

การลดกลิ่นตัวบนผ้าลายพรางดิจิทัล โดยการตกแต่งสำเร็จด้วยปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน

กมลท ขวัญข้าว¹ อรทัย บุญดำเนิน¹ และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์^{1*}

วันที่รับ 2 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไข 8 มิถุนายน 2566 วันที่ตอบรับ 19 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงการทำให้ผ้าลายพรางดิจิทัลสามารถลดกลิ่นตัวโดยตกแต่งสำเร็จ (เคลือบ) ด้วยสารดูดกลิ่นตัวชนิดปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินร่วมกับสารช่วยผนึกติดชนิดกรดอะคริลิก โดยตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ ผลการวิจัยแสดงวิธีและภาวะที่เหมาะสม คือ ตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ (จุ่มผ้าลงอ่างสารแล้วอัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้ง) ตามด้วยการอบผนึกผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ใช้สารปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร ใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสาร 1:10 และปริมาณสารบนผ้า 70-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง พบว่า ได้ผ้าที่สามารถลดกลิ่นตัวและมีความคงทนต่อการซักล้างอย่างต่ำ 50 รอบ ความแข็งแรงผ้าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การดูดซึมน้ำซาลงผ้ากระด้างขึ้น และสีไม่เพี้ยนแต่เข้มขึ้น หลังการซักล้าง ผ้าดูดซึมน้ำปกติ ความกระด้างลดลงและสีกลับมาใกล้เคียงสีเดิม

คำสำคัญ : ผ้าลายพรางดิจิทัล, ปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน, การลดกลิ่นตัว

¹ ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้แต่ง, อีเมล: usa.s@chula.ac.th

Reduction of Body Odor on Digital Camouflage Fabric by Finishing with Beta-cyclodextrin

Kamut Kwankao ¹ Orathai Boondamnoen ¹ and Usa Sangwatanaroj ^{1*}

Received 2 May 2023, Revised 8 June 2023, Accepted 19 June 2023

Abstract

This research shows an attempt to produce digital camouflage fabric with body-odor reduction property via chemical finishing (coating) of fabric at various conditions and methods. Beta-cyclodextrin was used as odor absorber and acrylic acid was used as binder. Results indicated that the best method and condition for fabric finishing was to treat fabric with two dips-two nips process by dipping fabric in 20 g/L beta-cyclodextrin and 100 g/L acrylic acid, squeezing it between 2 rollers and dry it, and then repeating the dip-nip process again. The fabric was later cured at 130°C for 3 minutes. In this process, the fabric weight to chemical weight ratio was at 1:10 and the % wet pick up was at 70-80%. The finished fabric showed effective body-odor reduction property and this property remained intact after 50 washing cycles. Strength of finished fabric was comparable to that of unfinished fabric. Fabric stiffness and color depth increased after finishing, while its wettability decreased. However, after several wash cycles of finished fabric, these properties were improved and recovered.

Keywords : Digital camouflage fabric, Beta-cyclodextrin, Body odor reduction

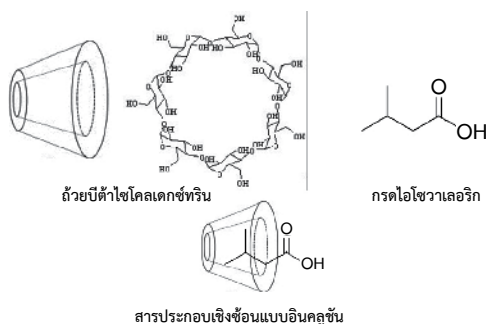
¹ Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

* Corresponding author, E-mail: usa.s@chula.ac.th

1. บทนำ

ผ้าลายพราดิจิทัล [1] ที่ใช้ตัดเย็บเป็นชุดทหารไทยในปัจจุบันเป็นผ้าทอลายสองใยผสมระหว่างเส้นใยฝ้าย 80% และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ 20% ผ่านกระบวนการพิมพ์และย้อมให้มีลวดลายเป็นลายพราดิจิทัล ชุดที่ผ่านการสวมใส่หรือในขณะสวมใส่จะติดคราบเหงื่อไคลของผู้สวมใส่และก่อให้เกิดกลิ่นตัวออกมารบกวน โดยทั่วไปกลิ่นตัว [2] ของคนจะประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดผสมกันโดยมีกรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid) เป็นสารหลักที่ส่งกลิ่นตัว

ปีตาไซโคลเดกซ์ทริน [3] เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์วงปิด (Cyclic oligosaccharide) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกลูโคส 7 หน่วย ต่อกันเป็นวงแหวน แต่ละวงแหวนโมเลกุลเรียงซ้อนกันและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวน ซึ่งหมู่เหล่านี้จะหันออกด้านนอกวงแหวน จึงทำให้มีรูปร่างคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้งสองด้านและมีช่องว่างตรงกลางของถ้วยที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งสามารถใช้เป็นที่กักเก็บสารที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar) เช่น น้ำมันหอมระเหย (มีทั้งสารไม่มีขั้วและสารมีความเป็นขั้วต่ำหรือ (Low polarity) รวมทั้งสารส่งกลิ่นตัวคนชนิดกรดไอโซวาเลอริกที่มีโครงสร้างของหมู่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่มีขั้ว (รูปที่ 1)



