finishing on textile materials ใช้แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 ± 0.1 เซนติเมตร (จำนวนชิ้นทดสอบที่ใช้ต้องเพียงพอสำหรับดูดซับสารละลายที่มีเชื้อแบคทีเรีย (inoculum) ปริมาตร 1.0 ± 0.1 มิลลิลิตร) วางชิ้นทดสอบบนจานเพาะเชื้อ ปิเปตสารละลายเชื้อแบคทีเรียทดสอบปริมาตร 1.0 ± 0.1 มิลลิลิตร ลงบนชิ้นทดสอบให้เชื้อกระจายบนชิ้นทดสอบอย่างทั่วถึง นำชิ้นทดสอบที่ได้นี้ใส่ในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นใส่สารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง (neutralizing solution) 100 ± 1 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วแล้วเขย่าเป็นเวลา 1 นาที แบ่งสารละลายในขวดแก้วทำการเจือจางสารตามความเหมาะสมลงบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ทำการเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อที่เวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

บ่มเพาะเชื้อขวดแก้วที่มีชิ้นทดสอบและสารละลายเชื้อแบคทีเรีย ที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใส่สารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง 100 ± 1 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วแล้วเขย่าเป็นเวลา 1 นาที แบ่งสารละลายในขวดแก้วและเจือจางสารตามความเหมาะสมแล้วเทลงบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ คำนวณค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction) ตามสมการ 3.1 โดยผ้าต้องมีค่าร้อยละของการลดลงของแบคทีเรียเทียบเท่าเกรด 2 หรือสูงกว่า (ตามตารางที่ 3.4)

$$100 (C-A)/C = R \qquad \text{(สมการ 3.1)}$$

โดยที่ R คือ ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

C คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จซึ่งมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

A คือ จำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่นับได้จากชิ้นทดสอบที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารต้านแบคทีเรียซึ่งบ่มเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.4 การแบ่งระดับการต้านแบคทีเรียของสิ่งทอ [21]

ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย	เกรด	ประเภทการต้านแบคทีเรีย
มากกว่าหรือเท่ากับ 99.9	3	ดีเยี่ยม (excellent)
99.0 – 99.9	2	ดี (good)
น้อยกว่า 99.0	1	พอใช้ (fair)

3.3.3.3 การทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้า

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการต้านรังสียูวีบนผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 183: 2004 Transmittance or Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation through Fabrics โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์หรือสเปกโทรเรดิโอมิเตอร์ (Double Beam Scanning UV/Visible Spectrophotometer) โดยตัดผ้าขนาด 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น สำหรับตัวอย่างทดสอบภาวะแห้งก่อนการทดสอบนำผ้าไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ 21±1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±2 เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง และวัดการต้านรังสียูวีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดจำนวน 3 ค่าต่อหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งการวัดครั้งที่สองจะหมุนชิ้นทดสอบให้ทำมุม 45 องศากับครั้งแรก และการวัดครั้งที่สามจะทำมุม 45 องศากับครั้งที่สอง บันทึกผลการวัดทั้งสามครั้ง ได้เป็นค่า average spectral transmittance

สำหรับการทดสอบภาวะเปียกจะนำชิ้นทดสอบแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที ให้มี % wet pick up เท่ากับ 150±5% ของน้ำหนักผ้าและวัดแบบเดียวกับภาวะแห้ง แต่จะใช้แผ่นพลาสติก คลุม viewing port เพื่อป้องกันความชื้นเข้าเครื่องทดสอบ

คำนวณค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) จากค่า average spectral transmittance ของการวัดทั้ง 3 ครั้ง ตามสมการที่ 3.2 ถ้าผ้ามีค่า UPF สูง แสดงว่าผ้ามีความต้านรังสียูวีได้ดี และถ้ามีค่า UPF มากกว่า 40 แสดงว่าผ้าสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีเยี่ยม [4]

$$UPF = \frac{\sum_{280nm}^{400nm} E_\lambda \times S_\lambda \times \Delta\lambda}{\sum_{280nm}^{400nm} E_\lambda \times S_\lambda \times T_\lambda \times \Delta\lambda} \qquad \text{(สมการ 3.2)}$$

โดยที่ E_λ คือ ค่า relative erythemal spectral effectiveness (ภาคผนวก ก)

S_λ คือ ค่า solar spectral irradiance (ภาคผนวก ข)

T_λ คือ ค่า average spectral transmittance of the specimen (ที่วัดได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์)

$\Delta\lambda$ คือ ช่วงความยาวคลื่นที่วัดได้ (นาโนเมตร)

สำหรับการหาค่าร้อยละของรังสียูวีที่ส่องผ่านผ้าสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยรังสียูวี-เอที่ส่องผ่าน (UV-A transmittance) ตามสมการที่ 3.3 และค่าเฉลี่ยรังสียูวี-บีที่ส่องผ่าน (UV-B transmittance) ตามสมการที่ 3.4

$$T(UV-A)_{AV} = \frac{\sum_{315nm}^{400nm} T_\lambda \times \Delta\lambda}{\sum_{315nm}^{400nm} \Delta\lambda} \qquad \text{(สมการ 3.3)}$$

$$T(UV-B)_{AV} = \frac{\sum_{280nm}^{315nm} T_\lambda \times \Delta\lambda}{\sum_{280nm}^{315nm} \Delta\lambda} \qquad \text{(สมการ 3.4)}$$

โดยที่ $T(UV\text{-}A)_{AV}$ คือค่าเฉลี่ยรังสียูวี-เอที่ส่องผ่าน

$T(UV\text{-}B)_{AV}$ คือค่าเฉลี่ยรังสียูวี-บีที่ส่องผ่าน

และการหาค่าร้อยละการปกป้องรังสียูวีของผ้าสามารถคำนวณได้จาก ร้อยละการปกป้องรังสียูวี-เอ (UV-A blocking) และรังสียูวี-บี (UV-B blocking) ตามสมการที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

$$\text{UV-A blocking (\%)} = 100\% - T(UV\text{-}A) \qquad \text{(สมการ 3.5)}$$

$$\text{UV-B blocking (\%)} = 100\% - T(UV\text{-}B) \qquad \text{(สมการ 3.6)}$$

โดยที่ ค่า T(UV-A) และค่า T(UV-B) มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.3.3.4 การทดสอบความคงทนของสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าต่อการซัก

การทดสอบนี้เพื่อวัดความคงทนต่อการซักของผ้าตกแต่งสำเร็จเมื่อผ่านการซักซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยงานวิจัยนี้ทำการซักตามมาตรฐาน ISO 105-C06: 2010 Textiles -- Tests for colour fastness -- Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering วิธี B1M ด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก Gyrowash ตามรูปที่ 3.13 (ซักด้วยสารซักฟอกมาตรฐานที่ 50°C, 45 นาที, ใช้ลูกเหล็กขัดถู 50 ลูก) โดยซัก 1 รอบเทียบเท่าการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้า (เหมือนในรายงานฉบับแรก)

และวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 105-C10: 2006 Textiles -- Tests for colour fastness -- Part C10: Colour fastness to washing with soap or soap and soda วิธี A1 (ซักด้วยสารซักฟอกมาตรฐานที่ 40°C, 30 นาที ไม่ใช้ลูกเหล็ก) ซึ่งเทียบระดับความรุนแรงเท่าการซักด้วยมือ โดยสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าควรทนการซักได้ไม่ต่ำกว่า 20 รอบการซัก

ผ้าที่ผ่านการซักจะถูกนำไปทดสอบสมบัติด้านการต้านแบคทีเรีย และการดูดกลิ่นตัว เพื่อศึกษาความคงทนของสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าต่อการซัก โดยถ้าพบว่า ผ้าที่ผ่านการซักแล้วยังคงมีสมบัติการต้านแบคทีเรีย และสามารถดูดกลิ่นตัวได้ แสดงว่าสารตกแต่งสำเร็จบนผ้ามีความคงทนต่อการซัก ถ้าคงทนต่อการซักได้มากรอบก็แสดงว่าสารบนผ้ามีความคงทนต่อการซักมาก

รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความคงทนของสารต่อการซัก Gyrowash

3.3.3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า

การทดสอบนี้เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าภายหลังการตกแต่งสำเร็จ ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 79: 2000 Absorbency of Bleached Textiles โดยหยดน้ำลงบนผ้าแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมเข้าไปในผ้า และให้หยดหลายๆ ตำแหน่งของผ้าทั่วผืนผ้า ถ้าผ้าซึมน้ำในเวลา 1-3 วินาทีหรือซึมทันที แสดงว่าผ้าสามารถดูดซึมน้ำได้ดีมาก

3.3.3.6 การทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้า

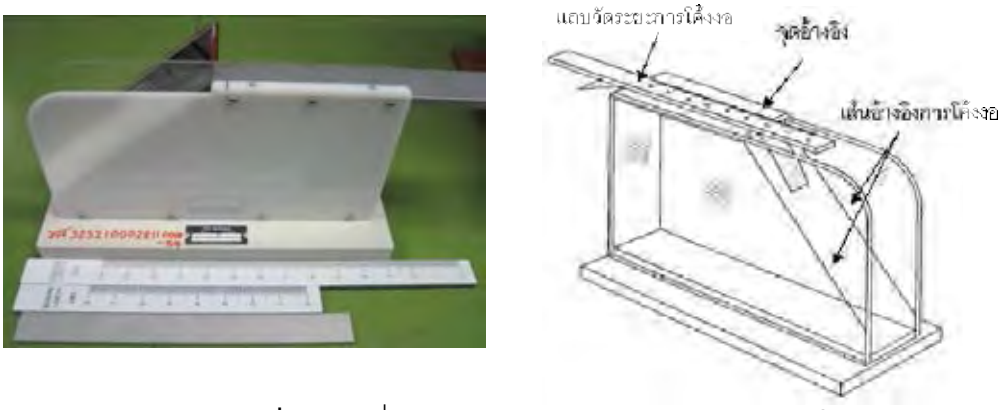
การทดสอบนี้เพื่อวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ เทียบกับผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จ ตามมาตรฐาน BS 3356:1990 Method for the determination of bending length and flexural rigidity of fabrics โดยใช้เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (flexural rigidity) ของผ้า (รูปที่ 3.14) ตัดชิ้นผ้าทดสอบทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง ขนาด 200 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร วางผ้าลงบนแท่นวางตัวอย่าง โดยปลายผ้าพอดีกับจุดอ้างอิง ทับผ้าด้วยแถบวัดระยะการโค้งงอ แล้วเลื่อนแถบวัดระยะไปพร้อมๆ กับผ้าด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อนาที จนขอบผ้าเลยเส้นอ้างอิงการโค้งงอ อ่านค่าความยาวของผ้าที่โค้งงอ หรือ bending length ตรงจุดอ้างอิง ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้งแล้วเฉลี่ยค่าความยาวโค้งงอ นำค่าความยาวโค้งงอที่ได้คำนวณหาค่าแข็งตึงดังโค้งจากสมการ 3.7 ถ้าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้ามีค่าสูงแสดงว่าผ้ามีความแข็งกระด้างมาก

$$G = 0.1\,MC^3 \qquad \text{(สมการ 3.7)}$$

โดยที่ G คือ สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)

M คือ น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัม/ตารางเมตร)

C คือ ความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า SDL Atlas

3.3.3.7 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า

เพื่อทดสอบความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (รูปที่ 3.15) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5035 Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method) ตัดชิ้นผ้าทดสอบทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง แนวละ 8-10 ชิ้น ขนาด 150 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายระยะความยาวเริ่มต้น 75 มิลลิเมตรบนผ้า ใช้ตัวจับยึดที่ขอบความยาวเริ่มต้นด้านบนและด้านล่างของชิ้นทดสอบ ใช้อัตราเร็วในการดึง 300 มิลลิเมตรต่อนาที และทดสอบซ้ำ 8-10 ครั้ง โดยซอฟต์แวร์ของเครื่องทดสอบแรงดึงจะคำนวณ ค่าแรงดึงที่จุดขาดและ ระยะการยืดตัวที่จุดขาด (L_1-L_0) และนำมาคำนวณค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดจากสมการ 3.8

$$\% \text{ elongation at break} = [(L_1 - L_0)/L_0] \times 100 \qquad \text{(สมการ 3.8)}$$

โดยที่ % elongation at break คือ ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

L_1 คือ ระยะที่จุดขาด (มิลลิเมตร)

L_0 คือ ระยะเริ่มต้นหรือระยะดึง (มิลลิเมตร)

รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบแรงดึง Lloyd

3.3.3.8 การวัดดัชนีความขาวของผ้า

การทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบความขาวของผ้าไม่ย้อมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเปรียบเทียบกับผ้าไม่ย้อมก่อนการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000) (รูปที่ 3.16) โดยภาวะที่ใช้ในการวัดสีเป็นการวัดในโหมดที่ไม่รวมความมันเงา (specular exclude, SPE) แต่รวมแสงยูวี (UV include) เลือกใช้ Illuminant Daylight 6500 K (D65) และ 10° Standard observer ผ้าแต่ละผืนจะถูกวัดสี 3 ตำแหน่งแล้วนำมาเฉลี่ยเป็นดัชนีความขาว (whiteness index CIE) โดยซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดสีจะคำนวณค่าเฉลี่ยของดัชนีความขาว ดังสมการ 3.9

$$W = Y + 800(0.3138 - x) + 1700(0.3310 - y) \qquad \text{(สมการ 3.9)}$$

โดยที่ W คือ ดัชนีความขาว (CIE whiteness index)
Y คือ CIE Tristimulus value
x, y คือ chromaticity coordinate

รูปที่ 3.16 เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000)

3.3.3.9 การวัดความเพี้ยนของสีผ้าย้อม

การทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบสีของผ้าย้อมก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยพิจารณาค่า L*, a*, b* และ ΔE ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000, รูปที่ 3.16)

การวัดค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของสี

เพื่อเปรียบเทียบความสว่าง (L*) ของผ้าย้อมก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer วัดหาค่าความสว่างของผ้า แต่ละตัวอย่างวัดซ้ำ 3 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดยเครื่องวัดสี ถ้าค่า L* ของผ้าย้อมหลังการตกแต่งสำเร็จมีค่ามากกว่าของผ้าย้อมก่อนการตกแต่งสำเร็จแสดงว่าผ้าย้อมหลังการตกแต่งสำเร็จมีสีสว่างกว่าหรือดูสีอ่อนกว่าผ้าย้อมก่อนการตกแต่งสำเร็จ นั่นคือ การตกแต่งสำเร็จทำให้ผ้าย้อมดูสีอ่อนลงกว่าเดิม การคำนวณค่าความสว่างของผ้าแสดงดังสมการ 3.10

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \qquad \text{(สมการ 3.10)}$$

เมื่อ Y คือ ค่า CIE ไตรสติมูลัส (CIE Tristimulus Value) โดย Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ

Y_n คือ ค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus Value) ของค่าของสีขาวอ้างอิง (reference white) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) หนึ่ง เช่น D65 (Y_n = 100 เสมอ ส่วน Y/Y_n จะมีค่ามากกว่า 0.01)

การวัดค่า a* และ b* ของสี

การทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบค่า a* และ b* ของผ้าย้อมก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer ในการหาค่า a* และ b* ของผ้า แต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 3 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดยเครื่องวัดสี โดยค่า a* เป็นบวกแสดงว่าผ้าออกโทนสีแดง ถ้าเป็นลบออกโทนสีเขียว ส่วนค่า b* เป็นบวกออกโทนสีเหลือง เป็นลบออกโทนสีน้ำเงิน โดย a* และ b* มีค่าบวกหรือลบมากแสดงว่าสีออกโทนนั้นมาก การคำนวณค่า a* และ b* ของผ้าแสดงดังสมการ 3.11 และ 3.12

$$a^* = 500\left[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}\right] \qquad \text{(สมการ 3.11)}$$

$$b^* = 200\left[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}\right] \qquad \text{(สมการ 3.12)}$$

เมื่อ ค่า X, Y และ Z คือ ค่า CIE ไตรสติมูลัส โดย X จะบอกความเป็นสีแดงของวัตถุ Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ และ Z จะบอกความเป็นสีน้ำเงินของวัตถุ

ค่า X_n, Y_n และ Z_n คือ ค่าไตรสติมูลัส ของค่าสีขาวอ้างอิง (Reference white) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง เช่น D65 (Y_n = 100 เสมอ ส่วน X/X_n, Y/Y_n และ Z/Z_n จะมีค่ามากกว่า 0.01)

การวัดค่าความแตกต่างของสี (Color difference, ΔE)

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีผ้าย้อม (ΔE) ก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยนำผ้ามาวัดค่าความแตกต่างของสีโดยใช้เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer แต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 3 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดยเครื่องวัดสี ถ้าค่าความแตกต่างของสีผ้าระหว่างผ้าย้อมหลังตกแต่งสำเร็จและผ้าย้อมก่อนการตกแต่งสำเร็จมีค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไปถือว่าผ้าเหล่านี้มีสีแตกต่างกันในระดับที่ตามองเห็นได้ชัดเจน นั่นคือ การตกแต่งสำเร็จผ้าย้อมทำให้ผ้ามีสีเปลี่ยนไปจากเดิมมากจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตา การกำหนดความแตกต่างของสีจะใช้ ΔE แสดงดังสมการ 3.13

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_1^* - L_2^*\right)^2 + \left(a_1^* - a_2^*\right)^2 + \left(b_1^* - b_2^*\right)^2} \qquad \text{(สมการ 3.13)}$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายทอ และผ้าฝ้ายถักเฉพาะตัวอย่างที่แสดงข้อมูลไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งการตกแต่งสำเร็จออกเป็น 3 ส่วน คือ การตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเพื่อให้ผ้าดูดกลิ่นตัว การตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อให้ผ้าต้านแบคทีเรียและรังสียูวี และการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อให้ผ้าดูดกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ จากนั้นนำผ้าตกแต่งสำเร็จมาทดสอบสมบัติการดูดกลิ่นตัว การต้านแบคทีเรีย การต้านรังสียูวี และสมบัติทางกายภาพอื่นๆ โดยแสดงผล ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินทั้งที่มีและไม่มีสารช่วยผนึกติดถูกนำมาทดสอบสมบัติการดูดกลิ่นตัว การดูดซึมน้ำ ความแข็งกระด้าง ความแข็งแรง ความขาว และความเพี้ยนของสีผ้า แสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้าย

การทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้า กระทำการทดสอบกับผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถัก ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร (กลิ่นตัวระดับ 5) ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ได้ผลเป็นค่าระยะขจัด (ดูการทดสอบการดูดกลิ่นตัวในบทที่ 3) ค่าระยะขจัดที่ต่ำสุดของผ้าแต่ละชนิดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับใด แสดงว่าผ้ามีแนวโน้มใกล้เคียงกลิ่นระดับนั้น เช่น ถ้าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าชิ้นที่ 1 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 3 แสดงว่าผ้าชิ้นที่ 1 มีกลิ่นตัวปานกลาง และถ้าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าชิ้นที่ 2 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 1 แสดงว่า ผ้าชิ้นที่ 2 มีกลิ่นตัวอ่อนมาก นั่นคือ ผ้าชิ้นที่ 2 มีกลิ่นตัวน้อยมาก และมีกลิ่นตัวน้อยกว่าผ้าชิ้นที่ 1

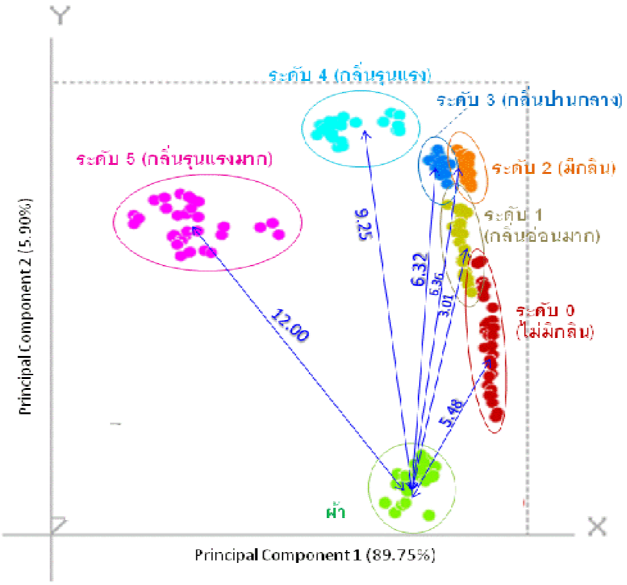
4.1.1.1 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายทอ

ผ้าทอ 4 ชุด ได้แก่ ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ชุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

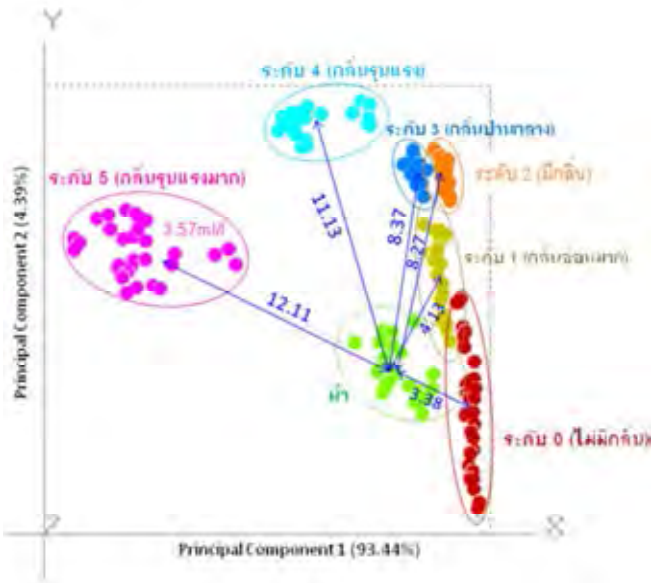
4.1.1.1.1 ผ้าฟอก

1) ผ้าฟอกตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด

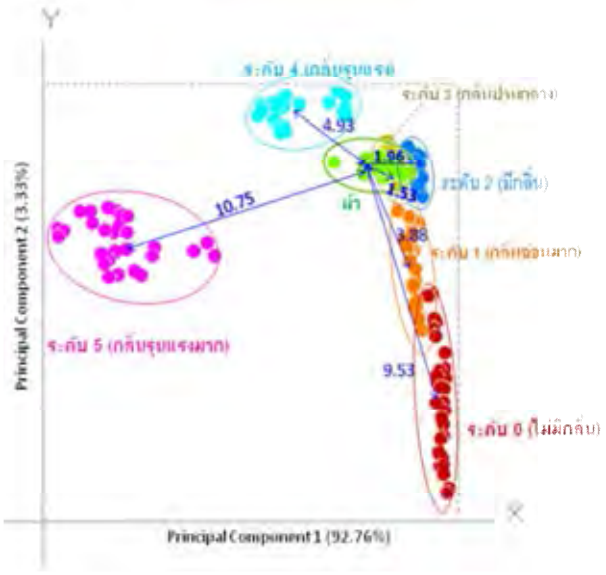
ผ้าฟอกที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัด และเทคนิคการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาค่าระยะขจัดหรือระยะห่างระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ตารางที่ 3.2) แสดงผลตามภาพที่ 4.1 (PCA score plot ที่แสดงนี้เป็นภาพเสมือนเพื่อให้ง่ายต่อการวิจารณ์ผล) และตารางที่ 4.1



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

ภาพที่ 4.1 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

ตารางที่ 4.1 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฝ้ายฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จ ไซโคลเดกซ์ทรินถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	5.48	3.01	6.36	6.32	9.25	12.00
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	3.38	4.13	8.27	8.37	11.13	12.11
	การแช่	9.53	3.88	1.96	1.53	4.93	10.75

หมายเหตุ IVA = สารละลายกรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid)

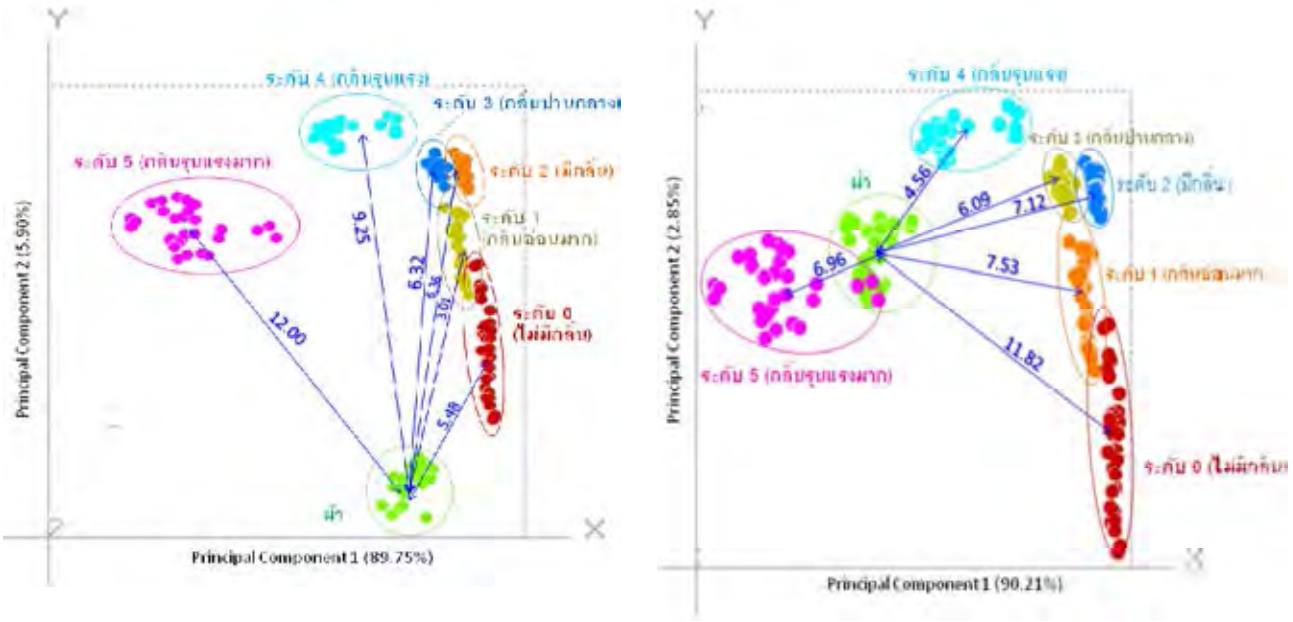
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ซึ่งแสดงเป็นระยะขจัดในภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พบว่าผ้าฟอกไม่ตกแต่งสำเร็จมีค่าระยะขจัดน้อยที่สุด (ค่า 3.01 หรือค่าที่ขีดเส้นใต้) ที่กลิ่นตัวระดับ 1 หมายถึง ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จมีกลิ่นตัวอ่อนมาก หรือผ้าสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารตกค้างบนผ้าหลังฟอกอาจทำลายกรดไอโซวาเลอริก (กลิ่นตัวเทียม) บนผ้าได้ จึงทำให้ผ้ามีกลิ่นตัวน้อยมาก

สำหรับระยะขจัดของผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการจุ่มอัดโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด มีระยะขจัดต่ำสุด (ค่า 3.38) ที่กลิ่นตัวระดับ 0 หมายถึง ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จนี้ไม่มีกลิ่นตัวบนผ้าเลย ส่วนผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการแช่โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด มีระยะขจัดต่ำสุด (ค่า 1.53) ที่กลิ่นตัวระดับ 3 หมายถึงผ้าชนิดนี้มีกลิ่นตัวระดับปานกลาง หรือมีกลิ่นตัวแรงกว่าผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัด ดังนั้นเทคนิคการตกแต่งสำเร็จแบบจุ่มอัดน่าจะเหมาะสำหรับใช้ตกแต่งสำเร็จผ้าฟอกต่อไป

2) ผ้าฟอกตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติด

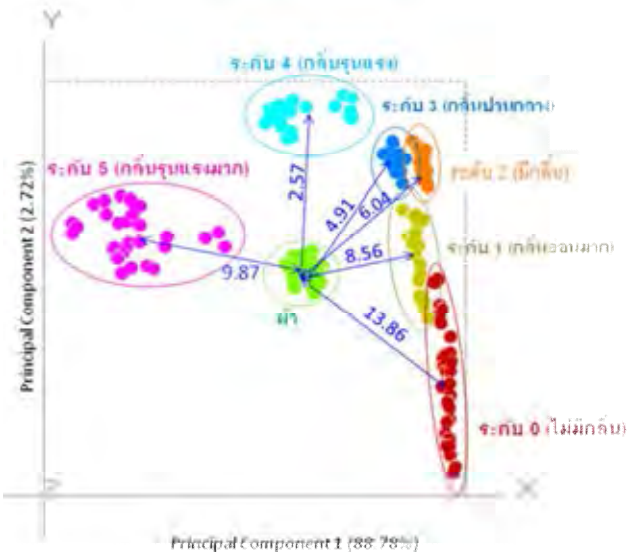
ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการจุ่มอัด (ที่เลือกเทคนิคนี้เนื่องจากผ้าตกแต่งสำเร็จมีประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวดีกว่าเทคนิคการแช่) โดยมีสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C10 วิธี B1M (การซัก 1

รอบ เท่ากับการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาค่าระยะขจัดของผ้า แสดงผลตามภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.2

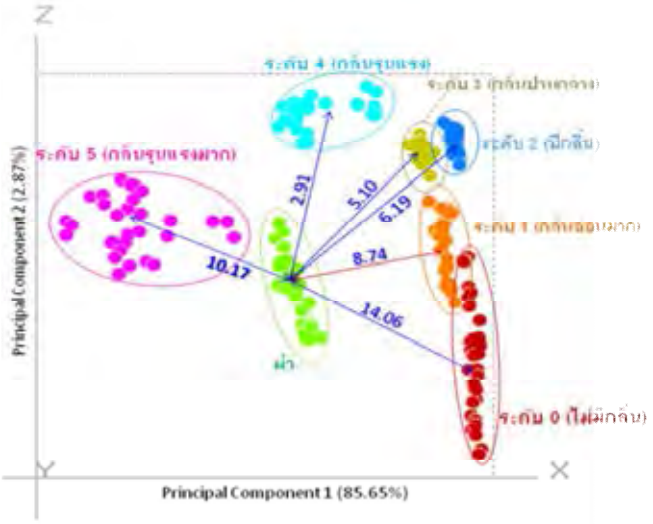


(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ไม่ตกแต่งสำเร็จ ผ่านการซัก 1 รอบ

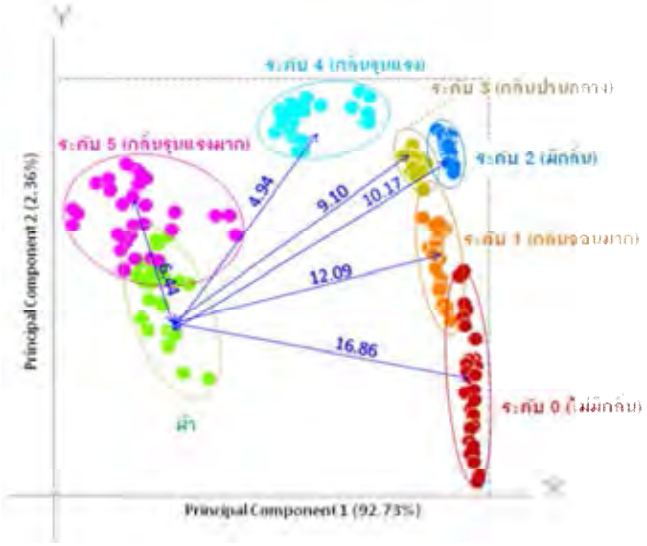
ภาพที่ 4.2 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ ซัก 1 รอบ



(ค) เคลือบสารช่วยผนึกติด



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.2 (ต่อ) (ค) ผ้าฟอกที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัด โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (จ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัด โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ

ตารางที่ 4.2 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	5.48	3.01	6.36	6.32	9.25	12.00
2. ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ซัก 1 รอบ)	-	11.82	7.53	7.12	6.09	4.56	6.96
3. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	13.86	8.56	6.04	4.91	2.57	9.87
4. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	14.06	8.74	6.19	5.10	2.91	10.17
5. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การจุ่มอัด	16.86	12.09	10.17	9.10	4.94	6.44

จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวตามภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 พบว่า ก่อนการตกแต่งสำเร็จ ผ้าฟอกสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีมาก คือมีระยะขจัดสั้นสุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 1 (กลิ่นอ่อนมาก) อาจเป็นเพราะสารตกค้างบนผ้าหลังฟอกทำลายกรดไอโซวาเลอริกที่ส่งกลิ่นตัว แต่เมื่อนำผ้าฟอกไปซัก 1 รอบ สารตกค้างบนผ้าหลังฟอกอาจถูกกำจัดออกไปจากผ้า จึงทำให้ผ้าฟอกดูดกลิ่นตัวน้อยลง (ระยะขจัดสั้นสุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4) หรือมีกลิ่นตัวรุนแรง ผ้าฝ้ายฟอกตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน โดยมีสารช่วยผนึกติดทั้งก่อนและหลังการซักมีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4 (ค่าระยะขจัดต่ำสุดคือ 2.91 และ 4.94 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรง หรือ ผ้าสามารถดูดกลิ่นตัวได้น้อยมาก สำหรับผ้าฝ้ายฟอกที่เคลือบด้วยสารผนึกติดอย่างเดียวก็ให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกัน คือมีกลิ่นตัวรุนแรง (ค่าระยะขจัดต่ำสุดคือ 2.57 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4)

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่าผ้าฝ้ายฟอกที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จโดยมีสารช่วยผนึกติดก่อนการซักผ้าดูดกลิ่นตัวได้ต่ำมาก อาจเนื่องจากฟิล์มของสารช่วยผนึกติดเคลือบปิดผิวผ้าและไซโคลเดกซ์ทริน ทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินไม่สามารถดูดกลิ่นตัวได้ ผ้าจึงดูดกลิ่นตัวไม่ดี และเมื่อผ่าน

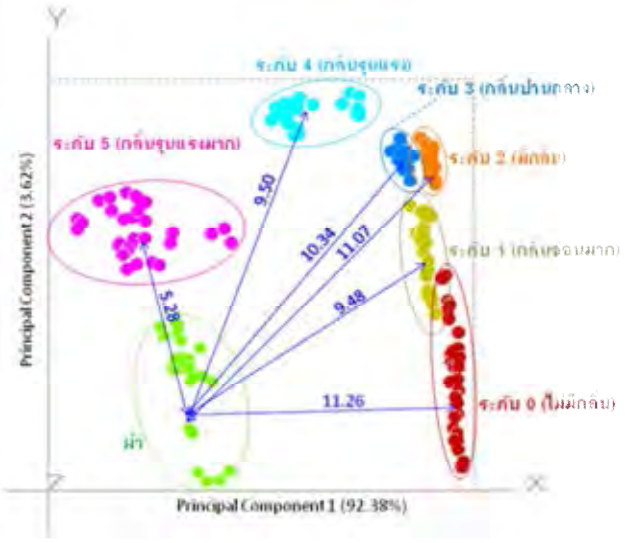
การซัก 5 รอบ ผ้าก็ยังคงแสดงการดูดกลิ่นไม่ดีอีก ซึ่งอาจเป็นเพราะสารช่วยผนึกติดและไซโคลเดกซ์ทรินไม่คงทนต่อการซักจึงหลุดออกมาเมื่อซัก

อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าในตารางที่ 4.2 (ค่าที่ตีเส้น) จะพบว่าผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดก่อนซัก ผ้ามีค่าระยะขจัดต่ำสุด (2.91) น้อยกว่าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จที่ซัก 1 รอบ (4.56) ซึ่งหมายถึงผ้าตกแต่งสำเร็จดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ แต่ดูดกลิ่นตัวแย่กว่าผ้าที่มีสารช่วยผนึกติด (ระยะขจัดต่ำสุด 2.57) อยู่เล็กน้อย เมื่อซักผ้าตกแต่งสำเร็จ 5 รอบ (ระยะขจัดต่ำสุด 4.94) สารตกแต่งสำเร็จบนผ้าอาจไม่คงทนต่อการซักและหลุดออกจากผ้า จึงทำให้ผ้าดูดกลิ่นตัวน้อยลงจากผ้าตกแต่งสำเร็จก่อนซัก

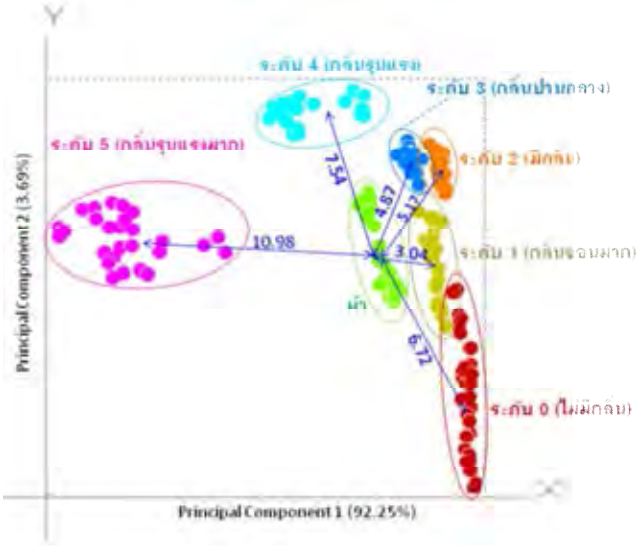
4.1.1.1.2 ผ้าฟอกและชุบมัน

1) ผ้าฟอก/ชุบมันตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด

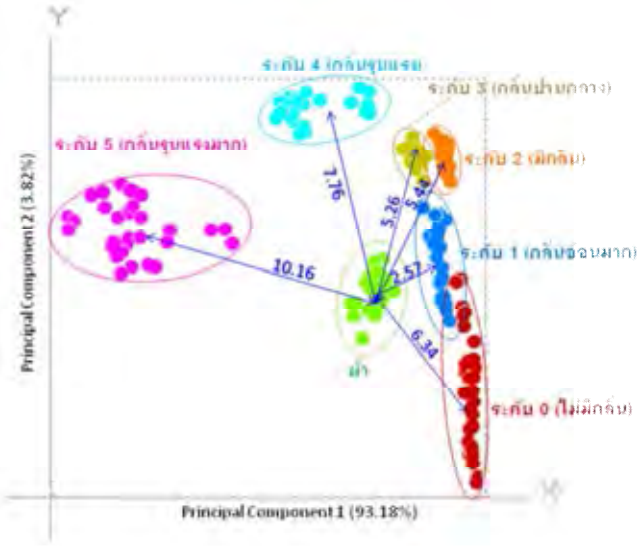
ผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้าแล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาค่าระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ตามตารางที่ 3.2) แสดงผลตามภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.3



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

ภาพที่ 4.3 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ซุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ซุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ซุบมันที่ตกแต่งสำเร็จไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ซุบมันที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

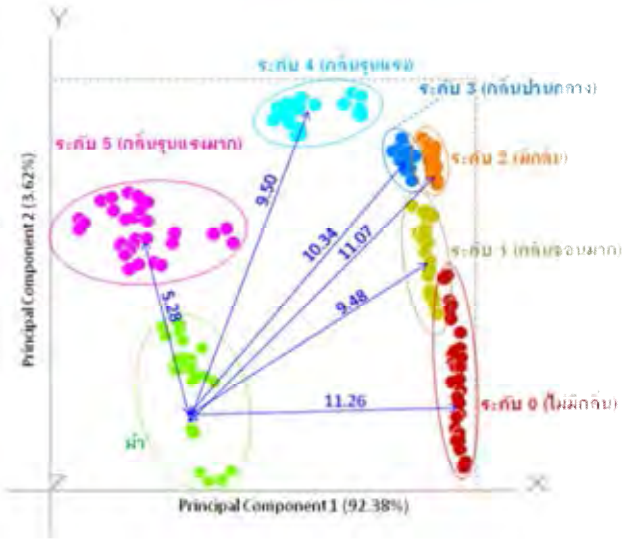
ตารางที่ 4.3 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ชุบมัน	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.26	9.48	11.07	10.34	9.50	<u>5.28</u>
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	6.72	<u>3.04</u>	5.17	4.87	7.54	10.98
	การแช่	6.34	<u>2.57</u>	5.44	5.26	7.76	10.16

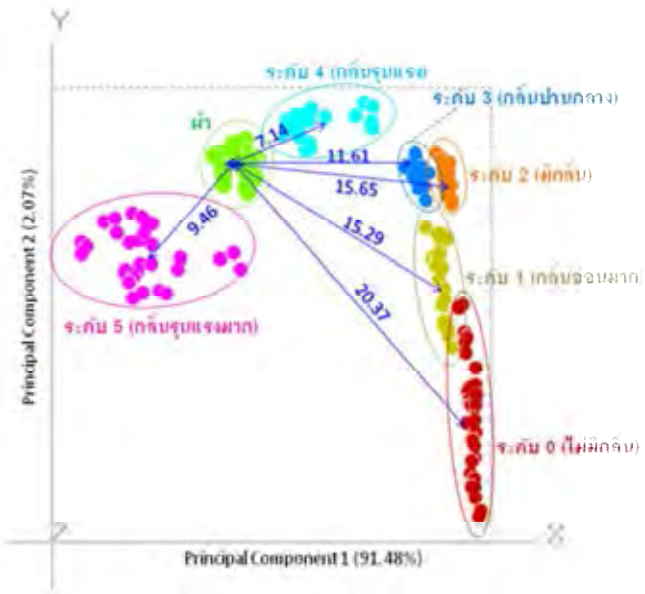
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ตามภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าฟอก/ชุบมันด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ ผ้ามีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 1 (ระยะขจัดต่ำสุด 3.04 และ 2.57 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 1) คือผ้ามีกลิ่นตัวอ่อนมาก หรือหมายถึงผ้าดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จที่มีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 5 (ระยะขจัดต่ำสุด 5.28 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 5) คือ มีกลิ่นตัวรุนแรงมาก ดังนั้น การตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าฟอก/ชุบมันโดยไม่มีสารช่วยผนึกติดทั้งด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ ต่างทำให้ผ้าดูดกลิ่นได้ดีขึ้นมากจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ

2) ผ้าฟอก/ชุบมันตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติด

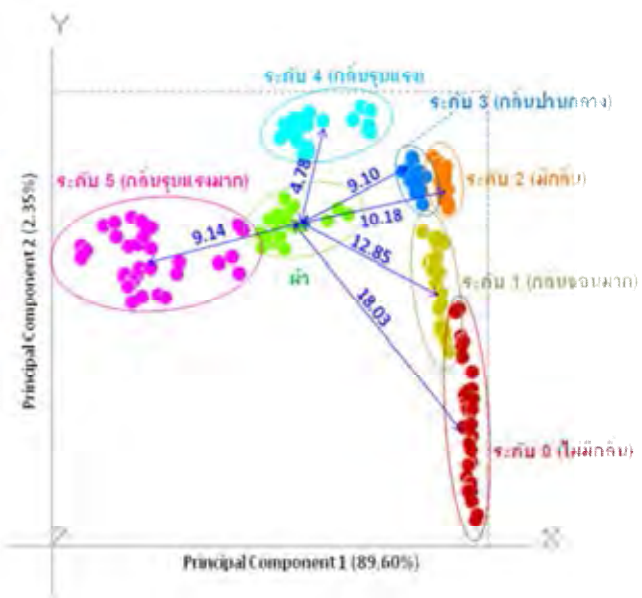
ผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการจุ่มอัด (ที่เลือกเทคนิคนี้เนื่องจากใช้เวลาการตกแต่งสำเร็จน้อยกว่าเทคนิคการแช่ แต่ให้ผ้าที่มีประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวที่ดีใกล้เคียงกัน) โดยมีสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (เท่ากับการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดบนผ้า แสดงผลตามภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.4



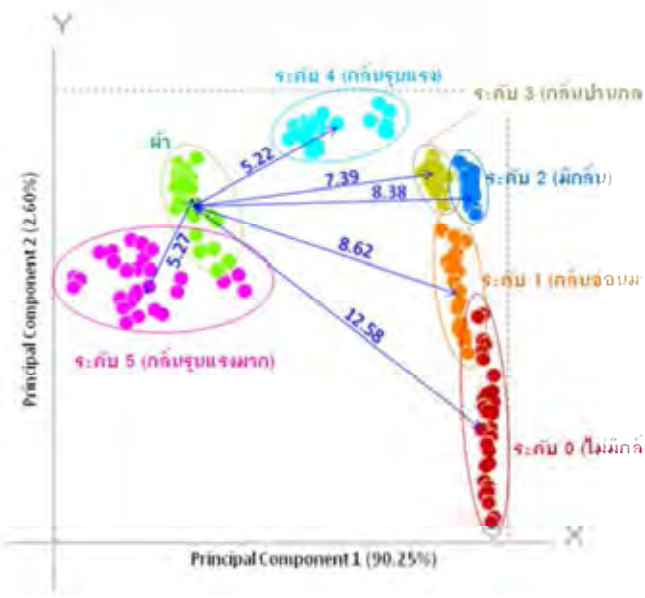
(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) เคลือบสารช่วยผนึกติด



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.4 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ซุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ซุบมันไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ซุบมันที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ซุบมันที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัดโดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ซุบมันที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัดโดยมีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ

ตารางที่ 4.4 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ชุบมัน	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.26	9.48	11.07	10.34	9.50	<u>5.28</u>
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	20.37	15.29	15.65	11.61	<u>7.14</u>	9.46
3. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	18.03	12.85	10.18	9.10	<u>4.78</u>	9.14
4. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การจุ่มอัด	12.58	8.62	8.38	7.39	<u>5.22</u>	5.27

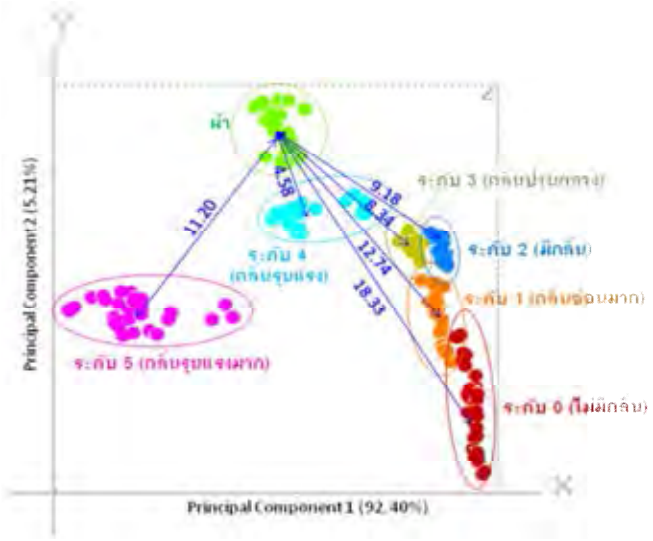
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและตกแต่งสำเร็จโดยมีสารช่วยผนึกติด ตามภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 พบว่า ก่อนการตกแต่งสำเร็จผ้าฟอก/ชุบมันมีระยะขจัดต่ำสุดใกล้กลิ่นตัวระดับ 5 (ระยะขจัด 5.28) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรงมากหรือผ้าไม่สามารถดูดกลิ่นตัวได้เลยก่อนการตกแต่งสำเร็จ เมื่อผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดแล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ทั้งก่อนและหลังการซักผ้าสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีขึ้นเล็กน้อยจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ คือมีระยะขจัดต่ำสุดใกล้เคียงกลิ่นตัวระดับ 4 (ค่า 4.78 และ 5.22 ตามลำดับ) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรง ส่วนผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดเพียงอย่างเดียวก็ให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกัน คือสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีขึ้นเล็กน้อยจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ เมื่อเทียบค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าในตารางที่ 4.4 (ค่าที่ตีเส้น) จะพบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติดก่อนการซักมีค่าระยะขจัดต่ำสุดเท่ากับ 4.78 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าอื่นๆ นั่นคือ ผ้านี้สามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีที่สุด และเมื่อซักผ้า 5 รอบ ค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้ามีค่าเท่ากับ 5.22 ซึ่งก็ยังต่ำกว่าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ (5.28) ผ้าตกแต่งสำเร็จหลังซักก็ยังสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จอยู่เล็กน้อย

ทั้งนี้ พบสรุปได้ว่า ผ้าฝ้ายฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติดก่อนการซัก ผ้าสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีขึ้น (กลิ่นตัวระดับ 4) เล็กน้อยจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ (กลิ่นตัวระดับ 5) หลังการซัก 5 รอบ ผ้าก็ยังคงดูดกลิ่นตัวได้บ้าง (กลิ่นตัวระดับ 4) และคาดว่าถ้าซักผ้าตกแต่งสำเร็จนี้เกิน 5 รอบ ประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวของผ้าอาจลดลงจนไม่สามารถดูดกลิ่นตัวได้ (ระยะขจัดต่ำสุดอาจมีค่าอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 5)

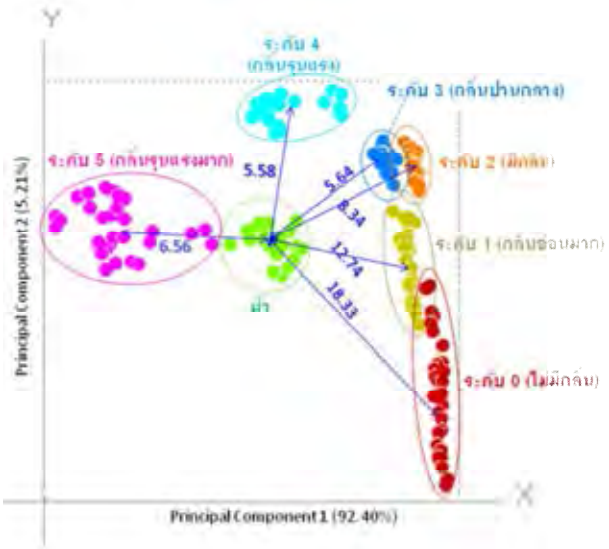
4.1.1.1.3 ผ้าฟอกและย้อม

1) ผ้าฟอก/ย้อมตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด

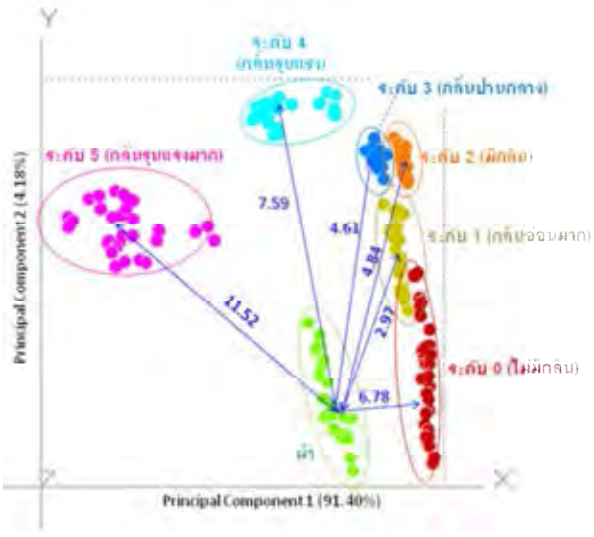
ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ตามตารางที่ 3.2) แสดงผลตามภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.5



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

ภาพที่ 4.5 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

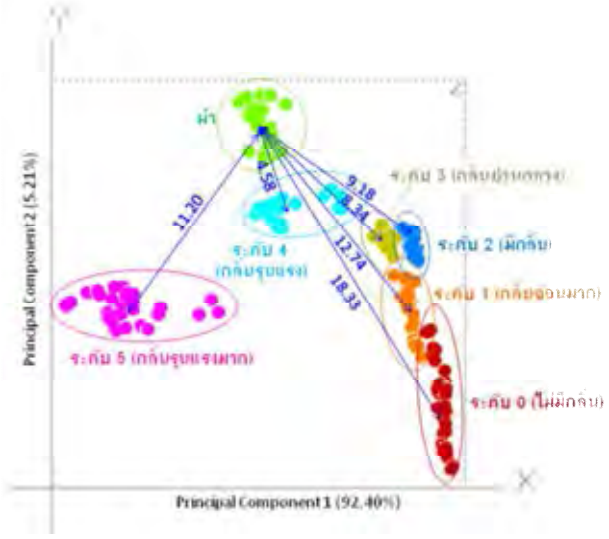
ตารางที่ 4.5 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ย้อม	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	18.33	12.74	9.18	8.34	4.58	11.20
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	9.78	5.75	6.34	5.64	5.58	6.56
	การแช่	6.78	2.97	4.84	4.61	7.59	11.52

