รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
ทุนอุดหนุนวิจัย มก.ปีงบประมาณ 2557

รหัสโครงการวิจัย ว-ท(ด)121.57

การตกแต่งสำเร็จเชิงเคมีเพื่อลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย

Chemical Finishing to Reduce Undesirable Odor of Cigarette Smoke on Cotton Fabric

หัวหน้าโครงการ ผศ.จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์
หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร บางเขน
หน่วยงานหลัก ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร บางเขน

แหล่งทุน : ทุนอุดหนุนวิจัย มก.
สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำนำ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มสมบัติที่เป็นที่ต้องการให้กับวัสดุสิ่งทอ ทำให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีความน่าสนใจและมีมูลค่าเพิ่ม ปัญหาเรื่องกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่ติดบนวัสดุสิ่งทอ ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอไม่น่าใช้งาน โดยเฉพาะกลิ่นควันบุหรี่ที่มักติดบนวัสดุสิ่งทอได้เป็นระยะเวลายาวนาน นอกเหนือจากกลิ่นแล้วสารเคมีที่ติดบนผ้าก็ยังเป็นอันตราย เนื่องจากควันบุหรี่เป็นแหล่งของสารพิษจำนวนมากกว่า 4,000 ชนิด ดังนั้น เมื่อผู้ใช้งานสัมผัสกับสิ่งทอที่ดูดซับควันบุหรี่ไว้ สารเคมีที่ติดอยู่บนผ้าก็มีโอกาสดูดซึมเข้าไปในร่างกาย ก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังที่ทราบกันดีว่าแม้แต่คนที่ไม่บุหรี่ก็มีโอกาสเป็นโรคร้ายอันมีสาเหตุมาจากควันบุหรี่เท่าๆ กับคนที่บุหรี่ หากได้หายใจเอาควันบุหรี่เข้าไปในร่างกายหรือสัมผัสกับสารเคมีที่ติดบนผ้าก็มีโอกาสเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำสาร MCT-β-cyclodextrin มาช่วยลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย โดยการตกแต่งให้เกิดการผนึกติดผ้าอย่างถาวร โดยวิเคราะห์ทั้งผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อความสามารถการดูดกลิ่นควันบุหรี่ และผลในด้านอื่นๆ ด้วย ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ ความแข็งแรงของผ้าฝ้าย รวมทั้งสมบัติด้านการย้อมและความคงทนของสี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและการนำไปใช้ประโยชน์จริงในอุตสาหกรรมต่อไป หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี่ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์
หัวหน้าโครงการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินการโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นหน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการงานวิจัยทั้งในด้านเครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด นางสาวโชติมา สดแสงจันทร์ นิสิตปริญญาโท ผู้ช่วยวิจัยในโครงการนี้ และขอขอบคุณบริษัทอาโครมา (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สีย้อมและสารเคมีเพื่อใช้ในงานวิจัย มา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการวิจัย	**2**
ส่วนที่ 2 รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์	**8**
บทคัดย่อ	8
Abstract	9
บทนำ	11
วัตถุประสงค์	13
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
ทฤษฎี	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
วิธีวิจัย	21
เครื่องมือและอุปกรณ์	21
วัสดุและสารเคมี	21
วิธีทดลอง	22
1. การเตรียมผ้า (Scouring)	22
2. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin	22
3. การย้อมสีรีแอคทีฟบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin	25
4. การตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอคทีฟ	26
5. การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าฝ้าย	26
6. การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย	26
ผลและวิจารณ์	**28**
1. ผลการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ลงบนผ้าฝ้าย	28
2. การย้อมสีรีแอคทีฟบนผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin	31
3. สมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin	40
4. ผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	**43**
เอกสารอ้างอิง	**44**

ส่วนที่ 2 **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์**
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2557

โครงการวิจัยรหัส ว-ท(ด)121.57

การตกแต่งสำเร็จเชิงเคมีเพื่อลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย

Chemical Finishing to Reduce Undesirable Odor of Cigarette Smoke on Cotton Fabric

จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์[1] พจนารถ สุวรรณรุจิ[2] พรทิพย์ แซ่เบ๊[1]
Jantip Setthayanond[1] Potjanart Suwanruji[2] Porntip Sae-Bae[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลการตกแต่งผ้าด้วย MCT-β–cyclodextrin ต่อสมบัติทางกายภาพ การย้อมและการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย จากการศึกษาพบว่าภาวะอุณหภูมิในการอบผนึกที่เหมาะสมสำหรับการตกแต่ง MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้าย คือ 140°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าร้อยละการผนึกของ MCT-β–cyclodextrin สูงสูด ผลการทดลองยืนยันโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนและ FTIR การตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ทำให้ผ้าฝ้ายมีความกระด้าง ความเหลือง และความแข็งแรงของผ้าฝ้ายสูงขึ้น การศึกษาผลของ MCT-β–cyclodextrin ต่อการย้อมสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนได้แก่ Drimaren Red X-6BN, Drimaren Navy X-GN และ Drimaren Yellow X-4RN บนผ้าฝ้ายพบว่า ผ้าที่ผ่านตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ก่อนนำมาย้อมมีค่าการดูดซึมสีต่ำกว่าผ้าที่ไม่ตกแต่ง แต่การลดลงของค่าร้อยละการดูดซึมสีไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้ และความเข้มสีและเฉดสีที่วัดได้บนผ้าย้อมสีที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrinไม่แตกต่างจากผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่ส่งผลต่อสมบัติด้านการย้อมติดสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนบนผ้าฝ้าย ด้านความคงทนต่อของสีบนผ้าฝ้าย การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนการย้อมสีไม่มีผลต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าฝ้าย และการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin หลังการย้อมสี ช่วยให้ระดับความคงทนของสีดีขึ้นเนื่องจากปริมาณสีที่ไม่ผนึกบนผ้าฝ้ายถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการซักล้างหลังการตกแต่งผ้าด้วย ผลการทดสอบความคงทนต่อแสง พบว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อความคงทนต่อแสงของสีบนผ้าฝ้าย การทดสอบสมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อสมบัติด้านการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าฝ้าย การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายด้วยเครื่อง Electronic nose พบว่า กลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้ในการตกแต่ง และที่ความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin 3 และ 5%w/v ให้ผลการทดสอบกลิ่นที่อ่อนที่สุด ค่าระดับความแรงของกลิ่นบนผ้าที่ย้อมสีมีค่าแตกต่างจากผ้าที่ไม่ย้อมสีเล็กน้อย สีย้อมจึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย ระดับความแรงของกลิ่นควันบุหรี่แปรผกผันกับความเข้มข้นของ MCT-β–cyclodextrin ระดับกลิ่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการตกแต่ง MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายช่วยลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าได้ และความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin ที่เหมาะสมในการตกแต่งบนผ้าฝ้ายตามภาวะที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ 3%w/v

คำสำคัญ: ไซโคลเด็กซ์ดริน, ฝ้าย, สีรีแอกทีฟ, ควันบุหรี่, กลิ่น

[1] *ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Department of Textile Science, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University
[2] *ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

Abstract

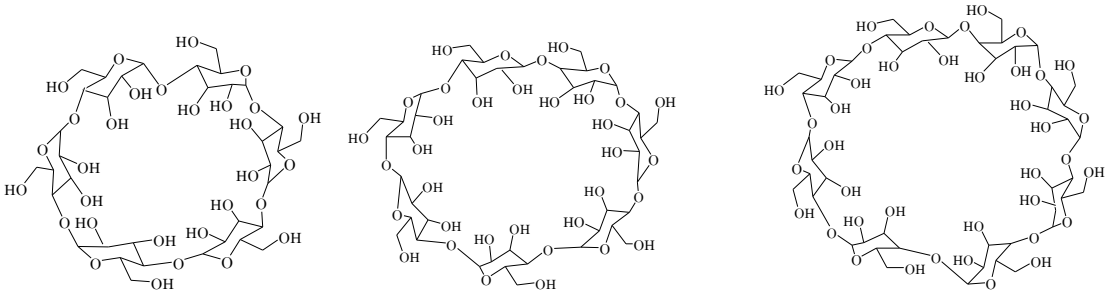
The present research studied the effect of MCT-β–cyclodextrin treatment on physical, dyeing and cigarette smoke odor retention properties of cotton fabric. An investigation on the curing condition for MCT-β–cyclodextrin treatment showed that 140°C was the optimum curing temperature rendering the ultimate MCT-β–cyclodextrin fixation on cotton, being confirmed by Phenolphthalein method and FTIR spectra. MCT-β–cyclodextrin treatment was found to increase the stiffness (flexural rigidity), yellowness and strength of cotton fabric. A study on the effect of MCT-β–cyclodextrin on the dyeing properties of the hot-dyeing reactive dyes viz. Drimaren Red X-6BN, Drimaren Navy X-GN and Drimaren Yellow X-4RN on cotton fabric observed that the fabric undergoing MCT-β–cyclodextrin treatment prior to dyeing had a lower %exhaustion as compared with the untreated counterpart, however, the %exhaustion did not change with the % MCT-β–cyclodextrin applied. The color yield and shade of the dyes on the fabrics were not different between the treated and the untreated fabrics. This elucidates that MCT-β–cyclodextrin treatment did not affect the dyeing properties of the hot-dyeing reactive dyes on cotton. In addition, the color fastness properties i.e. washing, rubbing and light, of the dyed fabrics were also independent of the MCT-β–cyclodextrin applied. The fabrics with MCT-β–cyclodextrin treatment after dyeing exhibited an improvement in wash and rub fastness properties as a result of more unfixed dyes being eliminated during MCT-β–cyclodextrin treatment process. The ultraviolet protection properties were also found not to be influenced by MCT-β–cyclodextrin treatment. An examination on the cigarette smoke odor retention properties by electronic nose device gave the information that MCT-β–cyclodextrin did affect the odor retention properties of cotton fabric. An apparent decrease in cigarette smoke odor was monitored on the MCT-β–cyclodextrin-treated fabrics. The odor intensity decreased with increasing MCT-β–cyclodextrin concentration and at the concentration of 3 and 5%w/v, the weakest odor was detected. The odor intensity of the dyed, treated fabrics was slightly different from the undyed, treated ones. The dyes on the fabrics did not exhibit a signified effect on the odor retention properties of the cotton fabric. The cigarette smoke odor intensity was inversely proportional to MCT-β–cyclodextrin concentration. From the results, it may be said that MCT-β–cyclodextrin is capable of reducing the cigarette smoke odor on cotton fabric and the recommended concentration applied under the conditions studied was 3%w/v.

Keywords: cyclodextrin, cotton, reactive dye, cigarette smoke, odor

บทนำ

บุหรี่เป็นสิ่งเสพติดที่ก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ทั้งผู้สูบโดยตรงและผู้ไม่สูบบุหรี่แต่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีควันบุหรี่ ซึ่งอันตรายที่ได้นั้นมิได้ยิ่งหย่อนไปกว่าผู้สูบโดยตรง ในควันบุหรี่ประกอบด้วยสารต่างๆ ไม่ต่ำกว่า 4,000 ชนิดซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มที่ก่อให้เกิดผลเสียกับร่างกายมนุษย์ เช่น กลุ่มสารก่อมะเร็ง สารก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ เป็นต้น สารอันตรายที่พบมากในควันบุหรี่ 3 อันดับแรกคือ นิโคติน (Nicotine) ทาร์ (Tar) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO) (Baker, 2006) นิโคตินเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดการเสพติดในบุหรี่ ก่อให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดตีบตัน นิโคตินเป็นสารประเภทอัลคาลอยด์ที่ไม่มีสี ละลายน้ำได้ โดยทั่วไปในบุหรี่ 1 มวนจะมีนิโคตินอยู่ประมาณ 15-20 มิลลิกรัม แต่นิโคตินจำนวนนี้ไม่ได้เข้าสู่ร่างกายผู้สูบทั้งหมด มีเพียง 0.2-2 มิลลิกรัมเท่านั้น ส่วนนิโคตินที่เหลือจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศภายนอกขณะที่ผู้สูบพ่นควันบุหรี่ ดังนั้นควันบุหรี่ที่เจือปนในอากาศจึงยังมีปริมาณนิโคตินอยู่มากและเป็นอันตราย ส่วนทาร์เป็นสารข้นเหนียวสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของบุหรี่ ทาร์เป็นสาเหตุของโรคถุงลมโป่งพองและโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังพบสารอันตรายอื่นๆ ในควันบุหรี่ เช่น สารกลุ่ม Nitrosamine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง สารระเหยประเภท Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และสารกลุ่มคาร์บอนิล

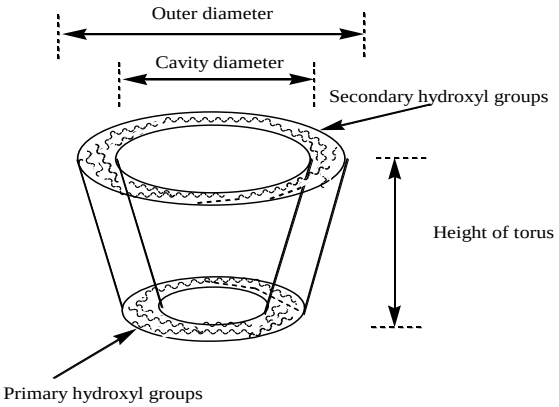
Cyclodextrin เป็นสารในกลุ่มโอลิโกพอลิซัคคาไรด์ที่เป็นวงแหวน เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ Cyclodextrin แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ α β และ γ ดังแสดงในรูปที่ 1



α-cyclodextrin β-cyclodextrin γ-cyclodextrin

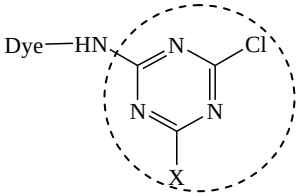
รูปที่ 1 โครงสร้างของ cyclodextrin ประเภทต่างๆ

β-cyclodextrin เป็นสารที่นิยมใช้มากกว่า cyclodextrin ประเภทอื่นๆ เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่าย มีราคาถูก และในโครงสร้างมีโพรงที่สามารถกักสารได้หลากหลาย โครงสร้างของ cyclodextrin จะมีโพรงอยู่ภายใน ลักษณะแสดงในรูปที่ 2 โพรงภายในมีสมบัติไม่มีขั้ว ไม่ชอบน้ำ ขอบนอกมีความชอบน้ำเนื่องจาก primary และ secondary hydroxyl groups (–OH) โพรงตรงกลางในโครงสร้างของ cyclodextrin สามารถกักสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำไว้ภายในได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำ cyclodextrin มาใช้ประโยชน์มากมาย ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้ cyclodextrin เพื่อไปกักรสขมของอาหาร หรือเคลือบยาในด้านเภสัชกรรม ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการศึกษาการใช้ cyclodextrin โดยเฉพาะชนิด β มาใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จและช่วยในกระบวนการย้อม โดยสามารถยึดติดบนเส้นใยสิ่งทอได้หลายวิธี เช่น โดยการเกิดพันธะโควาเลนต์ โดยการเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) เป็นต้น MCT-β-cyclodextrin เป็นอนุพันธ์ของ β-cyclodextrin ที่มีหมู่ monochlorotriazine (MCT) ที่สามารถยึดติดกับเส้นใยเซลลูโลสโดยการสร้างพันธะโควาเลนต์ จึงยึดติดบนเซลลูโลสได้อย่างถาวร มีความคงทนสูง



