

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (Textile Finishing)

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ หมายถึง การตกแต่งสมบัติบางอย่างลงบนผ้าหรือเส้นด้ายด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ผ้าหรือเส้นด้ายมีสมบัติตามที่ต้องการหรือให้มีสมบัติที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การตกแต่งสำเร็จนิยมทำหลังจากผ้าหรือเส้นด้ายได้ผ่านกระบวนการย้อมหรือพิมพ์มาเรียบร้อยแล้ว

หน้าที่ของการตกแต่งสิ่งทอ (Functions of Finishes) (1)

1. เน้นหรือยับยั้งสมบัติธรรมชาติบางอย่างของผ้า เช่น ความนุ่ม (softening) ความกระด้างหรือความแข็งแรง (stiffening or firming) ความไม่เป็นมันเงาหรือการลดความมันเงา (delustering) ความสว่างสดใส (brightening) การดัดแปลงหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิว (changing surface characteristics)
2. เพิ่มลักษณะหรือสมบัติใหม่บนผ้า เช่น สมบัติกันยับ (durable press finishes) สมบัติหน่วงไฟ (flame retardant finishes) เป็นต้น
3. เพิ่มระยะเวลาการใช้งานและเพิ่มความทนทานต่อการใช้งานของสิ่งทอ
4. กำหนดให้ผ้ามีลักษณะรูปร่างและโครงสร้างที่คงตัวไม่หด

วิธีการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอโดยทั่วไปสามารถแยกได้เป็น 2 วิธี คือ

1. การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอเชิงกล (1) (Mechanical Finishes) คือ การดัดแปลงหรือตกแต่งสำเร็จบนผ้าโดยการใช้กลไกการทำงานของเครื่องจักร ตัวอย่างการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอทางเชิงกล เช่น

การรีด (Calendering)

การทำให้คงตัวหรืออยู่ตัวทางเชิงกล (Mechanical Stabilization)

การชูดขน (Raising)

การทำให้นิ่มเชิงกล (Mechanical Softening)

การทำฟล็อกกิ้ง (Flocking)

2. การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอทางเคมี (Chemical Finishes) คือ การใช้สารละลายเคมีต่างๆ ตกแต่งลงบนผ้า การแบ่งประเภทของสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอสามารถแบ่งได้ง่ายๆ โดยแยกเป็น

ประเภทสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอชนิดพิเศษ คือ การตกแต่งสำเร็จเพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างลงบนผ้า และประเภทสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอชนิดธรรมดา คือ สารตกแต่งสำเร็จที่ใช้อยู่เป็นประจำ แต่ ณ ที่นี้จะแบ่งประเภทสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอทางเคมีบนผ้าออกเป็น 5 ประเภท(2)ดังนี้

2.1 สารตกแต่งที่เพิ่มความสบายในการสวมใส่หรือในการใช้งาน (Finishes that improve comfort) เช่น สารทำน้มนุ่ม

2.2 สารตกแต่งที่เพิ่มความสะดวก ง่ายดายในการดูแลรักษา (Finishes that improve ease of maintenance) เช่น สารตกแต่งกันยับ สารตกแต่งกันสิ่งสกปรกและรอยเปื้อน และสารตกแต่งเพื่อกันน้ำ

2.3 สารตกแต่งที่เพิ่มความคงทนต่อการใช้งาน (Finishes that improve durability) เช่น สารตกแต่งเพื่อให้ผ้าทนต่อการขัดถูและสารตกแต่งเพื่อกันการขึ้นขนของผ้า

2.4 สารตกแต่งที่ช่วยเพิ่มความคงทนต่อสภาพแวดล้อมและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน (Finishes that provide environmental protection or improve safety) เช่น สารตกแต่งหน่วงไฟ

2.5 สารตกแต่งที่ช่วยทำให้เกิดความต้านต่อจุลชีพ (Finishes that provide biological resistance) เช่น สารกันเชื้อราและแบคทีเรีย และสารกันแมลงกินผ้า

ในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับสารตกแต่งผ้าฝ่ายให้ทนต่อการยับย่น ด้านเชื้อราและแบคทีเรีย จึงขออธิบายสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งกันยับ และสารที่ใช้ในการต้านเชื้อราและแบคทีเรียในหัวข้อต่อไป

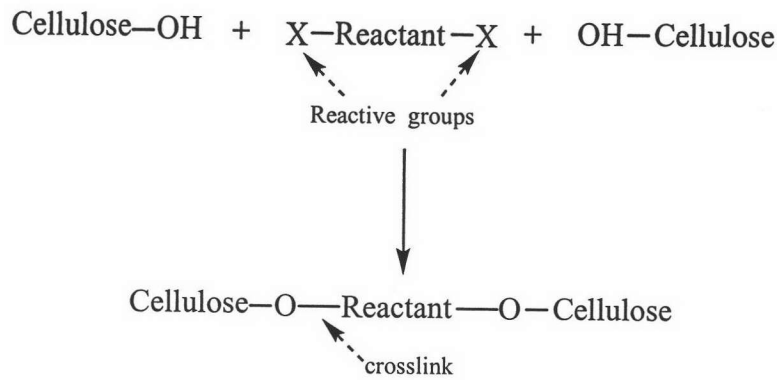
2.2 สารตกแต่งกันยับ (Easy-Care Finishes or Durable Press Finishes)

ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยเซลลูโลสมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยยับย่นหลังผ้าผ่านการซักล้างได้ง่ายกว่าผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใยฝ้ายมีความสัมพันธ์กับการเกิดรอยยับย่นบนผ้า พันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่โมเลกุลในบริเวณอสัณฐาน (amorphous regions) เป็นพันธะที่อ่อนแอ แตกหักได้ง่ายเมื่อผ้าผ่านกระบวนการซักล้าง อย่างไรก็ตามพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากการแตกหักจะสร้างขึ้นใหม่ได้ แต่พันธะที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดิม จึงมีผลทำให้เกิดรอยยับขึ้น การแก้ไขปัญหารอยยับที่เกิดขึ้นบนผ้าสามารถทำได้โดยการจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลในเซลลูโลส ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติมสารเคมีอินทรีย์ที่สามารถเกิดพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลในบริเวณอสัณฐานของเส้นใย โดยให้หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของเส้นใยฝ้ายเข้าทำปฏิกิริยากับเคมีอินทรีย์เพื่อให้เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ที่ขึ้นแทนพันธะไฮโดรเจน

ความหมายที่เกี่ยวข้องกับการตกแต่งกันยับที่ใช้มีหลายคำ เช่น durable press (DP), wash-and-wear, crease resistant, easy-care finishes ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับจะเกิดรอยยับขึ้นได้ในขณะใช้งาน แต่รอยยับดังกล่าวจะหายแล้วกลับมาเรียบเหมือนเดิมหลังจากการซักและอบแห้ง จากรูปที่ 1 เป็นการแสดงแผนภูมิการเกิดโครงสร้างเชื่อมขวาง (crosslink) ในเซลลูโลส (1) สารเคมีที่จะช่วยให้เกิดร่างแหได้ จะต้องประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า "reactive groups" ที่สามารถทำปฏิกิริยาได้กับหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสในบริเวณออสถฐานอย่างน้อย 2 หมู่ ทำให้เกิดสายโซ่เชื่อมโยงในโครงสร้างเซลลูโลสขึ้น สารเคมีที่ก่อให้เกิดร่างแหที่มี 2 หมู่ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสหรือสร้างพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรงได้ และสารเคมีนั้นไม่สามารถทำปฏิกิริยากันเองได้ เรียกสารเคมีชนิดนี้ว่า "reactants" เช่น สาร dimethyloldihydroxyethyleneurea (DMDHEU) หรือ สาร butanetetracarboxylic acid (BTCA) เป็นต้น ส่วนสารเคมีที่ก่อให้เกิดร่างแหที่มีหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้มากกว่า 2 หมู่ มีผลทำให้เกิดการสร้างร่างแหพอลิเมอร์แบบ 3 มิติได้ และสารเคมีนั้นสามารถทำปฏิกิริยากับตัวเองได้ เรียกสารเคมีในหมู่นี้ว่า "aminoplast resins" ได้แก่ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (urea-formaldehyde) หรือ เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine-formaldehyde)

การเกิดร่างแหในเซลลูโลสขึ้นอยู่กับความยาวของร่างแหที่เกิดขึ้น ร่างแหที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องตั้งเพื่อประสิทธิภาพในการต้านรอยยับและรักษารอยยับ ผ้าที่เกิดร่างแหในภาวะที่แห้งและไม่บวมตัว จะต้านการบวมตัวในน้ำและรอยยับในสภาพที่แห้งเพราะความยาวของร่างแหสั้นและตึง การเกิดร่างแหจะเกิดที่อุณหภูมิสูงบนผ้า มีผลทำให้ผ้าทนต่อการยับและมีความคงตัว ร่างแหที่เกิดในเส้นใยในขณะที่เปียกหรือในขณะที่เส้นใยบวมตัว จะหย่อนเมื่อเส้นใยถูกทำให้แห้งและบริเวณออสถฐานจะยุบลง ผ้าที่เกิดร่างแหในขณะที่เปียกจะมีความต้านต่อการยับในสภาพเปียกดีกว่าในสภาพแห้ง ผ้าที่ทำให้เกิดร่างแหในสภาพเปียกจะดูดซับน้ำและบวมตัวได้ในขอบเขตหนึ่ง ซึ่งมากกว่าของผ้าที่ทำให้เกิดร่างแหในสภาพแห้ง การทำให้เกิดร่างแหที่เหมาะสมในเซลลูโลสสามารถทำได้โดยการควบคุมปริมาณความชื้นในเส้นใยระหว่างการเกิดร่างแห

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1. แผนภูมิการเกิดโครงสร้างเชื่อมขวางในเซลลูโลส

ผลบางอย่างที่เกิดขึ้นกับผ้าหลังผ้าถูกตกแต่งด้วยสารกันยับมีดังนี้(1)

1. ผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับจะมีสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ลดลง ได้แก่ ความยืดหยุ่น (flexibility) ความคงทนต่อการดึง (tensile strength) ความคงทนต่อการฉีกขาด (tear strength) และความคงทนต่อการขัดถู (abrasion resistance)
2. การบวมตัวในน้ำถูกยับยั้ง หรือบวมตัวได้ยากขึ้น และเส้นใยดูดซับน้ำได้น้อยลง
3. สีย้อมและสารเคมีไม่สามารถแทรกเข้าไปได้ง่ายในเส้นใยที่เป็นร่างแห การย้อมควรทำก่อนการทำร่างแห ผลทางด้านบวกของการมีร่างแหคือ ร่างแหช่วยเก็บโมเลกุลสีย้อมในเส้นใย และสามารถช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซักของสีให้ดีขึ้น
4. สารที่ก่อให้เกิดร่างแหบางครั้งมีผลทำให้เจดสีเปลี่ยนไปบนผ้าที่ย้อมสีแล้ว สีบางตัวที่มีความไวต่อสารตกแต่งกันยับจะเปลี่ยนเจดสีทันทีเมื่อถูกตกแต่งด้วยสารกันยับ
5. คลอรีนจากผงซักฟอกจะทำปฏิกิริยากับเรซินหรือสารที่ก่อให้เกิดร่างแห เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเจดสี หรือเกิดการทำลายโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่เกิดจากสาเหตุที่เรียกว่า "chlorine retention"
6. เรซินบางตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่เมื่อสลายตัวมีกลิ่นเหม็นคาวคล้ายปลา เรียก "fishy odor"
7. ความคงทนของแสงจะลดลง เชื่อว่ามีสาเหตุมาจากตัวเร่ง (catalyst) ที่ใช้ในสูตรการตกแต่งสารกันยับ
8. การปลดปล่อยสารพิษฟอร์มาลดีไฮด์จากโรงงานหรือจากผ้า เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาทางกลิ่น และอาจจะเป็นการฝ่าฝืนกฎข้อบังคับของรัฐเกี่ยวกับการควบคุมสารพิษในสภาพ แวดล้อม
9. การตกแต่งกันยับอาจจะทำให้ผ้ามีการกักเก็บสิ่งสกปรกได้ง่ายขึ้น

ผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับแล้วจะมีผลทำให้ผ้าทนต่อการยับดีขึ้น(3) แต่ความแข็งแรง และความคงทนต่อการขัดถูของผ้าจะลดลง ทั้งนี้เพราะสารตกแต่งกันยับส่วนใหญ่มีความเป็นกรด และตัวเร่งที่ใช้ก็เป็นกรดเช่นกัน ซึ่งเส้นใยธรรมชาติโดยเฉพาะฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสจะไม่ค่อยทนต่อกรด ทำให้ความแข็งแรงของผ้าถูกทำลายด้วยความเป็นกรดของสารตกแต่งกันยับและตัวเร่ง นอกจากนี้ความร้อนที่ต้องใช้ในการอบผนึกของสารตกแต่งกันยับบนผ้าเพื่อทำให้เกิดการสร้างพันธะและการสร้างร่างแหขึ้นต้องใช้อุณหภูมิสูง (โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ใช้ในการอบผนึกจะสูงกว่า 120°C ขึ้นไป) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงมีผลทำให้ความแข็งแรงของผ้าฝ้ายถูกทำลายได้เช่นกัน นอกจากนี้การเกิดพันธะที่เป็นร่างแหในโครงสร้างฝ้ายมีผลทำให้การเคลื่อนไหวของพันธะยากขึ้น เกิดความไม่ยืดหยุ่นขึ้นในโครงสร้าง ซึ่งก็มีผลทำให้ความแข็งแรงของผ้าฝ้ายลดลงได้ด้วย การเพิ่มความแข็งแรงของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารกันยับสามารถช่วยได้โดยการเติมสารทำนึ่มเข้าไปในสูตรการตกแต่งการยับ ส่วนปัญหาความแข็งแรงในเส้นใยผสมระหว่างพอลิเอสเตอร์และเซลลูโลสจะน้อยกว่าเส้นใยเซลลูโลส 100% เพราะความแข็งแรงของเส้นใยพอลิเอสเตอร์จะไม่ถูกกระทบด้วยสารกันยับและตัวแปรอื่นๆ ในขณะที่ปัญหาเรื่องกลิ่น เจดสีที่เปลี่ยนไป ความคงทนของสีต่อแสงที่ลดลง และ chlorine retention จะถูกกระทบจากสารตกแต่งโดยตรง การจะแก้ปัญหาล่าช้าให้เกิดน้อยลงทำได้โดยการเลือกใช้สารตกแต่งกันยับและสีย้อมที่เหมาะสม ส่วนปัญหาการปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ แก้ได้โดยการเลือกใช้สารตกแต่งกันยับที่ไม่ปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่เรียกว่า “formaldehyde-free durable press finishes” เช่น butanetetracarboxylic acid (BTCA) สูตรการตกแต่งสารกันยับนั้นเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับชนิดของผ้า การกำหนดสมบัติของผ้าและชนิดของสารกันยับ สูตรทั่วไป(1) สำหรับใช้เป็นสูตรตกแต่งกันยับจะประกอบด้วย

Wetting agent	1	%
Reactant (resin)	15	%
Catalyst	3	%
Softener	3	%
Hand builder	3	%
Water	75	%

การประเมินผ้าที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับสามารถทำได้ดังนี้

วิธีแรก คือ ศึกษารูปร่างและลักษณะการยับของผ้าโดยเปรียบเทียบกับผ้ามาตรฐาน ซึ่งการแสดงผลการต้านต่อการยับ สามารถใช้วิธีการเปรียบเทียบลักษณะของผ้าที่ผ่านการซักล้างหลายๆ ครั้งว่ามีรอยยับมากน้อยเท่าใด แล้วเทียบกับตัวอย่างผ้ามาตรฐานซึ่งถูกแบ่งออกเป็นเกรดต่างๆ จำนวน 5 เกรด ซึ่งเกรด 5 แสดงว่าผ้าจะมีความเรียบมาก มีรอยยับน้อยมาก ส่วนเกรด 1 แสดงว่าผ้าจะมีรอยยับมาก โดยปกติผ้าที่ไม่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับ เมื่อผ่านการซักแล้วจะมีเกรดรอยยับอยู่ในระดับที่ 1 หรือ 2

วิธีที่สอง คือ วัดองศาการคืนตัวของผ้า ผ้าทดสอบจะถูกพับและถูกกดทับด้วยน้ำหนักจำนวนหนึ่ง หลังจากเอาน้ำหนักที่กดทับออกแล้ว ผ้าพยายามจะคืนตัวกลับสู่ตำแหน่งเดิมให้มากที่สุดเพื่อให้เกิดรอยยับที่น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นถ้าผ้ามีองศาการคืนตัวมากแสดงว่าผ้ามีความต้านต่อการยับมาก แต่ในทางตรงกันข้าม ผ้าที่มีองศาการคืนตัวน้อยจะเกิดรอยยับมาก เพราะมีความสามารถในการต้านต่อการยับต่ำ

วิธีที่สาม คือ วัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าหลังการซัก โดยการวัดความยาวของด้านยาวและด้านกว้างของผ้าว่ามีเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเท่าใด โดยคิดเป็นร้อยละที่เปลี่ยนแปลงไป

นอกจากวัดสมบัติการต้านต่อการยับของผ้าแล้ว ควรวัดความแข็งแรง การต้านต่อการขีดถู และการดูดซับน้ำของผ้า ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือถูกกระทบไปมากน้อยเท่าใดหลังจากผ้าถูกตกแต่งด้วยสารกันยับแล้ว

สารตกแต่งการยับที่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

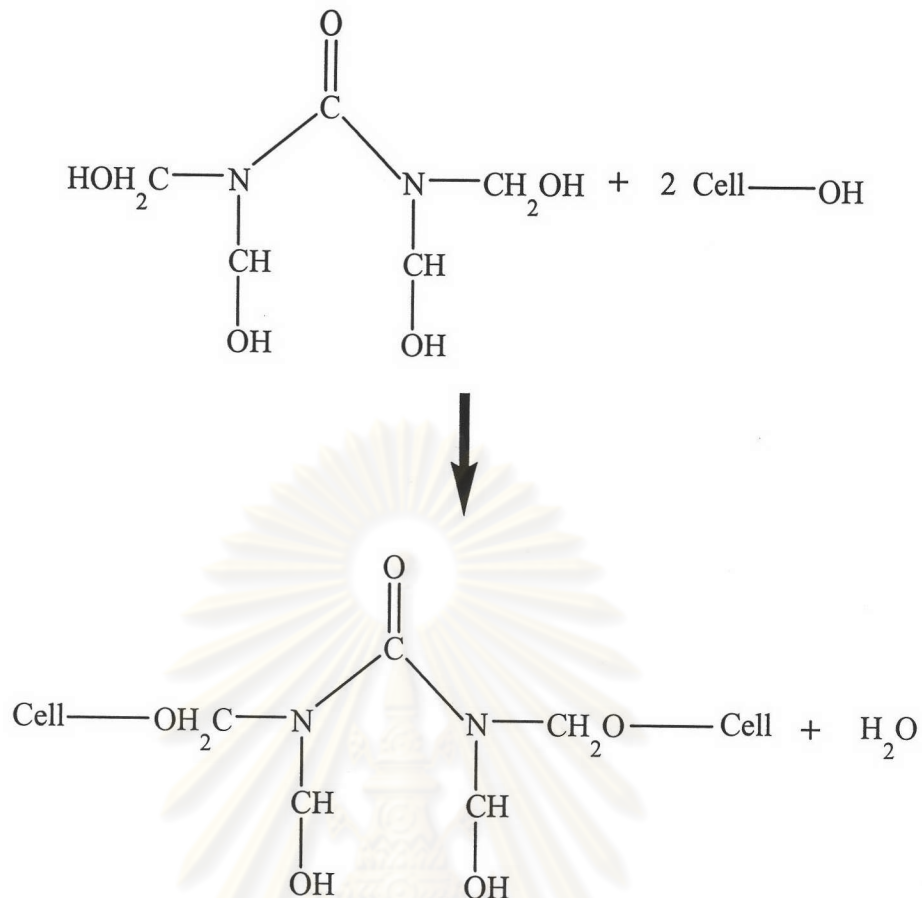
สารตกแต่งกันยับที่จัดอยู่ในจำพวกนี้ ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีในกลุ่มของ *N*-methylol (3) ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของเส้นใยฝ้ายได้ แล้วทำให้เกิดพันธะอีเทอร์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ชนิดหนึ่ง และเป็นพันธะที่แข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยสารเคมีในกลุ่มของ *N*-methylol มีความคงทนต่อการยับได้ดีขึ้น สารเคมีในกลุ่มนี้มีหลายชนิด แต่จะขอกกล่าวถึงสารเคมีที่ได้รับความนิยมและยังใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งทอเมื่อต้องการตกแต่งผ้าให้ทนต่อการยับ สารเคมีตัวนี้ คือ dimethyloldihydroxy ethyleneurea (DMDHEU) ซึ่งสาร DMDHEU สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสแล้วสร้างพันธะอีเทอร์ระหว่างสาร DMDHEU และเซลลูโลส ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 การใช้สารกันยับพวก *N*-methylol reactants จะต้องใช้ตัวเร่งพวกกรด โดยเฉพาะกรดพวก Lewis acid เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride) แล้วทำการอบผนึก (curing) ผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 150° C หรือสูงกว่า เป็นระยะเวลา 3 นาที หรือมากกว่านี้เล็กน้อย เพื่อให้เกิดพันธะอีเทอร์และร่างแหใน

โครงสร้างผ้าฝ้าย ตัวเร่งแมกนีเซียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการช่วยให้สารกันยับในกลุ่มนี้เข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส

นอกจากนี้ ตัวเร่งชนิดนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฉดสี และไม่กระทบต่อความคงทนของสีต่อแสง แต่จะกระทบต่อความแข็งแรงของผ้าที่ตกแต่งด้วยสารกันยับอยู่ในระดับเดียวกันกับผลที่เกิดจากตัวเร่งชนิดอื่นๆ การตกแต่งสารกันยับบนผ้าทำได้โดยการใช้กระบวนการจุ่มอัดอบแห้งและอบผนึก (pad-dry-cure) ซึ่งผ้าจะถูกตรึงไว้บนกรอบตะปุตตามหน้ากว้างที่ต้องการในขั้นตอนการทำให้แห้งและการอบผนึก สาร DMDHEU เมื่อใช้กับผ้าฝ้ายจะมีผลทำให้ผ้าฝ้ายทนต่อการยับได้ดี และไม่มีผลทำให้เกิดความเหลือง (yellowing) บนผ้าขาวมาก ความขาวยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ และยังไม่มีส่วนต่อเฉดสีที่ย้อมบนผ้าฝ้ายด้วย เนื่องจากสาร DMDHEU ได้มีการใช้งานมานานพอสมควร จึงทำให้มีสารประเภทนี้ผลิตออกมาในชื่อทางการค้าที่แตกต่างกัน เช่น Arkofin NDF, Fixapret CP Conc., Fixapret CV หรือ Fixapret AP เป็นต้น ประสิทธิภาพของสารเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปบ้าง และปริมาณการใช้ของสารและตัวเร่งและภาวะอุณหภูมิในการอบแห้งอบผนึกอาจต่างกันเล็กน้อยแล้วแต่ว่าสารนั้นจะผลิตจากบริษัทใด

อย่างไรก็ตามข้อเสียของสารเคมีในกลุ่ม *N-methylol* คือ เป็นสารที่สามารถปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเชื่อว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ถึงแม้ว่าสาร DMDHEU จะปลดปล่อยปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ได้น้อย แต่ก็ยังไม่สามารถใช้เพื่อตกแต่งผ้าเพื่อให้มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยออกมาเป็นศูนย์ได้ ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านเริ่มคิดค้นและหาสารเคมีตัวใหม่เพื่อนำมาใช้เป็นสารตกแต่งกันยับที่ไม่ปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ขึ้นมา และเพื่อนำมาทดแทนสาร DMDHEU และสารในกลุ่ม *N-methylol*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