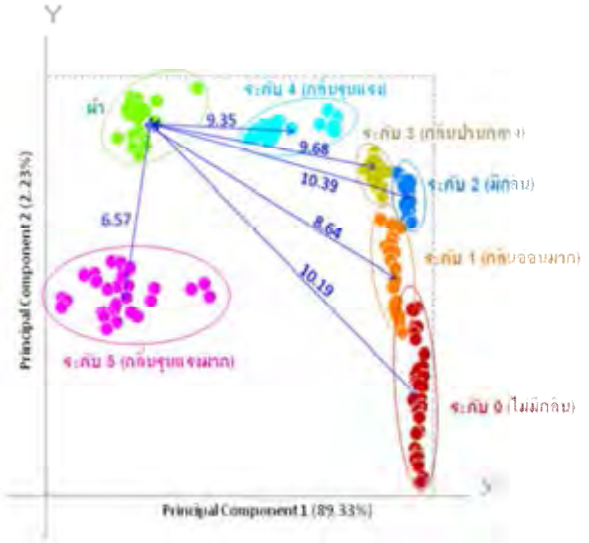
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ตามภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.5 พบว่าผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จมีระยะขจัดต่ำสุดใกล้กับกลิ่นตัวระดับ 4 (ระยะขจัด 4.58) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรงหรือผ้ามีความสามารถในการดูดกลิ่นตัวต่ำ และเมื่อนำผ้ามาตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ พบว่าผ้ามีแนวโน้มสามารถดูดกลิ่นได้ดีขึ้นมาก โดยผ้ามีระยะขจัดต่ำสุดใกล้กับกลิ่นตัวระดับ 1 (ระยะขจัด 2.97) คือมีกลิ่นตัวอ่อนมาก ซึ่งหมายถึงผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติดด้วยเทคนิคการแช่มีประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวดีกว่าผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัดที่มีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4 (ระยะขจัดต่ำสุด 5.58) และดีกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จที่มีกลิ่นตัวระดับ 4 เช่นกัน (ระยะขจัด 4.58)

2) ผ้าฟอก/ย้อมตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติด

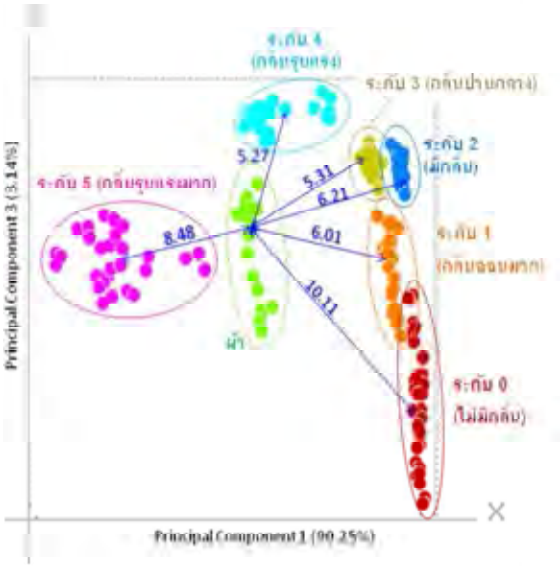
ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการแช่ (ที่เลือกเทคนิคนี้เนื่องจากให้ผ้าที่มีประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวดีกว่าเทคนิคการจุ่มอัด) โดยมีสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (เท่ากับการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดบนผ้า แสดงผลตามภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.6



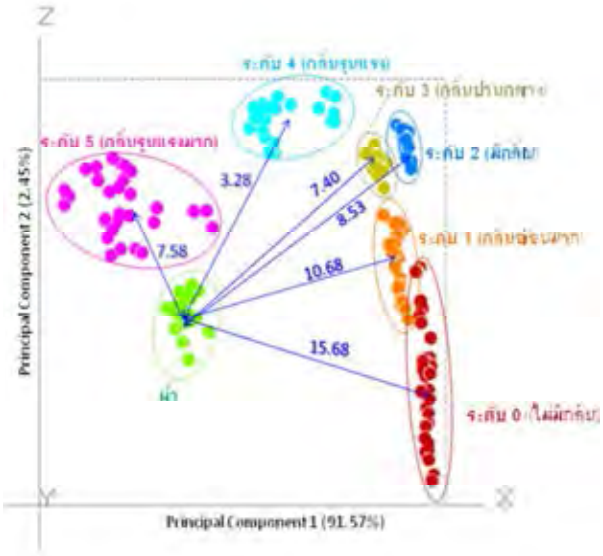
(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) เคลือบสารช่วยผนึกติด



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.6 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ

ตารางที่ 4.6 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ และที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ย้อม	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	18.33	12.74	9.18	8.34	4.58	11.20
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	10.19	8.64	10.39	9.68	9.35	6.57
3. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด	การแช่	10.11	6.01	6.21	5.31	5.27	8.48
4. ตกแต่งสำเร็จ มีสารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การแช่	15.68	10.68	8.53	7.40	3.28	7.58

จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินแล้วอบผนึกด้วยสารผนึกติด ตามภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.6 พบว่าผ้าตกแต่งสำเร็จก่อนและหลังการซักมีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4 (ระยะขจัดต่ำสุด 5.27 และ 3.28 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรง หรือดูดกลิ่นตัวได้น้อย ซึ่งผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จก็มีกลิ่นตัวระดับ 4 เช่นกัน (ระยะขจัดต่ำสุด 4.58 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4)

แต่เมื่อเทียบค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าในตารางที่ 4.6 จะพบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จหลังซัก 5 รอบ มีค่าระยะขจัดต่ำสุดเท่ากับ 3.28 ซึ่งต่ำกว่าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าอื่นๆ หมายถึงผ้าหลังซักนี้ดูดกลิ่นตัวได้ดีที่สุด

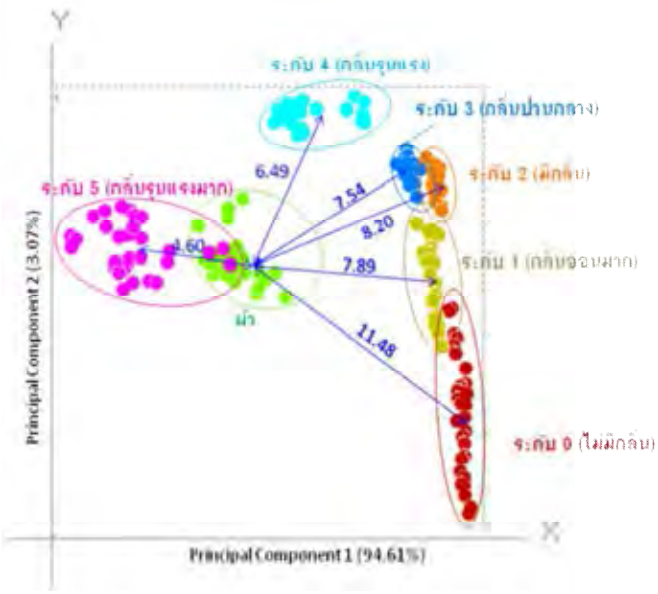
กล่าวโดยสรุป คือ ผ้าฝ้ายฟอก/ย้อม ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติดก่อนซัก ผ้าดูดกลิ่นตัวไม่ได้ดีไปกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ อาจเนื่องจากสารช่วยผนึกติดไปเคลือบปิดไซโคลเดกซ์ทริน แต่หลังซัก 5 รอบ ผ้าดูดกลิ่นตัวได้ดีขึ้นเล็กน้อย จากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ อย่างไม่

มีนัยสำคัญ คือผ้าหลังซักแทบไม่ดูดกลิ่นตัวดีขึ้นเลยจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จไม่คงทนต่อการซัก และหลุดออกจากผ้า

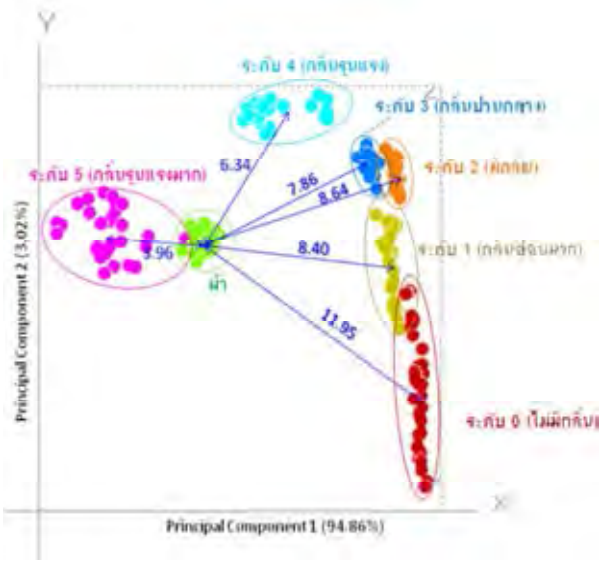
4.1.1.1.4 ผ้าฟอก ซุบมัน และย้อม

1) ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด

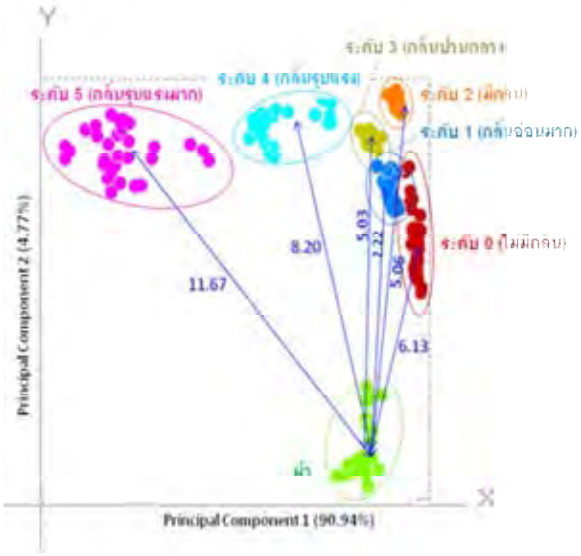
ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ โดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้าแล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ตามตารางที่ 3.2) แสดงผลตามภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.7



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

ภาพที่ 4.7 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

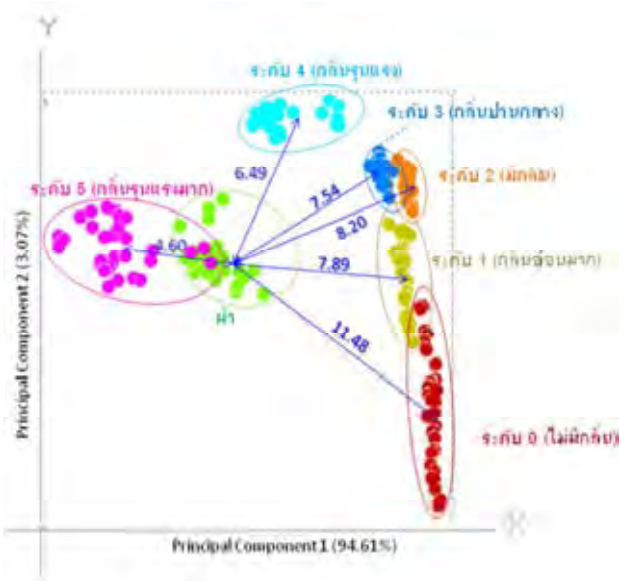
ตารางที่ 4.7 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.48	7.89	8.2	7.54	6.49	<u>4.60</u>
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	11.95	8.40	8.64	7.86	6.34	3.96
	การแช่	6.13	<u>2.22</u>	5.06	5.03	8.20	11.67

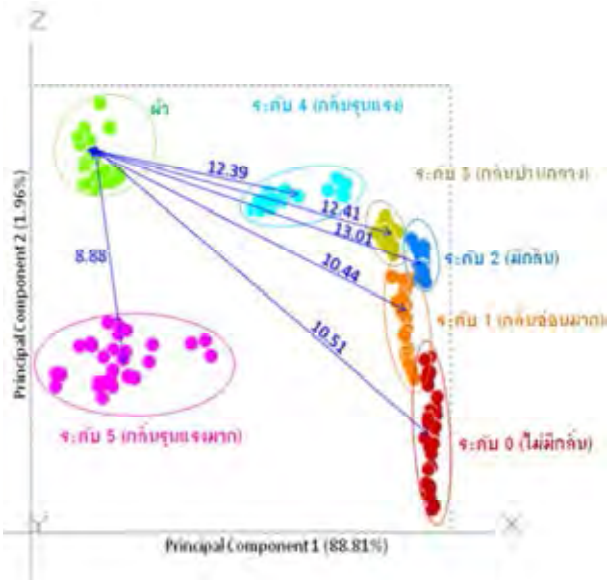
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายฟอก/ย้อม/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยไม่มีสารผนึกติด ตามภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.7 พบว่าผ้าที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุดอัด ผ้ามีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 5 (ระยะขจัดต่ำสุด 4.60 และ 3.96 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 5) คือมีกลิ่นตัวรุนแรงมาก หรือผ้าไม่สามารถดูดกลิ่นตัวได้เลย แต่สำหรับผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ พบว่าผ้ามีกลิ่นตัวใกล้ระดับ 1 (ระยะขจัดต่ำสุด 2.22) คือมีกลิ่นตัวอ่อนมาก หรือผ้าดูดกลิ่นตัวได้ดีมาก

2) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินโดยมีสารช่วยผนึกติด

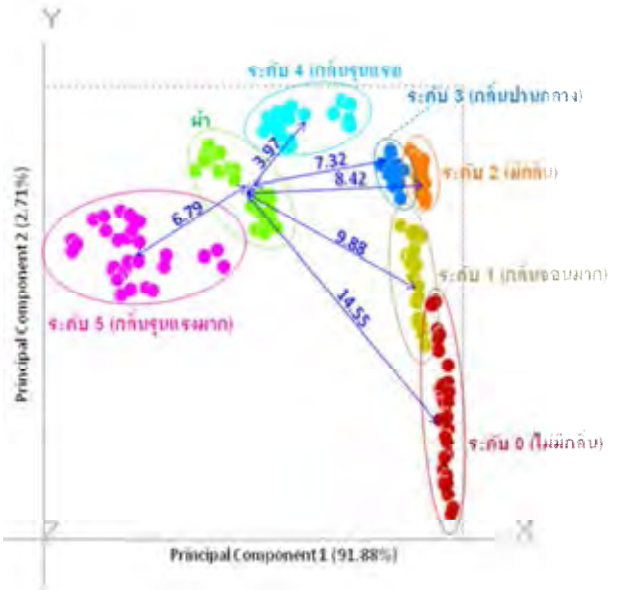
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินด้วยเทคนิคการแช่ (ที่เลือกเทคนิคนี้เนื่องจากผ้าที่มีให้ประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวที่ดีกว่าเทคนิคการจุ่มอัด) โดยมีสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (เท่ากับการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดบนผ้า แสดงผลตามภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.8



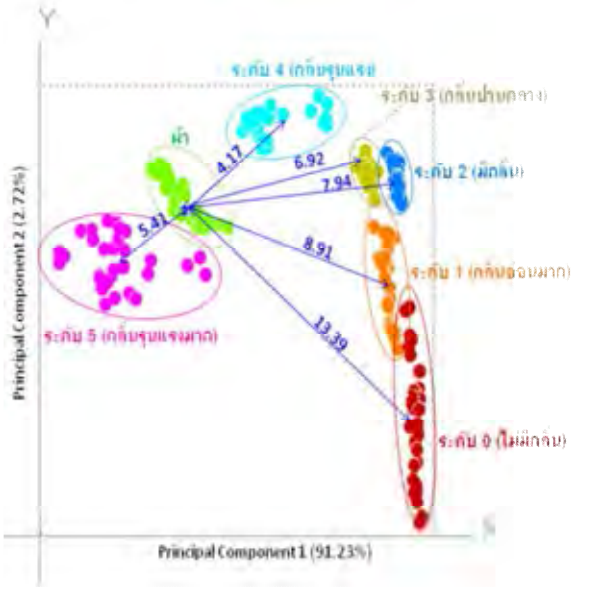
(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) เคลือบสารช่วยผนึกติด



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.8 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด (ค) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด (ง) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ โดยมีสารช่วยผนึกติด ซัก 5 รอบ

ตารางที่ 4.8 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.48	7.89	8.2	7.54	6.49	4.60
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	10.51	10.44	13.01	12.41	12.39	8.88
3. ตกแต่งสำเร็จมีสารช่วยผนึกติด	การแช่	14.55	9.88	8.42	7.32	3.97	6.79
4. ตกแต่งสำเร็จมีสารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การแช่	13.39	8.91	7.94	6.92	4.17	5.41

จากผลการทดสอบตามภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.8 พบว่าผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ทั้งก่อนและหลังการซักมีระยะขจัดต่ำสุดใกล้กับกลิ่นตัวระดับ 4 (ระยะขจัด 3.97 และ 4.17 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4 (กลิ่นตัวรุนแรง)) ซึ่งมีกลิ่นตัวลดลง 1 ระดับ จากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จที่มีกลิ่นตัวระดับ 5 (กลิ่นตัวรุนแรงมาก) ซึ่งหมายถึงผ้าตกแต่งสำเร็จสามารถลดกลิ่นตัวบนผ้าได้เล็กน้อยจากผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ เมื่อเทียบค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าก่อนซักมีค่า (3.97) ต่ำกว่าผ้าหลังซัก 5 รอบ (4.17) ซึ่งหมายถึง หลังซัก 5 รอบ ประสิทธิภาพการดูดกลิ่นตัวของผ้าตกแต่งสำเร็จมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จไม่คงทนต่อการซักและหลุดออกจากผ้า อย่างไรก็ตาม หลังซักผ้าตกแต่งสำเร็จก็ยังสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ

จากผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอด้วยไซโคลเดกซ์ทรินโดยใช้เทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ พอสรุปได้ว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด ผ้าจะสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีมาก คือสามารถลดกลิ่นตัวจากระดับกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมาก (กลิ่นตัวระดับ 4-5 ในผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ) เป็นระดับกลิ่นอ่อนมาก (กลิ่นตัวระดับ 1 ในผ้าตกแต่งสำเร็จ) แสดงว่าบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้ตกแต่งสำเร็จนี้สามารถดูดกลิ่นได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินที่ใช้มีโครงสร้าง

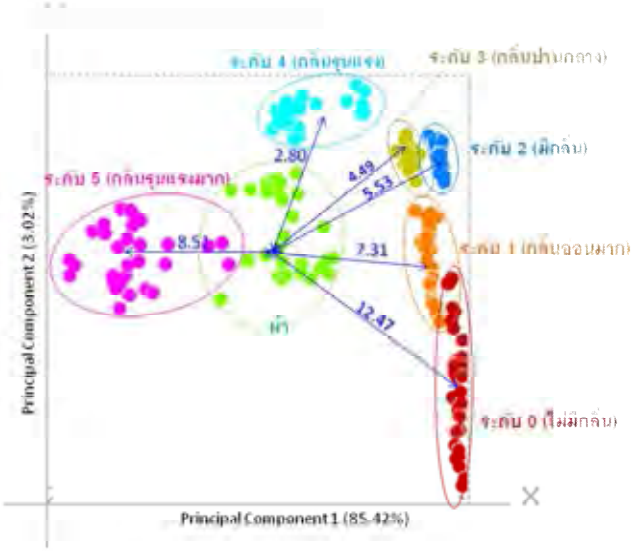
ของหน่วยกลูโคส 7 หน่วย เชื่อมติดกันเป็นวงแหวนคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้งสองด้าน โดยที่หน่วยกลูโคสเหล่านี้จะหันหมู่มีขั้ว เช่น $-CH_2OH$ และ $-OH$ ซึ่งออกด้านนอกโมเลกุล และหันด้านที่ไม่มีขั้ว $-CH$ เข้าด้านในโมเลกุล ดังนั้นด้านนอกถ้วยจะชอบน้ำหรือสารมีขั้ว (เช่น หมู่ –OH, -COOH) และด้านในถ้วยจะไม่ชอบน้ำหรือสารไม่มีขั้ว (เช่น หมู่ไฮโดรคาร์บอน –CH) [4] จึงทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินสามารถดูดกลิ่นตัวได้ ในที่นี้คือกลิ่นจากสารละลายไอโซวาเลอริก ($(CH_3)_2$-CH-CH_2-COOH) โดยกรดจะหันด้านไม่มีขั้ว $(CH_3)_2$-CH-CH_2- เข้าด้านในของถ้วยไซโคลเดกซ์ทริน และหันด้านมีขั้ว $-COOH$ ออกด้านนอกถ้วย

แต่เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าโดยมีสารช่วยผนึกติด ผ้าจะดูดกลิ่นตัวได้น้อยลง คือสามารถดูดกลิ่นตัวจากระดับกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมากเป็นระดับรุนแรง (ลดจากกลิ่นตัวระดับ 4-5 เป็นระดับ 4) ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผนึกติดเคลือบปิดไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้า เมื่อซักผ้า 5 รอบ สารตกแต่งสำเร็จบนผ้าจะหลุดออกจากผ้าจนทำให้ผ้าดูดกลิ่นตัวได้น้อยลงอีก แต่ยังคงดูดกลิ่นตัวได้บ้าง หากเปรียบเทียบเทคนิคการตกแต่งสำเร็จ สรุปได้ว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอที่ไม่ได้ย้อม (ฟอก, ฟอก/ซุบมัน) โดยใช้ไซโคลเดกซ์ ทรินควรตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัด และการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอที่ย้อม (ฟอก/ย้อม, ฟอก/ซุบมัน/ย้อม) ควรตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ จะทำให้ได้ผ้าที่สามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่า

จากผลข้างต้น ทำให้ทราบว่าสารตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าฝ้ายทอไม่ค่อยคงทนต่อการซักถึง 5 รอบ ทั้งที่มีสารช่วยผนึกติดช่วยยึดไว้บนผ้า จึงมีแนวคิดว่า หากใช้ผ้าฝ้ายถักในการตกแต่งสำเร็จอาจทำให้ผ้าตกแต่งสำเร็จสามารถคงทนต่อการซักมากขึ้น เนื่องจากผ้าฝ้ายถักสามารถดูดซับสารตกแต่งสำเร็จได้มากขึ้นกว่าผ้าฝ้ายทอ น่าจะมีปริมาณไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าฝ้ายถักมากกว่า และสารแพร่เข้าผ้าได้ลึกกว่า (จากโครงสร้างแบบห่วงถัก) ผลการทดลองต่อไปจึงเป็นการตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าฝ้ายถักโดยใช้เทคนิคการแช่ในกระบอกของเครื่องย้อม เปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารตกแต่งสำเร็จ

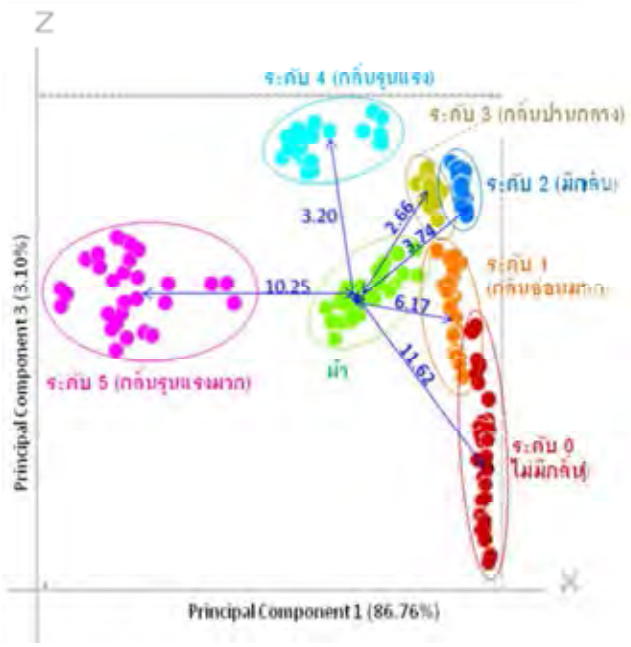
4.1.1.2 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายถักย้อมสี

ผ้าฝ้ายถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ด้วยเทคนิคการแช่ในเครื่องย้อมและการแช่ในเครื่องอัลตราโซนิก โดยมีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้าแล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ของสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการทดสอบการดูดกลิ่น ไปซักตามมาตรฐาน ISO 105-C10 วิธี A(1) เพื่อกำจัดกลิ่นบนผ้าแล้วนำมาทดสอบการดูดกลิ่นซ้ำ ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ แสดงผลตามภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.9