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างของ cyclodextrin

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมการย้อมสีฝ้ายเนื่องจากให้เฉดสีที่มีความสดใสและมีความคงทนของสีที่ดีโดยเฉพาะความคงทนของสีต่อกระบวนการเปียก เช่น การซักล้าง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อย้อมฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟ โมเลกุลของสีจะเข้าไปเกิดพันธะถาวรกับฝ้าย ซึ่งทำให้สียึดเกาะกับเส้นใยได้อย่างแข็งแรง ปัญหาเรื่องสีตกจึงพบได้น้อยกว่าสีชนิดอื่นๆ ความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับปานกลาง สีรีแอกทีฟประเภทย้อมร้อนเป็นสีที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น MCT มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่ำ โดยทั่วไปจะใช้ย้อมที่อุณหภูมิ 80-95°C ในการย้อมสีจะยึดติดกับเส้นใยเซลลูโลสเมื่อเติมด่าง



MCT

รูปที่ 3 สีรีแอกทีฟที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น MCT

การตกแต่งสำเร็จบนผ้าที่ผ่านการย้อมมาก่อนแล้ว สารตกแต่งสำเร็จอาจมีผลทำให้เฉดสีบนผ้าเปลี่ยนแปลงได้ สารตกแต่งบางประเภท เช่น cyclodextrin มีรายงานว่าสามารถช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อแสงให้กับผ้าที่ย้อมสีได้ ช่วยทำให้โมเลกุลของสีเสถียรต่อแสงสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin เพื่อลดกลิ่นบุหรี่โดยศึกษาทั้งบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนที่มีหมู่ MCT เหมือนกับ MCT-β-cyclodextrin เนื่องจากผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่มีแนวโน้มดูดกลิ่นบุหรี่สูงเมื่อเทียบกับผ้าจากเส้นใยประเภทอื่นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาเฉพาะผ้าฝ้าย การวิจัยทำการศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายที่ย้อมและไม่ย้อมสีด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นสารต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ผลของการย้อมต่อประสิทธิภาพของการตกแต่งสำเร็จ และผลของการตกแต่งสำเร็จต่อการย้อมเมื่อการตกแต่งสำเร็จทำหลังการย้อม ทดสอบสมบัติของผ้าและทดสอบสมบัติการดูดซับสารและกลิ่นของควันบุหรี่

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

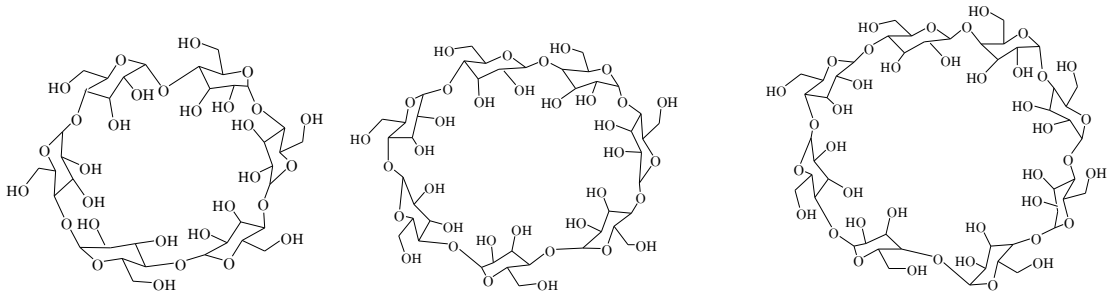
1. เพื่อศึกษาการนำสาร MCT-β-cyclodextrin มาใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จเพื่อลดกลิ่นบุหรี่บนผ้าฝ้าย
2. เพื่อศึกษาผลของการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ต่อประสิทธิภาพในการย้อมและความคงทนของสีรีแอกทีฟ
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมแล้ว
4. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสาร MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติเชิงกายภาพ และปริมาณการดูดซับควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมและไม่ได้ย้อมสี
5. เพื่อศึกษาแนวทางสำหรับการนำผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอเพื่อป้องกันสารอันตรายจากควันบุหรี่ เช่น ผ้าหน้ากากปิดจมูก หรือเคหะสิ่งทอ เป็นต้น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

- Cyclodextrin

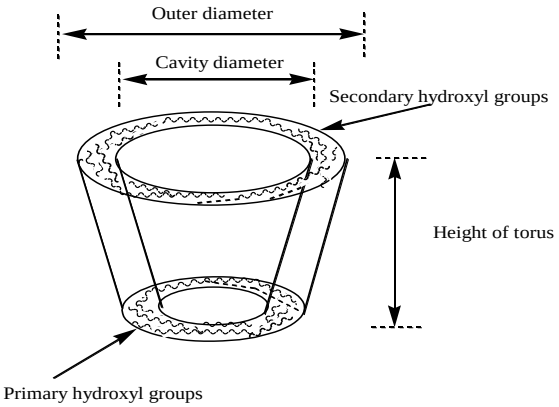
Cyclodextrin เป็นสารในกลุ่มโอลิโกพอลิซัคคาไรด์ที่เป็นวงแหวน เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ Cyclodextrin แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ α β และ γ ดังแสดงในรูปที่ 4



α-cyclodextrin β-cyclodextrin γ-cyclodextrin

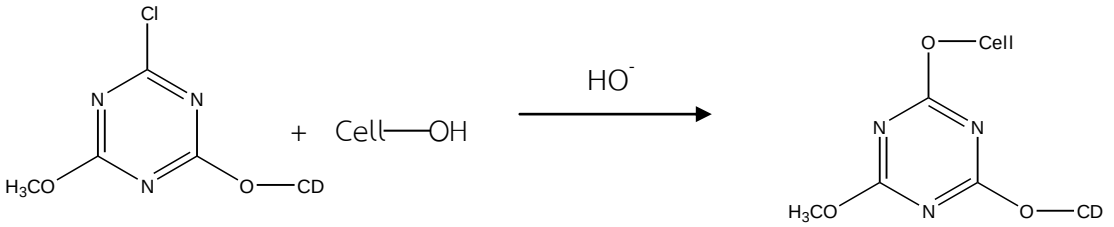
รูปที่ 4 โครงสร้างของ cyclodextrin ประเภทต่างๆ

β-cyclodextrin เป็นสารที่นิยมใช้มากกว่า cyclodextrin ประเภทอื่นๆ เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่าย มีราคาถูก และในโครงสร้างมีโพรงที่สามารถกักสารได้หลากหลาย โครงสร้างของ cyclodextrin จะมีโพรงอยู่ภายในลักษณะแสดงในรูปที่ 2 โพรงภายในมีสมบัติไม่มีขั้ว ไม่ชอบน้ำ ขอบนอกมีความชอบน้ำเนื่องจาก primary และ secondary hydroxyl groups (–OH) โพรงตรงกลางในโครงสร้างของ cyclodextrin สามารถกักสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำไว้ภายในได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำ cyclodextrin มาใช้ประโยชน์มากมาย ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้ cyclodextrin เพื่อไปกักรสขมของอาหาร หรือเคลือบยาในด้านเภสัชกรรม ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการศึกษาการใช้ cyclodextrin โดยเฉพาะชนิด β มาใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จและช่วยในกระบวนการย้อม โดยสามารถยึดติดบนเส้นใยสิ่งทอได้หลายวิธี เช่น โดยการเกิดพันธะโควาเลนต์ โดยการเชื่อมขวางด้วยสารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) เป็นต้น MCT-β-cyclodextrin เป็นอนุพันธ์ของ β-cyclodextrin ที่มีหมู่ monochlorotriazine (MCT) ที่สามารถยึดติดกับเส้นในเซลลูโลสโดยการสร้างพันธะโควาเลนต์ จึงยึดติดบนเซลลูโลสได้อย่างถาวร มีความคงทนสูง



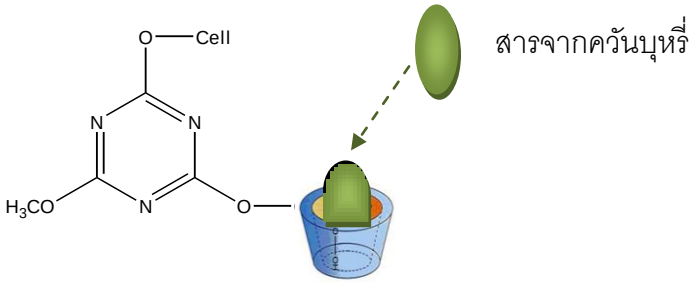
รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างของ cyclodextrin

สาร MCT-β-cyclodextrin เป็นอนุพันธ์ของสาร cyclodextrin สามารถเกิดปฏิกิริยาสร้างพันธะโควาเลนต์เชื่อมกับหมู่ –OH บนเส้นใยเซลลูโลสได้ในลักษณะเดียวกับสีรีแอกทีฟ ในโครงสร้างของสาร MCT-β-cyclodextrin มีหมู่ monochlorotriazine เป็นหมู่รีแอกทีฟที่จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมกับเซลลูโลส ในสภาวะค่า pH เป็นเบส (รูปที่ 6) ทำให้สารยึดติดบนเส้นใยได้อย่างถาวร เนื่องจากโครงสร้างที่มีโพรงตรงกลางที่ไม่ชอบน้ำ cyclodextrin จึงสามารถกักสารที่ไม่ชอบน้ำอยู่ภายในโพรงนี้ได้ ตัวอย่างสารที่กักในโครงสร้าง cyclodextrin เช่น น้ำมันหอมระเหย น้ำหอม สีย้อม เป็นต้น



MCT-β-cyclodextrin ฝ้าย MCT-β-cyclodextrin ที่ยึดติดบนฝ้าย

รูปที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างผ้าฝ้ายกับ MCT-β-cyclodextrin



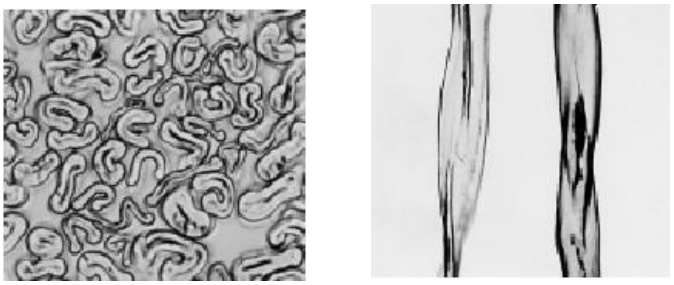
รูปที่ 7 การเกิด Host-guest complex ระหว่าง MCT-β-cyclodextrin ที่ติดบนผ้าฝ้ายและสารจากควันบุหรี่

นอกจากนี้ cyclodextrin ยังสามารถกักหรือดูดจับสารหรือกลิ่นที่อยู่ในบรรยากาศแวดล้อมได้ เช่น การกักกลิ่นต่างๆ ซึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทเคหะสิ่งทอ เช่น ผ้าม่าน ผ้าหุ้มโซฟา ที่ไม่ต้องการให้กลิ่นติดผ้า การตกแต่งสำเร็จมีความจำเป็นเพื่อให้ดูแลรักษาได้ง่ายขึ้น หรือแม้แต่สิ่งทอประเภทเสื้อผ้า เมื่อสวมใส่ไปในร้านอาหารหรือสถานที่มีกลิ่นควันมาก ผ้าจะมีกลิ่นติดมาด้วย ดังนั้นการตกแต่งสำเร็จเพื่อลดกลิ่นควันต่างๆ บนผ้าจึงเป็น

เรื่องน่าสนใจและเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ควันบุหรี่มีกลิ่นเหม็นเมื่อกลิ่นติดบนเสื้อผ้าทำให้ผู้สวมใส่เสียบุคลิกภาพ และมีสารอันตรายตกค้างบนเสื้อผ้าที่สามารถซึมสู่ผิวหนังได้ด้วยคณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการตกแต่งสำเร็จเพื่อลดกลิ่นบุหรี่โดยใช้สาร MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายเพื่อกักกลิ่นบุหรี่ไว้ในโครงสร้าง (รูปที่ 7) ช่วยให้ผ้ามีกลิ่นบุหรี่น้อยลงและช่วยลดความเสี่ยงจากสารอันตรายที่ควันบุหรี่ที่อยู่บนผ้าไม่ให้ซึมผ่านสู่ผิวหนังของคน นอกจากนี้การตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin นั้นยังอาจมีผลต่อการย้อมและความคงทนของสีบนผ้าฝ้าย โดยอาจมีผลต่อการติดสีบนผ้า หากทำการตกแต่งสำเร็จก่อนย้อม โดยสาร cyclodextrin อาจไปขัดขวางการยึดติดของสีได้ หรือถ้าตกแต่งสำเร็จหลังย้อม การตกแต่งอาจทำให้เฉดสีเปลี่ยนแปลงไปได้

- ฝ้าย

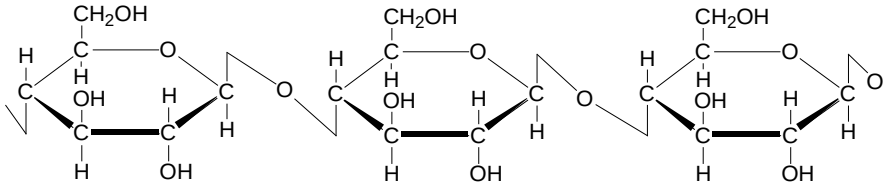
ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด และมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศ ปัจจุบันความต้องการใช้เส้นใยฝ้ายเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพราะเส้นใยฝ้ายสามารถหาได้ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำและราคาถูก ไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เส้นใยฝ้ายโดยทั่วไปจะมีภาคตัดขวางคล้ายรูปถั่วและมีการบิดตัวตามแนวยาวคล้ายริบบิ้นทำให้สามารถตีเกลียวและปั่นเป็นเส้นด้ายง่าย รูปที่ 8 แสดงภาคตัดขวางและลักษณะตามยาวของเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 8 ภาคตัดขวางและลักษณะตามยาวของเส้นใยฝ้าย
ที่มา: มาตรฐาน AATCC 20, 2005

ความยาวของเส้นใยฝ้ายที่ใช้งานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ความยาวประมาณ 0.125-2.5 นิ้ว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ฝ้าย ภูมิอากาศและภูมิประเทศที่ปลูก เส้นใยฝ้ายโดยทั่วๆ ไปจะทนต่อสารละลายด่างได้ดีและทนสารฟอกขาวได้ทุกชนิด แต่ไม่ทนต่อสารละลายกรดโดยเฉพาะกรดเข้มข้นบางชนิด เช่น กรดซัลฟิวริกเข้มข้นจะทำลายเส้นใยฝ้าย เส้นใยฝ้ายจะมีมีความเงามันต่ำ มีความสามารถในการคืนตัวต่ำผ้าฝ้ายจึงยับง่าย ดูดความชื้นดีทำให้สวมใส่สบาย

โครงสร้างของฝ้ายมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (รูปที่ 9) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ประกอบในโครงสร้างของเซลลูโลสในฝ้ายนี้ เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติของเส้นใยฝ้ายโดยเฉพาะสมบัติด้านการดูดซับความชื้น รวมทั้งสมบัติด้านการย้อมติดสีและตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วย