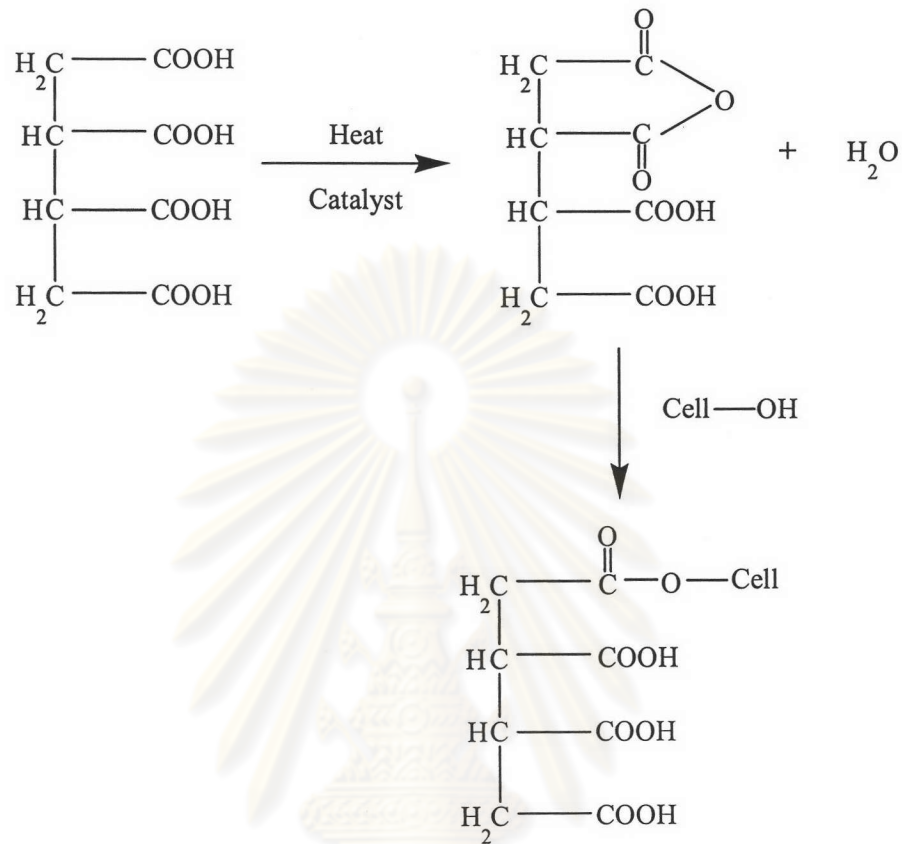


รูปที่ 2 การเกิดปฏิกิริยาพันธะเคมีของสาร DMDHEU กับผ้าฝ้าย

สารตกแต่งกันการยับที่ไม่ปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

Dr. Welch นักวิจัยชาวอเมริกา(4-5,6-9) ได้ทดลองใช้สาร butanetetracarboxylic acid (BTCA) แล้วพบว่าสาร BTCA เป็นสารเคมีที่สามารถใช้เป็นสารตกแต่งกันยับได้ และมีประสิทธิภาพของการเป็นสารตกแต่งกันยับเทียบเท่ากับสาร DMDHEU ในภาวะและตัวเร่งที่เหมาะสม ตัวเร่งที่ดีที่สุดสำหรับใช้กับสาร BTCA คือ โซเดียมไฮโปฟอสไฟต์โมโนไฮเดรต (sodium hypophosphite monohydrate) แต่ราคาของตัวเร่งชนิดนี้มีราคาแพงกว่าตัวเร่งชนิดอื่น เช่น โซเดียมโมโนไฮโดรเจน (sodium monohydrogen) และโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต โมโนไฮเดรต (sodium dihydrogen phosphate monohydrate) สาร BTCA ประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic groups) จำนวน 4 หมู่ สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ โดยที่หมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่ภายใต้ตัวเร่งและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการรวมตัวกันเป็นแอนไฮดราย (anhydride) แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ (ester bond) ขึ้น แล้วจะได้หมู่ของคาร์บอกซิลิกกลับคืนมา 1 หมู่ หลังจากนั้นก็จะเกิดการรวมตัวของหมู่คาร์บอกซิลิก 2 หมู่เข้าด้วยกันอีกครั้งเกิดเป็นแอนไฮดราย แล้วเข้าทำปฏิกิริยา

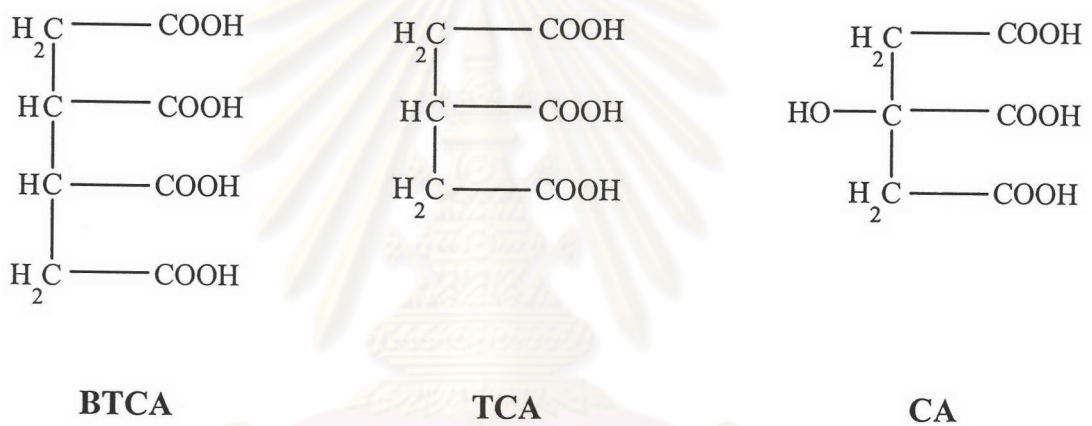
กับไฮดรอกซิลเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ขึ้นมาใหม่อีก ปฏิกริยาจะเกิดเช่นนี้เรื่อยไป มีผลทำให้เกิดร่างแหในโครงสร้างผ้าฝ้าย การเกิดปฏิกริยาของสาร BTCA กับเซลลูโลสแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการเกิดปฏิกริยาเคมีระหว่างสาร BTCA และเซลลูโลส

สาร BTCA จัดอยู่ในกลุ่มของ polycarboxylic acids ซึ่งนอกจากสาร BTCA แล้ว สารในกลุ่มนี้ยังประกอบด้วย tricarboxylic acid (TCA) และ citric acid (CA) ซึ่งทั้ง BTCA และ TCA มีประสิทธิภาพการเป็นสารตกแต่งกันยับเทียบเท่ากับ DMDHEU แต่สารทั้งสองก็ยังไม่สามารถเข้ามาแทนที่ DMDHEU ได้ เพราะราคาของสารทั้งสองแพงมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของ DMDHEU ถึงแม้ข้อดีของสารทั้งสองคือไม่ปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ นอกจากนี้ปริมาณการใช้ของ TCA ต้องใช้ปริมาณค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ของ BTCA เพื่อให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วย TCA มีสมบัติความคงทนต่อการยับของผ้าฝ้ายเทียบเท่ากับสมบัติดังกล่าวของผ้าที่ตกแต่งด้วย BTCA หรือ DMDHEU ส่วน CA เป็นสารเคมีที่มีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพการเป็นสารกันยับนั้นไม่ดีเท่ากับ BTCA และ TCA แต่อยู่ในขั้นพอใช้ได้ นอกจากนี้ CA มีผลทำให้เกิดความเหลืองบนผ้าขาวหลังการตกแต่ง(4,5) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล ของ CA เกิดการแตกหักของพันธะแล้วสร้างเป็นพันธะคู่ขึ้นมาใหม่ ทำให้โครงสร้างของ CA เปลี่ยนไปมีผลทำให้

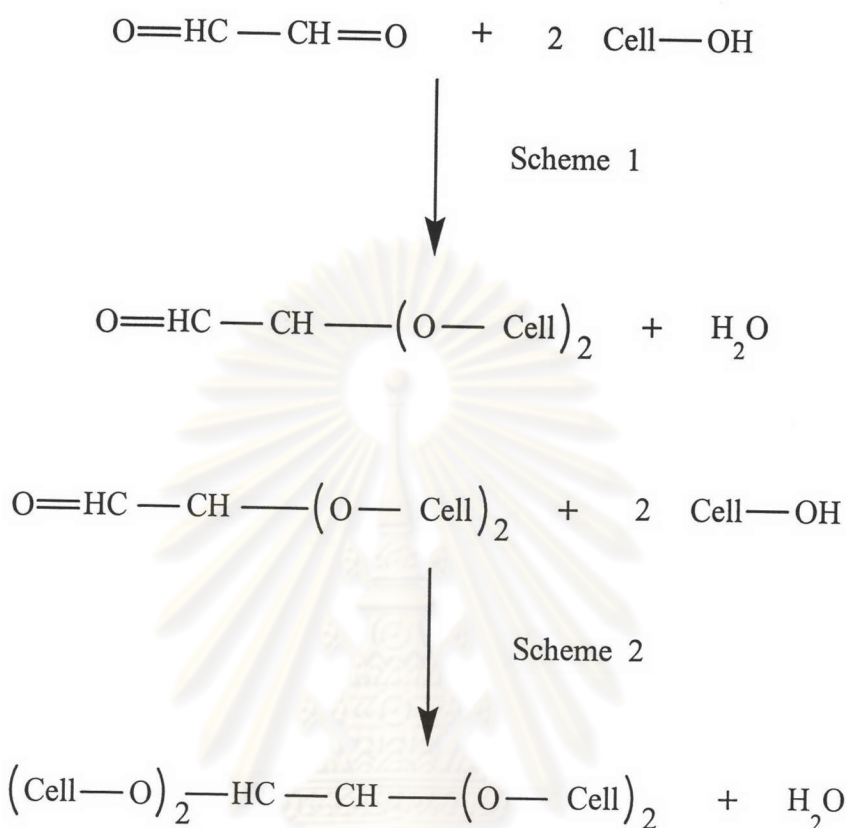
เกิดความเหลืองขึ้นบนผ้าขาวเมื่อผ้าผ่านการอบแห้งอบผืนที่ 180°C ประมาณ 90 วินาที ถึง 2 นาที อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยหลายท่านพยายามที่จะแก้ไขและลดปัญหาความเหลืองที่เกิดขึ้นโดยการเติมสารช่วย เช่น Triethanolammonium salts หรือ boric acid ลงไป สารช่วยเหล่านี้สามารถช่วยลดความเหลืองที่เกิดขึ้นได้ แต่ก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเป็นสารตกแต่งกันยับของ CA ให้น้อยลงด้วยเช่นกัน อีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาความเหลืองของ CA น้อยลง คือ ลดปริมาณการใช้ของ CA ลง แล้วใช้ BTCA หรือ TCA ปริมาณเล็กน้อยเข้ามาแทนที่ พบว่าวิธีนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ CA ในการเพิ่มสมบัติการทนต่อการยับของผ้าฝ้ายให้ดีขึ้น และความขาวของผ้าฝ้ายก็ดีขึ้นเช่นกัน ถึงแม้ปัญหาของ CA ได้รับการแก้ไขในระดับหนึ่งแล้วก็ตาม แต่ CA ก็ยังไม่เป็นที่นิยม และยังไม่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากนักในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เหมือนกับ BTCA และ TCA โครงสร้างทางเคมีของ BTCA, TCA และ CA แสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสาร polycarboxylic acids