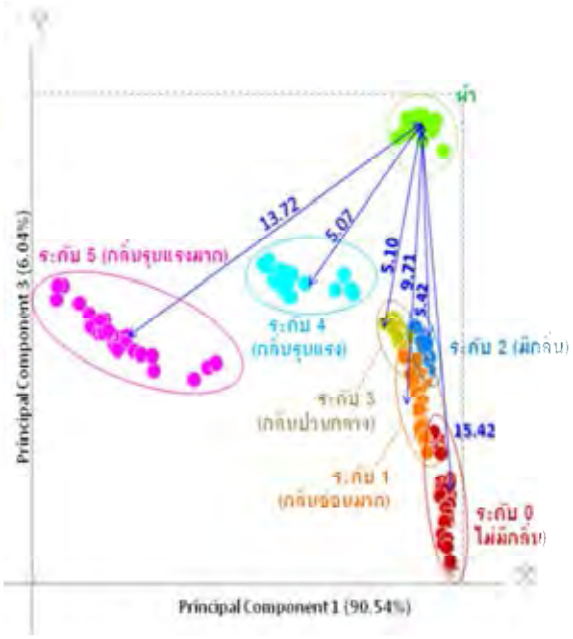


(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ

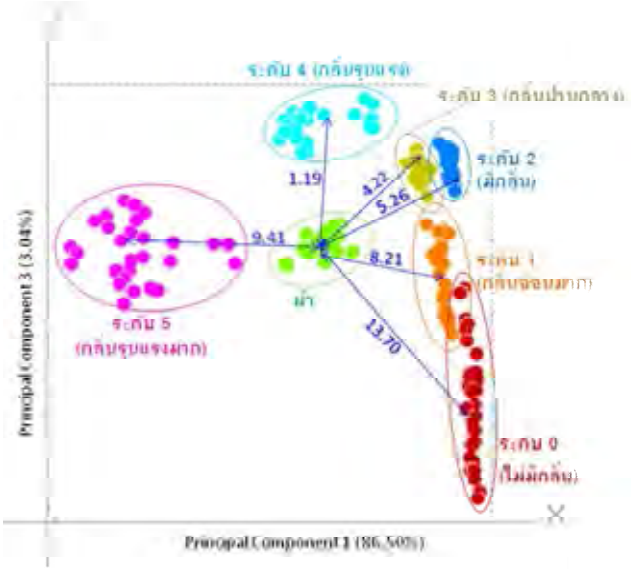
ภาพที่ 4.9 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จ ไซโคลเดกซ์ทรินถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ



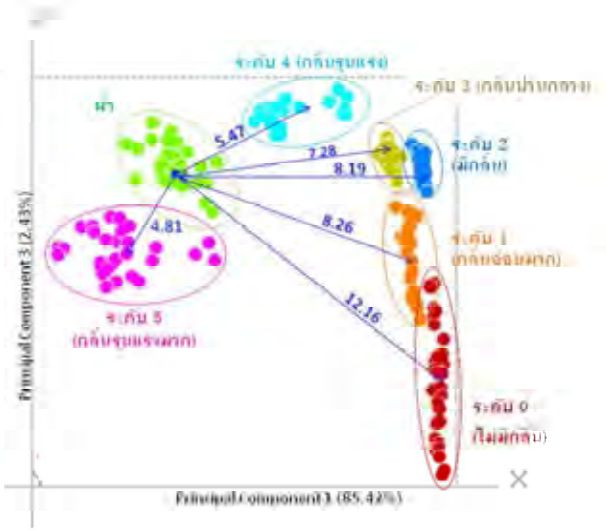
(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน (เทคนิคการแช่)



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน (เทคนิคการแช่) ผ่านการซัก 1 รอบ



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน (การแช่ในอ่างอัลตราโซนิก)



(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน (การแช่ในอ่างอัลตราโซนิก) ผ่านการซัก 1 รอบ

ภาพที่ 4.9 (ต่อ) (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ (ค) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ ซัก 1 รอบ (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก (จ) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก ซัก 1 รอบ

ตารางที่ 4.9 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฝ้ายถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทริน ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าถักย้อมสี	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	12.47	7.31	5.53	4.49	2.80	8.51
2.ตกแต่งสำเร็จ	การแช่	12.02	7.27	6.22	5.12	3.45	7.57
3.ตกแต่งสำเร็จ (ซัก 1 รอบ)	การแช่	13.28	7.91	5.43	4.30	1.84	9.26
4.ตกแต่งสำเร็จ	การแช่ในอ่างอัลตราโซนิก	13.70	8.21	5.26	4.22	1.19	9.41
5.ตกแต่งสำเร็จ (ซัก 1 รอบ)	การแช่ในอ่างอัลตราโซนิก	12.16	8.26	8.19	7.28	5.47	4.81

จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จแล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ตามภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.9 พบว่า ผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จมีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4 (ระยะขจัดต่ำสุด 2.80) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรง เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยเทคนิคการแช่ในเครื่องย้อมและการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก พบว่า ผ้ามีกลิ่นตัวระดับ 4 เหมือนเดิม แต่การตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิก ทำให้ผ้ามีระยะขจัดต่ำสุด (1.19) ซึ่งน้อยกว่าค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าตกแต่งสำเร็จในเครื่องย้อม (2.80 และ 3.45 ตามลำดับ) หมายถึงการตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิก ให้ผ้าที่สามารถดูดกลิ่นตัวดีขึ้นเล็กน้อยกว่าผ้าอีก 2 ชนิด เมื่อซักผ้าตกแต่งสำเร็จ 1 รอบ ผ้าตกแต่งสำเร็จในเครื่องย้อมมีค่าระยะขจัดต่ำสุดลดลง หมายถึง ผ้าดูดกลิ่นตัวดีขึ้น แต่ผ้าตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิกหลังซัก 1 รอบ ดูดกลิ่นตัวแย่ลง (กลิ่นตัวระดับ 5) หรืออาจไม่ดูดกลิ่นตัวเลยเพราะมีกลิ่นตัวรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารตกแต่งสำเร็จไม่คงทนการซักจึงหลุดออกจากผ้า

4.1.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทอ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าเพื่อศึกษาว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินแล้วทำให้สมบัติด้านการดูดซึมน้ำของผ้าเป็นเช่นใด ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าตามตารางที่ 4.10 พบว่าก่อนการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอ (ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ชุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีคือ ผ้าดูดซึมน้ำได้ดีมาก แต่เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ตามด้วยการผนึกสารด้วยสารช่วยผนึกติด พบว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงกว่าเดิมคือ ดูดซึมภายใน 12 – 28 วินาที ผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียวใช้เวลาในการดูดซึมน้ำที่สั้นกว่าคือ ดูดซึมน้ำภายใน 6 – 11 วินาที ทั้งนี้การเคลือบสารช่วยผนึกติดลงบนผ้าจะเกิดฟิล์มเคลือบปิดบนผิวผ้าที่สะท้อนน้ำ ทำให้ผ้าดูดซึมน้ำช้าลง และเมื่อเคลือบทั้งบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดลงบนผ้า จะยิ่งทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงมากขึ้นอีก ตามผลที่แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

การตกแต่งสำเร็จ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	เวลาในการดูดซึมน้ำ (วินาที) โดยเฉลี่ย			
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน	ผ้าฟอก/ย้อม	ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	ทันที	ทันที	ทันที	ทันที
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	11.0	8.4	6.4	6.8
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	26.2	14.6	18.4	12.2
	การแช่	28.4	25.8	21.2	26.2

4.1.3 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายทอ

การทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าเพื่อศึกษาว่าการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินลงบนผ้าฝ้ายทอแล้วทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากขึ้นหรือไม่ โดยผ้าที่มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูงคือผ้าที่มีความแข็งกระด้างมาก แสดงค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าในตารางที่ 4.11 พบว่าผ้าฟอกก่อนการตกแต่งสำเร็จมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างต่ำที่สุด เมื่อนำผ้าฟอกนี้ไปชุบมันและ/หรือย้อม ผ้าจะมีความแข็งกระด้างมากขึ้นทั้งผ้าในแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง ทั้งนี้เพราะการนำผ้าไปผ่านกระบวนการต่างๆ ทางเคมีและทางเชิงกลมากขึ้น สารธรรมชาติบนผ้าฝ้ายจะถูกกำจัดออกไปบวกกับเส้นใยพองตัวออกและความหงิกงอของเส้นใยลดลงทั้งหมดนี้ทำให้ผ้า

สูญเสียความนุ่มไปหรือผ้ามีความแข็งกระด้างมากขึ้นนั่นเอง โดยเฉลี่ยผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติด และผ้าที่ตกแต่งสำเร็จเฉพาะสารช่วยผนึกติดจะมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูงกว่าหรือมีความแข็งกระด้างสูงกว่าผ้าที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะผ้าที่มีบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดจะมีสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูงกว่าผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียว และพบว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติด มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จอยู่ราวร้อยละ 29 – 111 ของแนวด้ายยืน และเพิ่มขึ้นราวร้อยละ 7 – 53 ของแนวด้ายพุ่ง

ตารางที่ 4.11 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วย บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ผ้าทอ	เทคนิค การตกแต่งสำเร็จ	สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก			
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	54.08	20.68
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	86.25	21.58
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	108.45	31.69
ผ้าฟอก/ชุบมัน			
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	86.23	57.41
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	98.57	38.08
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	128.12	61.67
ผ้าฟอก/ย้อม			
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	75.09	21.96
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	67.00	22.06
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	96.71	33.49
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม			
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	56.13	42.28
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	69.32	32.07
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	118.23	54.72

การที่ผ้าตกแต่งสำเร็จมีความแข็งกระด้างเพิ่มขึ้นน่าจะเนื่องมาจากสารโมเลกุลใหญ่ของของสารตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดที่เคลือบปิดบนผ้า ทำให้ผ้าสามารถดัดโค้งได้น้อยลง จึงทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากขึ้นนั่นเอง

4.1.4 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอ

ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินนั้น หากผ้าตกแต่งสำเร็จมีความทนต่อแรงดึงขาดต่ำกว่าผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จนี้ทำให้ผ้ามีความแข็งแรงลดลง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12

จากค่าแรงดึงขาดของผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จในตารางที่ 4.12 พบว่า ผ้าฟอกมีค่าแรงดึงขาดต่ำสุดทั้งในแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง เมื่อผ้าถูกนำไปชุบมันและ/หรือย้อมค่าแรงดึงขาดของผ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือแสดงถึงผ้ามีความแข็งแรงมากขึ้นนั่นเอง ในขณะเดียวกันค่าร้อยละของการยืดตัวของผ้าชุบมันและ/หรือผ้าย้อมก็มีค่าเพิ่มขึ้นจากผ้าฟอกเช่นกัน ซึ่งแสดงว่าการชุบมันและ/หรือการย้อมทำให้ผ้าแข็งแรงขึ้นคือทนต่อการดึงยืดผ้าได้มากขึ้น โดยเฉพาะผ้าที่ผ่านการชุบมันจะมีค่าแรงดึงขาดสูงมากกว่าผ้าที่ผ่านการย้อมอย่างเดียว ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะในระหว่างการชุบมันผ้าจะถูกขึงตึงทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งเส้นใยในด้ายถูกจัดเรียงตัวเป็นระเบียบไปในทิศเดียวกัน ผ้าหลังชุบมันจึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากในทั้ง 2 แนว เมื่อนำผ้าทอทั้งหมดมาตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดพบว่า ผ้าในแนวด้ายยืนส่วนใหญ่มีค่าแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผ้าในแนวด้ายพุ่งส่วนใหญ่มีค่าแรงดึงขาดลดลงจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในขั้นตอนการอบผนึกผ้า ผ้าจะถูกขึงตึงในแนวด้ายยืนอย่างเดียวทำให้เส้นใยและสารเคมีในผ้าถูกจัดระเบียบเฉพาะในแนวด้ายยืนและส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเฉพาะในแนวด้ายยืน

ค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าตกแต่งสำเร็จส่วนใหญ่มีค่าลดลงจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จทั้งในแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารช่วยผนึกติดบนผ้าก่อตัวเป็นฟิล์มปกคลุมผ้า ความแข็งของฟิล์มของสารช่วยผนึกติดทำให้ผ้าขาดความยืดหยุ่น และเมื่อมีแรงดึงมากระทำกับผ้า ผ้าจะยืดตัวออกได้น้อยลงก่อนผ้าถูกดึงขาด

ตารางที่ 4.12 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	แรงดึงขาด (นิวตัน)		การยืดตัวที่จุดขาด (ร้อยละ)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	175.58 (±8.22)	122.18 (±6.65)	12.08 (±2.85)	23.54 (±1.50)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	204.08 (±2.70)	120.71 (±1.13)	15.30 (±4.99)	37.54 (±2.75)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	177.50 (±9.16)	106.50 (±12.22)	10.75 (±3.01)	37.98 (±3.04)
ผ้าฟอก/ซุบมัน					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	189.42 (±9.01)	165.07 (±15.89)	38.63 (±7.49)	46.52 (±6.23)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	203.78 (±13.96)	129.93 (±22.03)	28.39 (±9.25)	41.95 (±2.49)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	207.54 (±8.41)	129.95 (±18.87)	32.85 (±5.89)	40.67 (±3.83)
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	180.38 (±9.37)	123.85 (±8.20)	15.48 (±5.48)	37.04 (±2.49)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	174.95 (±8.33)	118.82 (±18.71)	11.80 (±3.09)	35.81 (±4.92)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	185.01 (±7.07)	126.33 (±12.29)	12.70 (±1.71)	32.76 (±3.25)
ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ	-	189.68 (±11.45)	158.70 (±12.42)	28.37 (±4.53)	43.34 (±4.44)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	195.85 (±4.61)	122.02 (±22.04)	19.96 (±3.23)	27.29 (±5.48)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	198.22 (±8.91)	131.44 (±13.23)	16.51 (±2.05)	27.51 (±5.79)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบ

4.1.5 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายทอ

การทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของผ้า กระทำกับผ้าทอก่อนย้อมคือ ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติด เทียบกับผ้า 2 ชนิดนี้ก่อนการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ดัชนีความขาว	
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	127.2	135.5
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	129.3	130.5
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	130.3	130.7

จากค่าดัชนีความขาวของผ้าที่แสดงในตารางที่ 4.13 พบว่า ก่อนการตกแต่งสำเร็จผ้าฟอก/ชุบมันมีดัชนีความขาวสูงกว่าผ้าฟอกอยู่ประมาณ 8 หน่วย แต่เมื่อนำผ้าฟอกและผ้าฟอก/ชุบมัน มาตกแต่งสำเร็จด้วยสารช่วยผนึกติดอย่างเดียวจะพบว่าผ้าทั้งสองชนิดมีค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกัน และเมื่อผ้าตกแต่งสำเร็จผ้าทั้งสองชนิดด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติด ผ้าทั้งคู่มีค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกันอีก โดยผ้าหลังตกแต่งสำเร็จมีค่าดัชนีความขาวเปลี่ยนแปลงไปจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จประมาณ 2-5 หน่วย

ทั้งนี้พอสรุปได้ว่า การตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดบนผ้าฝ้าย ไม่ได้มีผลกระทบมากต่อความขาวของผ้าฝ้าย

4.1.6 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ

จากการทดลองตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน บนผ้าย้อมคือ ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม โดยตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ และวัดค่าของสีผ้าคือ ค่า L^*, a^*, b^* และ ΔE โดยใช้เครื่องวัดสีเพื่อวิเคราะห์ความเพี้ยนของสีผ้าย้อมที่อาจเกิดขึ้นหลังการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่าของสีผ้า			
		L*	a*	b*	ΔE
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	47.29	58.39	-4.38	-
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	47.07 (47.15)	58.31 (58.68)	-4.36 (-4.66)	0.82 (0.75)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	46.54 (47.1)	58.71 (58.49)	-4.38 (-5.03)	0.59 (0.59)
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม					
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	43.86	59.87	-1.69	-
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	43.36 (43.43)	59.74 (59.91)	-1.61 (-2.07)	0.67 (0.63)
3.บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	การแช่	43.02 (43.67)	59.94 (59.68)	-1.40 (-1.93)	0.79 (0.28)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือค่าของสีผ้าที่ผ่านการซัก 1 รอบตามวิธี ISO 105-C06 (B1M) ซึ่งเทียบเท่าการซักด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์ จำนวน 5 รอบ

จากค่าของสีผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม มีเฉดสีแดง โดยที่ก่อนตกแต่งสำเร็จผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม มีสีเข้มกว่าและมีเนื้อสีแดงมากกว่าผ้าฟอก/ย้อมอยู่เล็กน้อย ดูได้จากการที่ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม มีค่า L* (ความสว่าง) ที่ต่ำกว่า (ความสว่างต่ำกว่าจะมีสีเข้มกว่า) และมีค่า a* (a* เป็นบวกมีสีแดง, a* เป็นลบมีสีเขียว) เป็นบวกมากกว่าอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการชุบมันผ้าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมสีย้อมของผ้า จึงทำให้ผ้าฟอก/ชุบมันสามารถย้อมได้สีเข้มและมีเนื้อสีแดงมากกว่าผ้าฟอก เมื่อผ้าทั้งสองชนิดตกแต่งสำเร็จด้วยสารช่วยผนึกติดอย่างเดียว ค่าของสีผ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อยมาก หรืออย่างไม่มีนัยสำคัญสีผ้ายังคงเดิมทั้งความเข้มและเฉดสี เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทั้งสองชนิดด้วยไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติด พบว่าผ้ายังคงมีเฉดสีแดง (a* เป็นค่าบวกใกล้เคียงเดิม) โดยมีสีเข้มแตกต่างจากเดิมน้อยมาก (L* มีค่าไม่ต่างจากเดิมนัก) ส่วนผลการวัดสี

ของผ้าตกแต่งสำเร็จหลังผ่านการซักก็พบว่าผลของการวัดสีผ้ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับของผ้าก่อนผ่านการซัก

จากผลเบื้องต้นนี้ พอสรุปได้ว่า การตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าฝ้ายย้อมไม่มีผลมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า ไม่ได้ทำให้สีเพี้ยนไปจากสีเดิมของผ้าย้อม

4.2 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ ถูกนำทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรีย การต้านรังสียูวี การดูดซึมน้ำ ความแข็งกระด้าง ความแข็งแรง ความขาวและความเพี้ยนของสีผ้า แสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้าย

การทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถัก ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยไม่ซักและซักผ้าหลังตกแต่งสำเร็จ แล้วนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 ใช้แบคทีเรีย 2 ชนิดคือ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ผลเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction) ถ้าผ้าที่มีค่าร้อยละของการลดลงของแบคทีเรียตั้งแต่ร้อยละ 99.0 ขึ้นไปถือว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรียได้ดี และจะดียิ่งขึ้นถ้าผ้ามีค่านี้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9

4.2.1.1 ผลการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายทอ

ผ้าฝ้ายทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (1 รอบการซักเทียบเท่ากับการซัก 5 รอบ ด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรีย แสดงผลตามตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)			
		Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*	
		ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ	ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ
ผ้าฟอก					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	0	-	0	-
3. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	95.31	0	83.66	0
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	94.37	0	55.76	0
ผ้าฟอก/ชุบมัน					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	0	0	36.61	0
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	23.03	0	64.78	0
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	0	0	99.28	95.55
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	99.00	0	99.99	90.83
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	95.74	0	95.83	76.74
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	88.08	0	99.99	74.41

จากผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าทอโดยแสดงเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียในตารางที่ 4.15 พบว่า ผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียวและผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ ไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย ทั้งนี้ดูจากค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนผ้า ผ้าจะแสดงความสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีขึ้นจนถึงขั้นดีมาก (ร้อยละของการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.99) โดยเฉพาะกับผ้าย้อม (ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) ซึ่งแสดงผลการต้านแบคทีเรียได้ดีมากกว่าผ้าไม่ย้อม (ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน) การต้านแบคทีเรียของสารนาโนซิงค์ออกไซด์นี้เป็นแบบ control release

antibacterial คือเกิดการปลดปล่อยสารซิงค์ออกไซด์ออกจากผ้าเพื่อต้านแบคทีเรียบนผ้าและบริเวณโดยรอบผ้า ผ้าย้อมจะมีสีย้อมอยู่ในเส้นใยตั้งแต่กระบวนการย้อม เมื่อนำผ้าย้อมมาตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์อาจซึมเข้าไปในเส้นใยบ้างแต่ส่วนใหญ่อาจอยู่ใกล้ผิวเส้นใยของผ้า (เพราะมีสีย้อมอยู่ในเส้นใยมาก) ทำให้ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จแสดงการต้านแบคทีเรียแบบปลดปล่อยสารเกิดได้ดีกว่าผ้าไม่ย้อม (ที่ไม่มีสีย้อมในเส้นใย) ที่ตกแต่งสำเร็จ

โดยภาพรวมพบว่า ผ้าย้อม (ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มีแนวโน้มต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีกว่า *Escherichia coli* ทั้งก่อนและหลังซัก 5 รอบ สำหรับผ้าไม่ย้อม (ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน) เมื่อนำมาตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์และไม่ซัก ผ้าแสดงการต้านแบคทีเรียอยู่บ้าง แต่เมื่อนำไปซัก 5 รอบ จะพบว่าผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย (ร้อยละการลดลงฯ เท่ากับ 0) ทั้งนี้เนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าไม่มีความคงทนต่อการซักจึงหลุดออกจากผ้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีอนุภาคของซิงค์ออกไซด์เกาะกันเป็นก้อนใหญ่อยู่ที่ผิวผ้ามากและเป็นสาเหตุที่ทำให้สารบนผ้าไม่คงทนต่อการซัก จากผลข้างต้นนี้ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าผ้าไม่ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านแบคทีเรียชนิดใดได้ดีกว่ากัน

และจากผลการต้านแบคทีเรียข้างต้น พบว่า ผ้าที่ผ่านการชุบมันไม่ช่วยการยึดเกาะของซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้า เนื่องจากการชุบมันจะช่วยปรับปรุงสมบัติการดูดซึมน้ำหรือความชื้นเพื่อให้สารที่ละลายน้ำได้สามารถซึมเข้าไปในเส้นใยได้ดีขึ้น (เช่นสีย้อม) การชุบมันนี้จึงไม่ช่วยการยึดเกาะของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่ซึมเข้าไปในเส้นใย

จากผลการทดลองและการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ในงานวิจัยนี้ พอสรุปได้คร่าวๆ ว่า ผ้าย้อมน่าจะเหมาะสำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านแบคทีเรียด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าผ้าไม่ย้อม

จากนั้น ได้ทดลองตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายถักย้อมสีด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยการใช้อัลตราโซนิก

4.2.1.2 ผลการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายถักย้อมสี

ผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 5 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C10 วิธี A(1) ถูกนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรีย แสดงผลตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสี	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)			
		Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*	
		ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ	ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	99.99	0	97.53	0
	การแช่	99.99	0	99.99	0

จากผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าถักย้อมสีโดยแสดงเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียในตารางที่ 4.16 พบว่า ผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ มีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเป็นศูนย์ คือไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดโดยแช่ในอ่างอัลตราโซนิกก่อนอัดด้วยลูกกลิ้ง และเทคนิคการแช่โดยแช่ในอ่างอัลตราโซนิกแทนการใช้เครื่องย้อมแบบกระบอก เพื่อลดการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผิวผ้า เมื่อนำผ้ามาทดสอบการต้านแบคทีเรียตามตารางที่ 4.16 พบว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ถึงระดับดีมาก (ร้อยละการลดลงฯ เท่ากับ 99.99) และเมื่อผ้าผ่านการซัก 5 รอบ พบว่าผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย (ร้อยละการลดลงฯ เท่ากับ 0) แสดงว่าผ้าตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยทั้ง 2 เทคนิค สามารถต้านแบคทีเรียได้ดีมาก เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์มีการกระจายตัวดีเป็นอนุภาคเล็กๆ อยู่บนผ้า แต่สารตกแต่งสำเร็จบนผ้านี้ก็ยังไม่คงทนต่อการซักล้าง

4.2.2 ผลการทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้า

การทดสอบสมบัติการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักย้อมสี ที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยการวัดค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) ค่าร้อยละของรังสีที่ส่องผ่าน (UV transmittance) และค่าร้อยละการกันรังสียูวี (UV blocking) ของรังสียูวี-เอ (ความยาวคลื่น 315 – 400 นาโนเมตร) และรังสียูวี-บี (ความยาวคลื่น 280 – 315 นาโนเมตร) ตามมาตรฐาน AATCC 183 โดยถ้าผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่า UPF มากกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าสารตกแต่งสำเร็จทำให้ผ้าต้านรังสียูวีได้ดีขึ้น และการต้านรังสียูวีจะอยู่ในระดับดี ถ้าผ้ามีค่า UPF ในช่วง 15 – 24 และระดับดีเยี่ยมถ้ามีค่า UPF ตั้งแต่ 40 ขึ้นไป

4.2.2.1 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายทอ

ผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าถักที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการต้านรังสียูวี แสดงผลตามตารางที่ 4.17

จากผลการทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้าทอตามตารางที่ 4.17 พบว่า ก่อนการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทั้ง 4 ชนิด มีการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับต่ำ (มีค่า UPF น้อยกว่า 15) ผ้าฝ้ายทอเมื่อผ่านการย้อม (ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) จะสามารถต้านรังสียูวีได้ดีขึ้น คือ ผ้ามีค่า UPF และค่าร้อยละการปกป้องรังสียูวีดีขึ้น เมื่อเทียบกับผ้าก่อนย้อม (ผ้าย้อมมีค่า UPF มากกว่าเกือบเท่าตัว) แสดงว่าสีย้อมที่อยู่ในเส้นใยของผ้าย้อมสามารถดูดซับรังสียูวีได้ เมื่อนำผ้าทั้ง 4 ชนิด มาตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ้ามีค่า UPF ค่าร้อยละของรังสีที่ส่องผ่าน และค่าร้อยละการปกป้องรังสียูวี ใกล้เคียงกับผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ คือผ้าสามารถต้านรังสียูวีได้ใกล้เคียงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผ้าทอเนื้อบาง (น้ำหนักผ้า 77 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนเส้นด้ายแนวยืนและแนวพุ่ง 106 และ 86 เส้นต่อนิ้ว ตามลำดับ) ผ้าจึงมีช่องว่างที่แสงยูวีสามารถส่องผ่านผ้าได้มาก และเมื่อตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ (เป็นสารตกแต่งสำเร็จที่สามารถป้องกันรังสียูวีได้ดี [8, 9]) ก็ไม่สามารถช่วยปิดผิวช่องว่างของผ้าและป้องกันรังสียูวีให้ดีขึ้นได้ ถึงแม้จะมีซิงค์ออกไซด์เกาะอยู่ที่ผิวผ้าก็ตาม