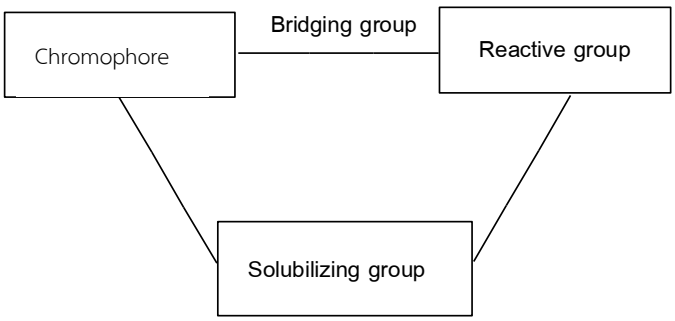
รูปที่ 9 โครงสร้างของเซลลูโลส

เส้นใยฝ้ายสามารถย้อมได้ทั้งสีสังเคราะห์และสีธรรมชาติ ในการย้อมสีธรรมชาติฝ้ายย้อมได้ด้วยสีธรรมชาติหลากหลายชนิดและนิยมปรับสมบัติด้านการย้อมและความคงทนของสีธรรมชาติด้วยการใช้สารผนึกสีประเภทเกลือของโลหะประเภทคอปเปอร์ โครเมียม อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นต้น

- สีรีแอกทีฟ

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการย้อมสีฝ้ายเนื่องจากให้เฉดสีที่มีความสดใสและมีความคงทนของสีที่ดีโดยเฉพาะความคงทนของสีต่อกระบวนการเปียก เช่น การซักล้าง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อย้อมฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟ โมเลกุลของสีจะเข้าไปเกิดพันธะถาวรกับฝ้าย ซึ่งทำให้สียึดเกาะกับเส้นใยได้อย่างแข็งแรง ปัญหาเรื่องสีตกจึงพบได้น้อยกว่าสีชนิดอื่นๆ ความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับปานกลาง

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีแรงดึงดูดกับเส้นใยน้อยกว่าสีไดเร็กต์ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของสีรีแอกทีฟมี 4 ส่วน (Shore, 1992) คือ หมู่โครโมฟอร์ หมู่รีแอกทีฟ หมู่ช่วยละลายน้ำ และหมู่เชื่อมโยง (รูปที่ 10) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

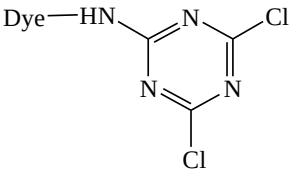


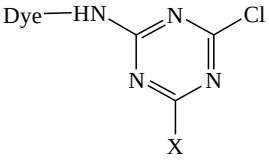
รูปที่ 10 องค์ประกอบของโครงสร้างสีรีแอกทีฟ

1. หมู่โครโมฟอร์ (Chromophoric groups) เป็นส่วนที่สำคัญในการกำหนดเฉดสีที่ต้องการของสีรีแอกทีฟ ซึ่งในทางการค้าสีรีแอกทีฟมีเฉดสีให้เลือกมากมาย เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้จากโครโมฟอร์ที่หลากหลาย เช่น Azo, Anthraquinone, Formazan และ Phthalocyanine เป็นต้น
2. หมู่รีแอกทีฟ (Reactive groups) เป็นส่วนที่ทำให้สีรีแอกทีฟเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยได้ หมู่รีแอกทีฟแต่ละชนิดมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกันไป ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมสีที่มีหมู่รีแอกทีฟต่างกันจึงแตกต่างกันด้วย หมู่รีแอกทีฟ 2 ลำดับแรก ที่สำคัญในสีรีแอกทีฟ ได้แก่

   2.1 ประเภท Haloheterocycles

   สำหรับสีที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น Haloheterocycles ได้แก่หมู่รีแอกทีฟประเภท Dichlorotriazine (DCT) และ Monochlorotriazine (MCT)

DCT 

MCT 

สีที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น DCT จะมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูง มีค่า Reactivity สูงกว่าหมู่รีแอกทีฟชนิดอื่นๆ สีรีแอกทีฟชนิดนี้จึงใช้ย้อมได้ที่อุณหภูมิห้อง หรือเรียกว่า สีย้อมเย็น สำหรับสีที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น MCT เป็นสีที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างต่ำ มักย้อมที่อุณหภูมิสูง (80-100°C) จึงเรียกว่า สีย้อมร้อน สีรีแอกทีฟชนิด MCT มี leaving group คือคลอรีน 1 หมู่

2.2 ประเภท Sulphatoethyl/vinylsulphone (SES/VS)

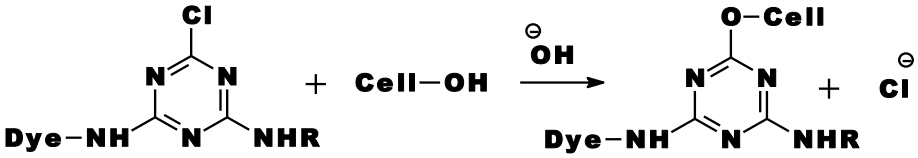
$$Dye\text{-}SO_2CH_2CH_2OSO_3^-Na^+$$

สำหรับสีที่มีหมู่รีแอกทีฟเป็น Vinylsulphone การผนึกสีจะเกิดผ่านปฏิกิริยา Nucleophilic addition หรือ Michael addition เมื่อเติมสารละลายด่าง

3. หมู่ช่วยละลายน้ำ (Solubilizing groups) เป็นส่วนที่ช่วยให้สีรีแอกทีฟละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหมู่ซัลโฟนิก (-SO_3H)
4. หมู่เชื่อมโยง (Bridging groups) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างโครโมฟอร์และหมู่รีแอกทีฟ ส่วนใหญ่จะใช้หมู่ imino (-NH) ในการเชื่อมต่อ หมู่นี้มีความจำเป็นในส่วนของการสังเคราะห์สี แต่ก็ส่งผลถึงคุณสมบัติอื่นๆ ของสีด้วยเช่นกัน เช่น ความเสถียร ความว่องไวและการยึดติดของสีกับผ้า เป็นต้น

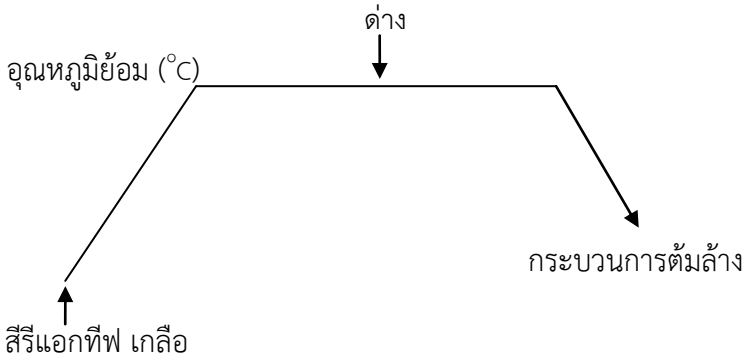
3.2 การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสีรีแอกทีฟชนิดด MCT กับเส้นใยเซลลูโลส

หมู่นิวคลีโอฟิลิกของเส้นใยจะเกิดพันธะโควาเลนต์กับสีรีแอกทีฟโดยการแทนที่ที่ตำแหน่งของหมู่แทนที่ในหมู่รีแอกทีฟ (รูปที่ 11) แต่ในขณะเดียวกันปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างน้ำกับสีรีแอกทีฟก็เกิดแข่งขันกันอยู่ด้วย



รูปที่ 11 ปฏิกิริยาแทนที่แบบนิวคลีโอฟิลิกระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและสีรีแอกทีฟ

รูปที่ 12 แสดงขั้นตอนการย้อมสีรีแอกทีฟสำหรับเส้นใยเซลลูโลส การย้อมใช้สารช่วยย้อมที่สำคัญ 2 ชนิดคือเกลือ ซึ่งช่วยเรื่องการดูดซึมของสีเข้าสู่เส้นใย และด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการผนึกระหว่างสีกับเส้นใย การเติมด่างจะเติมหลังจากสีดูดซึมเข้าไปในเส้นใยอย่างทั่วถึงแล้ว เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย้อมจะนำผ้าเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดสีที่ไม่ผนึกออกจากจากเส้นใยโดยการต้มในน้ำเดือดหรือน้ำสบู่



รูปที่ 12 ขั้นตอนการย้อมสีรีแอกทีฟโดยทั่วไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Baskara-Amrit el al. (2011) รายงานเกี่ยวกับการใช้สาร β-cyclodextrin ในสิ่งทอ สาร β-cyclodextrin สามารถใช้เป็นสารช่วยทั้งในกระบวนการย้อมและตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ โดยเทคนิคการสเปรย์ การจุ่มอัด การเคลือบ หรือการพิมพ์ เป็นต้น สาร β-cyclodextrin สามารถยึดติดกับเส้นใยสิ่งทอประเภทต่างๆ ได้ตามกลไกในตาราง

กลไกการยึดติด	ฝ้าย	ขนสัตว์	พอลิเอสเตอร์	พอลิเอไมด์	อะคริลิก	พอลิพรอพิลีน
พันธะไอออนิก	-	+	-	+	+	-
พันธะโควาเลนท์	+	+	-	+	-	-
แรงวันเดอวาลล์	-	-	+	+	+	-
ด้วยสารเชื่อมขวาง	+	+	+	-	-	-
การพอลิเมอไรเซชั่นแบบกราฟท์	+	+	+	+	+	+

* + ได้ – ไม่ได้

MCT-β-cyclodextrin สามารถยึดเกาะกับเส้นใยฝ้ายได้อย่างถาวรด้วยพันธะโควาเลนต์ในลักษณะเดียวกับสีรีแอกทีฟ ส่วน β-cyclodextrin ที่ไม่มีประจุสามารถยึดเกาะบนเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำได้ เช่น ไนล่อน และพอลิเอสเตอร์ โดยใช้กระบวนการแบบเดียวกับการย้อมสีดีสเพิร์ส

Wang et al. (2004) ศึกษาพบว่า cyclodextrin สามารถจับสารกลุ่ม nitrosamine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่พบในควันบุหรี่ได้ การวิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบกับการใช้สาร zeolite ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในก้นกรองในมวนบุหรี่ สาร nitrosamine ที่ถูกดูดจับด้วย cyclodextrin จะหันส่วนที่เป็นสาย alkyl เข้าไปในโพรงของ cyclodextrin และส่วนของหมู่ –N-N=O ของ nitrosamine จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ –OH ของ cyclodextrin เกิดโครงสร้าง host-gust complex ที่เสถียร ทำให้เมื่อสารถูกดูดจับแล้วหลุดออกมาได้ยาก ซึ่งแตกต่างจากกรณีของสาร zeolite ดังนั้นนอกจาก cyclodextrin จะช่วยในการดูดจับสาร nitrosamine ในควันบุหรี่ได้แล้ว ยังช่วยลดการปลดปล่อยสาร Nitrosamine ซึ่งเป็นอันตรายออกมาอีกด้วย

Noble (2000) ศึกษาการดูดซับควันบุหรี่บนผ้าที่ใช้ผลิตเสื้อผ้า ได้แก่ ขนสัตว์ ฝ้าย ลินิน ไหม เรยอน อะซิเตทและพอลิเอสเตอร์ พบว่าผ้าจากเส้นใยธรรมชาติดูดซับควันบุหรี่ได้มากกว่าผ้าจากเส้นใยสังเคราะห์ ผ้าพอลิเอสเตอร์มีค่าการดูดซับควันบุหรี่ต่ำที่สุด งานวิจัยนี้ให้รายงานว่าความสามารถในการดูดซับควันบุหรี่นั้นสัมพันธ์กับค่าการดูดซับความชื้น (Moisture regain) ของผ้า ผ้าที่ดูดซับความชื้นน้อยอย่างพอลิเอสเตอร์จึงดูดควันบุหรี่ได้น้อย พอลิเอสเตอร์จึงเหมาะสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ผ้าที่ต้องสัมผัสกับบรรยายที่มีควันบุหรี่มากกว่าผ้าจากเส้นใยชนิดอื่นๆ

Chien et al. (2011) ศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยของผ้าประเภทต่างๆ ที่ผ่านการสัมผัสกับบรรยากาศที่มีควันบุหรี่ ผ้าที่เลือกศึกษา ได้แก่ ฝ้าย ลินิน พอลิเอสเตอร์ เรยอน พีวีซี ไหม อะซิเตท และขนสัตว์ พบว่าชนิดเส้นใย โครงสร้างผ้า สีของผ้าและระยะเวลาที่สัมผัสกับสารระเหย มีผลต่อการดูดซับและปลดปล่อยสารระเหยออกจากผ้า เส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้ายและลินิน จะปลดปล่อยสารออกมามากกว่าเส้นใยประดิษฐ์ นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติจากพืชก็มีการปลดปล่อยสารที่มีต่างจากเส้นใยธรรมชาติจากสัตว์ด้วย

Hammer et al. (2011) ศึกษาการแทรกซึมของสารจากควันบุหรี่ที่ตกค้างจากบนสิ่งทอสู่ผิวหนังของคนและศึกษาผลของสารจากควันบุหรี่ที่สกัดจากผ้าต่อเซลล์ไฟโบรบลาสต์ เซลล์ประสาทและตัวอ่อนของปลาม้าลาย พบว่าสารนิโคตินที่ติดบนผ้า สามารถละลายออกมาในเหงื่อของผู้สวมใส่ นิโคตินที่ละลายในเหงื่อนี้จะมีประมาณครึ่งหนึ่งที่ซึมผ่านเข้าสู่ผิวหนังของคน ก่อให้เกิดอันตรายได้ และสารที่สกัดจากผ้าที่มีมีสารตกค้างจากควันบุหรี่ยังมีผลเสียต่อเซลล์และมีต่อการเจริญของตัวอ่อนปลาม้าลายด้วย

วิธีวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องย้อมแบบอินฟราเรด (Infra-Red (IR) Dyeing machine) STARLET DL-6000^{+}
2. เครื่องอบผ้า บริษัท F&P HESMANPERFECT DREING EQUIPMENT FACTORY, ประเทศจีน
3. เครื่องอัดรีดสารเคมี (Padding machine) รุ่น MU504A บริษัท BEIJING TEXTILE EQUIPMENT INSTITUTE, ประเทศจีน
4. เครื่อง Macbeth COLOR-EYE 7000 Spectrophotometer บริษัท Gretag Macbeth, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่อง Stiffness tester NO.33 ตามมาตรฐาน ASTM D 1388-75 บริษัท SHIRLEY DEVELOPMENT จำกัด, ประเทศอังกฤษ
6. เครื่อง Universal Testing Machine บริษัท INSTRON คอร์ปเปอเรชั่น, ประเทศอังกฤษ
7. ตู้ไฟเทียบสี (UWZ 48-L 220-240V~50Hz) AURORA บริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด สุเมธ แล็บเทสต์, ประเทศไทย
8. อุปกรณ์ตัดผ้าตามมาตรฐานรูปวงกลมพื้นที่ขนาด 100 cm^2 (เครื่อง Cutter) บริษัท MESDAN, ประเทศอิตาลี
9. Grey Scale for Assessing change in color ISO 105-A02 1987 บริษัท SDL International LYD, ประเทศอังกฤษ
10. Grey Scale for Assessing staining ISO105 A03 1987 บริษัท SDL International LYD, ประเทศอังกฤษ
11. pH meter Tester 20 WATERPROOF บริษัท EUTECH INSTRUMENTS, ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง Atlas xenon-arc Weatherometer รุ่น Ci 3000+ บริษัท Atlas Material Testing Technology, ประเทศสหรัฐอเมริกา
13. เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น Specord 250 บริษัท Analytik Jena, ประเทศเยอรมนี
14. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR spectrometer) รุ่น Bruker Equinox 55 บริษัท Bruker Optik, ประเทศเยอรมนี
15. เครื่อง Electronic Nose พัฒนาโดย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (Nanotec) ประเทศไทย