ไกลออกซอล (glyoxal) (10,11) ได้ถูกจัดเป็นสารตกแต่งกันยับในพวกสารที่ไม่ปลดปล่อยสารพิษฟอร์มัลดีไฮด์ โดย Dr.Welch ไกลออกซอลเป็นสารที่มีราคาถูก และละลายน้ำได้ดี จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารกันยับสำหรับเส้นใยธรรมชาติ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไกลออกซอลและเซลลูโลสได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งใน Scheme 1 แอลดีไฮด์ (aldehyde) ของไกลออกซอล 1 หมู่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ 2 หมู่ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของสารที่เรียกว่า โมโนอะซิโธล (monoacetal) หรือ เฮมิอะซิโธล (hemiacetal) ซึ่งยังคงมีหมู่แอลดีไฮด์เหลืออีก 1 หมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลได้อีก 2 หมู่ เมื่อแอลดีไฮด์ทั้ง 2 หมู่เข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจนหมด จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารที่เรียกว่าไดอะซิโธล (diacetal) หรือ อะซิโธล (acetal) การเกิดสารไดอะซิโธล แสดงไว้ใน Scheme 2 ในรูปที่ 5

เช่นกัน การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวของไกลออกซอลทำให้เกิดการสร้างพันธะว่างแหในโครงสร้างเซลลูโลส



รูปที่ 5 การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไกลออกซอลและเซลลูโลส

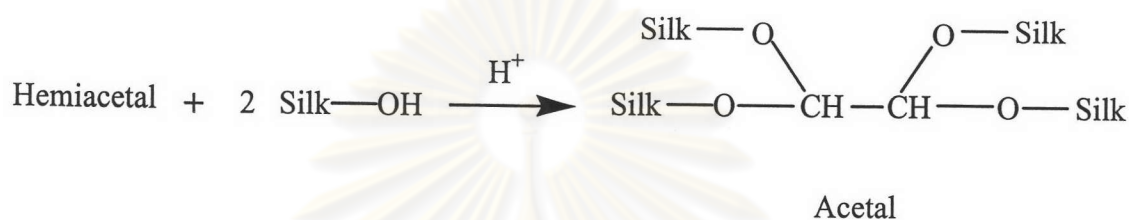
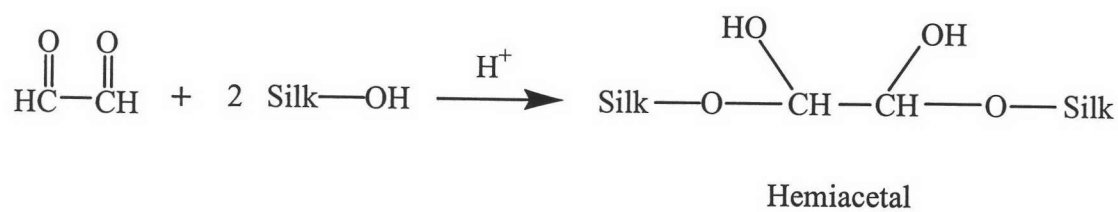
การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของไกลออกซอลและเซลลูโลสจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีตัวเร่งที่เป็นกรด เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมซัลเฟต หรือกรดฟอสฟอริกช่วยในการเกิดปฏิกิริยา จากผลของการศึกษาตัวเร่งที่เหมาะสมสำหรับไกลออกซอล พบว่าอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการช่วยให้ไกลออกซอลเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลส โดยวัดจากองศาการคืนตัวต่อการยับ ความคงทนต่อการฉีกขาด และความเหลืองที่เกิดขึ้นบนผ้าหลังผ้าผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับไกลออกซอลแล้ว ในภาวะที่ใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งจะพบว่าองศาการคืนตัวต่อการยับและความคงทนต่อการฉีกขาดดีกว่า และความเหลืองที่เกิดขึ้นก็น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่น

ภาวการณ์ใช้ไกลออกซอลเป็นสารกันยับ สำหรับผ้าฝ้ายที่ได้เคยทำการศึกษาแล้วนั้น ได้ทดลองใช้ความเข้มข้นของไกลออกซอลที่ 4.8% และ 15% ความเข้มข้นของตัวเร่งอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้อยู่ระหว่าง 1.5-2.0% อุณหภูมิในการอบผืนที่ใช้เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไกลออกซอลกับเซลลูโลสอยู่ในช่วง 135–160°C ประมาณ 1-2 นาที ผ้าที่ตกแต่งด้วยไกลออกซอลจะมีองศาการคืนตัวอยู่ระหว่าง 280–300°C และความคงทนต่อการฉีกขาดที่ยังคงเหลืออยู่ประมาณ 20-30% จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 45-56% เมื่อปริมาณการใช้ไกลออกซอลในการตกแต่งการยับมากขึ้น เหตุผลอาจเป็นเพราะโครงสร้างร่างแหที่เกิดขึ้นอาจจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ยืดหยุ่นมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างร่างแหที่เกิดขึ้นจากการใช้ไกลออกซอลที่ปริมาณน้อย หรืออาจเป็นเพราะว่าไกลออกซอลที่ใช้ปริมาณมาก อาจจะมีปริมาณของไกลออกซอลที่เหลือเกินจากการทำหน้าที่เป็นสารกันยับทำหน้าที่เป็น chelating agent และมีผลทำให้ประสิทธิภาพของความเป็นกรดของอะลูมิเนียมซัลเฟตลดลง ทำให้กรดมีผลไปทำลายความแข็งแรงของผ้าฝ้ายได้น้อยลง ส่งผลให้ความคงทนต่อการฉีกขาดดีขึ้น การใช้ตัวเร่งผสมระหว่างอะลูมิเนียมซัลเฟตกับ กรดซिटริกและมีการใช้สารเติมแต่งพวกไกลคอล (glycol) จะช่วยให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบผืนลดลงมาใช้ที่ 120°C และเวลาในการอบผืนใช้ประมาณ 2 นาที สามารถทำให้ไกลออกซอลเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ ทำให้ผ้ามีสมบัติการคืนตัวต่อการยับได้ดีเช่นกัน

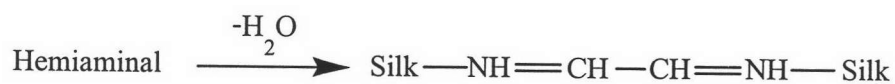
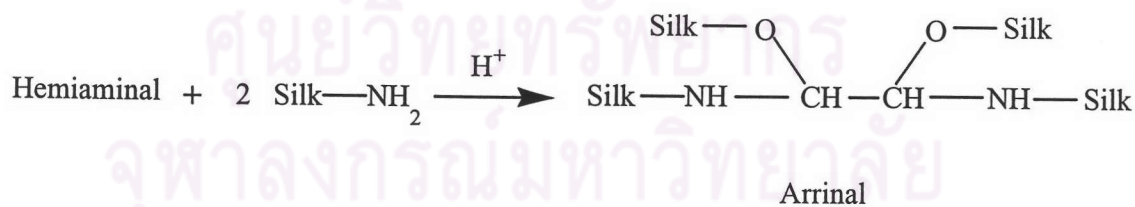
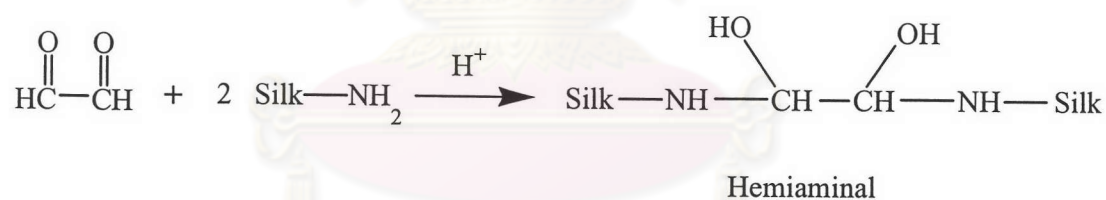
นอกจากไกลออกซอลจะใช้เป็นสารกันยับให้สำหรับผ้าฝ้ายแล้ว ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติอื่น เช่น ปอ หรือไหม ก็สามารถใช้ไกลออกซอลเป็นสารตกแต่งกันยับได้เช่นกัน(12) เส้นใยไหมจะมีโครงสร้างไม่เหมือนกับเส้นใยเซลลูโลสเลยทีเดียว โดยไหมจะมีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งอยู่ในสารประกอบของ serine และ tyrosine ที่มีอยู่ในโครงสร้างของไหม และสามารถทำปฏิกิริยากับไกลออกซอลในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่ง โดยผ่านปฏิกิริยาของเฮมิอะซิโตนอล (hemiacetal) และอะซิโตนอล (acetal) ตามปฏิกิริยาที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลลูโลสได้เช่นกัน นอกจากนี้เส้นใยไหมยังมีหมู่อะมิโนอยู่ในสารประกอบของ lysine และ arginine ซึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไกลออกซอลในสภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งดังปฏิกิริยาที่แสดงไว้ในรูปที่ 7

การตกแต่งไกลออกซอลบนผ้าไหมสามารถทำให้ผ้าไหมมีทั้งสมบัติความคงทนต่อการยับที่ดีและความทนต่อการฉีกของผ้าไหมนั้นไม่ถูกทำลายไปมาก สารละลายที่ใช้ในการตกแต่งกันยับนอกจากจะมีไกลออกซอลและอะลูมิเนียมซัลเฟตแล้วยังคงต้องเติมกรดฟอร์มิก (formic acid) หรือกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) ผสมลงไปด้วย ซึ่งกรดที่เติมลงไปนี้จะช่วยให้เส้นใยไหมเกิดการบวมตัวขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างของไหมเปิดมากขึ้น มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาร่างแหที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีผลทำให้ผ้าไหมมีความคงทนต่อการฉีกขาดมากขึ้นผ้าไหมถูกทำลาย

น้อยลง และความขาวของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยวิธีที่เติมกรดซัลฟูริกลงไปด้วยจะมีความขาวมากกว่าความขาวของผ้าไหมที่ตกแต่งโดยไม่มีกรดซัลฟูริก



รูปที่ 6 การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไกลออกซอลกับ serine หรือ tyrosine



รูปที่ 7 การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไกลออกซอลกับ lysine หรือ arginine

2.3 ไคตินและไคโทซาน

ไคติน(13,14) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ β -1,4-N-acetyl-D-glucosamine จัดเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส โครงสร้างไคตินต่างจากเซลลูโลสตรงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นหมู่อะซิตาไมด์ (NH-CO-CH₃) แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ไคโทซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่นำหมู่อะซิทิล (CO-CH₃) ออกไปจากไคติน ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส พบไคตินในผนังเซลล์ของพืชบางชนิด และพบในสัตว์ เช่น สัตว์ที่มีเปลือกและกระดอง เช่น หอย กุ้ง ปู และพบในจุลินทรีย์

ไคตินประกอบไปด้วยไนโตรเจนประมาณ 7% ไคตินเชื่อมอยู่กับคาร์โบไฮเดรตด้วยพันธะโควาเลนต์ในรูปของโปรตีน และพบรวมอยู่กับเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกของพวกกุ้ง ปู ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non-electrolytic polymer) ทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำและสารละลายอินทรีย์ได้

โครงสร้างไคตินในธรรมชาติที่พบแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

อัลฟาไคติน (α -chitin) เป็นแบบที่สายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงที่สับสนทางกัน สายโซ่โมเลกุลเรียงตัวได้แน่นมีความแข็งแรงสูงสุด พบในเปลือกกุ้ง กระดองปู เปลือกแข็งของแมลง และผนังเซลล์ของเห็ดรา

เบตาไคติน (β -chitin) เป็นสายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน เส้นใยเรียงตัวได้ไม่แน่นมาก พบในแกนปลาหมึก