ตารางที่ 4.17 การต้านรังสียูวีของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่า UPF	UV - A transmittance (ร้อยละ)	UV - A blocking (ร้อยละ)	UV - B transmittance (ร้อยละ)	UV - B blocking (ร้อยละ)
ผ้าฟอก						
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	5.86	13.5	86.5	17.0	83.0
2.นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	7.52	10.9	89.1	13.3	86.7
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	6.97	11.9	88.1	14.4	85.6
ผ้าฟอก/ซุบมัน						
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	7.24	11.0	89.0	13.7	86.3
2.นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	6.89	11.4	88.6	14.6	85.4
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	7.07	12.0	88.0	14.2	85.8
ผ้าฟอก/ย้อม						
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	12.40	9.9	90.1	7.8	92.2
2.นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	12.00	10.2	89.8	8.0	92.0
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	14.40	8.5	91.5	6.7	93.3
ผ้าฝ้ายฟอก/ ซุบมัน/ ย้อม						
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	13.40	9.0	91.0	7.2	92.8
2.นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	11.30	10.2	89.8	8.7	91.3
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	12.30	9.6	90.4	8.0	92.0

4.2.2.2 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายถักย้อมสี

ผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก แล้วอบผึกด้วยสารช่วยผึกติด ถูกนำมาทดสอบการต้านรังสียูวี แสดงผลตามตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสี	**เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ**	**ค่า** UPF	UV - A transmittance (ร้อยละ)	UV - A blocking (ร้อยละ)	UV - B transmittance (ร้อยละ)	UV - B blocking (ร้อยละ)
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	38.6	3.5	96.5	2.4	97.6
2. นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผึกติด	การแช่	118.1	1.2	98.8	0.8	99.2

จากผลการทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสี ตามตารางที่ 4.18 พบว่าผ้าถักไม่ตกแต่งสำเร็จมีค่า UPF เท่ากับ 38.6 คือ มีการต้านรังสียูวีได้ในระดับดี (ค่า UPF มากกว่า 15) และสามารถต้านรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าทอ (ตารางที่ 4.17) เนื่องลักษณะโครงสร้าง single jersey ของผ้าถักที่หนากว่าและมีช่องว่างระหว่างเส้นด้ายน้อยกว่าผ้าทอ จะช่วยป้องกันไม่ให้รังสียูวีทะลุผ่านผ้าถักย้อมสีได้ดีกว่าผ้าทอ และเมื่อนำผ้าถักมาตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ้ามีค่า UPF เท่ากับ 118.1 คือมีการต้านรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม (ค่า UPF มากกว่า 40) เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวได้ดี (จากอัลตราโซนิก) อยู่บนผ้าทำหน้าที่เป็นสารต้านรังสียูวีด้วยการสะท้อนรังสียูวีออกจากผ้า ช่วยป้องกันรังสียูวีไม่ให้ทะลุผ่านผ้ามากเกินไป

เมื่อเปรียบเทียบกับการต้านรังสียูวีของผ้าทอย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จ ที่ให้ผลการต้านรังสียูวีได้ในระดับต่ำ (ค่า UPF ในช่วง 11.30 – 14.40) ใกล้เคียงกับผ้าทอย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ ซึ่งต่างจากผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จที่มีค่า UPF สูงมากเกิน 100 แสดงว่าปริมาณสีย้อมที่มีมากในผ้าถักและโครงสร้างของผ้าถักช่วยทำให้ผ้าดูดซึมสารตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ได้มากขึ้น อีกทั้งการตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิกที่ช่วยป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้าถัก และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำให้ผ้าถักย้อมสีตกแต่งสำเร็จป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้นกว่าผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ และมากกว่าผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จ

4.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทอ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าทอเพื่อศึกษาว่าผ้าตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์มีสมบัติด้านการดูดซึมน้ำเป็นเช่นใด ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าตามตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า ผ้าทอก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ชุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีคือ ผ้าดูดซึมน้ำได้ดีมาก แต่เมื่อนำผ้าไปตกแต่งสำเร็จด้วยสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ตามด้วยการผนึกสารด้วยสารช่วยผนึกติด พบว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงกว่าเดิมคือดูดซึมโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 4 -11 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับกับผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดเพียงอย่างเดียวคือใช้เวลาในการดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 6-11 วินาที แสดงว่าการเคลือบสารช่วยผนึกติดลงบนผ้าจะเกิดฟิล์มเคลือบปิดผิวผ้าทำให้ดูดซึมน้ำช้าลง แต่สารตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กมากที่อยู่บนผ้าไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของผ้า เนื่องจากผ้าที่มีทั้งนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติดมีการดูดซึมน้ำได้เท่ากับผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดเพียงอย่างเดียว ตามผลที่แสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	เวลาในการดูดซึมน้ำ (วินาที) โดยเฉลี่ย			
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน	ผ้าฟอก/ย้อม	ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	ทันที	ทันที	ทันที	ทันที
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	11.0	8.4	6.4	6.8
3. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	11.4	7.4	6.0	4.4
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	9.2	7.8	5.6	4.4

4.2.4 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายทอ

การทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าเพื่อศึกษาว่าการตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติดลงบนผ้าแล้วทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากขึ้นหรือไม่ โดยผ้าที่มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูง จะมีความแข็งกระด้างมาก ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	54.08	20.68
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	86.25	21.58
- นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	84.25	21.82
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	72.08	21.93
ผ้าฟอก/ซุบมัน			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	86.23	57.41
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	98.57	38.08
- นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	70.81	54.44
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	73.21	63.57
ผ้าฟอก/ย้อม			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	75.09	21.96
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	67.00	22.06
- นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	74.27	23.03
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	75.18	22.00
ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	56.13	42.28
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	69.32	32.07
- นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	79.88	36.02
+ สารช่วยผนึกติด	การแช่	93.98	36.90

จากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จเฉพาะสารช่วยผนึกติด และผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ แสดงในตารางที่ 4.20 นั้น ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดเป็นค่าเดิมจากตารางที่ 4.11 ซึ่งได้อธิบายผลไปแล้ว ส่วนเมื่อเทียบค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์กับค่าของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จมีทั้งค่าที่มากกว่าและใกล้เคียงกับค่าของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ นั่นคือผ้าตกแต่งสำเร็จมีความแข็งกระด้างมากกว่า น้อยกว่าและเท่ากับความแข็งกระด้างของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ อย่างไรก็ตาม พบว่าความแข็งกระด้างของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าน้อยกว่าความแข็งกระด้างของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินทั้งในแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน ซึ่งอาจเนื่องจากไซโคลเดกซ์ทรินมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อถูกเคลือบอยู่บนผ้าจะทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากกว่านั่นเอง

4.2.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอ

ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้ายทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์นั้นหากผ้าตกแต่งสำเร็จมีความทนต่อแรงดึงขาดต่ำกว่าผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จนี้ทำให้ผ้ามีความแข็งแรงลดลง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 14.21 ซึ่งค่าแรงดึงขาดและร้อยละของการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดเป็นค่าเดิมจากตารางที่ 4.12 ซึ่งได้อธิบายผลไปแล้ว

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อนำผ้ามาตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด ผ้าในแนวด้ายยืนส่วนใหญ่มีค่าแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผ้าในแนวด้ายพุ่งส่วนใหญ่มีค่าแรงดึงขาดลดลงจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในขั้นตอนการอบผนึกผ้า ผ้าจะถูกขึงให้ตึงในแนวด้ายยืนอย่างเดียวทำให้เส้นใยและสารเคมีในผ้าถูกจัดระเบียบเฉพาะในแนวด้ายยืน และส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเฉพาะในแนวด้ายยืน นอกจากนี้ พบว่า การตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ทำให้แรงดึงขาด หรือความแข็งแรงผ้าในแนวด้ายยืนส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัด อาจเนื่องมาจากการแช่ผ้าใช้เวลานานกว่าและทำให้สารตกแต่งสำเร็จเคลือบบนผ้ามากกว่า ผ้าจึงแข็งแรงมากขึ้นจากฟิล์มที่ปิดผ้า

ค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าตกแต่งสำเร็จส่วนใหญ่มีค่าลดลงจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง อาจเนื่องมาจากสารช่วยผนึกติดบนผ้าก่อตัวเป็นฟิล์มปก

คลุมผ้า ความแข็งของฟิล์มของสารช่วยผนึกติดทำให้ผ้าขาดความยืดหยุ่น และเมื่อมีแรงดึงมากระทำ กับผ้า ผ้าจะยืดตัวออกได้น้อยลงก่อนผ้าถูกดึงขาด

ตารางที่ 4.21 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	แรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน)		การยืดตัวที่จุดขาด (ร้อยละ)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	175.58 (±18.22)	122.18 (±6.65)	12.08 (±2.85)	23.54 (±1.50)
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	204.08 (±2.70)	120.71 (±15.13)	15.30 (±4.99)	37.54 (±2.75)
3.นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	189.99 (±9.49)	126.75 (±8.10)	13.94 (±3.85)	37.01 (±3.95)
	การแช่	194.57 (±10.87)	111.28 (±14.00)	10.75 (±2.60)	37.43 (±3.48)
ผ้าฟอก/ชุบมัน					
1.ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	189.42 (±9.01)	165.07 (±15.89)	38.63 (±7.49)	46.52 (±6.23)
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	203.78 (±13.96)	129.93 (±22.03)	28.39 (±9.25)	41.95 (±2.49)
3.นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	181.63 (±11.37)	164.07 (±10.51)	20.80 (±7.80)	42.45 (±7.78)
	การแช่	194.75 (±7.39)	152.32 (±13.16)	33.80 (±9.88)	35.68 (±6.91)
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	180.38 (±9.37)	123.85 (±8.20)	15.48 (±5.48)	37.04 (±2.49)
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	174.95 (±8.33)	118.82 (±18.71)	11.80 (±3.09)	35.81 (±4.92)
3.นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	180.78 (±4.81)	105.12 (±9.01)	10.05 (±1.99)	30.86 (±2.14)
	การแช่	184.72 (±11.60)	166.01 (±9.29)	11.45 (±3.51)	25.36 (±3.80)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.21 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ (ต่อ)

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	แรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน)		การยืดตัวที่จุดขาด (ร้อยละ)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	189.68	158.70	28.37	43.34
		(±11.45)	(±12.42)	(±4.53)	(±4.44)
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	195.85	122.02	19.96	27.29
		(±4.61)	(±22.04)	(±3.23)	(±5.48)
3.นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	183.39	155.88	15.61	25.99
+ สารช่วยผนึกติด		(±2.46)	(±22.43)	(±1.33)	(±6.47)
	การแช่	185.75	198.36	22.78	17.95
		(±19.31)	(±11.82)	(±5.50)	(±1.88)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบ

4.2.6 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายทอ

การทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของผ้า กระทำกับผ้าทอก่อนย้อมคือ ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด เทียบกับผ้า 2 ชนิดนี้ก่อนการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิค การตกแต่งสำเร็จ	ดัชนีความขาว	
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	127.2	135.5
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	129.3	130.5
3. นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	131.5	133.3
	การแช่	127.0	130.8

จากค่าดัชนีความขาวของผ้าที่แสดงในตารางที่ 4.22 พบว่า เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทั้งสองชนิดด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด พบว่าผ้าทั้ง 2 ชนิด มีค่าดัชนีความขาวเปลี่ยนไปจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จประมาณ 0-5 หน่วย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่ได้มีผลกระทบมากต่อความขาวของผ้า

4.2.7 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ

จากการทดลองตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์ บนผ้าย้อมคือ ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม โดยตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ แล้วอบผึ้งติดด้วยสารช่วยผึกติด และวัดค่าของสีผ้า คือค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าโดยใช้เครื่องวัดสีเพื่อวิเคราะห์ความเพี้ยนของสีผ้าย้อมที่อาจเกิดขึ้นหลังการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบมีแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่าของสีผ้า			
		L*	a*	b*	ΔE
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	47.29	58.39	-4.38	-
2. สารช่วยผึกติด	การจุ่มอัด	47.07	58.31	-4.36	0.82
		(47.15)	(58.68)	(-4.66)	(0.75)
3. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	46.70	58.59	-5.27	0.99
+ สารช่วยผึกติด		(46.87)	(58.62)	(-4.59)	(0.58)
	การแช่	45.73	58.89	-4.45	1.15
		(46.06)	(58.9)	(-4.05)	(0.62)
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	43.86	59.87	-1.69	-
2. สารช่วยผึกติด	การจุ่มอัด	43.36	59.74	-1.61	0.67
		(43.43)	(59.91)	(-2.07)	(0.63)
3. นาโนซิงค์ออกไซด์	การจุ่มอัด	43.74	59.82	-3.06	1.23
+ สารช่วยผึกติด		(44.39)	(59.79)	(-2.87)	(0.98)
	การแช่	43.84	59.81	-3.01	1.42
		(43.78)	(59.87)	(-2.34)	(0.74)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือค่าของสีผ้าที่ผ่านการซัก 1 รอบตามวิธี ISO 105-C06 (B1M) ซึ่งเทียบเท่าการซักด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์ จำนวน 5 รอบ

จากค่าของสีผ้าย้อมก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์แสดงในตารางที่ 4.23 พบว่า เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทอย้อมสีทั้งสองชนิด พบว่าผ้ายังคงมีเฉดสีแดง (a* เป็นค่าบวกใกล้เคียงเดิม) โดยมีสีเข้มไม่แตกต่างจากสีผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ (L* มีค่าไม่ต่างจากเดิมนัก) แต่ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีเฉดสีแดงและมีสีน้ำเงินมากขึ้นอยู่เล็กน้อย (a* เป็นบวกไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมนักและ b* เป็นลบมากขึ้นจากค่า b* ของผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ อยู่เล็กน้อย) แต่ทั้งนี้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่า ΔE มากกว่า 1 เล็กน้อย (ค่า ΔE อยู่ในช่วง 0.99 – 1.42) คือผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จนี้มีสีแตกต่างจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จในระดับที่ตามมองเห็นได้ ส่วนผลการวัดสีของผ้าตกแต่งสำเร็จหลังผ่านการซักก็พบว่าผลของการวัดสีผ้ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับของผ้าก่อนผ่านการซัก

4.3 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้งที่มีและไม่มีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบสมบัติการดูดกลิ่นตัว การต้านแบคทีเรีย การต้านรังสียูวี การดูดซึมน้ำ ความแข็งกระด้าง ความแข็งแรง ความขาว และความเพี้ยนของสีผ้า แสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

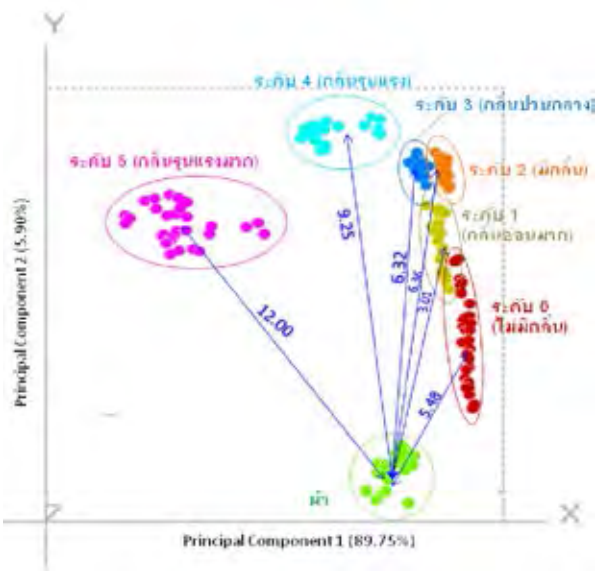
4.3.1 ผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้าย

การทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้า กระทำการทดสอบกับผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร (กลิ่นตัวระดับ 5) ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวโดยใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ ได้ผลเป็นระยะขจัด โดยที่ค่าระยะขจัดต่ำสุดของผ้าแต่ละชนิดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับใด แสดงว่าผ้ามีแนวโน้มใกล้เคียงกลิ่นตัวระดับนั้น

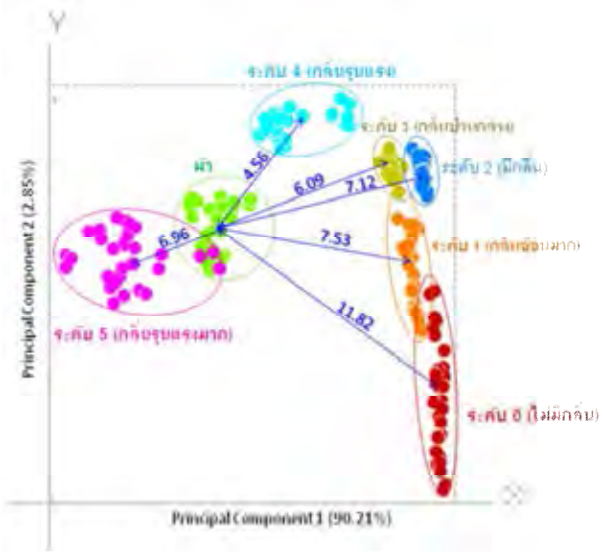
4.3.1.1 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายทอ

ผ้าทอ 4 ชุด ได้แก่ ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ซุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่มีและไม่มีสารช่วยผนึกติด และผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (เท่ากับการซัก 5 รอบด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ตารางที่ 3.2) แสดงผลตามภาพที่ 4.10 – 4.13 และตารางที่ 4.24

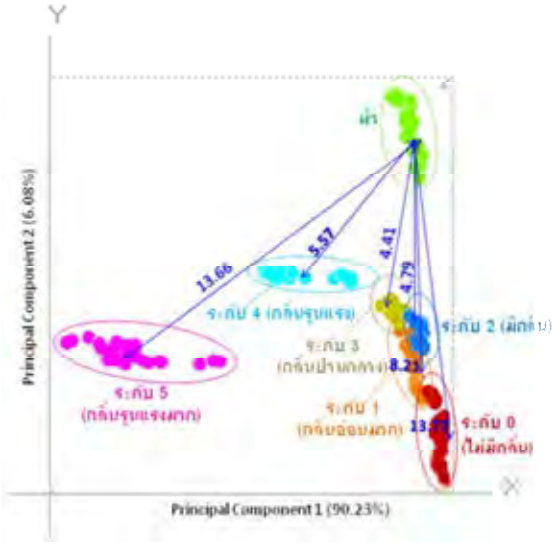
4.3.1.1.1 ผ้าฝ้ายฟอก



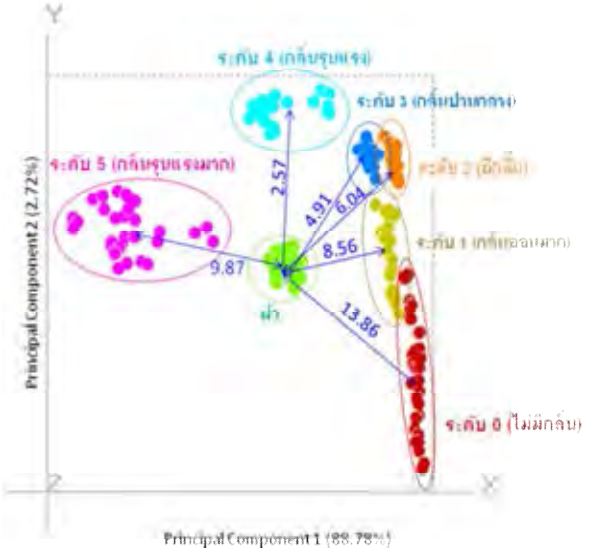
(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ



(ข) ไม่ตกแต่งสำเร็จ ผ่านการซัก 1 รอบ

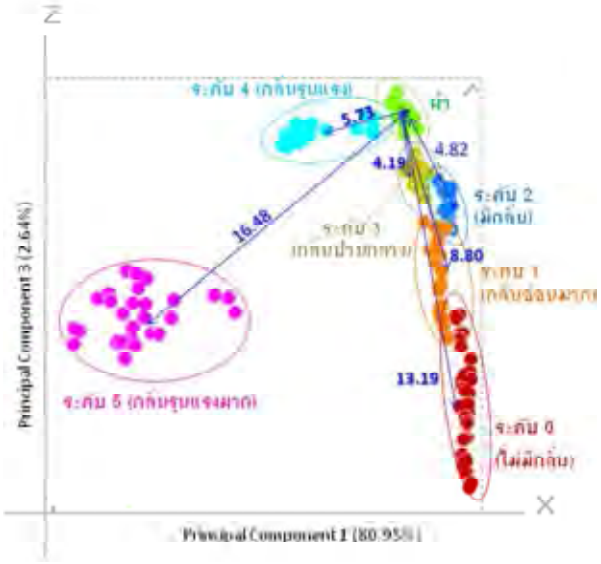


(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)

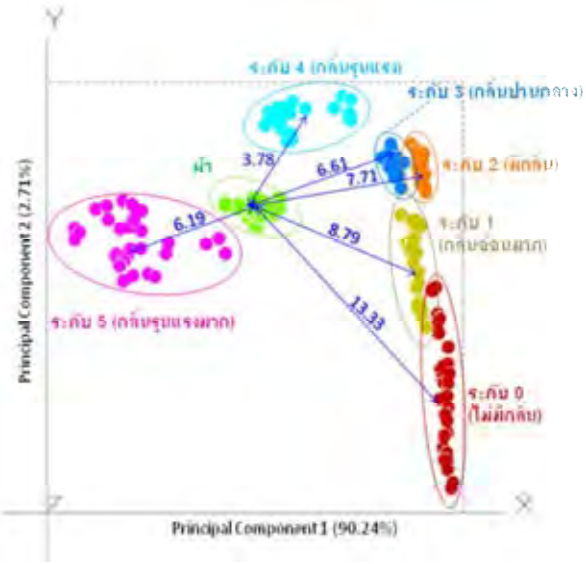


(ง) สารช่วยผนึกติด

ภาพที่ 4.10 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอกที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ ซัก 1 รอบ (ค) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ง) ผ้าฟอกที่เคลือบสารช่วยผนึกติด



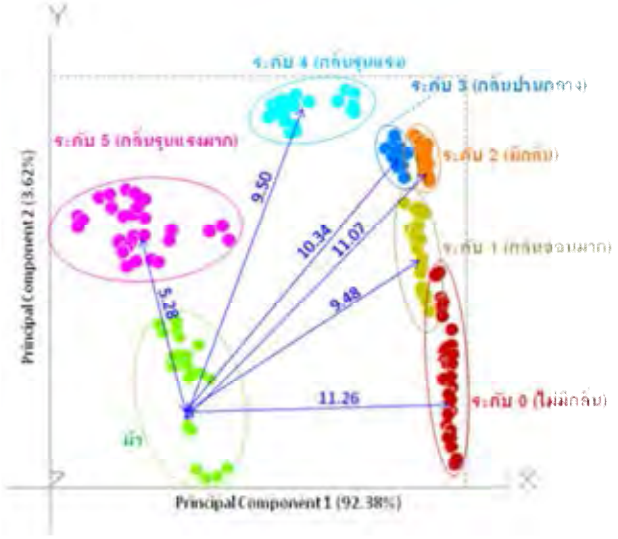
(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



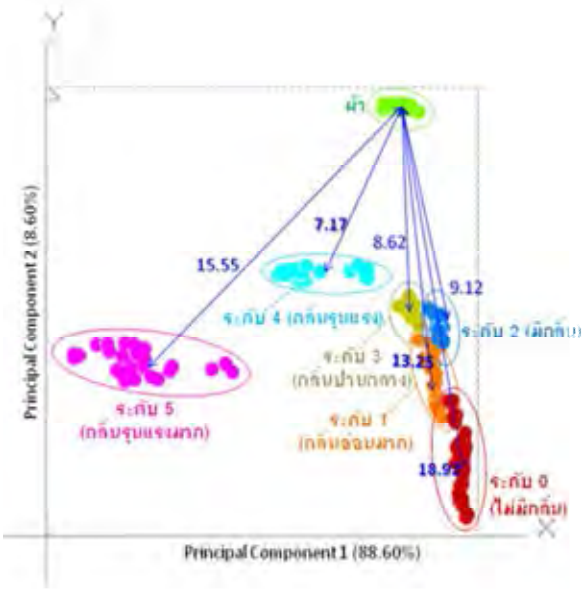
(ฉ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.10 **(ต่อ)** (จ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ฉ) ผ้าฟอกที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ซัก 5 รอบ

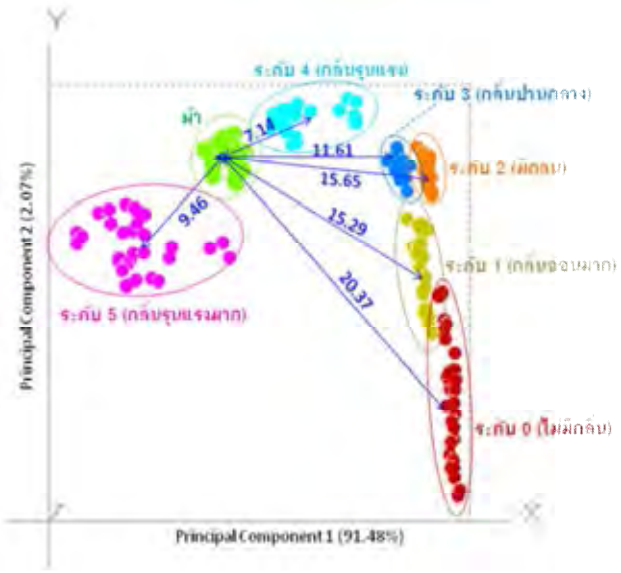
4.3.1.1.2 ผ้าฟอกและชุบมัน



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ

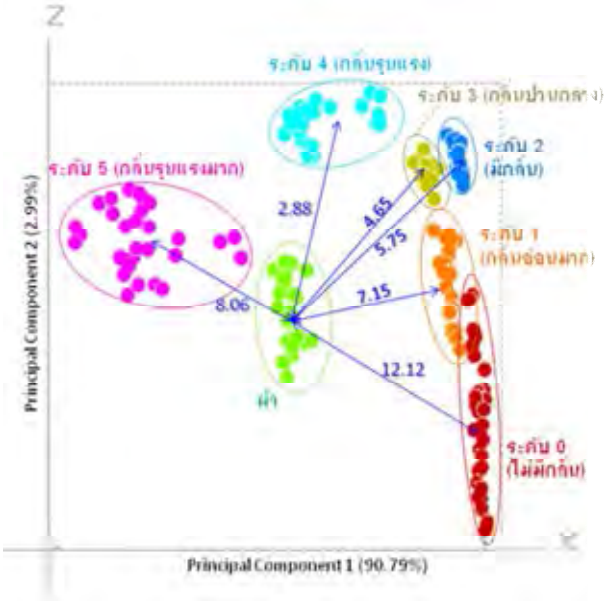


(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)