วัสดุและสารเคมี

1. ผ้าฝ้าย Poplin 100% ชนิดไม่มีสารเรืองแสง (OBA) เบอร์ด้าย 40 Ne
2. สาร Monochlorotriazinyl-β-cyclodextrin (MCT-β-cyclodextrin, Degree of substitution of 0.3 – 0.6) บริษัท HAIHANG INDUSTRY จำกัด, ประเทศจีน
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3: Sodium Carbonate Anhyrous) บริษัท Ajax Finechem จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย
4. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4: Sodium Sulphate Anhydrous) บริษัท Ajax Finechem จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย
5. กรดแอซีติกเข้มข้น 100% (Acetic acid 100% หรือ glacial) บริษัท Carlo Erba จำกัด, ประเทศอิตาลี
6. โซเดียมเปอร์บอเรต ($NaBo_3$: Sodium Perborate) บริษัท Ajax Finechem จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH: Sodium Hydroxide Pellets) บริษัท Ajax Finechem จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย

8. สี Drimarene Red X-6BN (Hot dye) บริษัท Clariant จำกัด, ประเทศไทย
9. สี Drimarene Yellow X-4RN (Hot dye) บริษัท Clariant จำกัด, ประเทศไทย
10. สี Drimaren Navy X-GN (Hot dye) บริษัท Clariant จำกัด, ประเทศไทย
11. สารช่วยเปียกชนิดประจุลบ Ecophore (SN-45) ECOPHORE®, ประเทศไทย
12. Detergent (HEAL'S ECE PHOSPHATE REFERENCE DETERGENT B) บริษัท JAMES H.HEAL จำกัด, ประเทศอังกฤษ
13. ฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$: Phenolphthalein) บริษัท Ajax Finechem จำกัด, ประเทศออสเตรเลีย
14. เอทานอล (C_2H_5OH : Ethanol Analytical grade) บริษัท Merck KGaA, ประเทศเยอรมนี

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมผ้า (Scouring)

นำผ้าฝ้ายมาทำความสะอาด (Scouring) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4%owf และสารช่วยเปียกชนิดประจุลบ Ecophore (SN-45) 1%owf ในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย (Liquor Ratio, LR) 1:10 คำนวณปริมาณสารที่ใช้ตามสมการที่ 1 จากนั้นใส่ผ้าลงในสารละลายและนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงล้างด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง

$$\text{ปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้ (มิลลิลิตร)} = \frac{\text{ปริมาณสารตามสูตร(\%owf)} \times \text{น้ำหนักผ้า}}{\text{ความเข้มข้นของสารละลายstock (\%w/v)}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

2. การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin

2.1 การตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว นำมาตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin ที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 5 และ 10%w/v ตามลำดับ ปรับค่า pH เป็น 9 ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต แช่ผ้าฝ้ายในการละลาย MCT-β–cyclodextrin นาน 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการอัดรีดผ้าผ่านเครื่อง Padder นำผ้ามาจุ่มสารละลายซ้ำอีก 1 รอบและอัดรีดซ้ำอีกครั้ง นำผ้าที่ผ่านการอัดรีดไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา %wet pickup ตามสมการที่ 2 โดยให้มีค่าประมาณ 75-80%wet pickup จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110, 120, 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 2 นาที ทิ้งให้ผ้าเย็นลงที่อุณหภูมิห้องและนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา %add-on ตามสมการที่ 3

$$\text{\%wet pickup} = \frac{(\text{น้ำหนักผ้าหลังอัดรีด} - \text{น้ำหนักผ้าเริ่มต้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักผ้าเริ่มต้น}} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

$$\text{\%add-on} = \frac{(\text{น้ำหนักผ้าหลังอัดรีดและอบแห้ง} - \text{น้ำหนักผ้าเริ่มต้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักผ้าเริ่มต้น}} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

นำผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin ไปต้มในสาร Ecophore (SN-45) ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ในอัตราส่วน L:R 1:15 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นล้างผ้าด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จเรียบร้อยแล้วไป

หา %Fixation ด้วยวิธี Phenolphthalein method และวิธี Fourier Transforms Infrared Spectroscopy (FTIR)

การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วย MCT-β–cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยอบผนึกที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที แสดงในตารางที่ 1 พบว่าเมื่อความเข้มข้น MCT-β–cyclodextrin เพิ่มขึ้น %Add-on เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 1 %Add-on ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วย MCT-β–cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น MCT-β–cyclodextrin (%w/v)	**%Add-on**
1	1.486
2	1.699
3	2.055
5	2.151
10	2.484

2.2 การวิเคราะห์ร้อยละการผนึก (%Fixation) ของ MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้าย

2.2.1 วิธีวิเคราะห์ร้อยละการผนึกด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein method) เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ (mM) ในเอทานอล และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 125 มิลลิโมลาร์ (mM) ในน้ำกลั่น จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตปริมาตร 190 มิลลิลิตร สารละลายสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเอทานอลปริมาตร 8 มิลลิลิตรให้เข้ากัน ตัดผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin 10%w/v ที่อุณหภูมิ 110, 120, 130, 140 และ 150°C ทั้งก่อนและหลังการ washing-off เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.8 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลายที่เตรียมได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตรเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 552 นาโนเมตรด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหา %การลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย phenolphthalein (%Absorbance reduction) ตามสมการที่ 6

$$\%\text{Absorbance reduction} = \frac{(Abs_0 - Abs_1) \times 100}{Abs_0} \qquad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ Abs_0 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเริ่มต้น

Abs_1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนหลังการแช่ชิ้นทดสอบ

วิธีฟีนอล์ฟทาลีนเป็นการวิเคราะห์จากค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนในสภาวะด่างเมื่อมีสาร MCT-β–cyclodextrin โดยโมเลกุลของฟีนอล์ฟทาลีนจะเกิดปฏิกิริยา inclusion complex กับสาร MCT-β–cyclodextrin ทำให้ความเข้มสีของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลดลง ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 552 นาโนเมตร ของสารละลายสีจึงลดลงด้วย ดังนั้นความเข้มสีของสารละลาย phenolphthalein ลดลงยิ่งมากแสดงว่ามีปริมาณของ MCT-β–cyclodextrin บนผ้ามาก

2.2.2. วิธีวิเคราะห์การผนึก (Fixation) ของสาร MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Fourier Transforms Infrared Spectroscopy (FTIR)

นำผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสำเร็จและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin 10%w/v ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการ washing-off และสาร MCT-β–cyclodextrin แบบผง ไปตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชั่นด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (Bruker Equinox 55 FTIR spectrometer) โดยตั้งค่าในโหมด Mid-IR region โดยวิเคราะห์อินฟราเรดที่คลื่นความถี่ตั้งแต่ 500–4000 cm^{-1} รายงานผลเป็นค่า Absorbance Units เปรียบเทียบลักษณะ IR bands ของผง MCT-β–cyclodextrin และผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งสำเร็จกับ ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin 10%w/v ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการซักล้าง (washing-off) เพื่อวิเคราะห์การ fixation ของสาร MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้าย

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้า

2.3.1 การวัดค่าความกระด้างของผ้า (flexural rigidity)

การทดสอบเพื่อวัดค่าความกระด้างของผ้าทำตามวิธีในมาตรฐาน BS 3356 โดยนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 5 และ 10%w/v มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.5 ซม. x 20 ซม. ให้แนวยาวของผ้าไปตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง แนวละ 5 ชิ้น จากนั้นนำผ้าที่ตัดไปวางตำแหน่งวางชิ้นทดสอบบนเครื่อง Flexometer โดยให้ริมผ้าพอดีกับขอบของแท่นวางชิ้นทดสอบจากนั้นค่อยๆ เลื่อนชิ้นทดสอบให้พ้นขอบของเครื่อง Flexometer ลงมาจนกว่าชิ้นทดสอบจะโค้งลงทำมุม 41.5 องศากับแนวราบ จึงหยุดเลื่อนชิ้นทดสอบ แล้วบันทึกค่าความยาวของผ้าที่โค้งงอจนเป็น 41.5 องศา นำค่าความในการโค้งงอที่วัดได้มาคำนวณหาค่าความกระด้างของผ้าในรูปของค่า Flexural rigidity ตามสมการ 5

$$G = 0.1\ MC^3$$ สมการ 5

เมื่อ G คือ ค่า flexural rigidity (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
M คือ น้ำหนักผ้าฝ้ายต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)
C คือความยาวในการโค้งตัวของผ้าฝ้าย (เซนติเมตร)

รูปที่ 13 ลักษณะของเครื่อง Flexometer

2.3.2 การวัดค่าความเหลืองของผ้า (Fabric Yellowness)

นำผ้ามาวัดค่าความเหลืองด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Macbeth Color-Eye 7000) ตามมาตรฐาน Yellowness Index-ASTM E313-00

2.3.3 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของผ้า (Fabric strength)

ตัดชิ้นทดสอบกว้าง 3.5×15 เซนติเมตร โดยตัดแนวยาวของชิ้นทดสอบตามแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งไปตามทิศเฉลียงอย่างละ 5 ชิ้นทดสอบ จากนั้นก็ทำการเลาะเส้นด้ายตามแนวยาวของชิ้นทดสอบทั้งสองข้างจนเหลือขนาดความกว้างของผ้าหน้าผ้าเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยตั้งค่าระยะทดสอบ 75±1 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการดึงอยู่ที่ 300±10 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน ASTM D5035 บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (Maximum load)

3. การย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin

3.1 การย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามวิธีในข้อ 2 มาย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนซึ่งมีหมู่รีแอกทีฟประเภทเดียวกับหมู่รีแอกทีฟใน MCT-β-cyclodextrin จำนวน 3 สีคือ Drimarene Red X-6BN, Drimarene Yellow X-4RN และ Drimarene Navy X-GN ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 4%owf โดยใช้อัตราส่วน L:R 1:15 ใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นสารช่วยย้อม ปริมาณที่ใช้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสารโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการย้อมสีรีแอกทีฟ

ความเข้มข้นของสีที่ใช้ย้อม (%owf)	เกลือโซเดียมซัลเฟต (กรัมต่อลิตร)	โซเดียมคาร์บอเนต (กรัมต่อลิตร)
0.5	20	10
1	40	10
2	40	15
4	60	20

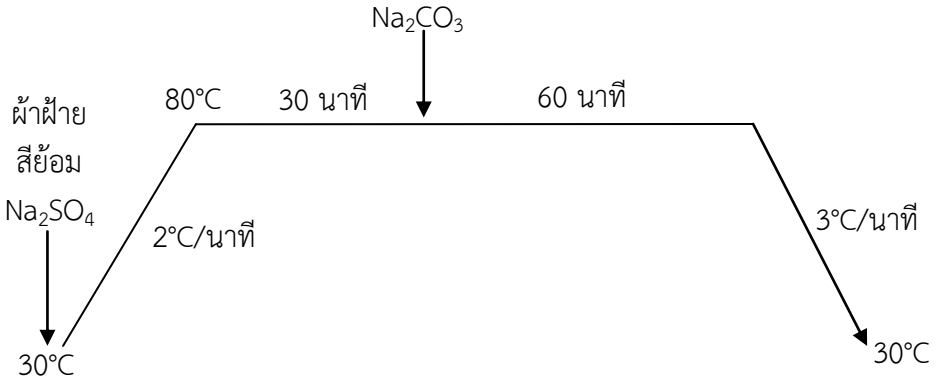
ทำการย้อมตามวิธีในรูปที่ 1 ด้วยเครื่องย้อมแบบอินฟราเรด เมื่อย้อมเสร็จนำน้ำย้อมที่เหลือหลังจากการย้อมและน้ำย้อมเริ่มต้นมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Specord UV/Vis spectrophotometer เพื่อคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมสี (%exhaustion) ตามสมการที่ 5

$$\%Exhaustion = \frac{(Abs_0 - Abs_1) \times 100}{Abs_0}$$ สมการที่ 5

เมื่อ Abs_0 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำย้อมเริ่มต้น

Abs_1 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำย้อมหลังย้อม

จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการย้อมแล้วไปล้างและต้มในสาร Ecophore (SN-45) ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นล้างแล้วตากให้แห้ง นำผ้าฝ้ายที่ย้อมสีแล้วไปวัดค่าความเข้มของสี (K/S) และค่า L*,a*,b* ด้วยเครื่องวัดสี Macbeth Color-Eye 7000 Spectrophotometer



รูปที่ 14 วิธีการย้อมสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อน

3.2 การทดสอบความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อม

3.2.1 ความคงทนของสีรีแอกทีฟต่อการซัก (Wash Fastness)

การทดสอบความคงทนของสีรีแอกทีฟต่อการซักตามมาตรฐาน ISO 105/C06 หมายเลขการทดสอบ C2S จากนั้นนำมาประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าชิ้นทดสอบและการเปื้อนสีของผ้าขาวมาตรฐาน (Multifiber) ด้วย Grey Scale for Assessing Staining ISO 105 A03 1987 และ Grey Scale for Assessing Change in color ISO 105-A02 1987 ทดสอบในตู้ไฟโดยใช้แสง D65 ในการทดสอบ

3.2.2 ความคงทนของสีรีแอกทีฟต่อแสง (Light Fastness)

ทดสอบความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐาน AATCC 16E

4. การตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ

นำผ้าฝ้ายที่ทำความสะอาดแล้วมาย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนจำนวน 3 สีคือ Drimaren Red X-6BN, Drimaren Yellow X-4RN และ Drimaren Navy X-GN ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2 และ 4%owf แล้วคำนวณหาค่า %exhaustion และวัดค่าความเข้มสี (K/S) และค่า L*, a*, b* ตามวิธีในข้อ 3.1 จากนั้นนำมาตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามวิธีในข้อ 2.1 หลังจากตกแต่งเสร็จนำผ้าที่ได้ไปทำการทดสอบความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายตามวิธีในข้อ 3.2 และวัดความกระด้างของผ้า และค่าความแข็งแรงของผ้าด้วยการวัดค่าความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) ของผ้าตามวิธีในข้อ ตามข้อ 2.3.1 และ 2.3.3 ตามลำดับ

5. การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าฝ้าย

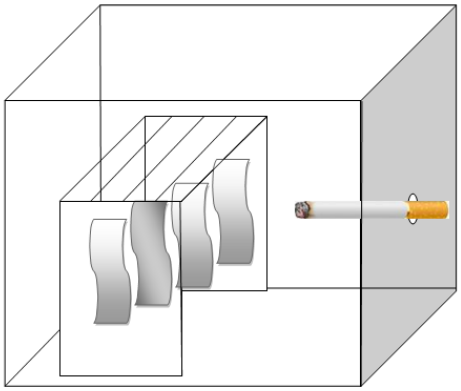
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้น 3 and 5 %w/v โดยใช้อุณหภูมิการอบผนึกที่ 140°C เป็นเวลา 2 นาที มาทดสอบสมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตตามวิธีในมาตรฐาน AATCC 183-2010 เปรียบเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

6. การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย

นำชิ้นผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการย้อมมาตกแต่งด้วยสาร MCT- β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1, 2, 3 และ 5% โดยใช้อุณหภูมิในการอบผนึกที่ 140°C เป็นเวลา 2 นาที เมื่อผ้าเย็นตัวลง นำผ้าไปต้มในสาร Ecophore (SN-45) ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ในอัตราส่วน L:R 1:15 ที่อุณหภูมิ 80 องศา