รูปที่ ๑ การกักเก็บกรดไอโซวาเลอริกด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทริน

มีงานวิจัยหลาย ๆ เรื่องแสดงการนำปีตาไซโคลเดกซ์ทรินมาใช้ประโยชน์สำหรับการลดกลิ่นตัวบนผ้า เช่น อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ [4] ได้ทดลองผลิตผ้าและเสื้อเชิ้ตฝ้ายปลอดกลิ่นตัว โดยตกแต่งสำเร็จ (เคลือบ) ผ้าฝ้ายด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ เพื่อให้ผ้ามีสมบัติลดกลิ่นตัว ด้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี ใช้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารลดกลิ่นตัว ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี และใช้สารช่วยผนึกติด (Binder) ชนิดกรดอะคริลิกผสมกับชนิดพอลิยูรีเทนเพื่อเพิ่มความคงทนของปีตาไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าต่อการซักล้าง โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า (Dipping-padding) ร่วมกับการใช้เครื่องเจ็ต (Jet) สามารถลดกลิ่นบนผ้าได้ดี และมีความคงทนต่อการซักล้าง 15-20 รอบ รวมทั้งด้านแบคทีเรียได้ระดับดีมากและต้านรังสียูวีได้ระดับดี และคงทนการซักล้างเกิน 20 รอบ ต่อมา ณัฐธิดา ขำจิตร [5] ทดลองผสมปีตาไซโคลเดกซ์ทรินลงในสารซักฟอก 3 ชนิด จากนั้นนำไปซักผ้าไมโครไฟเบอร์พอลิเอสเทอร์ (ผ้าตัดชุดกีฬา) ที่มีกลิ่นตัว พบว่าสารซักฟอกที่ผสมปีตาไซโคลเดกซ์ทรินในสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสามารถกำจัดกลิ่นตัวบนผ้าได้หมดจากการซักเพียงครั้งเดียว ในขณะที่สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่มีปีตาไซโคลเดกซ์ทรินไม่สามารถช่วยกำจัดกลิ่นตัวออกจากผ้าได้หมดโดยการซักเพียงครั้งเดียว Mehrnaz และ Nouri [6] ตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง และใช้โซเดียมไฮโปฟอสไฟต์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง โดยตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าและอบผนึกผ้า (Curing) พบว่าการตกแต่งสำเร็จด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร และกรดซิตริก 100 กรัมต่อลิตร อบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ได้ผ้าไหมที่น้ำหนักผ้าเพิ่มขึ้นมากที่สุด 22% อย่างไรก็ตาม พบว่า ความแข็งแรงของผ้าลดลงเกือบ 10% และค่าดัชนีความเหลืองของผ้าเพิ่มขึ้นจาก 9

เป็นเกือบ 20 ต่อมา Srioanchan และคณะ [7] ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทรินและใช้สารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก พบว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร อบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าแบบ 1 รอบ เปรียบเทียบกับแบบ 2 รอบ สามารถทำให้ผ้าไหมลดกลิ่นตัวได้ดี และมีความคงทนต่อการซักล้าง 25 และ 35 รอบ เมื่อจุ่ม-อัดรีดผ้าแบบ 1 รอบ และแบบ 2 รอบ ตามลำดับ ความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมและผ้าเหลืองขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ สารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น Wu และคณะ [8] ศึกษาแผ่นกรองบูห์รีผลิตจากเส้นใยโนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับสารประกอบเชิงซ้อนของปีตาไซโคลเดกซ์ทรินกับเมนทอล เพื่อใช้กรองควันและกักเก็บเมนทอล พบว่าแผ่นกรองสามารถกรองควันบูห์รีได้ดีและสามารถกักเก็บเมนทอลได้ยาวนาน นอกจากนี้ Sun และคณะ [9] ศึกษาการเกิดสารประกอบอินคลูชัน (Inclusion compound) เพื่อการกักเก็บและปลดปล่อยยา โดยใช้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารกักเก็บสารชนิดต่าง ๆ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นยา เช่น สารไลโครีน (Lycorine) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสารในกลุ่มไฮโดรคลอไรด์ (Hydro-chloride) พบว่า สารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินสามารถกักเก็บและปลดปล่อยสารไลโครีนและสารไฮโดรคลอไรด์ได้ดี และเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นตัวนำส่งยาที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการทดลองตกแต่งสำเร็จผ้าลายพรางดิจิทัลด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับสารช่วยย่นักติดกรดอะคริลิก โดยใช้วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าที่ภาวะต่าง ๆ โดยคาดหวังให้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสามารถลดกลิ่นตัวได้ดีและมีความคงทนต่อการซักล้างขั้นต่ำ 50 รอบ