(ค) สารช่วยผนึกติด

ภาพที่ 4.11 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าฟอก/ชุบมันที่เคลือบสารช่วยผนึกติด

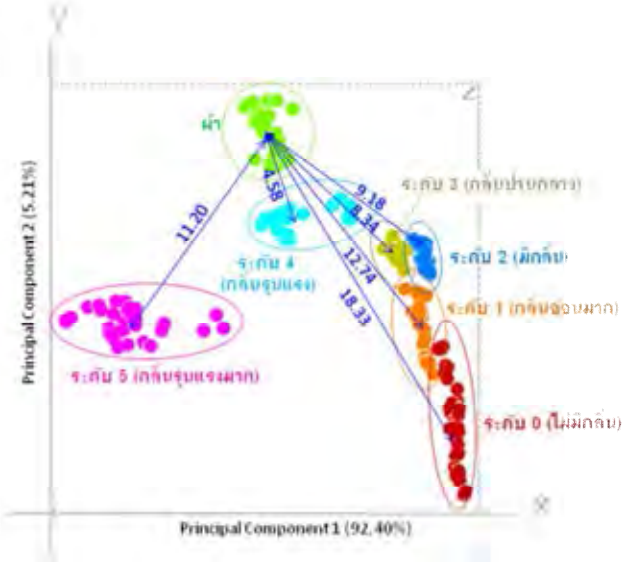


(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด)

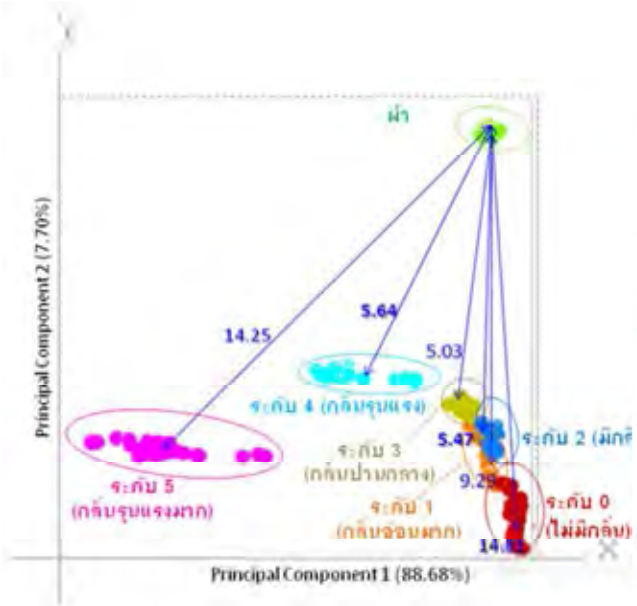
(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.11 (ต่อ) (ง) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) (จ) ผ้าฟอก/ชุบมันที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการจุ่มอัด) ซัก 5 รอบ

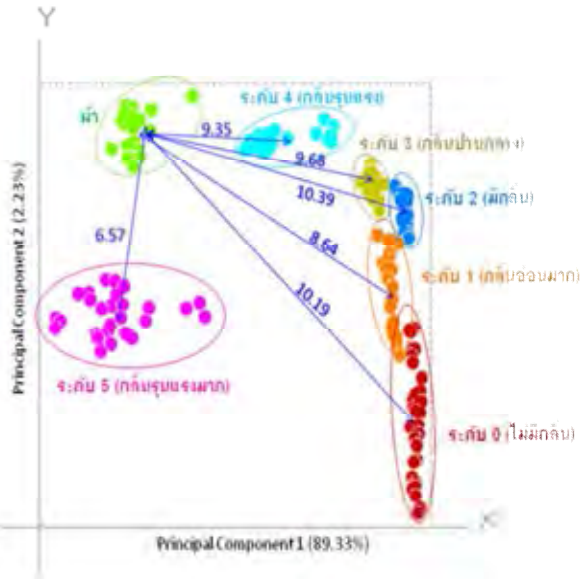
4.3.1.1.3 ผ้าฟอกและย้อม



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ

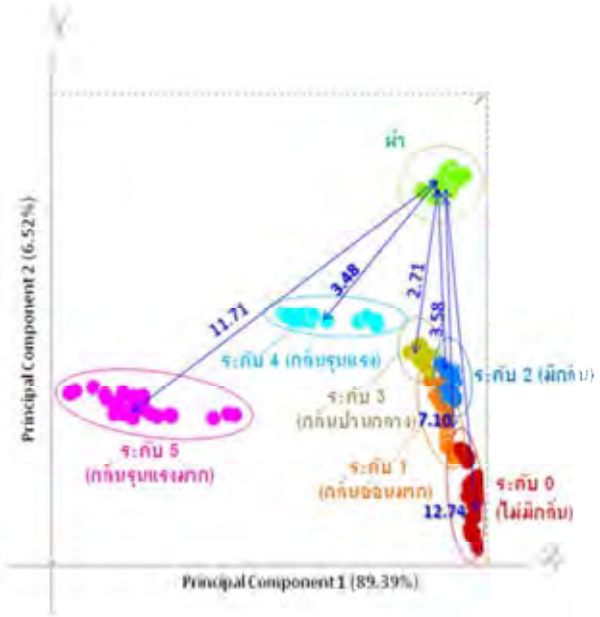


(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

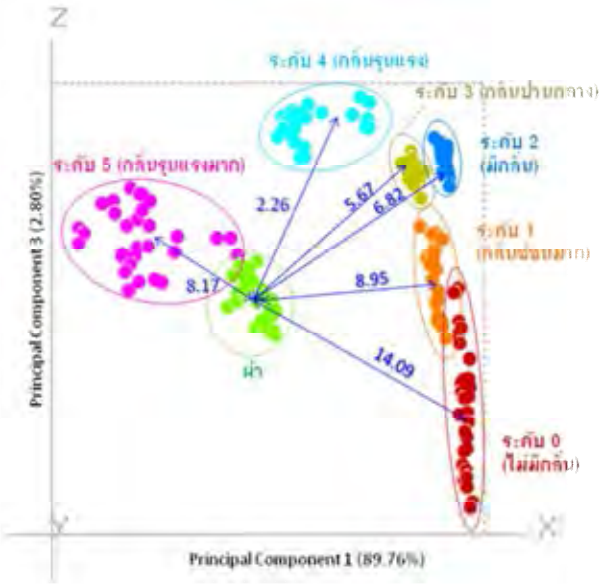


(ค) สารช่วยผนึกติด

ภาพที่ 4.12 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 - 5 (ก) ผ้าฟอก/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (ค) ผ้าฟอก/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด



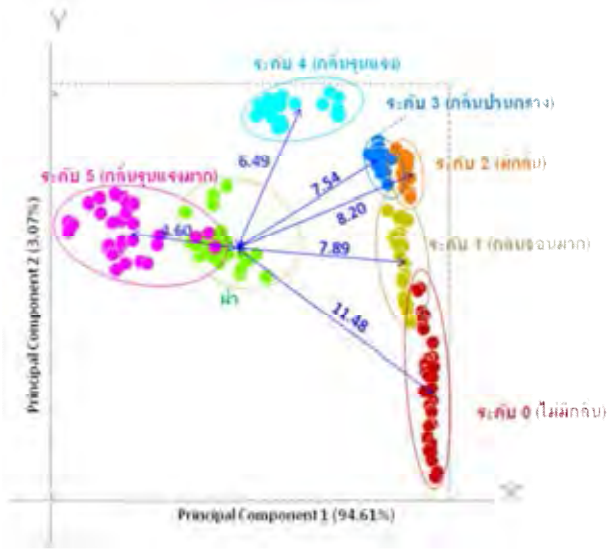
(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)



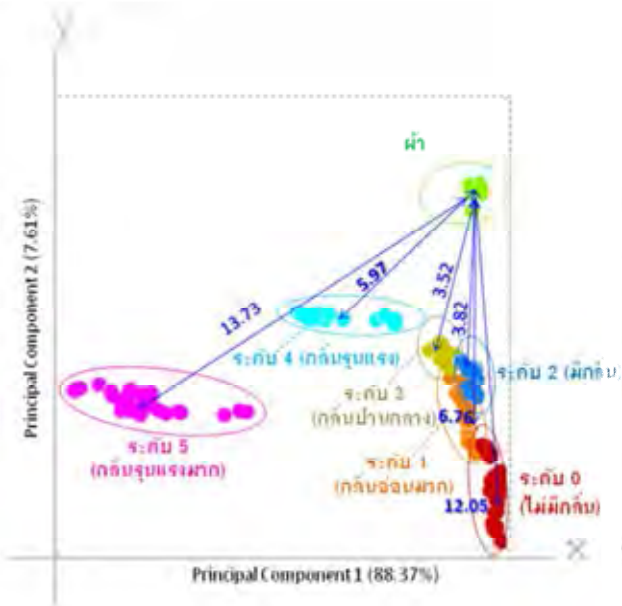
(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.12 **(ต่อ)** (ง) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (จ) ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ซัก 5 รอบ

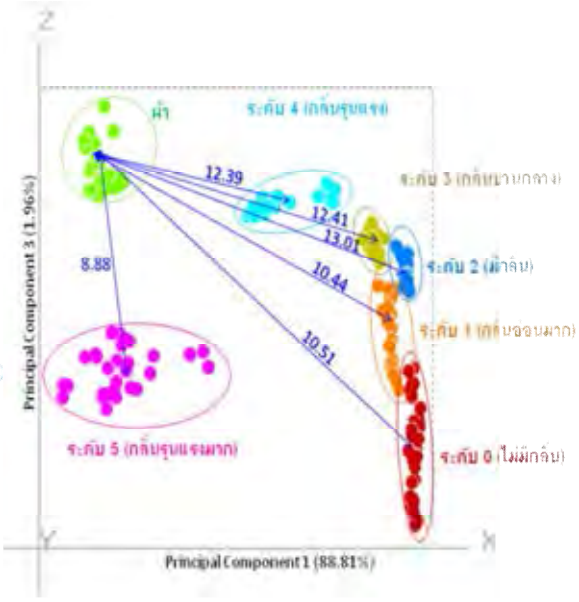
4.3.1.1.4 ผ้าฟอก ซุบมัน และย้อม



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ

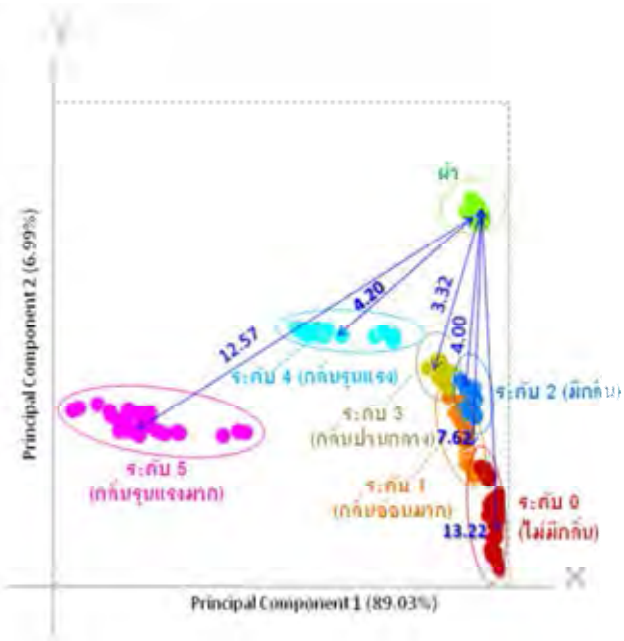


(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)

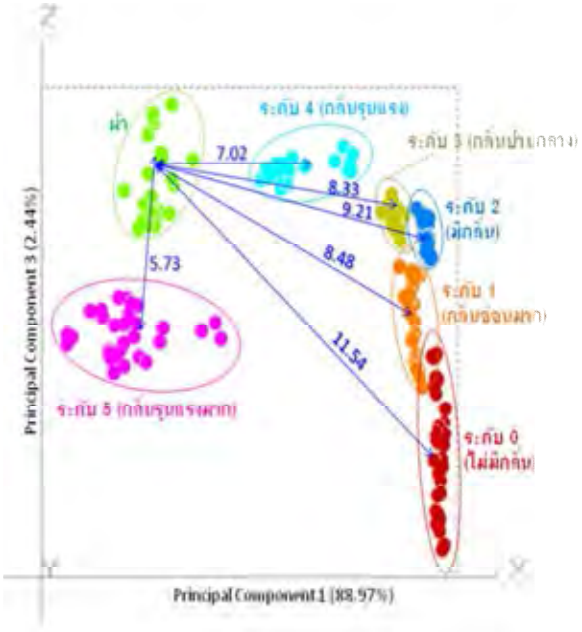


(ค) สารช่วยผนึกติด

ภาพที่ 4.13 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (ค) ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อมที่เคลือบสารช่วยผนึกติด



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่)



(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ มีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ผ่านการซัก 5 รอบ

ภาพที่ 4.13 (ต่อ) (ง) ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อมตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) (จ) ผ้าฟอก/ย้อมตกแต่งสำเร็จ โดยมีสารช่วยผนึกติด (เทคนิคการแช่) ซัก 5 รอบ

ตารางที่ 4.24 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ที่วัดจากสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าทอ	เทคนิคกาตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
ผ้าฟอก							
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	5.48	3.01	6.36	6.32	9.25	12.00
2. ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ซัก 1 รอบ)	-	11.82	7.53	7.12	6.09	4.56	6.96
3. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	13.77	8.21	4.79	4.41	5.57	13.66
4. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	13.86	8.56	6.04	4.91	2.57	9.87
5. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	13.19	8.80	4.82	4.19	5.73	16.48
6. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การจุ่มอัด	13.33	8.79	7.71	6.61	3.78	6.19
ผ้าฟอก/ซุบมัน							
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.26	9.48	11.07	10.34	9.50	5.28
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	18.92	13.25	9.12	8.62	7.17	15.55
3. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	20.37	15.29	15.65	11.61	7.14	9.46
4. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	12.12	7.15	5.75	4.65	2.88	8.06
5. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การจุ่มอัด	12.45	8.9	9.29	8.34	6.62	4.94

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
ผ้าฟอก/ย้อม							
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	18.33	12.74	9.18	8.34	4.58	11.20
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การแช่	14.81	9.29	5.47	5.03	5.64	14.25
3. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	10.19	8.64	10.39	9.68	9.35	6.57
4. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด	การแช่	12.74	7.10	3.58	2.71	3.48	11.71
5. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การแช่	14.09	8.95	6.82	5.67	2.26	8.17
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม							
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	11.48	7.89	8.20	7.54	6.49	4.60
2. ตกแต่งสำเร็จ ไม่มีสารช่วยผนึกติด	การแช่	12.05	6.76	3.83	3.52	5.97	13.73
3. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	10.51	10.44	13.01	12.41	12.39	8.88
4. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด	การแช่	13.22	7.62	4.00	3.32	4.20	12.57
5. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซัก 5 รอบ)	การแช่	11.54	8.48	9.21	8.33	7.02	5.73

หมายเหตุ 1) IVA = สารละลายกรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid)

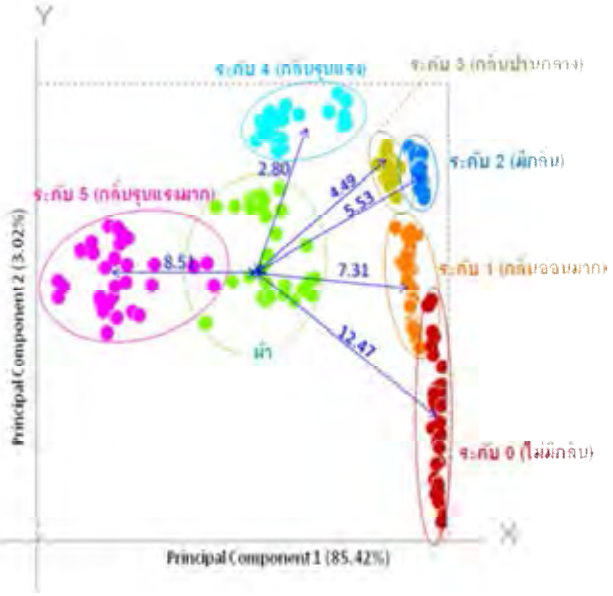
จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าทอทั้ง 4 ชนิด ที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยที่ไม่มีสารช่วยผนึกติดและมีสารช่วยผนึกติด ซึ่งแสดงเป็นระยะขจัดในภาพที่ 4.10-4.13 และตารางที่ 4.24 พบว่า ผ้าที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ และผ้าที่มีสารช่วยผนึกติด โดยส่วนใหญ่มีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4-5 คือมีกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมาก (ยกเว้นผ้าฟอกที่ไม่ผ่านการซัก) ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในข้อที่ 4.1.1.1.1 ถึง 4.1.1.1.4 เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทอ

ทั้ง 4 ชนิดด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยไม่ใช้สารช่วยผนึกติด พบว่าผ้า 3 ใน 4 ชนิด มีระยะขจัดสั้นที่สุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 3 หรือมีกลิ่นตัวปานกลาง หมายถึงสามารถลดกลิ่นตัวระดับรุนแรงถึงรุนแรงมากในผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ เป็นกลิ่นตัวปานกลางในผ้าตกแต่งสำเร็จโดยไม่มีสารช่วยผนึกติด เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จนี้มาอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด แล้วทดสอบการดูดกลิ่นตัว พบว่าผ้าทั้ง 3 ชนิด ยังคงมีกลิ่นตัวอยู่ที่ระดับ 3 (ระยะขจัดสั้นที่สุด 4.19, 2.71 และ 3.32 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 3) แต่เมื่อนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่มีสารช่วยผนึกติด ไปซัก 5 รอบ แล้วนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว พบว่าผ้าทั้งสามชนิดมีระยะขจัดสั้นที่สุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4-5 คือมีกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมาก หรือผ้าไม่สามารถดูดกลิ่นได้นั่นเอง

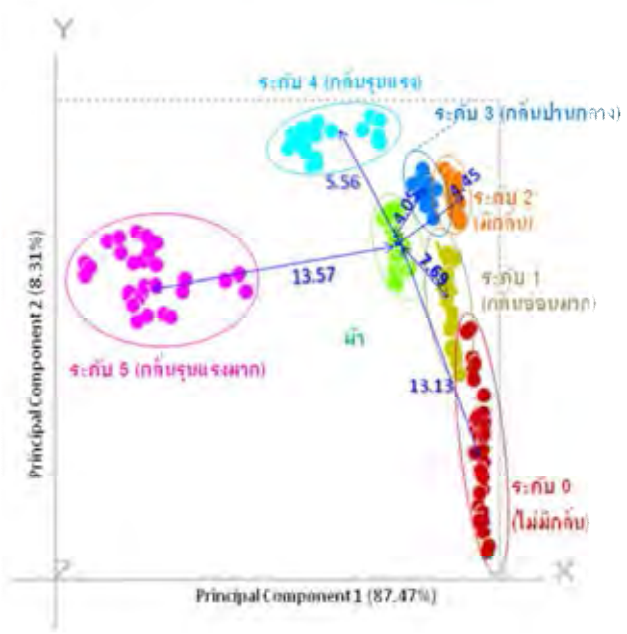
จากการทดลองตกแต่งสำเร็จควบคุมกลิ่นตัวบนผ้าฝ้ายทอด้วยบีตาไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับสารต้านแบคทีเรียนาโนซิงค์ออกไซด์ สรุปได้ว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จที่ได้สามารถช่วยดูดกลิ่นตัวหรือลดกลิ่นตัวได้บ้าง จากกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมากเป็นกลิ่นตัวปานกลาง แต่สารตกแต่งสำเร็จบนผ้าไม่มีความคงทนต่อการซักและหลุดออกมาจากผ้าจนทำให้ไม่สามารถดูดกลิ่นตัวได้

4.3.1.2 การดูดกลิ่นตัวของผ้าฝ้ายถักย้อมสี

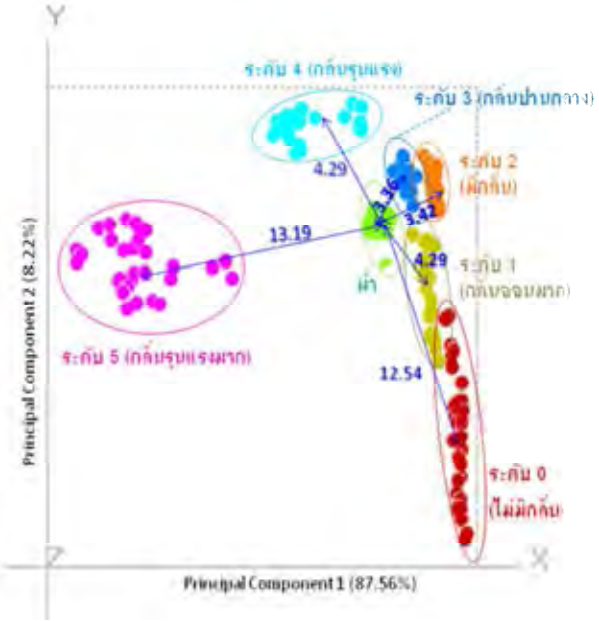
ผ้าฝ้ายถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก โดยมีสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัว โดยหยดสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 3.57 มิลลิลิตรต่อลิตร หรือกลิ่นตัวระดับ 5 ลงบนผ้า แล้ววัดกลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาระยะขจัดระหว่างกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้ากับกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 ของสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการทดสอบการดูดกลิ่นแล้ว ไปซักตามมาตรฐาน ISO 105-C10 วิธี A(1) เพื่อกำจัดกลิ่นบนผ้าแล้วนำมาทดสอบการดูดกลิ่นตัวซ้ำ ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการซักผ้าและทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าแบบนี้ซ้ำอีก 2 ครั้ง แสดงผลตามภาพที่ 4.14 – 4.15 และตารางที่ 4.25



(ก) ไม่ตกแต่งสำเร็จ

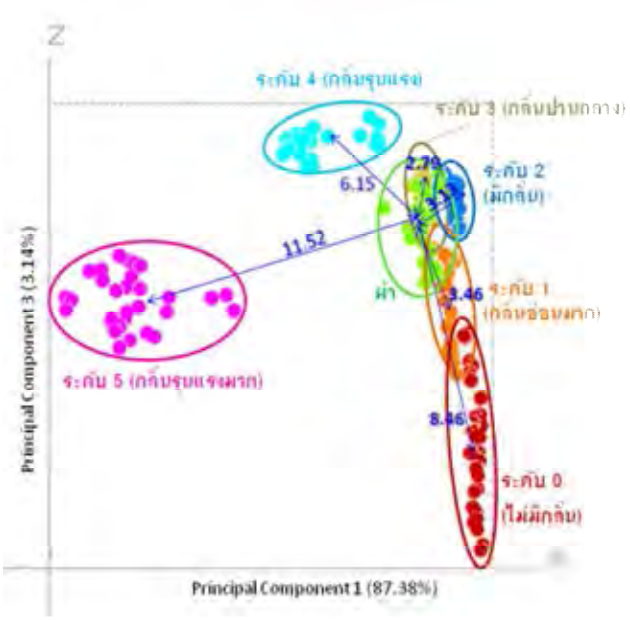


(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการจุ่มอัด)

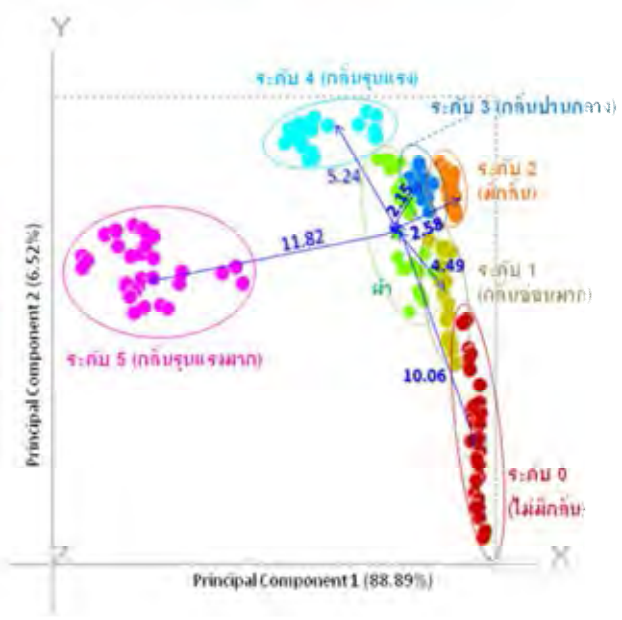


(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 1

ภาพที่ 4.14 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าย้อมที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัด) (ค) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 1