แกมมาไคติน (γ -chitin) เป็นลักษณะผสมของอัลฟา และเบตาไคติน ทำให้สายโซ่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจะเรียงในทิศทางเดียวกันและสลับกัน บ้างพบในไคตินจากรังไหมดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อนำมาสกัดสารไคติน สามารถทำได้โดยนำเอาเปลือกกุ้งหรือปูมาตากแดดจัด 1-2 วัน ทำให้ได้สีของไคตินที่ขาวขึ้น ทั้งนี้เพราะแสงอุลตราไวโอเลตในแสงแดดสามารถทำปฏิกิริยากับรงควัตถุทำให้เกิดการสลายตัวของรงควัตถุให้อยู่ในรูปที่ไม่มีสี หลังจากนั้นบดและล้างให้สะอาดเพื่อแยกเศษอาหารออกให้หมด แล้วตากแห้งอีกครั้ง ทำให้เปลือกที่ได้เก็บไว้ได้หลายเดือนที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากวัตถุดิบที่เตรียมจากเปลือกกุ้งหรือปู มีส่วนประกอบอื่นๆที่ไม่ใช่ไคติน ซึ่งสารที่พบในเปลือกกุ้งและปูประกอบด้วย 20-30% ของไคติน 30-40% ของโปรตีน และ 30-50% ของแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วน 1-2% เป็นแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส รงควัตถุ และสารอื่นๆจำนวนเล็กน้อย เช่น ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะต้องสกัดแยกออกจากไคติน เพราะฉะนั้นขั้นตอนการเตรียมไคตินแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสกัดแยกโปรตีน

การสกัดแยกโปรตีนโดยการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะทำโดยการต้มเปลือกกุ้ง หรือปูในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1-10% ที่อุณหภูมิประมาณ 65-100°C เป็นเวลา ½-6 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างน้ำจนมีค่าพีเอช (pH) เป็นกลาง แล้วตากแห้ง ซึ่งการใช้ภาวะที่รุนแรงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดแยกโปรตีน อาจจะทำให้เกิดดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) และดีแอซิทิเลชัน (deacetylation) ทำให้ไคทินที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง และไคทินที่ได้เกิดดีแอซิทิเลชันสูงขึ้น

การสกัดแยกโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) เช่น เปปซิน (pepsin) และทริพซิน (trypsin) การใช้เอนไซม์จะใช้ภาวะไม่รุนแรง ทำให้ไม่เกิด depolymerization แต่เวลาในการสกัดโปรตีนจะนานเกินกว่า 1 วัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเอนไซม์ วิธีการ คือ ใสเปลือกกุ้งหรือปูจำนวน 8 กรัม ปรับ pH ให้เท่ากับ 7 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทำการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็น หลังจากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแบคทีเรียอยู่ ในระหว่างที่แบคทีเรียเจริญจะปล่อยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนออกมาในอาหารเลี้ยงเชื้อ และในสารละลายสำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อจะประกอบไปด้วยโคโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 2 กรัม และเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 1-4 วัน แล้วฆ่าเชื้อ หลังจากนั้นปล่อยสารละลายให้เย็น แล้วล้างเปลือกกุ้งด้วยน้ำและตากแห้ง

2. การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนต

การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตโดยการใช้สารละลายกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO₃) และกรดแอซิติก (CH₃COOH) กรดที่นิยมใช้ คือ HCl เพราะสามารถเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อหลีกเลี่ยงการสลายตัวของไคทิน การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตโดยการใช้สารละลาย EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) การใช้ EDTA ในการสกัดจะให้สารประกอบแคลเซียมที่ละลายน้ำ การสกัดวิธีนี้ไม่สามารถสกัดสารประกอบอนินทรีย์ออกจากเปลือกกุ้งหรือปูได้หมด

ขั้นตอนการแยกโปรตีนและขั้นตอนการแยกแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถสลับกันได้ ถ้าต้องการนำเอาโปรตีนไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ควรทำขั้นตอนการแยกโปรตีนก่อนเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนสูง ทั้งนี้เพราะ HCl ที่ใช้ในขั้นตอนการแยกแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถย่อยสลายโปรตีนได้ทำให้สูญเสียโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์

3. การแยกรงควัตถุ

รงควัตถุส่วนใหญ่เป็นพวกคาร์โทีนอยด์ แอสทาซีน แอสทาแซนที และเบต้าแคโรทีน สามารถสกัดแยกเอารงควัตถุออกได้โดยการล้างด้วยเอทานอล แอซิโตน โซเดียมไฮโปคลอไรท์ โปแตสเซียมเปอร์มังกาเนต หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือตากแดดจัดๆ 1-2 วัน ส่วนไขมันที่มีจำนวนน้อยสามารถใช้เอธิลเรอริในการสกัดแยกไขมันออกไปได้

ส่วนการเตรียมโคโทซานทำได้โดยการนำโคทินมาทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้น คือ ปฏิกิริยาดีแอซีทิลเลชัน (deacetylation) ผลการเกิดปฏิกิริยาทำให้หมู่อะซิทาไมด์ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 ในวงแหวนไพราโนส (pyranose ring) ของโคทินถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน ทำให้ได้สารที่มีสมบัติในการละลายได้ในกรดอินทรีย์อ่อนๆ เช่น กรดน้ำส้ม กรดแลกติก หรือกรดซัลฟิวริกได้ การทำปฏิกิริยาดีแอซีทิลเลชันทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. การทำปฏิกิริยาดีแอซีทิลเลชันของโคทินกับด่างที่หลอมละลาย (Alkali fusion)

วิธีนี้เป็นการทำปฏิกิริยาดีแอซีทิลเลชันโดยการหลอมละลายกับด่างที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับโคทิน การหลอมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 180°C ได้โดยการทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โคโทซานที่ได้โดยวิธีนี้ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (DP=20) เพราะเกิด depolymerization

2. การทำปฏิกิริยาดีแอซีทิลเลชันของโคทินในสารละลายต่าง

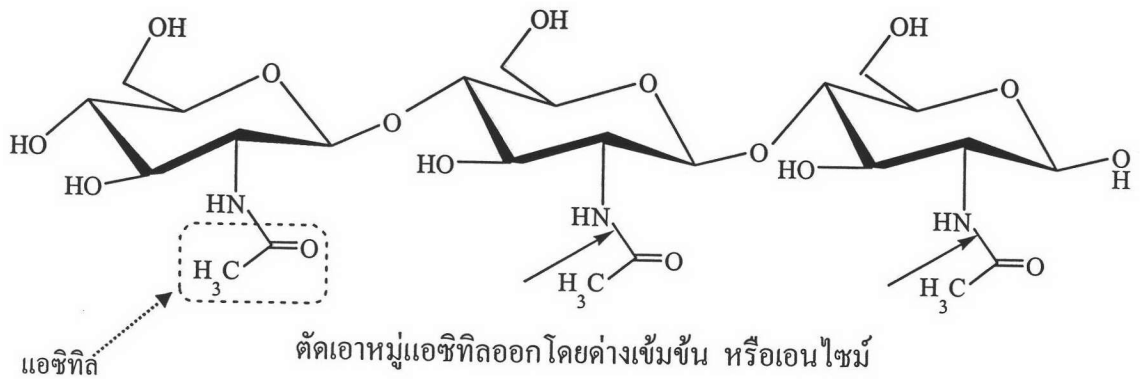
สารละลายที่ใช้มากในวิธีนี้ คือ NaOH ส่วนต่างชนิดอื่นๆ ที่ใช้ เช่น KOH, LiOH, CaOH_2 ค่าระดับของการดีแอซีทิลเลชันของโคโทซานจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายต่างอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ตัวอย่างภาวะที่อาจเลือกใช้ในการทำปฏิกิริยา

1. ความเข้มข้นของ NaOH 5% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 150°C ทำปฏิกิริยานาน 24 ชั่วโมง

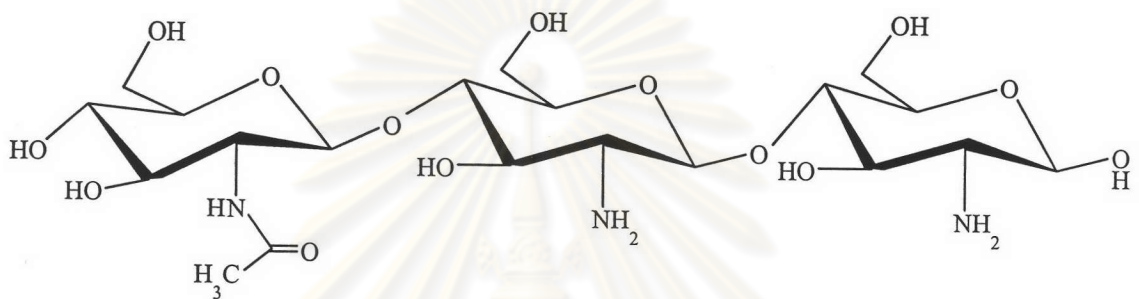
2. ความเข้มข้นของ NaOH 40% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100°C ทำปฏิกิริยานาน 1 ชั่วโมง

3. ความเข้มข้นของ NaOH 50% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100°C ทำปฏิกิริยานาน 1 ชั่วโมง

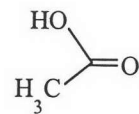
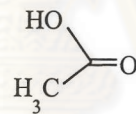
โครงสร้างของโคทินและโคโทซานได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งในภาพจะแสดงหมู่เอซิติลที่เป็นตำแหน่งที่เอนไซม์หรือด่างเข้มข้นเข้าไปทำปฏิกิริยา และเป็นหมู่ที่ถูกตัดออกไปจากสายโซ่ของโคทินแล้ว ณ ตำแหน่งนี้ถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโนแทนบนสายโซ่โคโทซาน



Chitin



Chitosan



รูปที่ 8 โครงสร้างของไคตินและไคโทซาน

เนื่องด้วยไคโทซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากการกำจัดหมู่แอสซิทิล (acetyl group) ออกจากโครงสร้างของไคติน ได้ทั้งวิธีทางเคมี หรือทางเอนไซม์ก็ได้ ทำให้ได้อนุพันธ์ที่มีประจุบวกบนหมู่อะมิโนอิสระ และสามารถละลายได้ในสารละลายกรดที่มี pH น้อยกว่า 6.5 ไคโทซานที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกนั้นมีสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์และใช้ประโยชน์ได้มากมายในด้านการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหารเสริม อุตสาหกรรมยาและวัสดุทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยและสิ่งทอ เป็นต้น นอกจากนี้ไคโทซานสามารถใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคบนผ้าฝ้ายได้ ซึ่งไคโทซานมีสมบัติที่ดีกว่ายาฆ่าเชื้อโรคทั่วไป ทั้งนี้เพราะไคโทซานสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราได้หลายชนิด มีอัตราการฆ่าเชื้อที่ดีและเร็ว มีผลที่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อของมนุษย์น้อย ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุที่ต้องสัมผัสกับผิวหนังของมนุษย์ เช่น เสื้อผ้าสำหรับคนไข้ในโรงพยาบาล ประโยชน์ของอนุพันธ์ไคติน และไคโทซานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น

ด้านการเกษตร (13)

1. ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน ไคตินและไคโทซานจะประกอบไปด้วยธาตุไนโตรเจน เช่นเดียวกับกับโปรตีนและยูเรีย ไนโตรเจนจากไคตินและไคโทซานสามารถสลายตัว ซึ่งมีผลทำให้ธาตุอาหารในดิน ได้แก่ธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถตรึงไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในดินและอากาศ ทำให้พืชได้รับไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ไคตินและไคโทซานเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่มีประจุ สามารถยึดติดกับผิวดินได้ดี ทำให้ช่วยลดการชะล้างธาตุอาหารในดิน และช่วยให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพดี ไคตินและไคโทซานสามารถจับกับอิออนต่างๆ ได้ แล้วค่อยๆ ปลดปล่อยสารอาหารให้แก่พืช

2. ช่วยการกระตุ้นระบบรากของพืชให้เจริญได้ดี ซึ่งสารอนุพันธ์ไคตินและไคโทซานจะช่วยให้เชื้อรา และแบคทีเรียบางชนิดผลิตเอนไซม์ chitinase เพื่อย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราที่เป็นโรคพืช ทำให้โอกาสที่เชื้อราจะรบกวนต่อรากน้อยลง ทำให้ระบบรากแข็งแรงขึ้น