2. วัสดุและสารเคมี

ในงานวิจัยนี้ใช้ผ้าลายพรางดิจิทัลจาก บจก. โรงงานพิมพ์ย้อมผ้าไทย เป็นผ้าทอลายสองโดยเส้นด้ายยืนเป็นใยผสมฝ้ายและพอลิเอสเตอร์ เบอร์ด้าย 35/2 และเส้นด้ายพุ่งเป็นเส้นใยฝ้าย 100% เบอร์ด้าย 20/1 พิมพ์และย้อมลายพรางดิจิทัล 4 สี คือ สีเขียวอ่อน สีเขียวเข้ม สีน้ำตาล และสีดำ

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินชื่อทางการค้า CAVAMAX[®]W7 Foodเกรดสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตโดย Wacker Chemical Corporation ใช้เป็นสารดูดกลิ่นตัว, สาร UKAPRINT NF-505 เป็นสารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก ใช้ผืนให้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเกาะติดบนผ้าได้คงทนยาวนาน จำหน่ายโดย บจก. วิพีซี กรุ๊ป และกรดไฮวาเลอริก ความเข้มข้น 99% ผลิตโดย Sigma-Aldrich เตรียมเป็นสารละลายใช้จำลองกลิ่นตัวคน

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จ

เตรียมสารตกแต่งสำเร็จ ประกอบด้วย ปีตาไซโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นสูงสุดที่เตรียมได้) และสารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก ความเข้มข้น 50-100 กรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารตกแต่งสำเร็จเท่ากับ 1:10

3.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีด-อบผืน

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการตกแต่งสำเร็จ 2 วิธี คือ วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 1 รอบ และวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ดังต่อไปนี้

การจุ่ม-อัดรีด 1 รอบ เริ่มจากจุ่มแช่ผ้าขนาด 24X10 เซนติเมตรในอ่างสารตกแต่งสำเร็จเป็นเวลา 5 นาที แล้วผ่านผ้าไประหว่างลูกกลิ้งคู่ของเครื่องอัดรีด (Padding mangle) เพื่ออัดสารเข้าผ้าและรีดสารส่วนเกินออกจากผ้าให้ได้ปริมาณสารบนผ้า 60-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง แล้วจึงอบผืนผ้าในเครื่องอบผ้าที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

การจุ่ม-อัดรีด 2 รอบ เริ่มจากจุ่มแช่ผ้าในอ่างสารตกแต่งสำเร็จอย่างที 1 จากนั้นอัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งคู่เหมือนวิธีแรก ตามด้วยการอบผ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วจุ่มแช่ผ้าในอ่างสารอย่างที 2 อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งคู่แล้วจึงอบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที

นำผ้าตกแต่งสำเร็จไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังรายละเอียดในข้อ 3 เปรียบเทียบกับผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ

3.3 การทดสอบผ้า

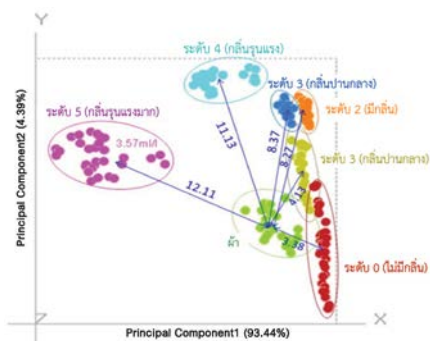
3.3.1 การลดกลิ่นตัวบนผ้า

กลิ่นตัวจำลองแบ่งเป็น 6 ระดับ (ระดับ 0 ถึงระดับ 5) ตามความรุนแรงของกลิ่นจากสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 0, 0.013, 0.053, 0.220, 0.870 และ 3.570 มิลลิลิตรต่อลิตร ซึ่งเทียบเท่ากลิ่นตัวระดับ 0 ไม่มีกลิ่น, ระดับ 1 มีกลิ่นเล็กน้อย (อ่อนมาก), ระดับ 2 มีกลิ่นบ้าง, ระดับ 3 มีกลิ่นปานกลาง, ระดับ 4 มีกลิ่นรุนแรง และระดับ 5 มีกลิ่นรุนแรงมาก ตามลำดับ [10]

การวัดระดับกลิ่นตัวบนผ้าในงานวิจัยนี้วัดด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ซึ่งผลิตและจำหน่ายโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ เครื่องประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนตรวจจับข้อมูลกลิ่น ส่วนจัดเก็บข้อมูลกลิ่น และส่วนวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลกลิ่น เซนเซอร์ 5 ชนิด ในเครื่องจะตรวจจับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและเปลี่ยนเป็นข้อมูลในรูปสัญญาณไฟฟ้าก่อนจัดเก็บข้อมูลในรูปตารางเมทริกซ์ จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการ Principal Component Analysis (PCA) แสดงผลในรูปกราฟ 3 มิติ ของ PCA score plot และนำไปวิเคราะห์หาค่าระยะขจัด (Displacement) ของข้อมูลกลิ่น ซึ่งระยะขจัดเป็นความยาวเส้นตรงที่ลากจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าไปยังค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวมาตรฐานแต่ละระดับ (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) บน PCA score plot