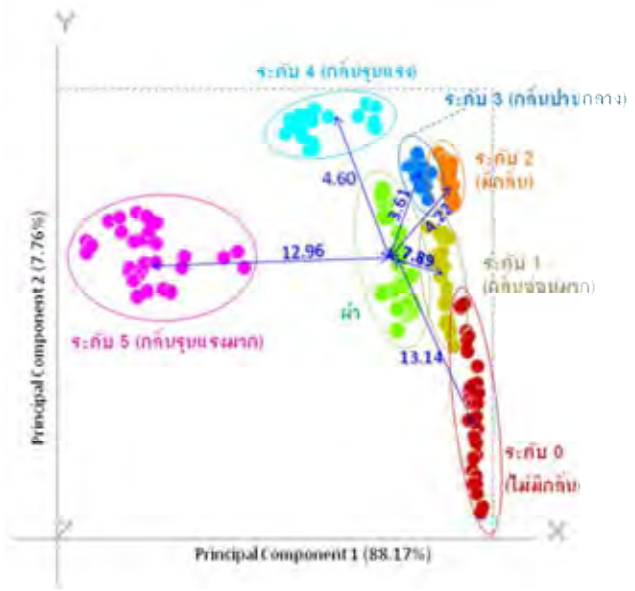


(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 2

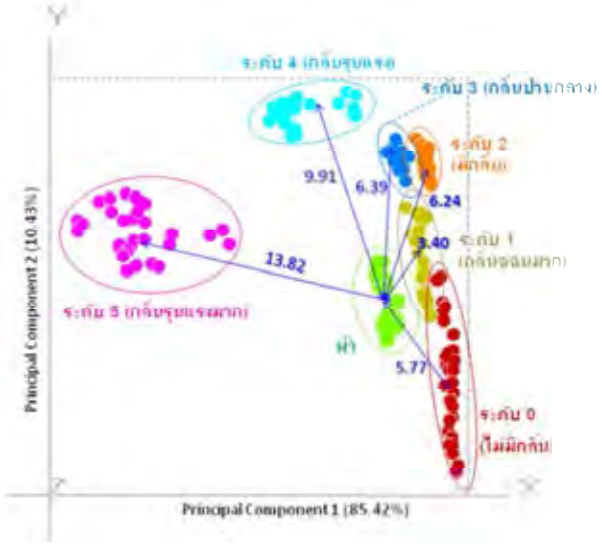


(จ) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 3

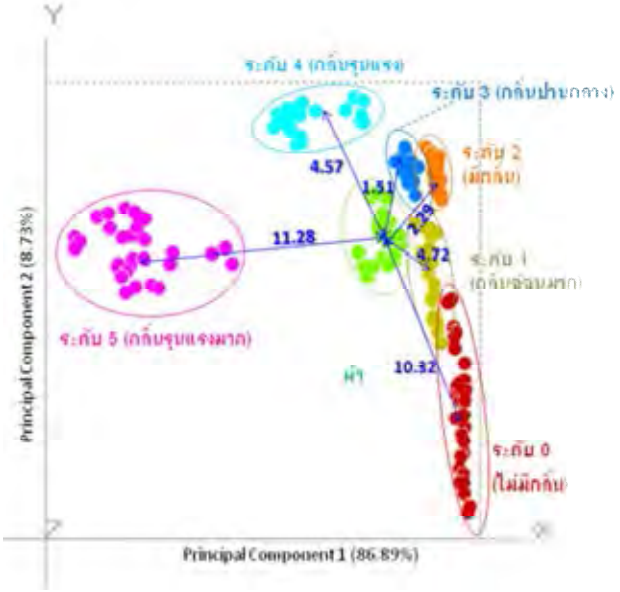
ภาพที่ 4.14 **(ต่อ)** (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 2 (จ) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการจุ่มอัด) ซักรอบที่ 3



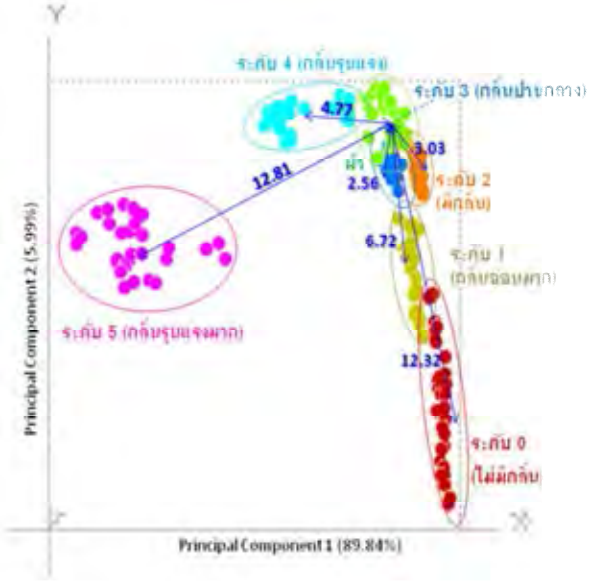
(ก) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการแช่)



(ข) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 1



(ค) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 2



(ง) ไซโคลเดกซ์ทริน+นาโนซิงค์ออกไซด์ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 3

ภาพที่ 4.15 PCA score plot แสดงระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5 (ก) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่) (ข) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 1 (ค) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 2 (ง) ผ้าย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ (เทคนิคการแช่) ซักรอบที่ 3

ตารางที่ 4.25 ระยะขจัดที่วัดจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ถึงกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวระดับ 0-5 ที่วัดจากสารละลายไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่างๆ

ผ้าถักย้อมสี	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ระยะขจัดจากกลิ่นตัวบนผ้าถึงกลิ่นตัวระดับ 0 – 5					
		ระดับ 0 (IVA 0 ml/l)	ระดับ 1 (IVA 0.013 ml/l)	ระดับ 2 (IVA 0.053 ml/l)	ระดับ 3 (IVA 0.22 ml/l)	ระดับ 4 (IVA 0.87 ml/l)	ระดับ 5 (IVA 3.57 ml/l)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	12.47	7.31	5.53	4.49	2.80	8.51
2. ตกแต่งสำเร็จ + สารช่วยผนึกติด	จุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก	13.13	7.69	4.45	4.05	5.56	13.57
3. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 1)	จุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก	9.26	4.29	3.42	3.36	6.94	13.19
4. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 2)	จุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก	8.46	3.17	3.13	2.79	6.15	11.52
5. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 3)	จุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิก	10.06	4.49	2.58	2.15	5.24	11.82
6. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด	แช่ในอ่างอัลตราโซนิก	13.14	7.89	4.22	3.61	4.60	12.96
7. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 1)	แช่ในอ่างอัลตราโซนิก	5.77	3.40	6.24	6.39	9.91	13.82
8. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 2)	แช่ในอ่างอัลตราโซนิก	10.32	4.72	2.29	1.51	4.57	11.28
9. ตกแต่งสำเร็จ +สารช่วยผนึกติด (ซักรอบที่ 3)	แช่ในอ่างอัลตราโซนิก	12.32	6.72	3.03	2.56	4.77	12.81

จากผลการทดสอบการดูดกลิ่นตัวของผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและตกแต่งสำเร็จแล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ตามภาพที่ 4.15 และตารางที่ 4.25 พบว่า ผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จมีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 4 (ระยะขจัดต่ำสุด 2.80 อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 4) คือผ้ามีกลิ่นตัวรุนแรง เมื่อนำผ้าถักย้อมสีมาตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ ในอ่างอัลตราโซนิก พบว่าผ้ามีกลิ่นตัวอยู่ในระดับ 3 (ระยะขจัดต่ำสุด 4.05

และ 3.61 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 3) คือผ้ามีกลิ่นตัวในระดับปานกลาง หรือหมายถึงการตกแต่งสำเร็จนี้สามารถลดกลิ่นตัวบนผ้าจากระดับรุนแรง (ระดับ 4) ในผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จมาเป็นระดับกลิ่นตัวปานกลาง (ระดับ 3) ในผ้าหลังตกแต่งสำเร็จ เมื่อซักผ้าตกแต่งสำเร็จ 1 ครั้ง แล้วนำไปทดสอบการดูดกลิ่นตัวพบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก มีระยะขจัดต่ำสุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 1 คือมีกลิ่นตัวอ่อนมาก และผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยการจุ่มอัดในอ่างอัลตราโซนิกมีระยะขจัดต่ำสุดอยู่ที่กลิ่นตัวระดับ 3 คือมีกลิ่นตัวปานกลาง และเมื่อนำผ้าตกแต่งสำเร็จที่ผ่านการทดสอบการดูดกลิ่นตัวแล้ว 1 ครั้ง (มีสารละลายไอโซวาเลอริกหรือมีกลิ่นตัวหลงเหลือจากการทดสอบครั้งแรก) ไปซักอีก 1 ครั้ง (ซักรอบที่ 2) และทำแบบนี้อีก 1 รอบ (ทดสอบ+ซัก) (ซักรอบที่ 3) พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยทั้งสองเทคนิคมีกลิ่นตัวระดับปานกลาง

จากผลการตกแต่งสำเร็จผ้าถักด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปว่าผ้าตกแต่งสำเร็จสามารถดูดกลิ่นตัวได้ในระดับปานกลาง และเมื่อผ่านการซักเพื่อกำจัดกลิ่นตัวบนผ้าแล้วนำมาทดสอบซ้ำ พบว่าผ้าตกแต่งสำเร็จยังคงสามารถดูดกลิ่นตัวได้ในระดับปานกลางเช่นเดิม ซึ่งแสดงว่าสารตกแต่งสำเร็จบนผ้ายังคงมีความคงทนต่อการซัก 3 รอบได้

4.3.2 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียที่ทดสอบบนผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถัก ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ไม่ซักและซักผ้า แล้วนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 โดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิดคือ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ผลเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction) ถ้าผ้าที่มีค่าร้อยละของการลดลงของแบคทีเรียตั้งแต่ร้อยละ 99.0 ขึ้นไปถือว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีและจะดียิ่งขึ้นถ้าผ้ามีค่านี้มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 99.9

4.3.2.1 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่แล้วอบผึกด้วยสารช่วยผึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 1 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C06 วิธี B1M (เท่ากับการซัก 5 รอบ ด้วยเครื่องซักผ้าเชิงพาณิชย์) ถูกนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรีย แสดงผลตามตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)			
		Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*	
		ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ	ก่อนซัก	หลังซัก 5 รอบ
ผ้าฟอก					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	0	-	0	-
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์	การจุ่มอัด	0	0	63.33	0
ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	86.83	0	63.33	0
ผ้าฟอก/ชุบมัน					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์	การจุ่มอัด	3.77	0	85.00	0
ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	54.71	0	0	0
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์	การจุ่มอัด	57.81	0	85.27	53.84
ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	51.56	0	66.66	0
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์	การจุ่มอัด	88.76	0	93.02	0
ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	94.83	0	77.67	0

จากผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าโดยแสดงเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียในตารางที่ 4.26 พบว่า ผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียวและผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ ไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย ทั้งนี้ดูจากค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมีค่าเป็นศูนย์

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ้าจะแสดงความสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีขึ้น คือมีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 3.77 – 94.83 โดยภาพรวมพบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จสามารถต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีกว่า *Escherichia coli* และเมื่อผ้าตกแต่งสำเร็จผ่านการซัก 5 รอบ พบว่ามีเฉพาะผ้าฟอก/ย้อมที่

ตกแต่งสำเร็จเท่านั้นที่สามารถต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้บ้างเล็กน้อย ผ้าตกแต่งสำเร็จส่วนใหญ่ไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลยหลังซัก 5 รอบ เนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าไม่คงทนต่อการซัก

จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่า ผ้าย้อมมีแนวโน้มน่าจะเหมาะสำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านแบคทีเรียด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าผ้าไม่ย้อม แต่จำเป็นต้องปรับปรุงเรื่องการผนึกสารตกแต่งสำเร็จให้ติดบนผ้าให้คงทนมากขึ้นเพื่อจะได้ผ้าที่สามารถต้านแบคทีเรียและมีความคงทนต่อการซักล้างด้วย หรืออาจปรับปรุงเทคนิคการตกแต่งสำเร็จหรือเพิ่มปริมาณการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบข้อ 4.2.1.1 การต้านแบคทีเรียของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์เพียงชนิดเดียว พบว่าผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และอาจถึงดีมากเมื่อตกแต่งสำเร็จบนผ้าย้อม (ร้อยละของการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.99) ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการใช้สารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโน ซิงค์ออกไซด์สำหรับการตกแต่งสำเร็จผ้ามีผลทำให้การต้านแบคทีเรียของผ้าลดลง

4.3.2.2 ผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ทั้งที่ไม่ซักและซัก 5 รอบ ตามมาตรฐาน ISO 105-C10 วิธี A(1) ถูกนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรีย แสดงผลตามตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสี	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (% reduction)			
		Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*	
		ก่อนซัก	หลังซัก	ก่อนซัก	หลังซัก
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	0	-	0	-
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน /นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	99.99	0	88.88	0
	การแช่	99.99	0	88.88	0

จากผลการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าถักโดยแสดงเป็นค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียในตารางที่ 4.27 พบว่า ผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ มีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเป็นศูนย์ ไม่ คือสามารถต้านแบคทีเรียได้เลย

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าถักด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดโดยแช่ผ้าในสารตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิกก่อนอัดผ้าด้วยลูกกลิ้ง และเทคนิคการแช่โดยแช่ผ้าในสารในอ่างอัลตราโซนิกแทนการใช้เครื่องย้อมแบบกระบอก เพื่อลดการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผิวผ้า เมื่อนำมาทดสอบการต้านแบคทีเรียแสดงว่าผลในตารางที่ 4.27 พบว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* ได้ในระดับดีมาก (ร้อยละการลดฯ เท่ากับ 99.99) และสามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีโดยมีค่าร้อยละการลดลงฯ เท่ากับ 88.88 และเมื่อผ่านการซัก 5 รอบ พบว่าผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย (ร้อยละการลดลงฯ เท่ากับ 0)

ผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จมีการต้านแบคทีเรียที่ดี แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จโดยใช้อ่างอัลตราโซนิกช่วยลดการเกาะกันเป็นก้อนของนาโนซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้าทำให้อนุภาคของสารกระจายไปทั่วผ้าและแสดงการต้านแบคทีเรียดีขึ้น และโครงสร้างของผ้าถักที่มีพื้นที่ในการยึดเกาะจะช่วยเพิ่มให้ผ้ามีสารตกแต่งสำเร็จมาก อย่างไรก็ตามสารตกแต่งสำเร็จบนผ้ายังไม่มีความคงทนต่อการซัก

4.3.3 ผลการทดสอบการต้านรังสียูวีบนผ้าฝ้าย

การทดสอบสมบัติการต้านรังสียูวีบนผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถัก ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยการวัดค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) ค่าร้อยละของรังสีที่ส่องผ่าน (UV transmittance) และค่าร้อยละการปกป้องรังสียูวี (UV blocking) ของรังสียูวี-เอ (ความยาวคลื่น 315 – 400 นาโนเมตร) และรังสียูวี-บี (ความยาวคลื่น 280 – 315 นาโนเมตร) ตามมาตรฐาน AATCC 183 โดยถ้าผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่า UPF มากกว่าผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าสารตกแต่งสำเร็จทำให้ผ้าต้านรังสียูวีได้ดีขึ้น และการต้านรังสียูวีจะอยู่ในระดับดี ถ้าผ้ามีค่า UPF ในช่วง 15 – 24 และระดับดีเยี่ยมถ้ามีค่า UPF ตั้งแต่ 40 ขึ้นไป

4.3.3.1 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการต้านรังสียูวี แสดงผลตามตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การต้านรังสียูวีของผ้าทอตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่า UPF	UV - A transmittance (ร้อยละ)	UV – A blocking (ร้อยละ)	UV - B transmittance (ร้อยละ)	UV – B blocking (ร้อยละ)
ผ้าฟอก						
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	5.86	13.5	86.5	17.0	83.0
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/ นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	7.03	11.8	88.2	14.3	85.7
	การแช่	7.00	12.0	88.0	14.4	85.6
ผ้าฟอก/ชุบมัน						
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	7.24	11.0	89.0	13.7	86.3
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	6.49	12.6	87.4	15.5	84.5
	การแช่	7.64	10.8	89.2	13.2	86.8
ผ้าฟอก/ย้อม						
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	12.40	9.9	90.1	7.8	92.2
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	14.50	9.0	91.0	6.6	93.4
	การแช่	13.30	8.8	91.2	7.3	92.7
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม						
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	13.40	9.0	91.0	7.2	92.8
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	12.50	9.4	90.6	7.8	92.2
	การแช่	15.70	7.7	92.3	6.2	93.8

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.28 พบว่า ผ้าฝ้ายเมื่อผ่านการย้อมสามารถต้านรังสียูวีได้ดีขึ้น คือมีค่า UPF มากกว่าผ้าก่อนย้อมและพบว่ามีค่ามากกว่าประมาณเท่าตัว เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทอทั้งสี่ชนิดด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับซิงค์ออกไซด์ พบว่า ผ้าสามารถต้านรังสียูวีได้ใกล้เคียงกับผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ และผ้าส่วนใหญ่ต้านรังสียูวีได้ในระดับต่ำ (ค่า UPF น้อยกว่า 15) ยกเว้นผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ สามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีคือมีค่า UPF เท่ากับ 15.70 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการตกแต่งสำเร็จนี้ไม่ได้ใช้อ่างอัลตราโซนิก สารนาโนซิงค์ออกไซด์อาจเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ (พื้นที่ผิวน้อย) อยู่ที่ผิวผ้าหรือสารแพร่เข้าผ้าได้น้อย ทำให้ประสิทธิภาพการต้านรังสียูวีของผ้าจึงไม่สูง

ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ มีความสามารถต้านรังสียูวี ใกล้เคียงกับผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ อาจเนื่องจากผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นผ้าทอเนื้อบาง มีช่องว่างหรือความโปร่ง (รูพรุน) ของผ้ามาก ทำให้มีรังสียูวีทะลุผ่านผ้าได้มาก ถึงแม้จะมีสารตกแต่งสำเร็จเกาะอยู่ที่ผิวผ้าก็ไม่สามารถช่วยปิดช่องว่างของผ้าได้ ดังนั้นหากตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายถักที่หนาขึ้นและใช้อ่างอัลตราโซนิกในการตกแต่งสำเร็จน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายได้

4.3.3.2 ผลการต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและที่ตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก แล้วอบผนึกด้วยสารช่วยผนึกติด ถูกนำมาทดสอบการต้านรังสียูวี แสดงผลตามตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 การต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าถักย้อมสี	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่า UPF	UV - A transmittance (ร้อยละ)	UV - A blocking (ร้อยละ)	UV - B transmittance (ร้อยละ)	UV - B blocking (ร้อยละ)
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	38.6	3.5	96.5	2.4	97.6
2. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	125.9	1.2	98.8	0.7	99.3

จากผลการทดสอบการต้านรังสียูวีของผ้าถักย้อมสี ตามตารางที่ 4.29 พบว่าผ้าถักย้อมสีที่ไม่ตกแต่งสำเร็จมีค่า UPF เท่ากับ 38.6 คือ มีการต้านรังสียูวีได้ในระดับดีมาก (ค่า UPF มากกว่า 15) และเมื่อนำผ้าถักย้อมสีมาตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ้ามีค่า UPF เท่ากับ 125.9 คือมีการต้านรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม (ค่า UPF มากกว่า 40) เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านรังสียูวีด้วยการดูดซับและสะท้อนรังสียูวีออกจากผ้า ช่วยป้องกันรังสียูวีไม่ให้ทะลุผ่านผ้ามากเกินไป และโครงสร้างของผ้าถักที่ช่วยดูดซึมสารตกแต่งสำเร็จให้เกาะอยู่ที่เส้นใยมากขึ้น อีกทั้งการตกแต่งสำเร็จในอ่างอัลตราโซนิกที่ช่วยป้องกันการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผิวผ้า ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของซิงค์ออกไซด์ ทำให้ผ้าป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้น

4.3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าทอ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าเพื่อศึกษาว่า ผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำให้ผ้ามีสมบัติด้านการดูดซึมน้ำเป็นเช่นใด ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าตามตารางที่ 4.30 พบว่า ผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ชุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีคือ ผ้าดูดซึมน้ำได้ดีมาก แต่เมื่อนำผ้าไปตกแต่งสำเร็จด้วยสารบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับสารนาโนซิงค์ออกไซด์ ตามด้วยการผนึกสารด้วยสารช่วยผนึกติด พบว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงกว่าเดิมคือ ดูดซึมโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 9-19 วินาที ผ้าที่มีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียวใช้เวลาในการดูดซึมน้ำที่สั้นกว่าคือ ดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ยตั้งแต่ 6-11 วินาที ทั้งนี้การเคลือบสารช่วยผนึกติดลงบนผ้าจะเกิดฟิล์มเคลือบปิดบนผิวผ้า ทำให้ผ้าดูดซึมน้ำช้าลง และเมื่อเคลือบทั้งบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินและนาโนซิงค์ออกไซด์ และสารช่วยผนึกติดลงบนผ้า จะยิ่งทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงมากขึ้นอีก ตามผลที่แสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	เวลาในการดูดซึมน้ำ (วินาที) โดยเฉลี่ย			
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน	ผ้าฟอก/ย้อม	ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	ทันที	ทันที	ทันที	ทันที
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	11.0	8.4	6.4	6.8
3. บีตาไซโคลเดกซ์ทริน /	การจุ่มอัด	19.2	10.6	9.6	10.2
นาโนซิงค์ออกไซด์	การแช่	18.6	14.2	15.0	12.6
+ สารช่วยผนึกติด					

4.3.5 ผลการทดสอบสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าทอ

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยการวัดสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า โดยผ้าที่มีสภาพแข็งตึงดัดโค้งสูง คือผ้าที่มีความแข็งกระด้างมาก ผลการทดสอบมีแสดงในตารางที่ 4.31

ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด และผ้าที่ตกแต่งสำเร็จเฉพาะสารช่วยผนึกติดจะมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งทั้งต่ำกว่าและสูงกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ จากตารางที่ 4.31 โดยพบว่าค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือความแข็งกระด้างของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด มีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จอยู่ราวร้อยละ 34-48

ตารางที่ 4.31 สภาพแข็งตึงดัดโค้ง (flexural rigidity) ของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (มิลลิกรัม·เซนติเมตร)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	54.08	20.68
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	86.25	21.58
- บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	73.11	18.74
ผ้าฟอก/ชุบมัน			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	86.23	57.41
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	98.57	38.08
- บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	128.12	41.93
ผ้าฟอก/ย้อม			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	75.09	21.96
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	67.00	22.06
- บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	73.18	20.42
ผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม			
- ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	56.13	44.72
- สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	69.32	32.07
- บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน / นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	52.66	59.99

4.3.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าทอ

ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์นั้น หากผ้าตกแต่งสำเร็จมีความทนต่อแรงดึงขาดต่ำกว่าผ้าก่อนการตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จนี้ทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.32

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อนำผ้าทอทั้งหมดมาตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์และสารช่วยผนึกติด ผ้าในแนวด้ายยืนมีค่าแรงดึงขาดใกล้เคียงกับผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ ส่วนผ้าในแนวด้ายพุ่งมีค่าแรงดึงขาดลดลงจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ

ค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าลดลงทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งเมื่อเทียบกับผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ อาจเนื่องมาจากสารช่วยผนึกติดบนผ้าก่อตัวเป็นฟิล์มปกคลุมผ้า ความแข็งแรงของฟิล์มของสารช่วยผนึกติดทำให้ผ้าขาดความยืดหยุ่น และเมื่อมีแรงดึงมากระทำกับผ้า ผ้าจะยืดตัวออกได้น้อยลงก่อนผ้าถูกดึงขาด

ตารางที่ 4.32 ความแข็งแรงของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	แรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน)		การยืดตัวที่จุดขาด (ร้อยละ)	
		แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ผ้าฟอก					
1 ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	175.58 (±8.22)	122.18 (±6.65)	12.08 (±2.85)	23.54 (±1.50)
2.สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	204.08 (±2.70)	120.71 (±15.13)	15.30 (±4.99)	37.54 (±2.75)
3.บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	173.74 (±6.17)	98.95 (±19.94)	13.05 (±3.91)	31.58 (±4.58)
ผ้าฟอก/ซุบมัน					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	189.42 (±9.01)	165.07 (±15.89)	38.63 (±7.49)	46.52 (±6.23)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	203.78 (±13.96)	129.93 (±22.03)	28.39 (±9.25)	41.95 (±2.49)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	195.06 (±12.44)	151.89 (±15.45)	26.36 (±6.76)	47.99 (±3.69)
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	180.38 (±9.37)	123.85 (±8.20)	15.48 (±5.48)	37.04 (±2.49)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	174.95 (±8.33)	118.82 (±18.71)	11.80 (±3.09)	35.81 (±4.92)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	180.34 (±6.16)	102.43 (±12.91)	12.97 (±3.15)	34.77 (±6.28)
ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	189.68 (±11.45)	158.70 (±12.42)	28.37 (±4.53)	43.34 (±4.44)
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	195.85 (±4.61)	122.02 (±22.04)	19.96 (±3.23)	27.29 (±5.48)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	188.19 (±15.20)	171.98 (±16.09)	21.66 (±2.96)	24.92 (±6.25)

หมายเหตุ ค่าในวงเล็บคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบ

4.3.7 ผลการทดสอบดัชนีความขาวของผ้าทอ

การทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของผ้า กระทำกับผ้าทอก่อนย้อม คือ ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และสารช่วยผนึกติด เทียบกับผ้าสองชนิดนี้ก่อนการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ดัชนีความขาวของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ดัชนีความขาว	
		ผ้าฟอก	ผ้าฟอก/ชุบมัน
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	127.2	135.5
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	129.3	130.5
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	132.3	134.7

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทั้งสองชนิดด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และสารช่วยผนึกติด พบว่า ผ้าทั้ง 2 ชนิด มีค่าความขาวเปลี่ยนไปจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จประมาณ 2-5 หน่วย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การตกแต่งสำเร็จด้วยสารเหล่านี้ไม่ได้มีผลกระทบมากต่อความขาวของผ้า

4.3.8 ผลการทดสอบความเพี้ยนของสีผ้าฝ้ายทอ

การทดสอบความเพี้ยนของสีผ้า กระทำกับผ้าทอย้อมสีคือ ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม ที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ และสารช่วยผนึกติด โดยวัดสีของผ้าทอคือ ค่า L^*, a^*, b^* และ ΔE ด้วยเครื่องวัดสีเพื่อวิเคราะห์ความเพี้ยนของสีผ้าหลังการตกแต่งสำเร็จ ผลการทดสอบมีแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ค่า L*, a*, b* และ ΔE ของผ้าทอย้อมสีหลังการตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์

ผ้าทอ	เทคนิคการตกแต่งสำเร็จ	ค่าของสีผ้า			
		L*	a*	b*	ΔE
ผ้าฟอก/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	47.29	58.39	-4.38	-
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	47.07	58.31	-4.36	0.82
		(47.15)	(58.68)	(-4.66)	(0.75)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/ นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	46.28	58.58	-4.83	1.41
		(46.92)	(58.52)	(-4.74)	(0.79)
ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม					
1. ไม่ตกแต่งสำเร็จ	-	43.86	59.87	-1.69	-
2. สารช่วยผนึกติด	การจุ่มอัด	43.36	59.74	-1.61	0.67
		(43.43)	(59.91)	(-2.07)	(0.63)
3. บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน/ นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	การแช่	42.64	59.78	-2.55	1.38
		(43.17)	(60.03)	(-2.27)	(0.79)