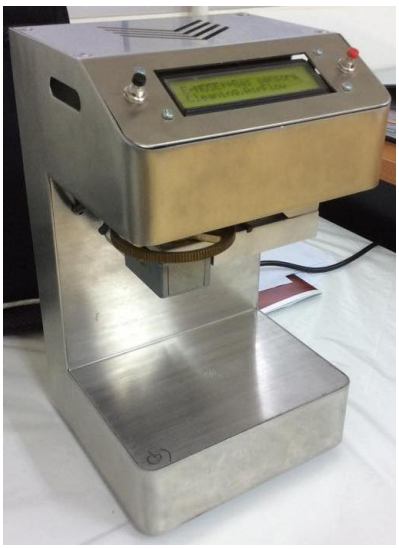
เซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างผ้าด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง นำผ้าที่ได้มาทดสอบการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง โดยตัดผ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4x10 ตารางเซนติเมตร นำไปอบแล้วเก็บไว้ในโถแก้วดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบ

กล่องสำหรับทดสอบการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ทำจากแผ่นอะคริลิกใส เป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 30x30x30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้านบนสามารถเปิดได้ ผนังด้านข้างกล่องด้านหนึ่งเจาะรู 1 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ามวนบุหรี่เล็กน้อย เพื่อให้สอดมวนบุหรี่เข้าไปได้พอดี



รูปที่ 15 อุปกรณ์ทดสอบการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่

นำผ้าชิ้นทดสอบใส่ในกล่องเก็บควันบุหรี่โดยการแขวน จากนั้นนำบุหรี่มาสอดในช่องใส่บุหรี่ตามรูปที่ 6 จากจุดบุหรี่ให้ติดแล้วปิดฝากล่อง ปล่อยให้บุหรี่เกิดการเผาไหม้จนครบเวลา 15 นาที จึงนำชิ้นทดสอบออกจากกล่องแล้วเก็บใส่ซองฟอยล์แล้วปิดให้สนิทเพื่อนำไปตรวจวัดระดับความแรงของกลิ่นบนผ้าด้วย Electronic nose



รูปที่ 16 เครื่อง Electronic nose

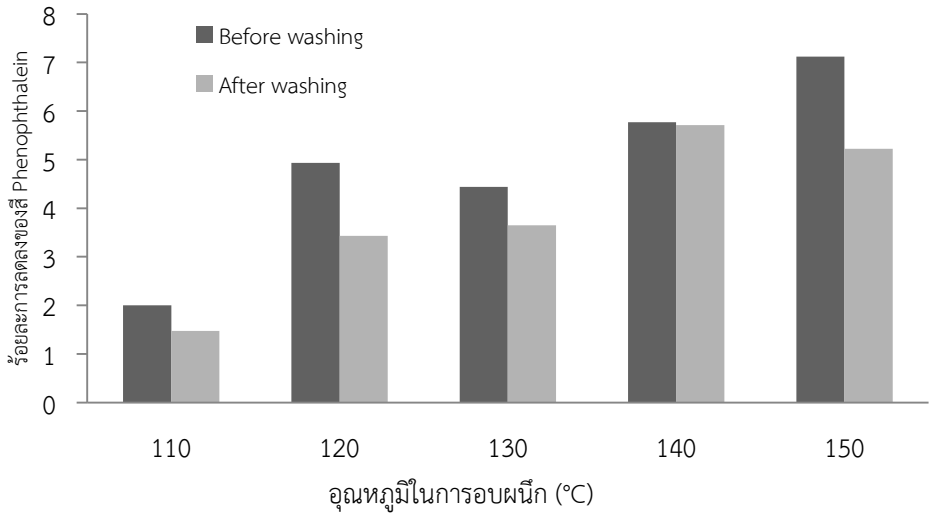
การตรวจวัดกลิ่นบนชิ้นทดสอบด้วยเครื่อง Electronic nose โดยก่อนทดสอบต้องปรับเทียบเครื่องด้วยการวัดอากาศที่บริสุทธิ์ก่อนเป็นจำนวน 30 ครั้ง จากนั้นทำการตรวจวัดกลิ่นบนชิ้นทดสอบเทียบกับอากาศ

ผลและวิจารณ์

1. ผลการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ลงบนผ้าฝ้าย

1.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการผนึก (%Fixation) ของ MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้าย ด้วยวิธี Phenolphthalein method

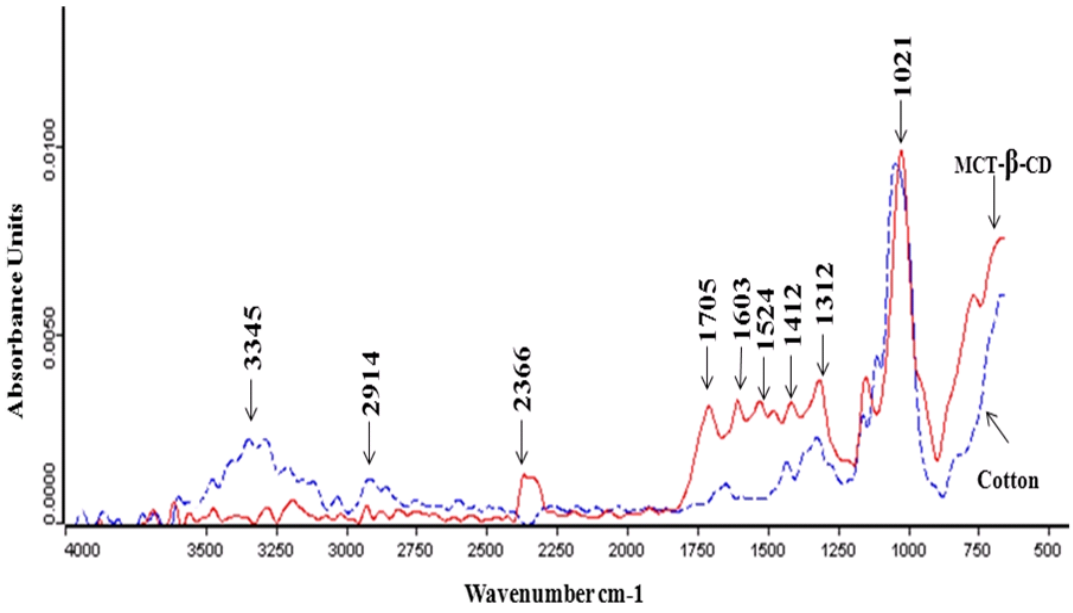
ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบผนึก (curing) ต่อค่าร้อยละการผนึกของการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin ความเข้มข้น 10%w/v แสดงในรูปของค่าความเข้มสีของ phenolphthalein ที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 17 เมื่อผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin สัมผัสกับสารละลาย phenolphthalein สาร MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้ายจะเกิด inclusion complex กับโมเลกุลของ phenolphthalein ทำให้ความเข้มสีของสารละลาย phenolphthalein ลดลง ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลาย phenolphthalein ที่ความยาวคลื่น 552 นาโนเมตร จึงมีค่าลดลง ยิ่งความเข้มสีของสารละลาย phenolphthalein มีค่าลดลงมากเท่าใด ก็แสดงว่าปริมาณของ MCT-β–cyclodextrin ที่ผนึกบนผ้าฝ้ายมีมากตามไปด้วย



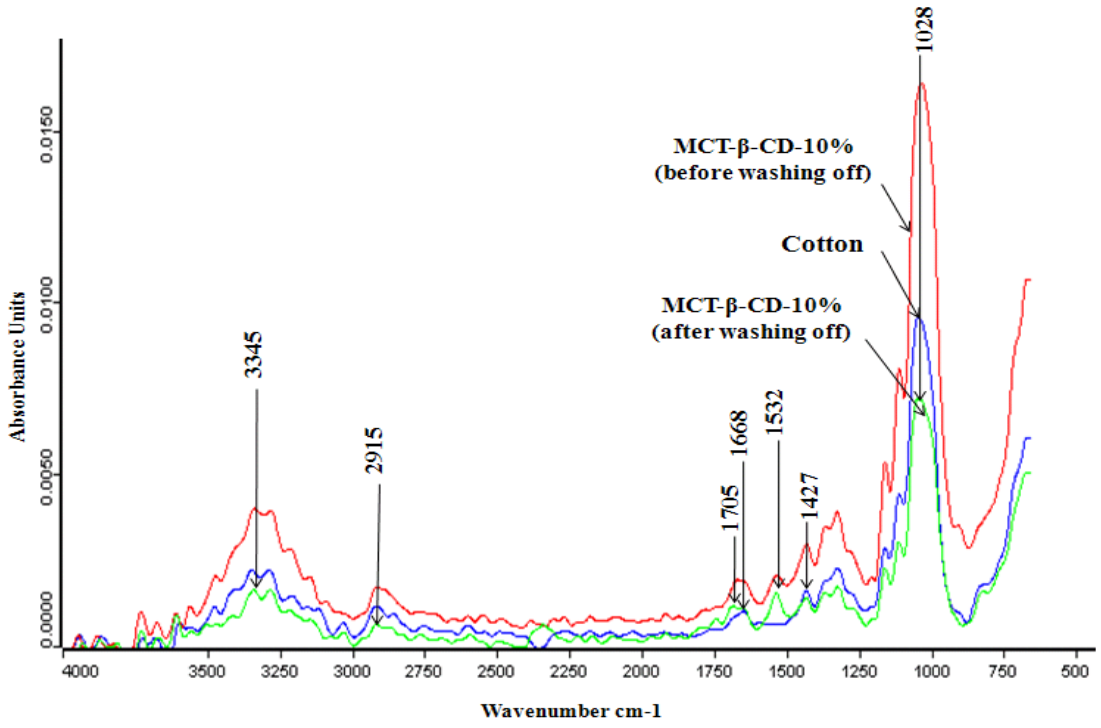
รูปที่ 17 ร้อยละการลดลงของสีสารละลาย phenolphthalein เมื่อทดสอบกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วย MCT-β–cyclodextrin ความเข้มข้น 10%w/v ที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

ผลการทดลองพบว่า ร้อยละการลดลงของความเข้มสีของสารละลาย phenolphthalein เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบผนึกสูงขึ้น ชี้ให้เห็นว่าร้อยละการผนึกของสาร MCT-β–cyclodextrin เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้อบ เมื่อนำผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin และอบผนึกแล้วไปผ่านการซักเพื่อกำจัดสาร MCT-β–cyclodextrin ที่ไม่ผนึกออกไปให้เหลือเฉพาะสารส่วนที่เกิดการผนึก (เกิดพันธะโควาเลนต์) บนผ้าฝ้ายเท่านั้น จะเห็นได้ว่าหลังซัก ค่าร้อยละการลดลงของความเข้มสีของสารละลาย phenolphthalein มีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณสาร MCT-β–cyclodextrin บนผ้าลดลง เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการอบผนึกต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าที่ 140°C ร้อยละการผนึกของสาร MCT-β–cyclodextrin มีค่าสูงสุด และเป็นสภาวะอุณหภูมิที่มีปริมาณสาร MCT-β–cyclodextrin ที่ไม่ผนึกต่ำที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิในการอบผนึกที่ 140°C สำหรับการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสาร MCT-β–cyclodextrin

1.2 ผลการตรวจสอบสาร MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้ายที่ด้วยวิธี Fourier Transforms Infrared Spectroscopy (FTIR)



(a)



(b)

รูปที่ 18 สเปกตรัม FTIR ของผ้าฝ้ายและ MCT-β–cyclodextrin (a); ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จด้วย MCT-β–cyclodextrin (10 %w/v) ที่ผ่านกระบวนการ Washed-off (b)

การผนึกของ MCT-β–cyclodextrin บนผ้าฝ้ายสามารถยืนยันด้วยผล FTIR ดังรูปที่ 18 สาร MCT-β–cyclodextrin เกิดพีคที่ 2914 cm^{-1} (C-H), 1603 cm^{-1} (C=N) และ 1021 cm^{-1} (Cl–C=N) ขณะที่พีคที่ 3345 cm^{-1} (-OH) ปรากฏในผ้าฝ้าย สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วย MCT-β–cyclodextrin 10 %w/v และอบผนึกที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 2 นาทีและผ่านกระบวนการซักล้างจะมีลักษณะ IR

bands ที่เหมือนกันกับ MCT-β–cyclodextrin และผ้าฝ้าย ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่ามีสาร MCT-β–cyclodextrin ผนึกอยู่บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยภาวะดังกล่าว

1.3 ค่าความกระด้าง (flexural rigidity) ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin

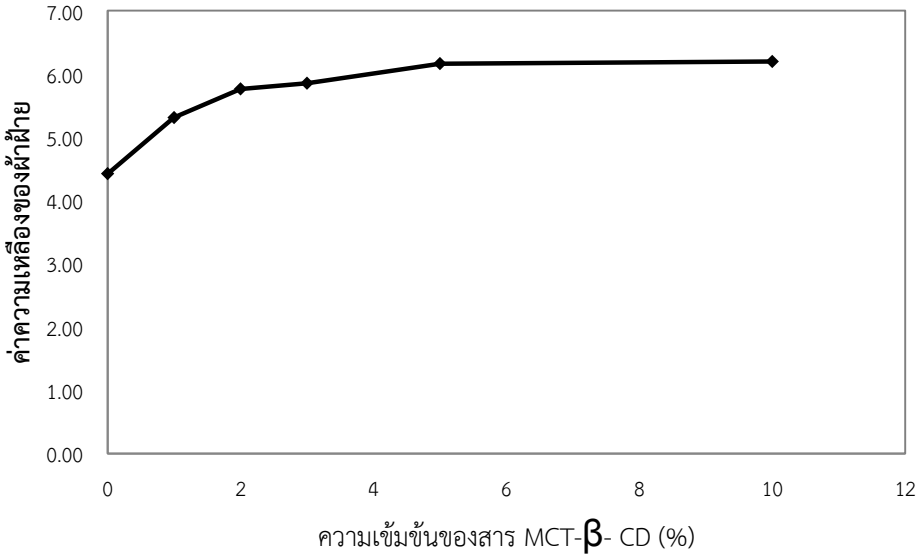
ตารางที่ 3 แสดงผลของการตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ต่อความกระด้างของผ้าฝ้าย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผ้าฝ้ายมีความกระด้างเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาร MCT-β–cyclodextrin ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก MCT-β–cyclodextrin ไปเคลือบผิวเส้นใยทำให้ผ้ามีความกระด้างคล้ายการเคลือบด้วยแป้ง ความกระด้างของผ้าจึงเพิ่มขึ้นทั้งตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง

ตารางที่ 3 ค่าความกระด้าง (flexural rigidity) ของผ้าฝ้ายตามแนวเส้นด้ายพุ่งและแนวเส้นด้ายยืนที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ความเข้มข้นต่างๆ กัน เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

แนวที่ทดสอบ	**Flexural rigidity (G) (mg·cm)**					
	ความเข้มข้นของ MCT-b-cyclodextrin (%w/v)					
	ไม่ตกแต่ง	**1**	**2**	**3**	**5**	**10**
แนวด้ายยืน	9.2689	10.11	12.95	14.30	16.58	19.83
แนวด้ายพุ่ง	8.8786	9.04	10.04	12.55	14.39	16.96

1.4 ค่าความเหลือง (Yellowness) ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin

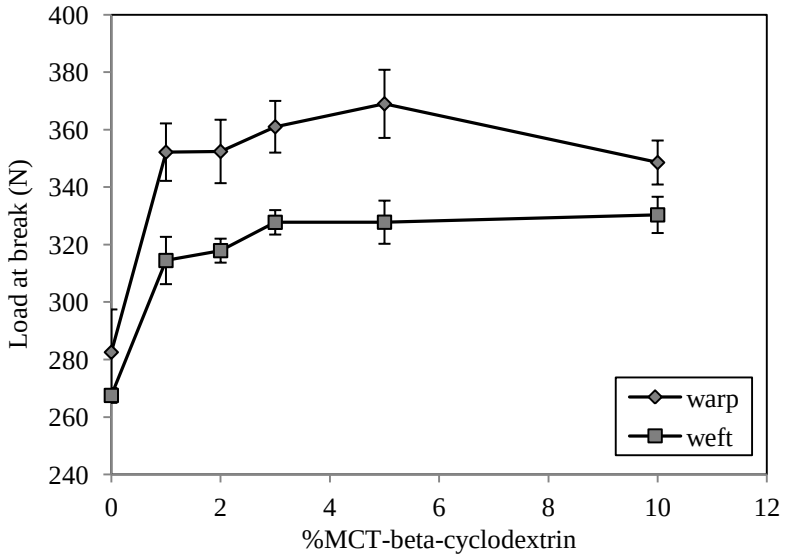
ผลการทดลองค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ซึ่งอบผนึกที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 2 นาที เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แสดงดังรูปที่ 19 พบว่าเมื่อความเข้มข้น MCT-β–cyclodextrin เพิ่มขึ้น ค่าความเหลืองของผ้าฝ้ายมีค่าสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ MCT-β–cyclodextrin สูงกว่า 2 %w/v อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความเหลืองมีแนวโน้มลดลงและเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 19 ค่าความเหลืองตามมาตรฐาน Yellowness Index-ASTM E313-00 ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

1.5 ความต้านทานต่อแรงดึงของผ้า (Tensile strength) ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วย MCT-β–cyclodextrin ความเข้มข้นต่างๆ กัน

ผลของการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β–cyclodextrin ต่อความแข็งแรงหรือความต้านทานต่อแรงดึงของผ้าฝ้าย แสดงในรูปที่ 20 การตกแต่ง MCT-β–cyclodextrin ส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าฝ้าย ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin มีค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แสดงให้เห็นว่า MCT-β–cyclodextrin ส่งผลทำให้ผ้าฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของ MCT-β–cyclodextrin ความแข็งแรงของผ้าฝ้ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ความแข็งแรงของผ้าเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MCT-β–cyclodextrin มีค่าสูงกว่า 3%w/v Wang and Chen (2004) อธิบายว่า β–cyclodextrin ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับผ้าฝ้าย โดยทำหน้าที่เหมือนเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (Plasticizer) ให้กับผ้าฝ้าย MCT-β–cyclodextrin เข้าไปช่วยทำให้สายโซ่ของเซลลูโลสสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ทำให้ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin มีความแข็งแรงสูงขึ้น



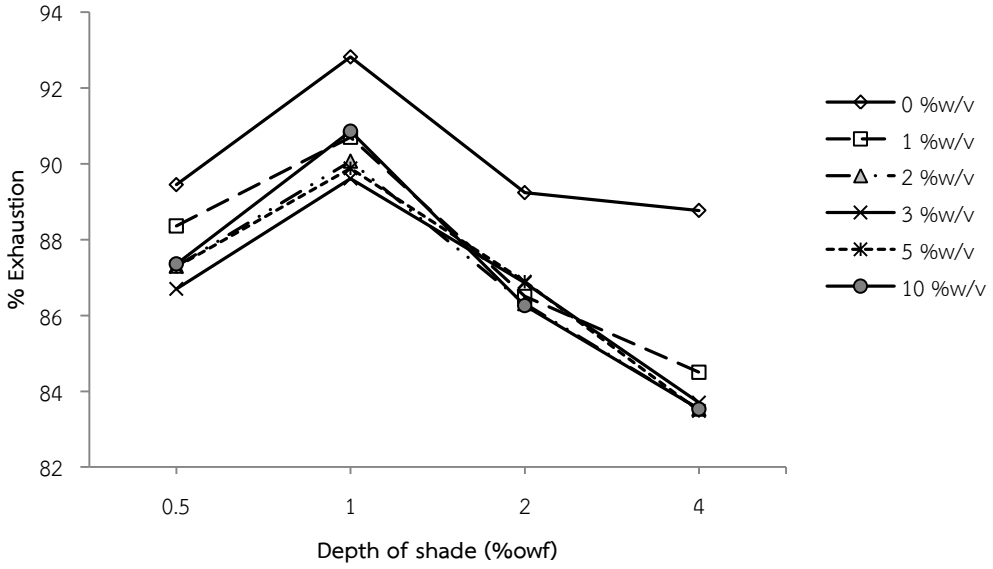
รูปที่ 20 แรงดึงของผ้า (Load at break) ของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

2 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin

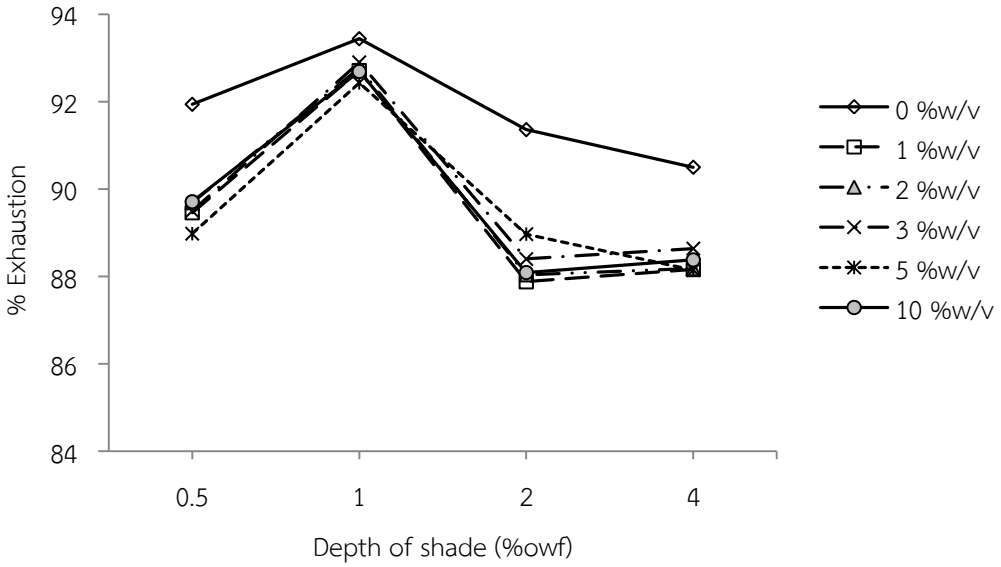
2.1 ร้อยละการดูดซึมสีของการย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ความเข้มข้นต่างๆ กัน

รูปที่ 21-23 แสดงค่าร้อยละการดูดซึมสี Drimaren Red X-6BN, Drimaren Yellow X-4RN และ Drimaren Navy X-GN เมื่อย้อมบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เทียบกับผลการย้อมของผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่ง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผ้าฝ้ายผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ค่าร้อยละการดูดซึมสีบนผ้ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ตกแต่ง ทั้งนี้คาดว่าสาร

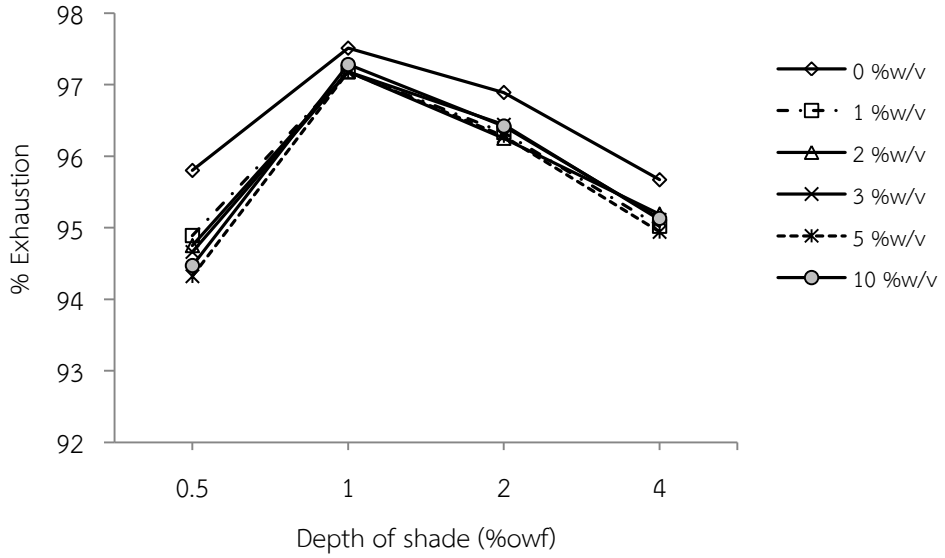
MCT-β-cyclodextrin ที่ผนึกบนผ้าฝ้ายมีผลในการขัดขวางการดูดซึมและผนึกของสี เนื่องจาก MCT-β-cyclodextrin มีลักษณะการผนึกกับเส้นใยฝ้ายในลักษณะเดียวกับสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนที่มีหมู่เกิดปฏิกิริยาเป็น MCT จึงคาดว่ามีผลไปขัดขวางหรือลดอัตราการผนึกของสีลง แต่ทั้งนี้การลดลงของค่าร้อยละการดูดซึมสีไม่แปรผันตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้



รูปที่ 21 ค่าร้อยละการดูดซึมสี (% Exhaustion) ของสี Drimaren Red X-6B บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ



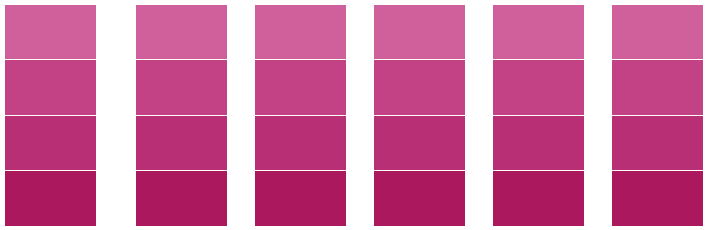
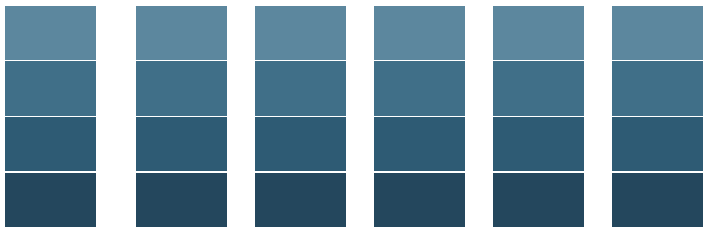
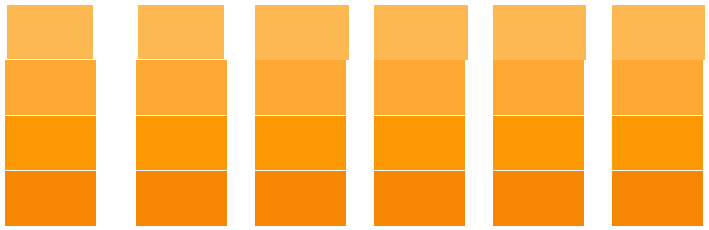
รูปที่ 22 ค่าร้อยละการดูดซึมสี (% Exhaustion) ของสี Drimaren Navy X-GN บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 23 ค่าร้อยละการดูดซึมสี (% Exhaustion) ของสี Drimaren Yellow X-4RN บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เฉดสีของสี Drimaren Red X-6BN, Drimaren Navy X-GN และ Drimaren Yellow X-4RN ที่ย้อมติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งและผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin แสดงในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าเฉดสีที่ย้อมติดบนผ้าไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มสีในตารางที่ 5 ก็จะพบว่าค่าความเข้มสีหรือ K/S ของผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน กับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งมีค่า K/S ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉดสีที่ปรากฏออกมาจึงไม่แตกต่างกัน แม้ว่าผลของค่าร้อยละการดูดซึมของผ้าที่ไม่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin จะมีค่าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งก็ตาม แต่เมื่อความเข้มสีที่วัดได้ถือว่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่ส่งผลต่อสมบัติด้านการย้อมติดสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนบนผ้าฝ้าย งานวิจัยก่อนหน้านี้ โดย Hebeish *et al*. (2006) รายงานถึงการใช้ MCT-β-cyclodextrin ตกแต่งบนผ้าฝ้ายที่จะนำไปพิมพ์สีรีแอกทีฟ ซึ่งพบว่า MCT-β-cyclodextrin ทำให้สีพิมพ์ติดผ้าฝ้ายได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม สำหรับการย้อมที่ได้ศึกษาโดยคณะผู้วิจัยพบว่าสำหรับการย้อมด้วยกระบวนการแบบแช่ (Exhaust dyeing) การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่ได้ช่วยทำให้สมบัติด้านการย้อมของผ้าฝ้ายสูงขึ้น

ตารางที่ 4 เฉดสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนหลังจากการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

สี	ความเข้มข้นของสี (%owf)	เฉดสี					
		ความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin (%w/v)					
		ไม่ตกแต่ง	1	2	3	5	10
Drimaren Red X-6BN	0.5						
	1						
	2						
	4						
Drimaren Navy X-GN	0.5						
	1						
	2						
	4						
Drimaren Yellow X-4RN	0.5						
	1						
	2						
	4						

ตารางที่ 5 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนหลังจากการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

สี	ความเข้มข้นของสี (%owf)	ความเข้มสี (K/S)						λ_{max}
		ความเข้มข้นของ MCT-β–cyclodextrin (%w/v)						
		0	1	2	3	5	10	
Drimaren Red X-6BN	0.5	3.20	3.12	3.08	3.10	3.18	3.14	560
	1	6.42	6.66	6.64	6.74	6.45	6.60	560
	2	11.53	10.32	10.85	10.57	10.72	11.03	560
	4	18.60	17.91	17.67	17.72	17.91	17.93	560
Drimaren Navy X-GN	0.5	2.76	2.46	2.53	2.54	2.53	2.55	620
	1	5.78	5.42	5.35	5.37	5.34	5.40	620
	2	10.22	9.34	9.36	9.32	9.55	9.63	620
	4	17.06	16.46	16.48	16.65	16.00	16.46	620
Drimaren Yellow X-4RN	0.5	3.07	3.13	3.22	3.21	3.23	3.20	440
	1	6.14	6.12	6.17	6.23	6.19	6.24	440
	2	11.14	10.89	10.84	10.98	11.00	10.88	440
	4	17.42	17.38	17.31	17.56	17.63	17.40	440

2.2 ความเข้มของสี (K/S) และสมบัติของเฉดสีของสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ย้อมก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ความเข้มข้นต่างๆ กัน เทียบกับผ้าฝ้ายไม่ตกแต่ง

ตารางที่ 6 แสดงความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนและหลังย้อมด้วยสี รีแอกทีฟชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าผ้าที่ตกแต่งก่อนย้อมมีค่าความเข้มสีสูงกว่าผ้าที่ตกแต่งหลังย้อมเล็กน้อย จากผลการทดลองในข้อ 2.1 ซึ่งพบว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อสมบัติด้านการย้อมของรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนบนผ้า แต่เมื่อเปลี่ยนลำดับกระบวนการที่เริ่มจากตกแต่งก่อนนำผ้าไปย้อม มาเป็นตกแต่งหลังกระบวนการย้อม ผลที่ได้ในตารางที่ 6 พบว่าผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin หลังการย้อมมีค่าความเข้มสีต่ำกว่าผ้าที่ตกแต่งก่อนย้อม ค่าความเข้มที่ลดลงนี้คาดว่ามีสีที่ไม่ผนึกบนผ้า (Unfixed dye) ถูกกำจัดออกไปเพิ่มเติมในขั้นตอนการตกแต่งมีขั้นตอนการซักล้างผ้า ทำให้ผ้าที่ตกแต่งหลังการย้อมมีความเข้มสีต่ำกว่าผ้าที่ตกแต่งแล้วจึงย้อมสี