(ได้ค่าระยะขจัด 6 ค่า ต่อผ้า 1 ชิ้น) โดยที่ค่าระยะขจัดน้อยที่สุดลากจากกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าไปกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวมาตรฐานระดับใด (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) แสดงว่าผ้ามีกลิ่นตัวใกล้เคียงระดับนั้นมากที่สุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 ค่าระยะขจัดลากจากผ้าไปที่กลิ่นตัวมาตรฐานระดับ 0 (ไม่มีกลิ่น) มีค่าระยะขจัดน้อยที่สุด 3.38 แสดงว่า ผ้ามีกลิ่นตัวใกล้เคียงกลิ่นตัวระดับ 0 หรือผ้าไม่มีกลิ่นตัว [5]

ก่อนวัดระดับกลิ่นตัวบนผ้าทดสอบ ต้องเตรียมกราฟมาตรฐานกลิ่นตัวระดับ 0 ถึงระดับ 5 (วัดข้อมูลกลิ่นของสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงไว้ข้างต้นในข้อนี้) ในรูปแบบ PCA score plot (กลุ่มข้อมูล ระดับ 0 ถึง ระดับ 5 ในรูปที่ 2) เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานให้ผ้าทดสอบไว้เทียบหาระดับกลิ่นตัวบนผ้า [5], [11] - [12]



รูปที่ ๒ ตัวอย่าง PCA score plot แสดงระยะขจัดระหว่างกลิ่นตัวบนผ้าและระดับกลิ่นตัวมาตรฐาน [5]

การเปรียบเทียบความสามารถในการลดกลิ่นตัวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้ ใช้กลิ่นตัวบนผ้าเริ่มต้นที่ระดับ 3 หรือมีกลิ่นปานกลาง [4] และสังเกตดูว่าผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จสามารถลดกลิ่นตัวจากระดับ 3 เป็นระดับ 2, เป็นระดับ 1 หรือเป็นระดับ 0 ได้หรือไม่, หรือไม่สามารถลดกลิ่นตัวระดับ 3 ได้เลย การทดสอบเริ่มจากการหยด 1 มิลลิลิตรของสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 0.22 มิลลิลิตรต่อลิตร (กลิ่นตัวระดับ 3) ลงบนผ้าขนาด 4x10 เซนติเมตร

วัดระยะขจัดของผ้าด้วยเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ และหาค่าระยะขจัดที่น้อยที่สุดว่าอยู่ที่ระดับกลืนตัวมาตรฐานระดับใด (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) ผ้าจะมีกลืนตัวระดับนั้น เปรียบเทียบระดับกลืนตัวบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ โดยที่การวัดเก็บข้อมูลกลืนตัวบนผ้าจะต้องวัดอย่างน้อย 30 ครั้ง ต่อ 1 การทดลอง ใช้ผ้าขนาด 4X10 เซนติเมตร จำนวน 6 ผืน ต่อ 1 ผ้า แต่ละผืนวัดเก็บข้อมูลกลืน 5 ครั้ง ก่อนเปลี่ยนผืนใหม่

3.3.2 ความคงทนต่อการซัก (Wash fastness)

การทดสอบความคงทนต่อการซักดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบกระบอกซัก lauder-o-meter ซักผ้าทดสอบขนาด 4x10 เซนติเมตร ในสารละลายสารซักฟอกมาตรฐานหรือสารลดแรงตึงผิว ซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งผ้าตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้ควรมีความคงทนต่อการซักล้างขั้นต่ำ 50 รอบ

3.3.3 การดูดซึมน้ำของผ้า (Wettability)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC Test Method 79 ด้วยวิธีการหยดน้ำลงบนผ้า ทดสอบแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมลงในผ้า ผ้าที่ดูดซึมน้ำได้ทันทีหรือภายใน 3-5 วินาที เป็นผ้าที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดี

3.3.4 ความแข็งกระด้างของผ้า (Stiffness)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1388-18 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกระด้าง (Stiffness tester) โดยตัดผ้าทดสอบขนาด 2.5x20 เซนติเมตร ตามแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง วัดความยาวโค้งงอของผ้า (Bending length) จากเครื่องทดสอบ แล้วนำมาคำนวณค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (Flexural rigidity) ตามสมการที่ (1) ผ้าที่มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่สูงกว่าจะมีความแข็งกระด้างมากกว่า

$$G = W \times C^3 \quad (1)$$

โดยที่ G = ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (กรัม*เซนติเมตร)

W = น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

C = ความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)

3.3.5 สีของผ้า (Color)