จากค่าของสีผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จแสดงในตารางที่ 4.34 พบว่า ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม มีเฉดสีแดง โดยที่ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม มีสีเข้มกว่าและมีเนื้อสีแดงมากกว่าอยู่เล็กน้อยจากผ้าฟอก/ย้อม ดูได้จากการที่ผ้าฟอก/ซุบมัน/ย้อม มีค่า L* (ความสว่าง) ที่ต่ำกว่า (ความสว่างน้อยกว่าจะมีสีเข้มกว่า) และมีค่า a* (a* เป็นบวกมีสีแดง, a* เป็นลบมีสีเขียว) เป็นบวกมากกว่าอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการซุบมันผ้าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมสีย้อมของผ้า จึงทำให้ผ้าฟอก/ซุบมันสามารถย้อมได้สีเข้มและมีเนื้อสีแดงมากกว่าผ้าฟอก เมื่อผ้าทั้งสองชนิดมีสารช่วยผนึกติดอย่างเดียว ค่าของสีผ้าไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือสีผ้ายังคงเดิมทั้งความเข้มและเฉดสี เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทั้งสองชนิด พบว่าผ้ายังคงมีเฉดสีแดง (a* เป็นค่าบวกใกล้เคียงเดิม) โดยมีสีเข้มไม่แตกต่างจากเดิม (L* มีค่าไม่ต่างจากเดิมนัก) ก่อนตกแต่งสำเร็จเช่นกัน แต่ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จจะมีเฉดสีแดงและมีสีน้ำเงินมากขึ้นอยู่เล็กน้อย (a* เป็นบวกไม่เปลี่ยนแปลงและ b* เป็นลบมากขึ้นเล็กน้อย) แต่ทั้งนี้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่า ΔE มากกว่า 1 เล็กน้อย (ค่า ΔE อยู่ในช่วง 1.38 – 1.41) คือผ้าที่ผ่าน

การตกแต่งสำเร็จนี้มีสีแตกต่างจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จในระดับที่ตามมองเห็นได้ ส่วนผลการวัดสีของผ้าตกแต่งสำเร็จหลังผ่านการซักก็พบว่าผลของการวัดสีผ้ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับของผ้าก่อนผ่านการซัก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และการวิจารณ์ผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองและมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วยบีตา – ไซโคลเดกซ์ทริน (Cavatec W7) ให้ผ้ามีสมบัติควบคุมกลิ่นตัว เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายทอ 4 ชุด (ผ้าฟอก ผ้าฟอก/ชุบมัน ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) และบนผ้าฝ้ายถักย้อมสี ด้วยเทคนิคการจุ่มอัดและเทคนิคการแช่ และวัดกลิ่นตัวบนผ้าด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้สารละลายกรดไอโซวาเลอริก (แทนกลิ่นตัวมนุษย์) ที่มีกลิ่นตัวระดับรุนแรงมากหยดลงบนผ้า พบว่าการตกแต่งสำเร็จบนผ้าทอที่ไม่ได้ย้อม (ผ้าฟอก และผ้าฟอก/ชุบมัน) ควรตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการจุ่มอัด ส่วนการตกแต่งสำเร็จผ้าทอย้อมสี (ผ้าฟอก/ย้อม และผ้าฟอก/ชุบมัน/ย้อม) ควรตกแต่งสำเร็จด้วยเทคนิคการแช่ จะทำให้ได้ผ้าที่สามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีกว่า โดยผลการดูดกลิ่นตัวของผ้าตกแต่งสำเร็จที่ไม่มีสารช่วยผนึกติดสามารถดูดกลิ่นตัวได้ดีมาก โดยสามารถลดกลิ่นตัวจากระดับรุนแรงถึงระดับรุนแรงมาก (ในผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ) เป็นกลิ่นตัวอ่อนมาก (ในผ้าตกแต่งสำเร็จ) แต่เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าทอโดยมีสารช่วยผนึกติด ผ้าจะดูดกลิ่นตัวได้น้อยลง คือสามารถลดกลิ่นตัวจากระดับกลิ่นรุนแรงถึงรุนแรงมากเป็นระดับรุนแรง และเมื่อซักผ้า 5 รอบ สารตกแต่งสำเร็จบนผ้าจะหลุดออกจากผ้าจะทำให้ผ้าดูดกลิ่นตัวได้น้อยลงอีก แต่ยังคงดูดกลิ่นตัวได้บ้าง สำหรับการตกแต่งสำเร็จบนผ้าถัก โดยมีสารช่วยผนึกติดทั้งก่อนและหลังการซัก ผ้าดูดกลิ่นตัวได้น้อยเช่นกัน คือผ้าถักตกแต่งสำเร็จมีกลิ่นตัวบนผ้าอยู่ในระดับรุนแรง เมื่อผ่านการซัก 1 รอบ ผ้าดูดกลิ่นตัวได้แย่ลงหรืออาจไม่ดูดกลิ่นตัวเลย เพราะผ้ามีกลิ่นตัวในระดับรุนแรงมาก

2. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ (Maxx Nano ZnO) ให้ผ้ามีสมบัติต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี เป็นการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายทอ 4 ชุด และบนผ้าฝ้ายถักย้อมสี พบว่าผ้าทอย้อมสีจะเหมาะสำหรับการตกแต่งสำเร็จให้ต้านแบคทีเรียด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าผ้าทอไม่ย้อม โดยผ้าย้อมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจะแสดงการต้านแบคทีเรียได้ดีจนถึงดีมาก (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.99) และมีแนวโน้มต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีกว่า *Escherichia coli* และหลังการซัก 5 รอบ สามารถ

ต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้บ้าง (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 74–95) ส่วนผ้าทอไม่ย้อมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหลังซัก 5 รอบ ผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย สำหรับสมบัติด้านการต้านรังสียูวีพบว่าผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถต้านรังสียูวีได้ใกล้เคียงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จเนื่องจากผ้าทอที่ใช้ในงานวิจัยเป็นผ้าทอเนื้อบางทำให้แสงยูวีส่องผ่านผ้าได้มากถึงแม้จะมีซิงค์ออกไซด์เกาะอยู่ที่ผิวผ้าทอก็ตาม เมื่อตกแต่งสำเร็จนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายถักย้อมสีด้วยเครื่องอัลตราโซนิก พบว่าผ้าถักสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีมาก (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 97-99.99) อย่างไรก็ตามสารตกแต่งสำเร็จบนผ้าถักและผ้าทอไม่คงทนต่อการซักและหลุดออกมาจนผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้ ผ้าถักย้อมสีที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสามารถต้านรังสียูวีได้ดีมาก (ค่า UPF เท่ากับ 118.1) และมากกว่าผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จ (ค่า UPF เท่ากับ 38.6) ซึ่งถือว่าสามารถต้านรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์ที่กระจายตัวได้ดี (จากอัลตราโซนิก) บนผิวผ้า ซึ่งเป็นสารต้านรังสียูวีด้วยการดูดซับและสะท้อนรังสียูวีออกจากผ้า ช่วยป้องกันรังสียูวีไม่ให้ทะลุผ่านผ้ามากเกินไป รวมทั้งสีย้อมในผ้าสามารถช่วยดูดซับรังสียูวีได้และลักษณะโครงสร้าง single jersey ของผ้าถักที่หนากว่าและมีช่องว่างระหว่างเส้นด้ายน้อยจึงช่วยให้ผ้าป้องกันรังสียูวีได้ดีขึ้น

3. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์ (ที่ใช้ในงานวิจัยนี้) ให้ผ้ามีสมบัติควบคุมกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี บนผ้าฝ้ายทอ 4 ชุด และบนผ้าฝ้ายถักย้อมสี พบว่าพบว่าทั้งผ้าทอและผ้าถักที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จนี้สามารถดูดกลิ่นตัวหรือลดกลิ่นตัวได้ผลดีกว่าผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินเพียงอย่างเดียว โดยสามารถลดกลิ่นตัวจากกลิ่นตัวระดับรุนแรงถึงรุนแรงมากเป็นกลิ่นตัวปานกลาง และผ้าถักที่ตกแต่งสำเร็จยังคงดูดกลิ่นตัวได้ในระดับปานกลางเมื่อผ่านการซัก 3 รอบ สำหรับการต้านแบคทีเรียของผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จ พบว่าผ้าทอย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าผ้าไม่ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จ โดยผ้าทอทั้ง 4 ชุดที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านแบคทีเรียได้เล็กน้อยจนถึงได้ดี (ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 3.77 – 94.83) สามารถต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดีกว่า *Escherichia coli* และเมื่อผ่านการซัก 5 รอบ ผ้าฟอก/ย้อมที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้บ้างเล็กน้อย ผ้าทอที่ตกแต่งสำเร็จสามารถต้านรังสียูวีได้ใกล้เคียงกับผ้าทอที่ไม่ตกแต่งสำเร็จ (ค่า UPF อยู่ในช่วง 5-7 สำหรับผ้าทอไม่ย้อม และอยู่ในช่วง 12-15 สำหรับผ้าทอย้อมสี) สำหรับการตกแต่งสำเร็จบนผ้าถักย้อมสี พบว่าผ้าสามารถต้านแบคทีเรียได้ดี คือมีค่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 88.88 - 99.99 แต่ทั้งนี้เมื่อผ่านการซัก 5 รอบ ผ้าไม่สามารถต้านแบคทีเรียได้เลย ผ้าถักย้อมสีที่ตกแต่งสำเร็จ

สามารถต้านรังสียูวีได้ในระดับดีเยี่ยม (ค่า UPF เท่ากับ 125.9) และจากผลการทดสอบทั้งหมด พบว่าการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าถักย้อมสีโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกจะให้ผ้าที่สามารถควบคุมกลิ่นตัว ต้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวีได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุด

4. สมบัติด้านอื่นๆ ของผ้าทอหลังการตกแต่งสำเร็จ พบว่าผ้าดูดซึมน้ำได้ช้าลงโดยผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินจะมีการดูดซึมน้ำช้าที่สุด และมีความแข็งกระด้างมากที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าตกแต่งสำเร็จอีก 2 ชนิด (ตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์เดี่ยวๆ และตกแต่งสำเร็จร่วมกับไซโคลเดกซ์ทริน) โดยค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จบีตา-ไซโคลเดกซ์ทรินมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าของผ้าไม่ตกแต่งสำเร็จอยู่ราวร้อยละ 29-111 ของผ้าแนวด้ายยืนและเพิ่มขึ้นราวร้อยละ 7-53 ของผ้าแนวด้ายพุ่ง และผ้าตกแต่งสำเร็จส่วนใหญ่มีความทนต่อแรงดึงขาดในแนวด้ายยืนเพิ่มขึ้น ในขณะแนวด้ายพุ่งมีความทนต่อแรงดึงขาดลดลงเล็กน้อย และผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดลดลงเล็กน้อยถึงปานกลางจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากฟิล์มของสารช่วยผนึกติดที่เคลือบบนผิวผ้าทำให้ผ้าขาดความยืดหยุ่น และพบว่าสารตกแต่งสำเร็จทั้ง 3 ชนิดไม่มีผลกระทบต่อความขาวและสีของผ้ามากนักหลังผ่านการตกแต่งสำเร็จ

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของชนิดและโครงสร้างของผ้าฝ้ายที่มีต่อการตกแต่งสำเร็จด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์มาก เนื่องจากลักษณะพื้นผิวของผ้ามีผลโดยตรงต่อการยึดเกาะของสารตกแต่งสำเร็จบนผิวผ้า

2. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายทอและผ้าฝ้ายถักให้ต้านแบคทีเรียด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์หรือด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับไซโคลเดกซ์ทริน และให้สารบนผ้ามีความคงทนต่อการซักนั้น ยังไม่สามารถกระทำการตกแต่งสำเร็จอย่างได้ผลด้วยเครื่องย้อมแบบกระบอกโลหะหรือเครื่องย้อมแบบจุ่มอัด เนื่องจากได้ผ้าตกแต่งสำเร็จที่สารบนผ้าไม่คงทนต่อการซักเลย ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยทดลองตกแต่งสำเร็จด้วยเครื่อง jet ระดับ pilot หรือระดับอุตสาหกรรม

3. สำหรับการทดสอบการดูดกลิ่นตัวด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ มีความอ่อนไหวมากต่อปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนไป จำเป็นต้องกระทำการทดลองและการทดสอบซ้ำหลายครั้งมากกว่าการทดสอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบนาน และอาจปรับปรุงวิธีการทดสอบให้เหมาะสมขึ้นโดย

ใช้การทดสอบโดยใช้จมูกมนุษย์เปรียบเทียบกัน แต่ทั้งนี้ต้องใช้ผู้ประเมินหรือผู้ทดสอบที่มีความชำนาญหรือผ่านการฝึกฝนแล้ว

รายการอ้างอิง

[1] Perkins W.S. Textile Coloration and Finishing. Durham, North Carolina: Carolina Academic Press, 1996.

[2] Schindler W.D. and Hauser P.J. Chemical finishing of textiles. North America : Woodhead Publishing Ltd, 2004

[3] AS/NZS 4399 – 96, Sun protective clothing – Evaluation and Classification

[4] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. เอนไซม์ดัดแปรคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2551

[5] Del Valle E.M.M. Cyclodextrins and their uses: a review. Process Biochemistry 39 (2004): 1033-1046

[6] Szejtli J. Introduction and General of Cyclodextrin Chemistry. Chemical Reviews. 98,5 (1998): 1743-1753

[7] Abdel-Halim E.S., Fouda M.G., Hamdy I.,Abdel-Mohdy F.A., El-Sawy S.M. Incorporation of chlorohexidin diacetate into cotton fabrics grafted with glycidyl methacrylate and cyclodextrin. Carbohydrate Polymers 79 (2010): 47-53.

[8] Grechin A.G., Buschmann H.J. and Schollmeyer E. Quantification of Cyclodextrins Fixed onto Cellulose Fibers. Textile Research Journal 77, 3 (2007): 161-164.

[9] สุนันทา ม่วงจิต และคณะ. การเตรียมซิงค์ออกไซด์/ไนลอน 6 สำหรับเป็นเส้นใยนาโนต้านจุลชีพ. โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[10] พรศักดิ์ รักษายศ. การเตรียมนาโนคอมโพสิตเลเทกซ์ของซิงค์ออกไซด์/บิวทิลอะคริเลต เพื่อใช้ในงานเคลือบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[11] Xie Y., He Y., Irwin P.L., Jin T. and Shi X. Antibacterial Activity and Mechanism of Active of Zinc Oxide Nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. Applied and Environmental Microbiology 77, 7 (2011): 2325-2331.

[12] Tayel A.A., El-Tras W.F., Moussa Sh, El-Baz A.F., Mahrous H., Salem M.F. and Brimer L. Antibacterial Action of Zinc Oxide Nanoparticles Against Foodborne Pathogens. Journal of Food Safety 31 (2011): 211-218.

[13] คณัษฎา ศิริไพบูลย์ และคณะ. การศึกษาผลความเป็นพิษของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดไมโครและนาโนที่มีต่อข้าว (*Oryza sativa L.*). โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[14] Wang C.X., and Chen Sh.L. Surface treatment of cotton using β-cyclodextrins sol-gel method. Applied Surface Science 252 (2006): 6348-6352.

[15] El-Tahlawy K., Gaffar M.A. and El-Rafie S. Novel method for preparation of β-cyclodextrin/graft chitosan and its application. Carbohydrate Polymers 63 (2006): 385-392.

[16] Trinh T. and Phan D.V. Articles containing small particle size cyclodextrin for odor control. US Patent No.5429628, 1995.

[17] Hooper D.C., Johnson G.A. and Peter D. Detergent Product Containing Deodorant Compositions. US Patent No.4304679, 1981

[18] Wangchoosuk Ch., Lutz M. and Kardcharoen T. Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose. Sensors 9 (2009): 7234-7249.

[19] Yadav A., Prasad V., Kathe A.A., Raj S., Yadav D, Sundramoorthy C. and Vigneshwaran N. Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles. Bulletin of Material Science 29, 6 (2006): 641-645.

[20] Becheri A., Durr M., Nostro P.L. and Baglioni P. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absobers. Journal of Nanoparticle Ressearch 10 (2008): 679-689.

[21] Test Method of Specified Requirements of Antibacterial Textiles for General Use. FTTS-FA-001

[22] American Association of Textile Chemists and Colorist. AATCC Technical Manual. Test Method 183 Transmittance or Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation through Fabrics.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ค่า relative etythemal spectral effectiveness

ภาคผนวก ก
ค่า relative etythemal spectral effectiveness [22]

ตารางที่ ก1. ค่า relative etythemal spectral effectiveness (E_λ)

nm	response	nm	response	nm	response
280	1.00e+00	320	8.55e-03	360	4.84e-04
282	1.00e+00	322	5.55e-03	362	4.52e-04
284	1.00e+00	324	3.60e-03	364	4.22e-04
286	1.00e+00	326	2.33e-03	366	3.94e-04
288	1.00e+00	328	1.51e-03	368	3.67e-04
290	1.00e+00	330	1.36e-03	370	3.43e-04
292	1.00e+00	332	1.27e-03	372	3.20e-04
294	1.00e+00	334	1.19e-03	374	2.99e-04
296	1.00e+00	336	1.11e-03	376	2.79e-04
298	1.00e+00	338	1.04e-03	378	2.60e-04
300	6.49e-01	340	9.66e-04	380	2.43e-04
302	4.21e-01	342	9.02e-04	382	2.26e-04
304	2.73e-01	344	8.41e-04	384	2.11e-04
306	1.77e-01	346	7.85e-04	386	1.97e-04
308	1.15e-01	348	7.33e-04	388	1.84e-04
310	7.45e-02	350	6.84e-04	390	1.72e-04
312	4.83e-02	352	6.38e-04	392	1.60e-04
314	3.13e-02	354	5.96e-04	394	1.50e-04
316	2.03e-02	356	5.56e-04	396	1.40e-04
318	1.32e-02	358	5.19e-04	398	1.30e-04
				400	1.22e-04

Note: The intervals in Table I are in 2 nm. For 5 nm UV transmission data use the interpolated data between those ending in a "4" and a "6."

[a] CIE Publication 106/4 available from CIE National Committee of USA, c/o TLA-Lighting Consultants Inc., 7 Pond St., Salem, MA 01970.

ภาคผนวก ข
ค่า Solar Spectral Irradiance

ภาคผนวก ข
ค่า Solar Spectral Irradiance [22]

ตารางที่ ข1. Solar Spectral Irradiance of Noonday, July 3, Sunlight Albuquerque, NM (S_λ)

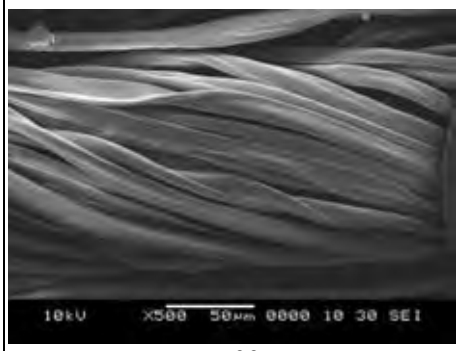
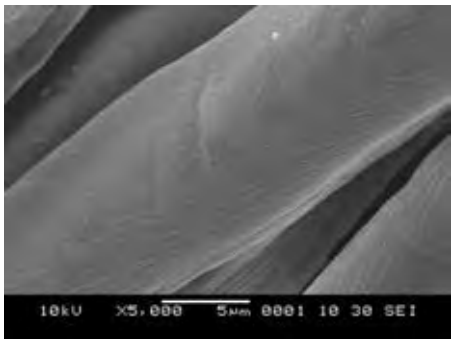
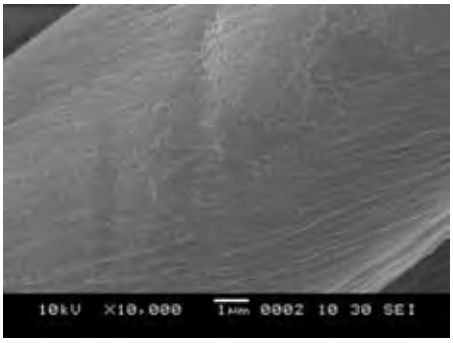
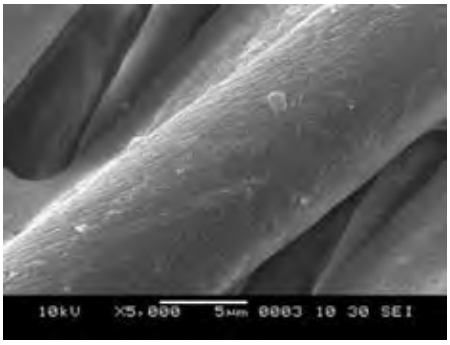
nm	W/cm²/nm	nm	W/cm²/nm	nm	W/cm²/nm
280	4.12e-11	320	3.14e-05	360	5.64e-05
282	2.37e-11	322	3.32e-05	362	6.00e-05
284	3.14e-11	324	3.61e-05	364	6.48e-05
286	4.06e-11	326	4.45e-05	366	7.18e-05
288	6.47e-11	328	5.01e-05	368	7.62e-05
290	3.09e-10	330	5.32e-05	370	7.66e-05
292	2.85e-09	332	5.33e-05	372	7.50e-05
294	2.92e-08	334	5.23e-05	374	6.61e-05
296	1.28e-07	336	5.04e-05	376	6.66e-05
298	3.37e-07	338	4.99e-05	378	7.46e-05
300	8.64e-07	340	5.39e-05	380	7.54e-05
302	2.36e-06	342	5.59e-05	382	6.42e-05
304	4.35e-06	344	5.35e-05	384	5.85e-05
306	7.19e-06	346	5.34e-05	386	6.26e-05
308	9.68e-06	348	5.37e-05	388	6.72e-05
310	1.34e-05	350	5.59e-05	390	7.57e-05
312	1.75e-05	352	5.89e-05	392	7.16e-05
314	2.13e-05	354	6.13e-05	394	6.55e-05
316	2.43e-05	356	6.06e-05	396	6.81e-05
318	2.79e-05	358	5.38e-05	398	8.01e-05
				400	1.01e-04

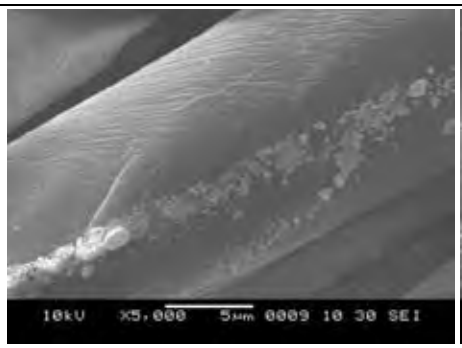
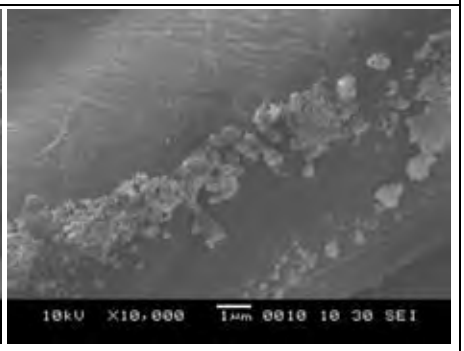
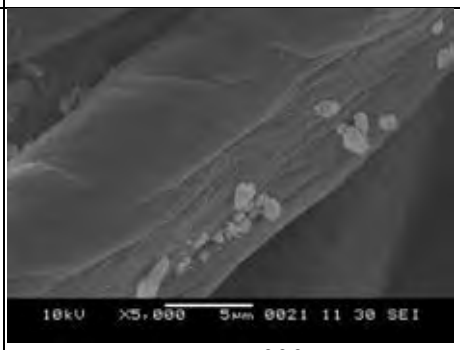
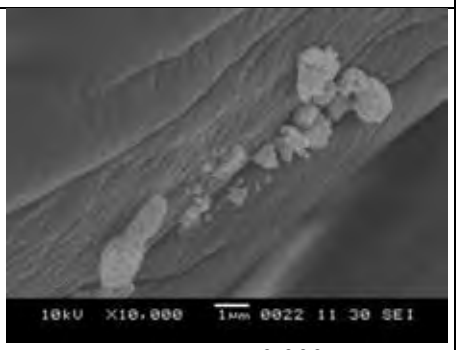
Note: The intervals in Table II are in 2 nm. For 5 nm UV transmission data use the interpolated data between those ending in a "4" and a "6."

[a] Sayre, R. M., et al., "Spectral Comparison of Solar Simulators and Sunlight," *Photodermatol Photoimmunol. Photomed.*, 7, 159-165 (1990).

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาหรือพื้นผิวของผ้า

ตารางที่ ค1. ลักษณะสัณฐานวิทยาของผ้าตกแต่งสำเร็จต่างๆ โดยใช้เครื่อง Scanning electron microscope

ผ้าฟอก	ลักษณะพื้นผิว
ไม่ตกแต่งสำเร็จ	 กำลังขยาย 500 x  กำลังขยาย 5,000 x  กำลังขยาย 10,00 x
เคลือบสารช่วยผนึกติด	 กำลังขยาย 5,000 x

ผ้าฟอก	ลักษณะพื้นผิว
นาโนซิงค์ออกไซด์ + สารช่วยผนึกติด	 กำลังขยาย 5,000 x  กำลังขยาย 10,000 x
นาโนซิงค์ออกไซด์ ร่วมกับ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน + สารช่วยผนึกติด	 กำลังขยาย 5,000 x  กำลังขยาย 10,000 x

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริพร นิ่มสุข เกิดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2523 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ 2546 เข้าทำงานที่สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปี พ.ศ. 2546 – 2553 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคปลายปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2554

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

ศิริพร นิ่มสุข และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์, การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้มีสมบัติควบคุมกลิ่นตัว และต้านแบคทีเรีย, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 22: 6 – 7 ตุลาคม 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.