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อการย้อมสีรีแอกทีฟชนิด ย้อมร้อนซึ่งมีกลไกการผนึกบนเส้นใยเหมือนกับ MCT-β-cyclodextrin รวมทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อเฉดสีและความเข้มสีของสีทั้งสองชนิดบนผ้าฝ้ายอีกด้วย

ตารางที่ 6 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนเปรียบเทียบระหว่างผลการย้อมก่อนและหลังจากการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สี	ความเข้มข้นของ MCT–β - cyclodextrin (%w/v)	ความเข้มสี (K/S)							
		ความเข้มข้นของสี (%owf)							
		0.5		1		2		4	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Drimaren Red X-6BN	1	3.07	2.95	6.41	6.27	11.16	10.91	18.86	18.80
	2	3.02	2.89	6.21	5.97	11.35	11.05	18.67	18.62
	3	2.93	2.81	6.26	6.16	10.90	11.01	18.91	18.83
	5	3.00	2.92	6.34	6.29	11.16	10.91	18.80	18.67
	10	2.98	2.88	6.32	6.19	11.32	11.21	18.83	18.65
Drimaren Navy X-GN	1	2.75	2.58	5.63	5.36	10.52	10.21	17.65	17.56
	2	2.78	2.62	5.70	5.48	10.56	10.20	17.74	17.62
	3	2.71	2.55	5.71	5.44	10.62	10.21	17.74	17.54
	5	2.77	2.63	5.69	5.48	10.62	10.17	17.93	17.60
	10	2.73	2.61	5.70	5.43	10.61	10.24	17.77	17.51
Drimaren Yellow X-4RN	1	3.19	3.07	6.23	6.00	10.98	10.89	17.13	17.22
	2	3.12	3.03	6.14	5.99	11.24	11.00	17.62	17.51
	3	3.14	3.04	6.16	5.98	11.14	10.95	17.70	17.63
	5	3.18	3.11	6.15	6.05	11.11	10.94	17.67	17.65
	10	3.20	3.11	6.22	6.10	11.25	11.13	17.56	17.54

หมายเหตุ ก่อน คือ ก่อนย้อม หลัง คือ หลังย้อม

2.3 ความคงทนของสีรีแอกทีฟที่ย้อมบนผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

ตารางที่ 7 แสดงค่าความคงทนต่อการซักของสีรีแอกทีฟทั้งสามชนิดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทั้งที่ผ่านการตกแต่งก่อนและหลังการย้อม จากตารางจะเห็นได้ว่าผ้าที่ตกแต่งหลังย้อมมีระดับความคงทนของสีสูงกว่าผ้าที่ตกแต่งก่อนย้อมและผ้าย้อมสีที่ไม่ตกแต่ง ทั้งนี้เนื่องจากสีที่ไม่ผนึกบนเส้นใยฝ้ายบางส่วนถูกกำจัดออกไปมากขึ้นในขั้นตอนการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการซักล้างหลังการตกแต่ง ปริมาณสีที่ไม่ผนึกบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมก่อนแล้วจึงตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin จึงน้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งก่อนแล้วจึงนำไปย้อมและผ้าย้อมสีที่ไม่มีตกแต่ง ดังนั้นระดับการติดเปื้อนบนผ้ามาตรฐานจึงต่ำกว่า ค่า Grey scale ของการติดเปื้อนบนแถบผ้าฝ้ายในผ้ามาตรฐานจึงมีค่าสูงกว่า สำหรับในกรณีของผ้าที่ผ่านการตกแต่งก่อนแล้วจึงนำไปย้อมสีมีการติดเปื้อนบนแถบผ้าฝ้ายในระดับเดียวกับผ้าฝ้ายย้อมสีที่ไม่มีตกแต่ง ดังนั้นแสดงว่าการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนการย้อมสีไม่มีผลต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าฝ้าย และการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin หลังการย้อมสี ช่วยให้ระดับความคงทนของสีดีขึ้นเนื่องจากปริมาณสีที่ไม่ผนึกบนผ้าฝ้ายถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการซักล้างหลังการตกแต่งผ้าด้วย

ตารางที่ 8 แสดงค่าความคงทนต่อการขัดถูของสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทั้งที่ผ่านการตกแต่งก่อนและหลังการย้อม ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับความคงทนของสีต่อการซัก ผ้าที่ตกแต่งหลังการย้อมมีปริมาณสีที่ไม่ผนึกบนผ้าน้อยกว่า จึงมีความคงทนต่อการขัดถูสูงกว่า สำหรับผลทดสอบความคงทนต่อแสงของสีรีแอกทีฟบนผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-

cyclodextrin ทั้งก่อนและหลังย้อม เทียบกับผ้าฝ้ายย้อมสีที่ไม่ผ่านการตกแต่ง (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อความคงทนต่อแสงของสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้าย

จากผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อสมบัติความคงทนของสี ทั้งด้านการซัก ขัดถู และแสง สมบัติความคงทนต่อการซักที่เพิ่มสูงขึ้นสำหรับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin หลังการย้อม เกิดจากสีที่ไม่ผนึกหลุดออกไปมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการตกแต่ง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Hernhow *et al.* (2013) ที่กล่าวว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อสมบัติด้านความคงทนต่อการขัดถูของสีบนผ้าฝ้าย

ตารางที่ 7 ความคงทนต่อการซักตามมาตรฐาน (ISO 105/C06) ของสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อน เมื่อย้อมที่ความเข้มข้น 2 %owf บนผ้าฝ้าย เปรียบเทียบระหว่างผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนและหลังย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

Dyes	MCT-β-CD (%w/v) concentration	Staining on cotton		Color change	
		D→T	T→D	D→T	T→D
Drimaren Red X-6BN	Untreated	3/4		5	
	1	4/5	4	5	5
	2	4/5	4	5	5
	3	5	4	5	5
	5	5	3/4	5	5
	10	5	3/4	5	5
Drimaren Navy X-GN	Untreated	3		5	
	1	4/5	3	5	5
	2	4/5	3	5	5
	3	4/5	3	5	5
	5	4/5	3	5	5
	10	4/5	3	5	5
Drimaren Yellow X-4RN	Untreated	3/4		5	
	1	4/5	3/4	5	5
	2	4/5	3/4	5	5
	3	4/5	3/4	5	5
	5	4/5	3/4	5	5
	10	4/5	3/4	5	5

หมายเหตุ D→T คือ ย้อมก่อนตกแต่ง T→D คือ ตกแต่งก่อนย้อม

ตารางที่ 8 ความคงทนต่อการขัดถูตามมาตรฐาน (BS 1006X12) ของสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อน เมื่อย้อมที่ความเข้มข้น 2 %owf บนผ้าฝ้าย เปรียบเทียบระหว่างผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนและหลังย้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

สี	ความเข้มข้นของ MCT-β-CD (%w/v)	ภาวะแห้ง		ภาวะเปียก	
		D→T	T→D	D→T	T→D
Drimaren Red X-6BN	ไม่ตกแต่ง	5		4	
	1	5	4/5	4	3/4
	2	5	4/5	4	3/4
	3	5	4/5	4/5	3/4
	5	5	4/5	4/5	3/4
	10	5	4	4/5	3/4
Drimaren Navy X-GN	ไม่ตกแต่ง	5		4	
	1	5	4/5	4/5	3/4
	2	5	4/5	4/5	3/4
	3	5	4/5	4/5	3/4
	5	5	4/5	4/5	3/4
	10	5	4	4/5	3/4
Drimaren Yellow X-4RN	ไม่ตกแต่ง	5		4	
	1	5	4/5	4/5	4
	2	5	4/5	4/5	4
	3	5	4/5	4/5	4
	5	5	4/5	4/5	4
	10	5	4/5	4/5	4

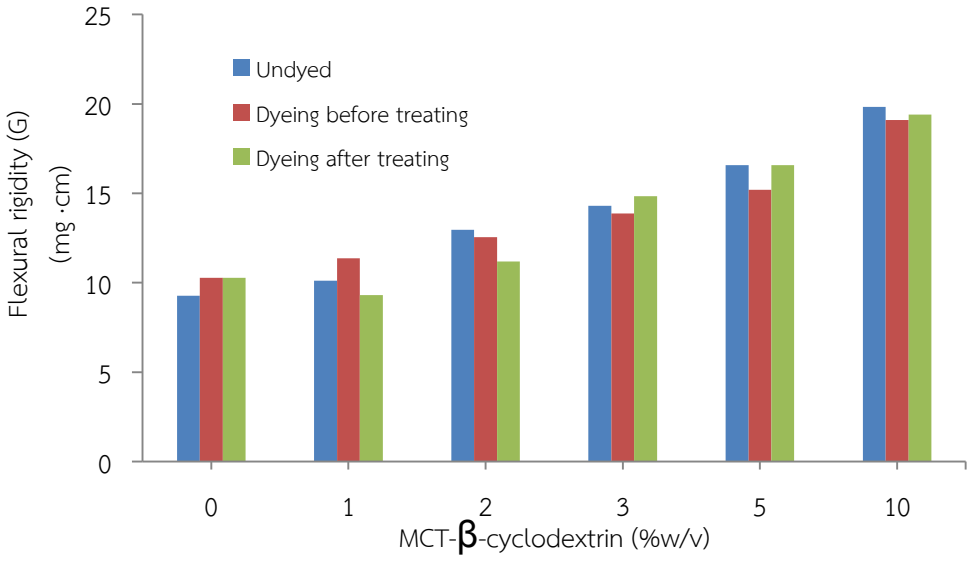
หมายเหตุ D→T คือ ย้อมก่อนตกแต่ง T→D คือ ตกแต่งก่อนย้อม

ตารางที่ 9 ความคงทนของสีต่อแสง (Light Fastness) บนผ้าฝ้ายที่ย้อมสีรีแอกทีฟชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.5%owf ก่อนและหลังการตกแต่งด้วยสาร MCT-β-cyclodextrin ความเข้มข้น 10%w/v เทียบกับผ้าฝ้ายย้อมสีที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

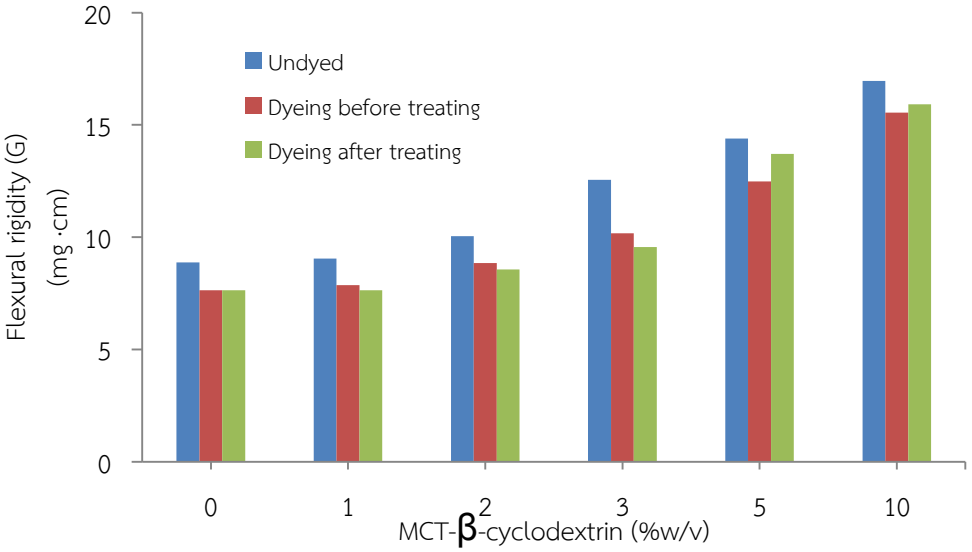
สี	ลำดับกระบวนการ	Blue wool scale
Drimaren Red X-6BN	ไม่ตกแต่ง	3/4
	D→T	3/4
	T→D	3/4
Drimaren Navy X-GN	ไม่ตกแต่ง	2/3
	D→T	2/3
	T→D	2/3
Drimaren Yellow X-4RN	ไม่ตกแต่ง	4
	D→T	4
	T→D	4

2.4 ความกระด้างของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนและหลังกระบวนการย้อม

รูปที่ 24 และ 25 แสดงผลการวัดความกระด้างของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทั้งผ้าที่ผ่านการย้อมก่อนและหลังการตกแต่งเทียบกับผ้าที่ไม่ย้อมสี ตามแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่า MCT-β-cyclodextrin ทำให้ผ้ามีความกระด้างสูงขึ้น กระบวนการย้อมมีผลทำให้ผ้ามีความกระด้างของผ้าลดลงโดยเฉพาะในแนวด้ายพุ่งของผ้า จะเห็นได้ชัดว่าความกระด้างของผ้าลดลงเมื่อผ้าผ่านกระบวนการย้อมทั้งก่อนและหลังการตกแต่ง ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากภาวะในการย้อมที่ใช้ทำให้ผ้าฝ้ายมีความนุ่มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 24 ความกระด้าง (Flexural rigidity) ตามแนวด้ายยืนของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin และหลังกระบวนการย้อม เทียบกับผ้าที่ตกแต่งแต่ไม่ย้อมสี (Undyed)



รูปที่ 25 ความกระด้าง (Flexural rigidity) ตามแนวด้ายพุ่งของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin และหลังกระบวนการย้อม เทียบกับผ้าที่ตกแต่งแต่ไม่ย้อมสี (Undyed)

3. สมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin

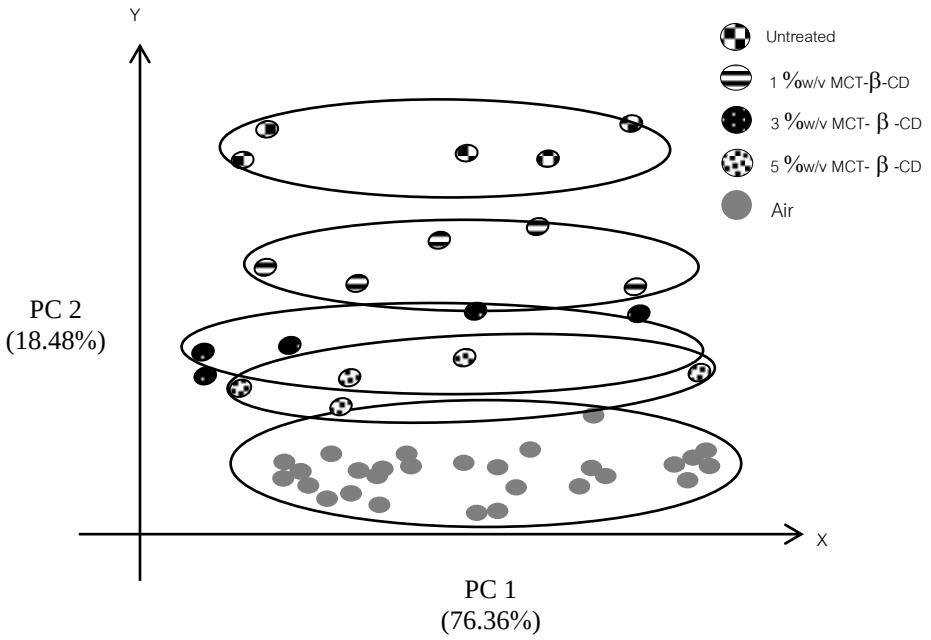
จากผลการทดลองในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่ได้ช่วยเพิ่มสมบัติด้านการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้กับผ้าฝ้าย ค่า Ultravioler Protection Factor หรือ UPF ค่าการส่องผ่าน (UV transmittance) และการกัน (UV blocking) รังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าที่ผ่านการตกแต่งไม่แตกต่างจากผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