3. ช่วยในการเคลือบเมล็ดพันธุ์เพื่อป้องกันโรคและแมลง เพื่อเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ไคโทซานเป็นสารส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของพืช เรียกว่าทำหน้าที่เป็น elicitor ซึ่งเป็นตัวช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์สาร phytoalexin ซึ่งช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคพืชได้ ทำให้พืชแข็งแรงและการเจริญเติบโตดีขึ้น สารเคลือบเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากไคตินและอนุพันธ์สามารถยึดติดกับผิวของเมล็ดได้ดี และทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งแบคทีเรีย ทำให้อัตราการงอกสูงขึ้น 6-20% ทั้งนี้เพราะไคตินและไคโทซานมีสมบัติที่สามารถออกฤทธิ์เป็นตัวกระตุ้นระบบป้องกันตนเองของพืช ทำให้พืชออกฤทธิ์กระตุ้นการสังเคราะห์ DNA ซึ่งทำหน้าที่การเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันโรค เช่น มีการผลิตสารลิกนิน และแทนนิน ทำให้พืชป้องกันตนเองจากการกัดทำลายของแมลง และศัตรูพืช ต้นไม้ที่ไม่ได้รับสารอนุพันธ์ไคตินประมาณ 2-4 อาทิตย์ จะมีความแข็งแรงของลำต้น กิ่งและใบ ซึ่งจะพบ wax เคลือบที่ผิวใบ

4. ช่วยในการเคลือบผลทางการเกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บหรือควบคุมความสุกของผลไม้ อนุพันธ์ไคตินและไคโทซานมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา และกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืชให้เกิดภูมิคุ้มกันเชื้อรา ทำให้มีการนำสารดังกล่าวมา เคลือบผลผลิตทางการเกษตร การเก็บรักษามะม่วงที่เคลือบด้วยอนุพันธ์ไคตินและไคโทซานที่ภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 35°C สามารถเก็บได้เกินกว่า 15 วัน สำหรับมังคุดเก็บรักษาได้ 25 วัน ทั้งนี้เพราะอนุพันธ์ไคตินและไคโทซานเป็นสารป้องกันการเกิดเชื้อราที่ผิว เมื่อทำการเคลือบแล้วจะได้แผ่นฟิล์มบางๆ ใส ปราศจากสีและกลิ่น ทำให้ช่วยลดการหายใจและลดการผลิตแก๊สเอทิลีน ทำให้ผลไม้ไม่สุกเร็ว และฟิล์มเป็นตัวกั้นการไหลออกของแก๊ส CO₂ ทำให้ผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยวแห้งและสีผิวไม่เปลี่ยนแปลงเพราะลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ

5. ใช้เป็นอาหารเสริมผสมลงในอาหารสัตว์ ไคโทซานเป็นสารที่ไม่สามารถดูดซึมและไม่สามารถย่อยสลายในทางเดินอาหาร แต่มีสมบัติที่จะดูดซับไขมันได้ถึง 6-8 เท่าของน้ำหนักตัว สามารถจับกับโลหะหนักรวมทั้งสารพิษที่ปนเปื้อนมากับอาหาร ไคโทซานมีผลต่อไขมันในกระเพาะอาหารก่อนที่จะมีการย่อยและดูดซึม ไคโทซานจะแปรรูปเป็นเจลห่อหุ้มไขมันจึงป้องกันการดูดซึมและการสะสมไขมันในร่างกาย จากนั้นไคโทซานและไขมันจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย จึงมีนักวิจัยนำเอาไคโทซานนำมาเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในสุกร ผลการทดลองพบว่า สุกรมีสุขภาพดีขึ้น อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และอัตราการมีเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ไคโทซานเป็น dietary dye carrier และ food fiber ในอาหารพวกสัตว์ปีก เช่น ไก่ ทำให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้นและไคโทซานยังใช้ในการเคลือบบนผิวไข่ เพื่อเก็บรักษาไข่ให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ทำให้เปลือกไข่แข็งแรงขึ้น ป้องกันการกระแทกหรือแตก เพื่อสะดวกในการขนส่ง

ด้านอุตสาหกรรม(13)

1. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม เช่น แชมพู ครีม นวดผม ยาสีฟัน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลผิว เช่น ครีมอาบน้ำ เจลล้างหน้า ครีมบำรุงผิว อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก

ไคโทซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก และเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิตเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ เช่น โปรตีน นิวคลีอิกแอซิด ทำให้เกิดการสร้างพันธะไอออนิกและก่อตัวเป็นชั้นบางๆ ของไคโทซานได้ดีบนผิวของเซลล์ต่างๆ

2. อาหารเสริมไคทิน/ไคโทซาน lucosamine เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกลไกการขจัดสารพิษในตับและไต (detoxification function) และยังมีบทบาทในการจับกรดไขมัน ทำให้ไม่เกิดการดูดซับไขมันจากกลไกของน้ำดี ส่งผลให้ระดับปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง ข้อควรระวังการใช้อาหารเสริมไคทิน/ไคโทซาน คือ เกลือแร่และวิตามินที่ละลายไขมัน เช่น วิตามิน A D E K จะถูกดูดซับเข้าไปด้วย ทำให้ร่างกายได้รับเกลือแร่และวิตามินดังกล่าวลดลง อาจมีผลทำให้ร่างกายเติบโตช้าลง เพราะฉะนั้นการใช้อาหารเสริมควรปรึกษาแพทย์

3. อุตสาหกรรมยาและวัสดุการแพทย์ ใช้ในการผลิตผิวหนังเทียม การผลิตไหมเย็บแผลที่ละลายได้เองและการผลิตยาเพื่อลดไขมันในเลือด

4. อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยและสิ่งทอ เช่น ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ไคโทซานมีหมู่อะมิโนซึ่งในโตรเจนในหมู่อะมิโนมีคู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ ทำให้สามารถสร้างพันธะไอออนกับโลหะได้ ไคโทซานที่มีปริมาณหมู่อะมิโนมาก ก็มีโอกาสดูดซับไอออนของโลหะได้มาก เพราะฉะนั้นสามารถใช้ไคโทซานมาจับคราบไขมัน สี โลหะหนัก จากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เพื่อเร่งการตกตะกอนของโลหะในบ่อน้ำเสีย และใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอนของสารอนินทรีย์ ดิน โคลน

ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเส้นใยและสิ่งทอ การผลิตผ้าที่ทำจากไคโทซานสามารถต้านแบคทีเรียและเชื้อราได้ดี เช่น เสื้อผ้าสำหรับคนไข้ในโรงพยาบาล ไคโทซานสามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ดีกว่า ทำให้มีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์ได้ดีกว่าไคทิน และยังดีมากขึ้นเมื่อค่า degree of deacetylation เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ไคโทซานสามารถใช้เป็นสารตกแต่งลงบนผ้า เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านและยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราบนผ้าฝ้ายได้(15,16) ทั้งนี้เพราะกลุ่มอะมิโนของไคโทซานจะเข้าไปแทรกแซงขบวนการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยการติดอยู่ที่พื้นผิวของเซลล์และเชื่อมต่อกับ DNA ทำให้การสังเคราะห์ของ mRNA ถูกยับยั้ง ไคโทซานที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ดีกว่าไคโทซานที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ทั้งนี้เพราะขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ของไคโทซานจะแทรกตัวอยู่บนพื้นผิวของผ้า ซึ่งมีผลทำให้กลุ่มอะมิโนของไคโทซานเข้าไปจับกับแบคทีเรียได้ง่าย นอกจากนี้ ความเข้มข้นของไคโทซานที่สูงขึ้นก็มีผลทำให้อัตราการลดจำนวนของแบคทีเรียและเชื้อรามีน้อยลงได้เช่นกัน ผลงานวิจัยบางส่วนของนักวิจัยชาวเกาหลีได้สรุปได้ว่า(17,18) ขนาดโมเลกุลของไคโทซานที่ 210,000 ที่ความเข้มข้น 0.3% สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ แต่ถ้าขนาดโมเลกุลของไคโทซานลดลงเหลือที่ 100,000 หรือ 1,800 จะต้องใช้ความเข้มข้นของไคโทซานเพิ่มเป็น 1.0% สำหรับเชื้อ *Proteus vulgaris* ต้องใช้ขนาดโมเลกุลของไคโทซานที่ 210,000 หรือ 100,000 ที่ความเข้มข้น 0.3% แต่ถ้าใช้ขนาดโมเลกุลของไคโทซานลดลงเหลือที่ 1,800 จะต้องใช้ความเข้มข้นของไคโทซานเพิ่มเป็น 0.5%

นอกจากนี้ การใช้ไคโทซานในการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราบนผ้าที่ทำจากเส้นใยชนิดที่แตกต่างกัน จะให้ประสิทธิภาพไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น การใช้ขนาดโมเลกุลและความเข้มข้นของไคโทซานที่เท่ากันตกแต่งลงบนผ้าฝ้ายและผ้าพอลิโพรพิลีน ผ้าพอลิโพรพิลีนที่ตกแต่งด้วยไคโทซานที่มีขนาดโมเลกุล 1,800 ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ดีกว่าผ้าฝ้าย 10 เท่า ทั้งนี้เพราะผ้าพอลิโพรพิลีนเป็นผ้าที่ไม่ดูดซับน้ำ ทำให้ไคโทซานซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างของผ้าได้น้อย และกระจายอยู่บนบริเวณพื้นผิวของผ้าเป็นจำนวนมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการจับแบคทีเรียได้ดีกว่าบนผ้าฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยที่ดูดซับน้ำได้ ไคโทซานจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างผ้าฝ้าย พื้นผิวของผ้าฝ้ายจึงมีปริมาณไคโทซานน้อยกว่าผ้าพอลิโพรพิลีน ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียลดลง โดยสรุปประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราบนผ้าขึ้นอยู่กับ ชนิดของแบคทีเรียและเชื้อราที่ต้องการยับยั้ง ขนาดโมเลกุลของไคโทซาน ความเข้มข้นของไคโทซาน และชนิดของเส้นใย

ถึงแม้การใช้ไคโทซานในการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายเป็นจุดเด่น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือทำให้ผ้าฝ้ายมีความกระด้างมากขึ้น และความแข็งแรงของผ้าลดลงทำให้ต้องศึกษาหาจุดสมดุลระหว่าง

ความแข็งแรงและความนุ่มของผ้ากับสมบัติด้านแบคทีเรียและเชื้อราในงานที่ใช้ เพื่อเลือกใช้นาไมโอเลกุลและความเข้มข้นของไคโทซานได้อย่างเหมาะสม

นอกจากไคโทซานมีสมบัติที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราได้แล้ว ยังมีนักวิจัยท่านอื่นได้ทดลองใช้ไคโทซาน เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิตสำหรับผ้าพอลิเอสเตอร์(10) เส้นใยสังเคราะห์ส่วนใหญ่ สามารถสะสมประจุไฟฟ้าไว้กับตัวมันเองมากกว่าที่จะถ่ายเทประจุไฟฟ้าออกไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำทำให้ไม่สามารถดูดซับน้ำเข้าไปช่วยในการถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้เหมือนกับเส้นใยธรรมชาติ หลักการที่จะทำให้เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยพอลิเอสเตอร์ มีสมบัติในการป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ดีขึ้น สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยสังเคราะห์ให้มีช่องกลวงหลายๆ (multi-pored hollow) ในโครงสร้างของเส้นใย เพื่อให้การถ่ายเทประจุดีขึ้น หรือโดยการเคลือบด้วยสารเคมีที่มีสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) ด้วยวิธีการ จุ่มอัด อบแห้ง อบผนึก (Pad-dry cure method) ลงบนผ้าพอลิเอสเตอร์ แต่วิธีการเคลือบสารลงบนผ้าจะมีผลทำให้ผ้ามีสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ไม่คงทนถาวร ขึ้นอยู่ว่าสารที่เคลือบนั้นจะทนต่อการซักล้างมากน้อยเพียงใด ไคโทซานสามารถใช้เคลือบลงบนผ้าพอลิเอสเตอร์ได้ และจะเกิดปฏิกิริยาการสร้างร่างแห จากการทำปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอกซิลิกที่เหลืออยู่ในเส้นใยพอลิเอสเตอร์ และหมู่เอมีนของไคโทซานในภาวะที่มีตัวเร่งโซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) มีผลทำให้เกิดเป็นฟิล์มขึ้นบนพื้นผิวของผ้าพอลิเอสเตอร์ ซึ่งเมื่อทำการวัดไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ตกแต่งด้วยไคโทซาน พบว่าไฟฟ้าสถิตจะลดลงจากเดิม 5812 โวลต์ (voltage) ของผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยไคโทซานเหลือเพียง 273 โวลต์