การวัดสีของผ้าทำโดยการวัดค่าของสีบนผ้า ได้แก่ ค่าของความสว่างของสี (L*, ค่ามาก-สว่าง, ค่าน้อย-มืดทึบ), ค่าของสีเขียว (a* ค่าลบ) และสีแดง (a* ค่าบวก), ค่าของสีน้ำเงิน (b* ค่าลบ) และสีเหลือง (b* ค่าบวก) และความเข้มสี (Color strength, K/S ค่ามาก-สีเข้ม, ค่าน้อย-สีอ่อน) ด้วยเครื่องวัดสี (Macbeth Color-Eye 7000) โดยวัดทั้ง 4 สี ของผ้า ก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ

3.3.6 ความแข็งแรงของผ้า (Strength)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D5034 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงด้านแรงดึงขาดของผ้า ซึ่งใช้ load cell ขนาด 5 กิโลนิวตัน และอุปกรณ์จับยึดผ้าขนาด 2.5x5 เซนติเมตร โดยตั้งค่าระยะดึงในการทดสอบ (Gage length) เป็นระยะ 75 มิลลิเมตร และใช้อัตราเร็วของระยะยืด (Rate of extension) 300 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบ 5 ชิ้น ซึ่งผ้าหลังการตกแต่งสำเร็จควรมีค่าแรงดึงขาดไม่ลดลงหรือหากลดลง ไม่ควรเกิน 10-15% ของแรงดึงขาดผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ

3.3.7 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวผ้า

การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) รุ่น JEOL เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการยึดติดของสารบิตาไซโคลเตกซ์ทรีนและสารช่วยผนึกติดกระดอเคลิริบบนพื้นผิวผ้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

หลังการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า วิธีและภาวะที่เหมาะสม คือ ตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ตามด้วยการอบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้สารปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสาร 1:10 และปริมาณสารบนผ้า 70-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง และได้นำวิธีและภาวะนี้ไปทดลองตกแต่งสำเร็จผ้าในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของผ้าที่แสดงต่อไปนี้เป็นผลการทดสอบผ้ายกก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม

4.1 การลดกลิ้งตัวบนผ้าและความคงทนต่อการซัก

จากการวัดค่าระยะขจัดน้อยที่สุดของผ้ายกก่อนตกแต่งสำเร็จและผ้าหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกอย่างเดียว (ไม่มีสารปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน) พบว่า ผ้าทั้งสองต่างมีค่าระยะขจัดน้อยที่สุดที่กลิ้งตัวระดับ 3 กลิ้งปานกลาง ซึ่งเป็นระดับกลิ้งตัวเริ่มต้นในการทดสอบ แสดงว่าผ้าทั้งสองไม่สามารถลดกลิ้งตัวระดับ 3 ได้เลย ทำให้สรุปได้ว่าผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จไม่สามารถลดกลิ้งตัว และสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จก็ไม่สามารถช่วยลดกลิ้งตัวบนผ้า

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดอะคริลิก โดยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม และวัดค่าระยะขจัดของผ้าตกแต่งสำเร็จที่ไม่ได้ซักและที่ซัก 1-50 รอบ แสดงผลค่าระยะขจัดในตารางที่ 1 พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จที่ไม่ได้ซัก (0 รอบการซัก) มีค่าระยะขจัดน้อยที่สุด คือ 2.49 อยู่ที่กลิ้งตัวระดับ 3 แสดงว่าผ้าไม่สามารถลดกลิ้งตัว แต่เมื่อซักผ้าตกแต่งสำเร็จจำนวน 1, 20, 40 และ 50 รอบ ค่าระยะขจัด

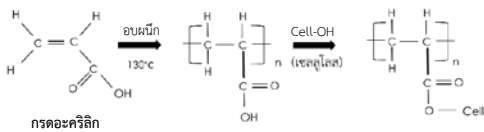
น้อยที่สุดของผ้าคือ 2.58, 4.42, 3.83 และ 3.67 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ้งตัวระดับ 0 คือ ผ้าไม่มีกลิ้งตัวเลย แสดงว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จนี้สามารถลดกลิ้งตัวได้หมด และคงทนการซักล้างได้ถึง 50 รอบ (และมากกว่า) การซักผ้าจะเพิ่มการขจัด (แรงกล) บนผ้า และช่วยเปิดผิวของสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่ปกคลุมสารปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินบนผ้า และทำให้สารปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินสามารถสัมผัสและดูดกลิ้งตัวของสารละลายไอโซวาเลอริกได้โดยตรง กลิ้งตัวบนผ้าจึงลดลงจนหมดกลิ้ง

ตารางที่ 1 ระยะขจัดของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม

ซัก (รอบ)	ระยะขจัดของผ้า ณ กลิ้งตัวระดับ					
	0	1	2	3	4	5
0	3.99	3.15	2.85	2.49*	6.36	17.57
1	2.58*	3.27	4.19	4.82	8.60	15.79
20	4.42*	5.08	5.90	6.40	9.03	15.46
40	3.83*	4.65	5.59	6.20	9.19	15.33
50	3.67*	4.40	5.30	5.87	8.85	15.61