ตารางที่ 10 สมบัติการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้น 3 และ 5 %w/v เทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง

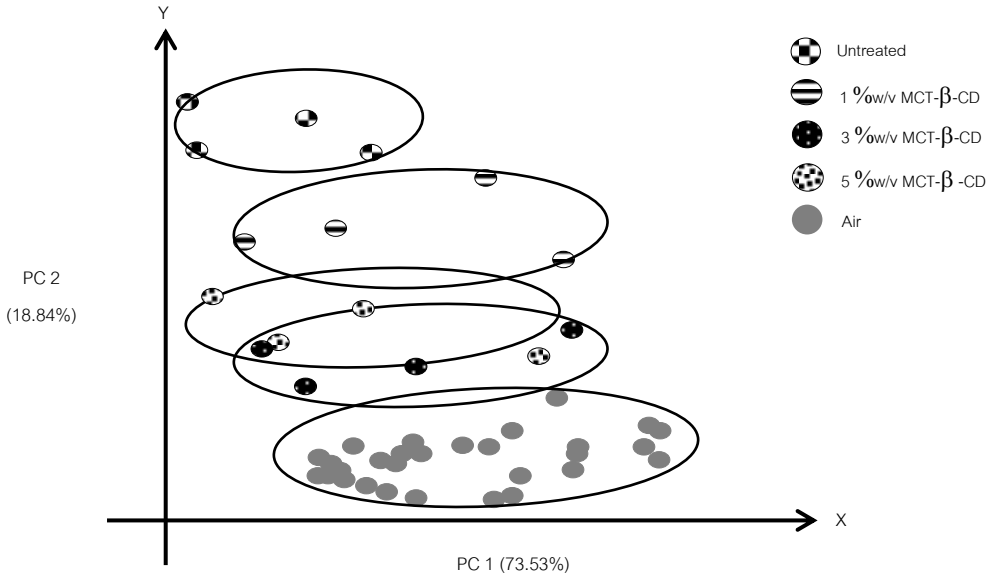
สมบัติที่วัด	ความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin (%w/v)		
	ไม่ตกแต่ง	1	5
ค่า UPF	5.079	5.336	5.099
UV-A blocking (%)	76.289	77.089	76.223
UV-B blocking (%)	81.975	83.171	82.277
UV-A Transmittance (%)	23.711	22.911	23.777
UV-B Transmittance (%)	18.025	16.829	17.723

4. ผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย

ในการศึกษาสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง ได้ศึกษาทั้งบนผ้าที่ย้อมสีและไม่ย้อมสี รูปที่ 26 แสดงกราฟ PCA กลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เทียบกับอากาศ กราฟแสดงกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลทางสถิติด้วยเครื่อง Electronic nose จะเห็นว่ากลุ่มข้อมูลของผ้าที่ไม่ตกแต่งจะมีระยะห่างจากข้อมูลของอากาศมากที่สุด ซึ่งแสดงถึงกลิ่นที่แรง หากระยะห่างจากอากาศน้อยลง แสดงว่ากลิ่นที่ตรวจสอบได้มีกลิ่นอ่อนลง จากกราฟจะเห็นได้ว่าผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin มีระยะห่างจากกลุ่มข้อมูลของอากาศน้อยกว่าผ้าที่ไม่ตกแต่ง แสดงว่าการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ทำให้กลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายต่ำลง กลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้ในการตกแต่ง ที่ความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin 3 และ 5%w/v ให้ผลการทดสอบกลิ่นที่อ่อนที่สุด ผลการทดสอบการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายที่ย้อมสี Drimaren Navy X-GN ที่ 0.5%owf แล้วจึงตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงในรูปที่ 27 ผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกับผลในรูปที่ 24 กล่าวคือ การตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ทำให้ผ้าฝ้ายย้อมสีมีกลิ่นควันบนผ้าต่ำลง และกลิ่นลดลงตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้

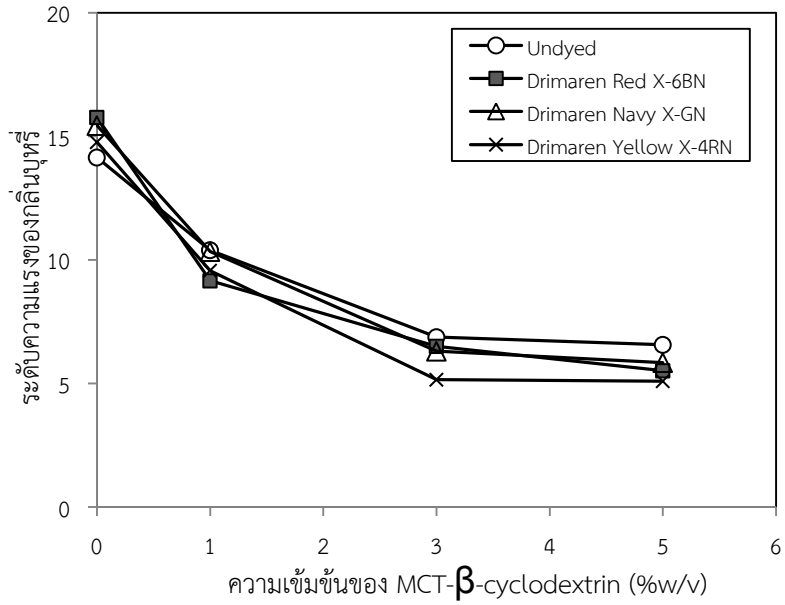


รูปที่ 26 PCA plot ของกลิ่นบุหรี่บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทดสอบเทียบกับอากาศ



รูปที่ 27 PCA plot ของกลิ่นบุหรี่บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี Drimaren Navy X-GN at 0.5 %owf และตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทดสอบเทียบกับอากาศ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการย้อมสีต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin จะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 28 ว่าสีย้อมไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย ค่าระดับความแรงของกลิ่นบนผ้าที่ย้อมสีมีค่าแตกต่างจากผ้าที่ไม่ย้อมสีเล็กน้อย แต่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายคือ MCT-β-cyclodextrin ระดับความแรงกลิ่นควันบุหรี่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin และความแรงของกลิ่นลดลงกว่าครึ่งเมื่อใช้ MCT-β-cyclodextrinที่ความเข้มข้น 3%w/v และกลิ่นบนผ้ามีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin >3%w/v



รูปที่ 28 ระดับความแรงของกลิ่นควันบุหรี่ที่ตรวจสอบได้บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

เมื่อผ้าอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีควันบุหรี่ สารต่างๆ ที่มากับควันบุหรี่จะจับบนผ้าและก่อให้เกิดกลิ่นติดผ้า กลิ่นควันที่ติดบนผ้านั้นเกิดจากการปล่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ระเหยได้ (Volatile organic compound) ออกจากผ้าก่อให้เกิดกลิ่นบนผ้า เมื่อนำผ้ามาตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin สาร MCT-β-cyclodextrin สามารถกักสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง เอาไว้ในโพรงของโครงสร้างได้ (Wang *et al*., 2004). เมื่อสารเหล่านี้ถูกกักอยู่ในโครงสร้างของ cyclodextrin กลิ่นบนผ้าจึงลดลง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการตกแต่ง MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายช่วยลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าได้ และความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin ที่เหมาะสมคือ 3%w/v ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ผลิตเคหะสิ่งทอและผ้าสำหรับเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องการสมบัติการดูแลรักษาง่าย

สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β–cyclodextrin พบว่าภาวะอุณหภูมิในการอบผนึกที่เหมาะสมคือ 140°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าร้อยละการผนึกของ MCT-β–cyclodextrin สูงสุด ผลการทดลองยืนยันโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนและ FTIR การตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ทำให้ผ้าฝ้ายมีความกระด้างสูงขึ้นตามปริมาณของสาร MCT-β–cyclodextrin ที่ใช้ ความเหลืองของผ้าเพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MCT-β–cyclodextrin สูงกว่า 2%w/v ด้านความแข็งแรงของผ้า ผลการทดลองพบว่า MCT-β–cyclodextrin ส่งผลทำให้ผ้าฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของ MCT-β–cyclodextrin ความแข็งแรงของผ้าฝ้ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย และเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นมีค่าสูงกว่า 3%w/v ทั้งนี้คาดว่า MCT-β–cyclodextrin เข้าไปช่วยทำให้สายโซ่ของเซลลูโลสสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ผ้าจึงมีความแข็งแรงสูงขึ้น

การศึกษาผลของ MCT-β–cyclodextrin ต่อการย้อมมสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนได้แก่ Drimaren Red X-6BN, Drimaren Navy X-GN และ Drimaren Yellow X-4RN บนผ้าฝ้ายพบว่า ผ้าที่ผ่านตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrin ก่อนนำมาย้อมมีค่าการดูดซึมสีต่ำกว่าผ้าที่ไม่ตกแต่ง ซึ่งคาดว่า MCT-β-cyclodextrin ที่ผนึกบนผ้าฝ้ายมีผลในการขัดขวางการดูดซึมและผนึกของสี เนื่องจากมีลักษณะการผนึกกับเส้นใยฝ้ายในลักษณะเดียวกับสีรีแอกทีฟ แต่ทั้งนี้การลดลงของค่าร้อยละการดูดซึมสีไม่แปรผันตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มสีและเฉดสีที่วัดได้บนผ้าย้อมสีที่ตกแต่งด้วย MCT-β–cyclodextrinไม่แตกต่างจากผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่ง แสดงให้เห็นว่าการตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่ส่งผลต่อสมบัติด้านการย้อมติดสีรีแอกทีฟชนิดย้อมร้อนบนผ้าฝ้าย

ด้านความคงทนต่อของสีรีแอกทีฟทั้งสามชนิดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ทั้งที่ผ่านการตกแต่งก่อนและหลังการย้อม จากตารางจะเห็นได้ว่าผ้าที่ตกแต่งหลังย้อมมีระดับความคงทนของสีต่อการซักและขัดถูสูงกว่าผ้าที่ตกแต่งก่อนย้อมและผ้าย้อมสีที่ไม่ตกแต่ง พบว่าการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin ก่อนการย้อมสีไม่มีผลต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าฝ้าย และการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วย MCT-β-cyclodextrin หลังการย้อมสี ช่วยให้ระดับความคงทนของสีดีขึ้นเนื่องจากปริมาณสีที่ไม่ผนึกบนผ้าฝ้ายถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการซักล้างหลังการตกแต่งผ้าด้วย ผลการทดสอบความคงทนต่อแสงพบว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อความคงทนต่อแสงของสีบนผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความกระด้างของผ้าที่ตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin และผ่านการย้อมก่อนและหลังตกแต่งเทียบกับผ้าที่ไม่ย้อมสี ชี้ให้เห็นว่า MCT-β-cyclodextrin ทำให้ผ้ามีความกระด้างสูงขึ้น ในขณะที่

กระบวนการย้อมมีผลทำให้ผ้ามีความกระด้างของผ้าลดลงโดยเฉพาะในแนวด้ายพุ่งของผ้า ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากภาวะในการย้อมที่ใช้ทำให้ผ้าฝ้ายมีความนุ่มเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติด้านการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าฝ้าย พบว่า MCT-β-cyclodextrin ไม่มีผลต่อสมบัติด้านการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของผ้าฝ้าย ค่า UPF ที่วัดได้บนผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วย MCT-β-cyclodextrin ไม่แตกต่างจากผ้าที่ไม่ตกแต่ง

การศึกษาผลของ MCT-β-cyclodextrin ต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้าย พบว่า กลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin ที่ใช้ในการตกแต่ง และที่ความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin 3 และ 5%w/v ให้ผลการทดสอบกลิ่นที่อ่อนที่สุด ผลการทดสอบการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายที่ย้อมสี พบว่าสีย้อมไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าฝ้าย ค่าระดับความแรงของกลิ่นบนผ้าที่ย้อมสีมีค่าแตกต่างจากผ้าที่ไม่ย้อมสีเล็กน้อย แต่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการดูดซับกลิ่นควันบุหรี่ของผ้าฝ้ายคือ MCT-β-cyclodextrin ระดับความแรงของกลิ่นควันบุหรี่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อตกแต่งผ้าด้วย MCT-β-cyclodextrin และความแรงของกลิ่นลดลงกว่าครึ่งเมื่อใช้ MCT-β-cyclodextrin ที่ความเข้มข้น 3%w/v และกลิ่นบนผ้ามีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MCT-β-cyclodextrin >3%w/v การลดลงของกลิ่นอธิบายได้จากการเกิด inclusion complex ระหว่างสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จากควันบุหรี่กับโมเลกุลของ cyclodextrin สารถูกกักไว้ในโพรงของ cyclodextrin กลิ่นบนผ้าจึงลดลง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการตกแต่ง MCT-β-cyclodextrin บนผ้าฝ้ายช่วยลดกลิ่นควันบุหรี่บนผ้าได้ และความเข้มข้น MCT-β-cyclodextrin ที่เหมาะสมในการตกแต่งบนผ้าฝ้ายตามภาวะที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ 3%w/v

เอกสารอ้างอิง

Baker, R.R. (2006). Smoke generation inside a burning cigarette: modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health, Progress in Energy and Combustion Science, **32**, 373-385.

Baskara-Amrit, U., Agrawal, P.B. and Warmoeskerken, M.C.G. (2011). Application of β-cyclodextrins in textiles, AUTEX Research Journal, 11(4), 94-101.

Chien, Y., Chang, C. and Liu, Z. (2011). Volatile organics off-gassed among tobacco-exposed clothing fabrics, Journal f Hazardous Materials, **193**, 139-148.

Hammer, T.R., Fischer, K., Mueller, M. and Hoefer, D. (2011). Effects of cigarette smoke residues from textiles on fibrobasts, neurocytes and zebrafish embryos and nicotine permeation through human skin, International Journal of Hygiene and Environmental Health, **214**, 384-391.

Hebeish, A. and El-Hilw, Z.H. 2001. Chemical finishing of cotton using reactive cyclodextrin. Coloration Technology, 117 (2), 104-110.

Hernhow, P., Suwanruji, P. Karpkird, T. and Suesat, J. 2013. Dyeing and Fastness Properties of Natural Dyes on Cotton Grafted with Monochlorotriazine-β-Cyclodextrin. Advanced Materials Research, 610, 590-593.

Noble, R. (2000). Environmental tobacco smoke uptake by clothing fabrics, The Science of the Total Environment, **262**, 1-3.

Pang, X. and Lewis, A. (2011). Carbonyl compounds in gas and particle phases of mainstream cigarette smoke, Science of Total Environment, 409, 5000-5009.3

Wang, Y., Zhou, S. Xia, J., Xue J., Xu, J. and Zhu, J. (2004). Trapping and degradation of volatile nitrosamines on cyclodextrin and zeolite, Microporous and Mesoporous Materials, **75**, 247-254.

Wang, C.-X. and Chen,S.-L. 2004. Anchoring b-cyclodextrin to retain fragrances on cotton by means of heterobifunctional reactive dyes. Coloration Technology**.** 120 (1): 14-18.