จากงานวิจัยที่ยกมาเป็นการใช้ไคโทซานช่วยในด้านการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ส่วนการใช้ไคโทซานช่วยในด้านการย้อมก็ม้งานวิจัยเช่นกัน คือ การใช้ไคโทซานช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมบนผ้าขนสัตว์⁽⁵⁾ ซึ่งจะทำโดยการตกแต่งด้วยไคโทซานที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0.1-1.0% ลงบนผ้าขนสัตว์ แล้วนำมาย้อมกับสีแอซิด (acid dye) และสีรีแอกทีฟ (reactive dye) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าผ้าขนสัตว์ที่เคลือบสารด้วยไคโทซานจะดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าและสามารถย้อมได้ดีที่สภาวะที่เข้มข้นกว่าของผ้าขนสัตว์ที่ไม่ได้เคลือบด้วยไคโทซาน เหตุผลที่ทำให้ผ้าขนสัตว์ที่เคลือบด้วยไคโทซานมีประสิทธิภาพการย้อมที่ดีกว่า เพราะไคโทซานที่เคลือบไปบนผ้าขนสัตว์นั้นจะไปช่วยเพิ่มหมู่ที่สามารถจับสีที่เรียกว่า dye sites ให้มีมากขึ้น มีผลทำให้ผ้าขนสัตว์ดูดซับสีย้อมได้ดีขึ้น นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้โครงสร้างของผ้าขนสัตว์เปิดมากขึ้น สีก็จะเคลื่อนตัวจาก dye sites เข้าไปในโครงสร้างที่เปิดของขนสัตว์ หลังจากนั้นทำให้ dye sites ด้านนอกไม่ยึดกับสีย้อมอีกต่อไป ก็จะเข้าไปยึดจับสีย้อมใหม่ในสารละลายได้อีกและเกิดการถ่ายเทสีย้อมในลักษณะนี้ต่อไปได้เรื่อยๆจนกว่ากระบวนการย้อมสิ้นสุดลง นอกจากนี้จะช่วยให้ผ้าขนสัตว์

ย้อมสีได้เข้มข้น และยังช่วยให้ความสม่ำเสมอของสีดีขึ้นด้วย โคลโทซานที่เคลือบบนผ้าขนสัตว์ยังไม่ให้ผลต่อความคงทนของสีต่อแสงและต่อน้ำอีกด้วย

2.4 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (Anti-Microbial Finishes)

การตกแต่งผลิตภัณฑ์สิ่งทอให้มีสมบัติต้านต่อเชื้อราและแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์อื่นๆ ไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่ เมื่อ 4000 ปีที่แล้ว ในยุคสมัยอียิปต์ที่มีการทำมัมมี่ ก็มีการเริ่มใช้สมุนไพรและพันธุ์ไม้ มาตกแต่งลงบนผ้าที่นำมาใช้พันรอบตัวมัมมี่ เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย ทำให้ศพไม่เกิดการเน่าเปื่อย การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเป็นสิ่งไม่พึงปรารถนา การซักด้วยน้ำร้อนและสารฆ่าเชื้อ ได้แก่ chlorine และ peroxygen bleaches สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ในสิ่งทอ สารเคมีที่ใช้ป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา เรียกว่า สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) quaternary ammonium surfactants และ antibiotics ทำหน้าที่เป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนสารพวกต้านการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น chlorinated organic compounds, organometallic compounds ที่ประกอบด้วย copper, silver, iron, manganese, zinc ซึ่งสารเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่สูงกว่า และอาจจะต่อต้านการย่อยสลายในธรรมชาติเป็นเวลานาน สารประกอบอินทรีย์คลอรีน (chlorinated organic compounds) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแมลงสำหรับเส้นใยธรรมชาติที่มีส่วนประกอบเป็นโปรตีนและเซลลูโลส

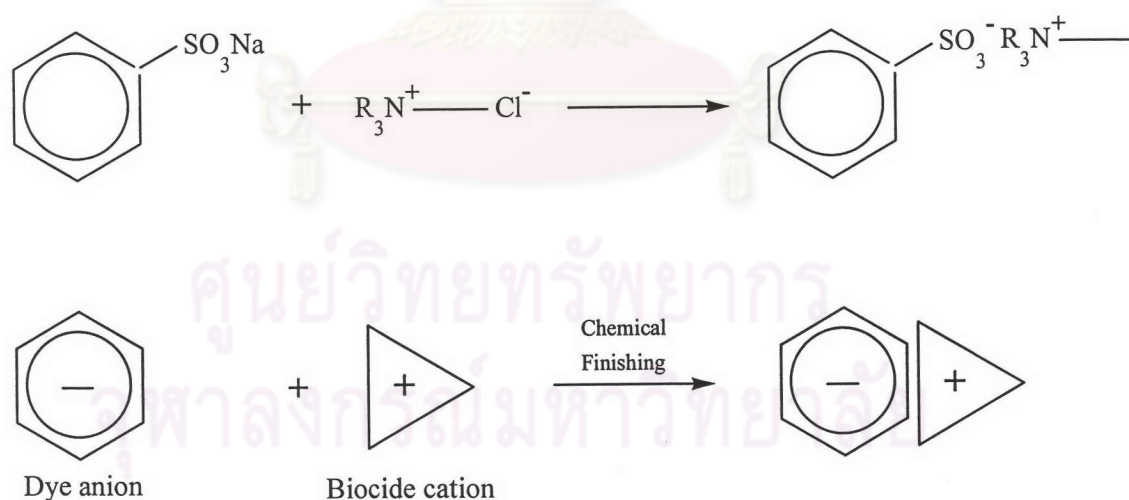
ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ชุดทหารที่ใช้ในการรบก็มีการตกแต่งด้วยสารประกอบพวก quaternary ammonium salts ที่สามารถต้านเชื้อราและแบคทีเรีย เพื่อใช้ป้องกันบาดแผลที่เกิดจากการสู้รบของทหารไม่ให้เกิดการติดเชื้อมากขึ้นจากเชื้อโรคที่แฝงตัวอยู่ตามสภาพแวดล้อม

การเกิดเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์นั้น แม้ว่าเกิดได้ไม่ง่ายเหมือนเส้นใยธรรมชาติแต่โอกาสที่จะเกิดเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยสังเคราะห์ก็มีความเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะเส้นใยสังเคราะห์มีสมบัติในการดูดซึมความชื้นต่ำ ทำให้การระบายออกของเหงื่อไม่ดี จึงเกิดการสะสมของเหงื่ออยู่ตามช่องว่างของเส้นใยหรือตามรอยตะเข็บของเสื้อผ้า เป็นสาเหตุให้เกิดการหมักหมมของเชื้อราและแบคทีเรีย แล้วพัฒนาเป็นกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา เส้นใยสังเคราะห์หลายชนิด เช่น ไนลอน นิยมนำมาทำเต็นท์ ผ้าใบบังแดด ผ้าคลุมกะลาสี ผ้าใบชุบน้ำมันและพรม เป็นต้น โอกาสที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะสัมผัสกับเชื้อรา เช่น เชื้อราน้ำค้าง แบคทีเรีย หรือสิ่งเน่าเปื่อยที่มีอยู่ตามสภาพแวดล้อม ก็มีความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะเกิดการติดเชื้อราและแบคทีเรียขึ้น ทำให้การใช้งานของผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนเดิม เพราะฉะนั้น การตกแต่งสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียบนเส้นใยไนลอนหรือเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ จึงมีความสำคัญเช่นกัน

สารต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่ตกแต่งลงบนผ้ามีหน้าที่ในการควบคุมการกระจายของเชื้อโรค ลดอันตรายที่อาจเกิดจากการติดเชื้อ ควบคุมและระงับกลิ่นที่เกิดจากระบบการหายใจอีกด้วย

ป้องกันไม่ให้ผ้าถูกทำลายด้วยเชื้อรา น้ำค้าง สารประกอบพวก phenolic compounds, polyamines หรือ quaternary ammonium salts สามารถต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้ โดยที่สารเหล่านี้สามารถทำลายเซลล์ที่หุ้มอยู่บนเชื้อราและแบคทีเรียได้ ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ตายลง

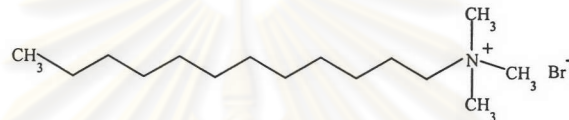
สารเคมีที่ใช้ตกแต่งลงบนผ้าแล้วทำให้ผ้ามีสมบัติต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้นั้นนอกจาก ไคโทซานซึ่งได้มีการศึกษาและค้นพบไม่นานมานี้ว่า สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้ดังกล่าวแล้ว ยังมีสาร quaternary ammonium salts ซึ่งเป็นสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งนักวิจัยในสหรัฐอเมริกา(17,18) ได้ใช้สารดังกล่าวตกแต่งลงบนผ้า ไนลอนที่ย้อมด้วยสีแอซิด โดยอาศัยสีแอซิดเป็นตัวเชื่อมสารดังกล่าวนี้ลงบนผ้าไนลอน เพื่อให้ผ้าไนลอนมีสมบัติต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้ ประเด็นในงานวิจัย คือ โมเลกุลของสีแอซิด อาจสามารถใช้เป็นตัวเชื่อมโยงกับโมเลกุลของ quaternary ammonium salts ทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้มีสมบัติต้านเชื้อราและแบคทีเรีย โดยให้เหตุผลว่า quaternary ammonium salts มีประจุบวกที่ไนโตรเจนอะตอมอาจสามารถเข้าทำปฏิกิริยาและสร้างพันธะอิออนิกกับสีแอซิดที่มีประจุลบได้ ทำให้มีความเป็นไปได้ที่ผ้าไนลอนที่ย้อมด้วยสีแอซิด และตกแต่งด้วยสาร quaternary ammonium salts สามารถแสดงสมบัติต้านต่อเชื้อราและแบคทีเรียได้ แนวความคิดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงของสีแอซิด และสาร quaternary ammonium salts ได้แสดงไว้ในรูปที่ 9



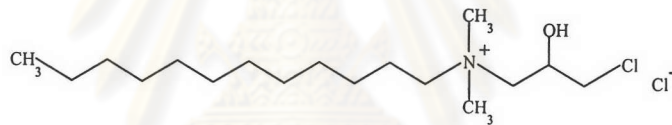
รูปที่ 9 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสีแอซิด และ quaternary ammonium salts

ในการทดลองจะนำผ้าไนลอนที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ผ้าทริคอตไนลอน 6 (Nylon 6 tricot) ผ้าแทฟฟิตา ไนลอน 6 (nylon 6 taffeta) และผ้าสปันไนลอน 6 (nylon 6 spun) มาย้อมด้วยสีแอซิด 4 ชนิดซึ่งมีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน และมีจำนวนหมู่ซัลโฟนิคในโครงสร้าง