* ค่าระยะขจัดน้อยที่สุดของผ้าในรอบการซักเดียวกัน

ในการตกแต่งสำเร็จนี้ เมื่ออบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส สารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกซึ่งเป็นโมโนเมอร์จะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นพอลิเมอร์ชนิดกรดพอลิอะคริลิกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นปกคลุมพื้นผิวเส้นใยและปกคลุมสารปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินที่อยู่ในและอยู่บนเส้นใยด้วย รวมทั้งกรดพอลิอะคริลิกก็จะเกิดปฏิกิริยาผนึกติดกับเส้นใยฝ้ายของผ้า (ใยเซลลูโลส, Cell-OH) ด้วยพันธะเอสเทอร์ (-COO-Cell) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดพอลิอะคริลิกและหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยฝ้าย ดังรูปที่ 3 จึงทำให้สารปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินสามารถเกาะติดบนผ้าเพื่อช่วยลดกลิ้งตัว และมีความคงทนต่อการซักถึง 50 รอบ



มีปิตาไซโคลเดกซ์ทรินอยู่ในและบนเส้นใยผ้า

รูปที่ 3 ปฏิกริยาเคมีระหว่างสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิก สารปิตาไซโคลเดกซ์ทรินและเส้นใยผ้า (เซลลูโลส) ของผ้า

4.2 การดูดซึมน้ำของผ้า

จากการทดสอบพบว่า ผ้าไม่ได้ตกแต่งสำเร็จ ใช้เวลาดูดซึมน้ำประมาณ 12 วินาที แสดงว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้แต่ช้าเล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องจากผ้าลายพรางดิจิทัลนี้ผ่านการพิมพ์และย้อมสี การพิมพ์สีจะใช้แบงพิมพ์ที่มีสี มีสารขึ้น ซึ่งสามารถสะท้อนน้ำ และมีสารอื่น ๆ ซึ่งผ้าพิมพ์มีกจะมีสารขึ้นตกค้างเล็กน้อยบนผ้า หลังการพิมพ์ จึงทำให้ผ้าสะท้อนน้ำหรือดูดซึมน้ำได้ช้าลงบ้าง เมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้ามากโดยใช้เวลาเกิน 1 นาที เนื่องจากผ้ามีสารพอลิเมอร์กรดพอลิอะคริลิก ปริมาณมากปกคลุมเส้นใยบนผ้าและสารนี้สามารถสะท้อนน้ำ จึงทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้ามาก อย่างไรก็ตาม พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จที่ผ่านการซักล้างหลายรอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

4.3 ความแข็งกระด้างของผ้า

เมื่อทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือมีความแข็งกระด้างมากกว่า ผ้าไม่ได้ตกแต่งสำเร็จราว 2.6 เท่า ดังผลที่แสดงในตารางที่ 2 ความแข็งกระด้างของผ้าที่เพิ่มขึ้น หลังการตกแต่งสำเร็จนี้เนื่องจากผ้าถูกเคลือบปิดด้วยสารพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ของกรดพอลิอะคริลิก เส้นใยบนผ้าถูกจำกัดการเคลื่อนไหวจึงทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าหลังการซักผ้าหลายรอบ ความแข็งกระด้างของผ้าลดลงอย่างชัดเจน

ตารางที่ 2 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า

ผ้า	สภาพแข็งตึงดัดโค้ง (g·cm)	
	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	0.58±0.12	0.16±0.03
หลังตกแต่งสำเร็จ	1.59±0.15	0.41±0.04

4.4 สีของผ้า

ผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จถูกวัดสีทั้ง 4 สี โดยใช้เครื่องวัดสี ซึ่งเป็นการวัดสีที่ผิวผ้า แสดงผลของค่าสีในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สีของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ (ไม่ได้ซัก)

ผ้า	สี	ค่าสี				
		L*	a*	b*	ΔE*	K/S
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	เขียว	23.83	-3.67	4.67	-	15.3
	เขียวเข้ม					
	เขียวอ่อน	36.62	-5.38	12.28	-	10.0
	ดำ	19.91	-0.23	-2.48	-	16.9
	น้ำตาล	19.99	3.76	2.53	-	18.5
หลังตกแต่งสำเร็จ	เขียว	21.75	-2.58	2.26	3.36	15.6
	เขียวเข้ม					
	เขียวอ่อน	32.55	-5.02	10.58	4.43	11.9
	ดำ	19.17	-0.59	-1.98	0.96	18.0
	น้ำตาล	18.93	1.78	0.46	3.05	18.5

เมื่อเทียบสีผ้าในเฉดสีเดียวกัน ผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จมีค่าความสว่าง (L*) ของทั้ง 4 เฉดสี สูงกว่า หรือมีสีที่สว่างกว่าสีบนผ้าตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดอะคริลิกทำให้สีผ้าดูเข้มขึ้น ดูมืดทึบขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความเข้มสี (K/S) ที่ผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่าความเข้มสีสูงกว่าหรือดูสีเข้มกว่า ผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ เมื่อเทียบค่าความแตกต่างของสี (ΔE*) ทั้ง 4 เฉดสีบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ

จะพบว่า เสดสีด้าบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ มีค่าความแตกต่างน้อยกว่า 1 แสดงว่า การตกแต่งสำเร็จผ้านี้ไม่ส่งผลให้เสดสีด้าบนผ้าเปลี่ยนแปลงจนสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่เสดสีอื่น ๆ มีเสดสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิมจนมองเห็นได้ด้วยตา เนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จที่เคลือบและเกาะติดบนเส้นใยของผ้าเป็นสารขนาดใหญ่และเคลือบค่อนข้างหนาบนผ้า จึงส่งผลกระทบในการบดบังสีเดิมของผ้า ทำให้เสดสีบนผ้าและความเข้มสีบนผ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมบ้าง แต่เมื่อซักผ้าหลายรอบ สีบนผ้ากลับมาใกล้เคียงสีเดิมก่อนตกแต่งสำเร็จ

4.5 ความแข็งแรงของผ้า

ผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จถูกทดสอบความแข็งแรงแสดงเป็นค่าแรงดึงขาดและร้อยละของการยืดตัวของผ้าดังแสดงในตารางที่ 4

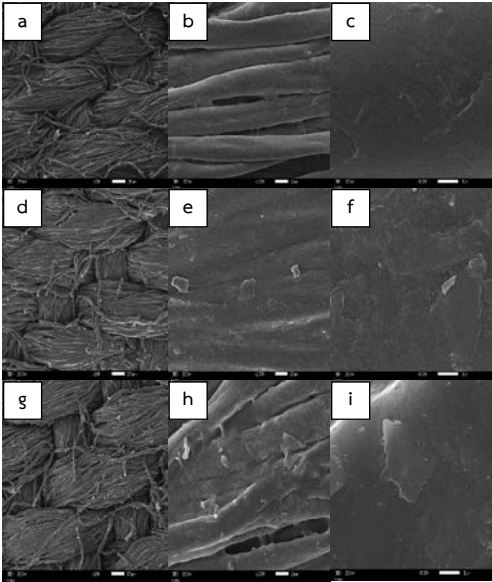
ตารางที่ 4 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวของผ้า

ผ้า	แนวด้ายยืน		แนวด้ายพุ่ง	
	แรงดึงขาด (N)	%ยืดตัว	แรงดึงขาด (N)	%ยืดตัว
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	1968±37	16.6±0.32	1010±35	24.3±0.50
หลังตกแต่งสำเร็จ	2100±89	19.0±0.69	1269±15	23.6±0.41

หลังการตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าในแนวเส้นด้ายยืนและผ้าในแนวเส้นด้ายพุ่งมีความแข็งแรงด้านความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ (การยืดตัวของผ้าในแนวเส้นด้ายยืนเพิ่มขึ้น ส่วนในแนวเส้นด้ายพุ่งลดลงเพียงเล็กน้อย) ทั้งนี้ เนื่องจากสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ นอกจากจะช่วยผนึกให้สารบีตาไซโคลเดกซ์ทรินเกาะติดบนผ้าได้ดีขึ้นแล้ว ยังจะช่วยรวมกลุ่มเส้นใยบนผ้าให้เป็นขึ้นเดียวกัน จึงทำให้ผ้ามีความคงทนต่อแรงดึงขาดได้มากขึ้นหรือผ้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.6 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวผ้า

ลักษณะพื้นผิวของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ ๔ ภาพถ่าย SEM พื้นผิวผ้าขยาย 100 เท่า (ซ้าย), 1,000 เท่า (กลาง) และ 8,000 เท่า (ขวา) ของผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ (a, b และ c), ผ้ตกแต่งสำเร็จ (d, e และ f) และผ้าตกแต่งสำเร็จหลังซัก 50 รอบ (g, h และ i)

รูป a, b และ c แสดงให้เห็นว่าเส้นใยบนผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จจะอยู่แยกกันเป็นเส้น ๆ แต่เมื่อผ้าผ่านการตกแต่งสำเร็จ (รูป d, e และ f) จะสังเกตเห็นเส้นใยถูกเคลือบปิดด้วยสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกและรวมกลุ่มเส้นใยเป็นขึ้นเดียวกัน รวมทั้งมองเห็นอนุภาคของสารขึ้นเล็ก ๆ ซึ่งน่าจะเป็นสารบีตาไซโคลเดกซ์ทรินอยู่กระจัดกระจาย ส่วนใหญ่อยู่ใต้สารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่เคลือบปิดเส้นใย และเมื่อผ้าตกแต่งสำเร็จถูกซัก 50 รอบ สารที่เคลือบเส้นใยจะหลุดออกไปบ้างจนสามารถมองเห็นเส้นใยแยกเป็นเส้น ๆ แต่ยังมีสารขึ้นเล็ก ๆ ของบีตาไซโคลเดกซ์ทรินบนเส้นใย หลังการซัก 50 รอบ ผ้ายังมีสารบีตาไซโคลเดกซ์ทรินเพียงพอที่ทำให้ผ้ายังสามารถดกถล้นตัวได้นั่นคือ สารบนผ้ามีความคงทนต่อการซักถึง 50 รอบ

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ผ้าลายพรางดิจิทัลที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหรือเคลือบด้วยปิตาไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดชนิดกรดอะคริลิกโดยใช้วิธีและภาวะที่เหมาะสม สามารถลดกลิ่นตัวบนผ้าได้และมีความคงทนต่อการซักล้างไม่ต่ำกว่า 50 รอบ การซัก ความแข็งแรงของผ้าไม่ลดลงหลังการตกแต่งสำเร็จ การดูดซึมน้ำของผ้าซาลงและผ้าแข็งกระด้างมากขึ้น แต่หลังจากที่ผ้าผ่านการซักล้างหลายรอบ ผ้าจะดูดซึมน้ำได้ดีและความแข็งแรงต่างของผ้าลดลง อย่างไรก็ตาม การตกแต่งสำเร็จนี้ทำให้สับนผิวผ้าดูเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารที่เคลือบและเกาะติดบนผ้าเป็นสารขนาดใหญ่และเคลือบค่อนข้างหนาบนผ้า จึงส่งผลกระทบต่อ การมองเห็นสีที่ผิวผ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนพัฒนาศักยภาพนักวิจัยด้านยุทธโธปกรณ์เพื่อเพิ่มศักยภาพของกองทัพและการป้องกันประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2563 สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กองทัพบก และได้รับการสนับสนุนด้านสถานที่การทำวิจัยและอุปกรณ์การทำวิจัยที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท พิมพ์ย้อมผ้าไทย จำกัด, “Camouflage,” in *Military Textiles for Protection and Camouflage*, 4th ed., สมุทรปราการ, ไทย, 2560, ch. 2, pp. 24 - 48.
- [2] R. H. McQueen and S. Vaezafshar, “Odor in Textiles: A Review of Evaluation Methods, Fabric Characteristics, and Odor Control Technologies,” *Text. Res. J.*, vol. 90, no. 9-10, pp. 1157 - 1173, 2020.
- [3] F.M.Bezerra *et al.*, “The role of β -cyclodextrin in The Textile Industry,” *Molecules*, vol. 25, no. 16, p. 3624, 2020.

- [4] อ. แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ, “รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการผลิตเสื้อเชิ้ตผ้าใยปลอดกลิ่นตัว,” สวทช., กรุงเทพฯ, ไทย, 2556.
- [5] ณ. ขำจิตร, “การเตรียมสารซักฟอกสำหรับการลดกลิ่นตัวและการจัดการกับบนผ้าพอลิเอสเตอร์ไมโครไฟเบอร์,” วิทยาสตรมหาบัณฑิต, วิทยาศาสตรพอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ไทย, 2556.
- [6] L. Mehrnaz and M. Nouri, “Preparation and Characterization of β -cyclodextrin Grafted Silk Fabric,” *J. Nat. Fibers*, vol. 17, no. 3, pp. 371 - 381, 2020.
- [7] R. Sriamchan, O. Boondamnoen, and U. Sangwatanaroj, “Anti Odorant Finishing of Silk Fabric with Beta-cyclodextrin,” in *PACCON 2022*, Bangkok, Thailand, 2022, pp. 502 - 507.
- [8] X. Wu *et al.*, “Electrospun Poly(vinyl alcohol) Nanofiber Films Containing Menthol/ β -cyclodextrin Inclusion Complexes for Smoke Filtration and Flavor Retention,” *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 605, p. 125378, 2020.
- [9] X. Sun *et al.*, “Evaluation on the Inclusion Behavior of β -cyclodextrins with Lycorine and Its Hydrochloride,” *J. Mol. Liq.*, vol. 379, p. 121658, 2023.
- [10] D. C. Hooper, G. A. Johnson, and D. Peter, “Deodorant Compositions,” U.S. Patent 4 278 658, Jul. 14, 1981.
- [11] C. Wongchoosuk, M. Lutz, and T. Kerdcharoen, “Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose,” *Sensors*, vol. 9, no. 9, pp. 7234-7249, 2009.
- [12] C. Wongchoosuk, P. Lorwongtragool, and T. Kerdcharoen, “Malodor Detection Based on Electronic Nose,” in *Air Quality Monitoring, Assessment and Management*, N. A. Mazzeo, Ed., Rijika, Croatia: InTech, 2011, pp. 41 - 66.