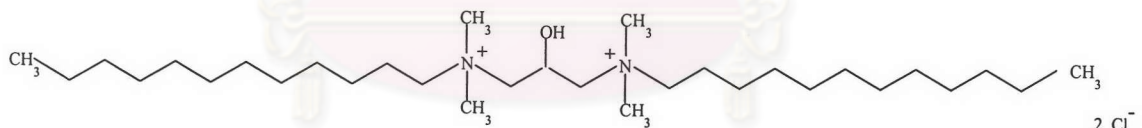
ที่ไม่เท่ากัน ด้วยความเข้มข้น 1% ตามน้ำหนักผ้า (o.w.f.) สีแฉิดซึ่งมีหมู่ซัลโฟนิค (SO_3^{2-}) ที่เป็นประจุลบสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสาร quaternary ammonium salts ได้ หลังจากนั้นนำผ้าไนลอนมาตกแต่งด้วยสาร quaternary ammonium salts ด้วยวิธี จุ่มน้ำยา-อบแห้ง-อบผนึก (pad-dry-cure method) สาร quaternary ammonium salts ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดด้วยกัน ซึ่งโครงสร้างของสาร quaternary ammonium salts ทั้ง 3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10 DTAB, โมโนเมอร์ (monomer) และไดเมอร์ (dimer) ซึ่งเป็นตัวอย่างของสาร quaternary ammonium salts ที่ใช้ในการทดลอง ผ้าที่ตกแต่งด้วยสาร quaternary ammonium salts แล้วจะมี % wet pick up เท่ากับ 60% สมบัติที่ทดสอบหลังจากตกแต่งผ้าไนลอนเรียบร้อยแล้ว คือ ปริมาณสารเคมีที่มีอยู่บนผ้าไนลอน (% add-on) และจำนวนแบคทีเรียที่ลดลง (% bacterial reduction)



Dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB)



N-(3-chloro-2-hydropropyl)-N,N-dimethyl-dodecylammonium chloride (Monomer)



1,3-Bis(N,N-dimethyl-dodecylammonium chloride)-2-propanol (Dimer)

รูปที่ 10 โครงสร้างของสาร quaternary ammonium salts

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีแฉิด และสาร quaternary ammonium salts จะเกิดขึ้นได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ เช่น ขนาดโมเลกุลและโครงสร้างของสาร quaternary ammonium salts ว่าสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสีแฉิดได้มากน้อยขนาดไหน โครงสร้างของสาร quaternary ammonium salts ถ้าใหญ่เกินไป ก็อาจทำให้เกิดการกีดขวางของโมเลกุล ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยากับสีแฉิดทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาของสีแฉิด และสาร quaternary ammonium salts จะเกิดขึ้นในบริเวณอสัณฐาน (amorphous region) เท่านั้น การทดลองในงานวิจัยนี้ ผ้าไนลอนจะย้อมด้วยสีแฉิดก่อนที่จะนำมาตกแต่งด้วยสาร quaternary ammonium

salts ถ้าสี่แอสิดที่ใช้ย้อมมีขนาดโมเลกุลใหญ่ บริเวณออสัญฐานจะถูกใช้ไปในปริมาณมากกว่าที่ใช้สี่แอสิดที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก เพราะฉะนั้นโอกาสของสาร quaternary ammonium salts ที่เข้าทำปฏิกิริยาในบริเวณดังกล่าวก็น้อยลง ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นมีผลต่อการเชื่อมโยงระหว่างสี่แอสิดและสาร quaternary ammonium salts และจะส่งผลถึงค่า % Add-on และประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราและแบคทีเรียของผ้าไนลอนได้เช่นเดียวกัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ผ้าไนลอนที่ย้อมด้วยสี่แอสิดโดยทั่วไปมีค่า % Add-on มากกว่าของผ้าไนลอนที่ไม่ได้ย้อมด้วยสี่แอสิด แสดงว่าสี่แอสิดเป็นตัวเชื่อมให้เกิดปฏิกิริยากับสาร quaternary ammonium salts บนผ้าไนลอนได้ดีกว่าผ้าไนลอนที่ไม่ได้ย้อมด้วยสี่แอสิด ผ้าไนลอนที่ย้อมสี่แอสิดแล้วตกแต่งด้วยสาร DTAB ให้ % add-on มากที่สุด ทั้งนี้เพราะขนาดโมเลกุลค่อนข้างเล็ก ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยาของสาร DTAB กับสี่แอสิดทำได้ง่ายและสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกว่าพันธะที่สร้างขึ้นของสาร monomer และของสาร dimer สาร monomer มีขนาดโมเลกุลใหญ่ทำให้เกิดการกีดขวางของขนาดโมเลกุล และส่งผลให้การเข้าทำปฏิกิริยากับสี่แอสิดไม่ดีเท่ากับสาร DTAB จึงมีผลทำให้ % add-on ที่ได้มีน้อยที่สุดในกลุ่มของสาร quaternary ammonium salts ที่ใช้ในการทดลอง ส่วนสาร dimer มีขนาดโมเลกุลใหญ่แต่มีหมู่ที่เป็นประจุบวกที่ใหญ่กว่าของสาร DTAB และของสาร Monomer ทำให้ % add-on ของผ้าไนลอนที่ตกแต่งด้วยสาร dimer อยู่ในอันดับ 2

สี่แอสิดบูล 113 มีขนาดโมเลกุลใหญ่เป็น 2 เท่าของสี่แอสิดเรด 88 ทำให้บริเวณออสัญฐานของผ้าไนลอนถูกครอบครองด้วยสี่แอสิดบูล 113 เป็นจำนวนมาก มีผลทำให้สาร Dimer ที่มีขนาดใหญ่เข้าไปในบริเวณออสัญฐานได้น้อย และค่อนข้างยาก มีผลทำให้ % add-on ที่ได้มีค่าน้อยกว่า % add-on ของผ้าไนลอนที่ไม่ได้ย้อม ชนิดของสี่แอสิดที่ต่างกันและมีหมู่ซัลโฟนิคที่ไม่เท่ากัน ไม่มีผลทำให้ % add-on และ bacterial reduction ที่ได้แตกต่างกันมากนัก

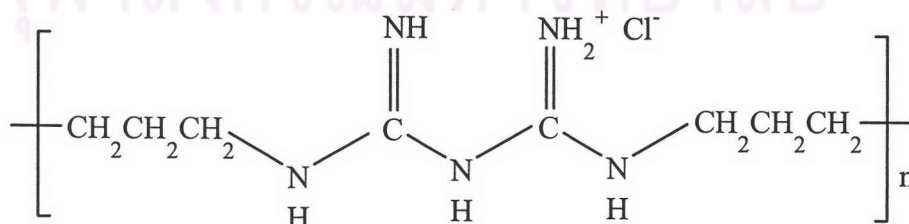
ผ้าไนลอนที่ย้อมด้วยสี่แอสิด หลังจากผ้าไนลอนผ่านการซักสามารถต้านต่อเชื้อราและแบคทีเรียได้ดีกว่าผ้าไนลอนที่ไม่ได้ย้อม แสดงว่า สี่แอสิดสามารถยึดติดกับสาร monomer ได้ดีกว่า ทำให้ปริมาณของสาร monomer ไม่หลุดออกไปมากเหมือนกับผ้าไนลอนที่ไม่ได้ย้อมด้วยสี่แอสิด ถึงแม้ความสามารถในการฆ่าแบคทีเรียของผ้าไนลอนที่ย้อมด้วยสี่แอสิดลดน้อยลงหลังผ้าไนลอนผ่านการซัก 8 ครั้ง แต่ก็ยังเพียงพอที่จะฆ่า E.coli ได้มากกว่า 90%

โครงสร้างของผ้าไนลอน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการต้านเชื้อราและแบคทีเรียของผ้าไนลอน โครงสร้างผ้ามีผลต่อ % add-on และ bacterial reduction ของผ้าทริคอตไนลอน 6 มีโครงสร้างของผ้าที่เปิด ทำให้ปริมาณการแทรกซึมของสี่แอสิด และสาร monomer เข้าไปในโครงสร้างผ้าทริคอตไนลอน 6 ได้มากกว่าผ้าชนิดอื่นๆ อีกทั้งโครงสร้างของไนลอน 6 มีอัตราส่วน

บริเวณอ้วนฐานมากกว่าบริเวณผลึก ทำให้ผ้าทริคอตไนลอน 6 มีค่า % add-on มากที่สุด ทั้งผ้าที่ย้อมและไม่ได้ย้อมด้วยสีแอซิด โครงสร้างผ้าที่เป็ด เช่น ผ้าถัก มีโอกาสที่สาร monomer จะหลุดออกไปได้หลังผ้าไนลอนผ่านการซักหลายๆ ครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพการต้านเชื้อราและแบคทีเรียของผ้าไนลอนลดลง ส่วนผ้าสับไนลอน 6 มีพื้นที่ผิวมากกว่าของผ้าเทพีตาไนลอน 6 ส่งผลให้ผ้าสับไนลอน 6 มี % add-on ที่รองลงมา และประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ E.coli ของผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ย้อมด้วยสีแอซิด หลังผ้าไนลอนผ่านการซัก 10 ครั้ง ยังมีประสิทธิภาพดี คือ สามารถฆ่าเชื้อ E.coli ได้มากกว่า 90%

โดยสรุป ชนิดและโครงสร้างของผ้าไนลอน โครงสร้างและขนาดโมเลกุลของสีแอซิด และของสาร quaternary ammonium salts อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งอบผนึก เป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมโยงของสีแอซิด และสาร quaternary ammonium salts บนผ้าไนลอน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผ้าไนลอนมีสมบัติต้านเชื้อรา และแบคทีเรียสมบัตินี้สามารถดูได้จากค่า % add-on และ bacterial reduction ถ้าค่า % add-on มาก ก็มีโอกาสด้านเชื้อราและแบคทีเรียได้มาก แต่ต้องสังเกตว่าการเชื่อมโยงของสีแอซิด และสาร quaternary ammonium salts จะทนต่อการซักล้างมากน้อยขนาดไหน ถ้าสามารถทนต่อการซักล้างได้ดี ก็จะสามารถรักษาสมบัติการต้านเชื้อราและแบคทีเรียบนผ้าไนลอนได้นานขึ้น

นอกจากนี้ ยังมีสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ขายอยู่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีชื่อทางการค้าว่า Reputex TM20 หรือที่เรียกว่า polyhexamethylenebiguanide hydrochloride (PHMB) สามารถใช้เป็นสารต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้สำหรับผ้าฝ้าย หรือผ้าฝ้ายผสม วิธีที่จะตกแต่งสารตัวนี้กับผ้าก็สามารถใช้ได้ทั้งวิธีจุ่มอัด (padding) หรือวิธีดูดซับ (exhaustion) ซึ่งสูตรโครงสร้างของ PHMB ได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 สาร PHMB นอกจากจะใช้เป็นสารตกแต่งกันเชื้อราและแบคทีเรียให้กับผ้าฝ้ายแล้ว ยังสามารถใช้งานในด้านอื่นได้อีก เช่น ใช้ในเครื่องสำอาง ใช้ในสระว่ายน้ำ ใช้ในอาหารและใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์



ค่าเฉลี่ย $n = 12, 16$

รูปที่ 11 โครงสร้างของ PHMB

สมบัติที่สำคัญของสาร PHMB คือ สารตัวนี้สามารถยับยั้งเชื้อได้หลากหลายทั้งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นแกรมบวก (gram positive) และแกรมลบ (gram negative) เชื้อรา และยีสต์ มีความปลอดภัยในการใช้งานง่ายไม่มี โลหะหนักเป็นส่วนประกอบ ไม่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และมีความเป็นพิษต่ำ การใช้งานทำได้ง่าย เนื่องจากสาร PHMB มีประจุที่เป็นบวก ทำให้สารนี้เข้ายึดกับผ้าฝ้ายได้ดี เพราะพื้นผิวบนผ้าฝ้ายจะเป็นประจุลบ ทำให้ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุณหภูมิในการอบผนึกเพื่อทำให้เกิดพันธะ ปริมาณการใช้สาร PHMB ประมาณ 1-2% ตามน้ำหนักผ้า ซึ่งสาร PHMB ที่ขายในทางการค้าจะเป็นสารละลาย 20% ของสาร PHMB เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ตกแต่งสำเร็จทางสิ่งทอมีหลากหลายชนิด เพราะฉะนั้นการใช้ PHMB ร่วมกับสารตกแต่งสำเร็จตัวอื่นๆ สามารถทำได้หรือไม่จะต้องทำการศึกษากันต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย