Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol. 9, No. 2 pp.12-19, 2000.

Fibrillation Behaviour of Lyocell

Siriluk JIARAKORN[1], and Werasak UDOMKICHDECHA[2]

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

[2]Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University

Abstract

Fibrillation of lyocell fiber is playing an important role on the application in apparel end uses. Investigations to explore fibrillation behaviour have been carried out intensively. The results were reviewed including the factors affecting this behaviour such as fiber processing parameters, finishing process and fiber structure. The standard fibrillation testing methods and fibrillation controls during finishing process were presented.

Key words : fibrillation, lyocell, fibrillation index

ไฟบริลเลชันในเส้นใยไลโอเซล

สิริลักษณ์ เจียรากร[1], และวีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา[2]

[1]ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

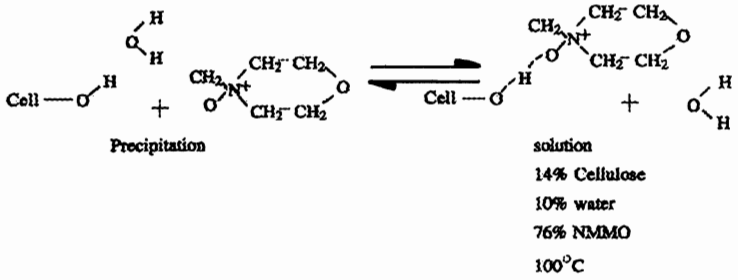
[2]สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

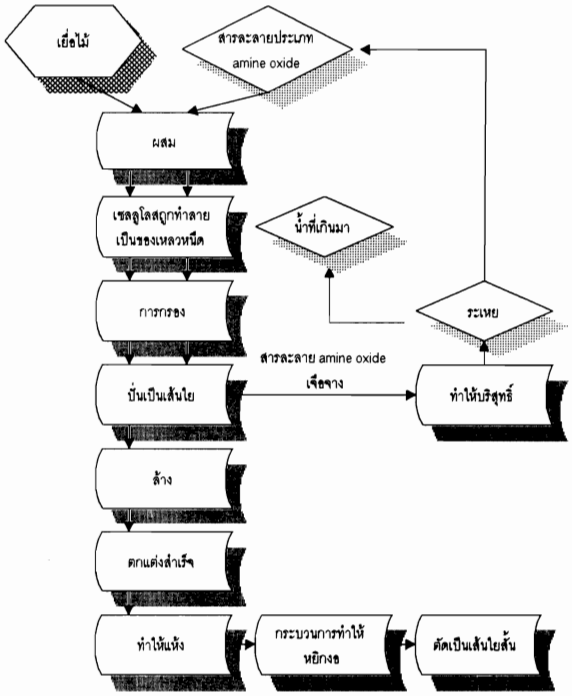
ปัจจุบันไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซลมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่มมากขึ้น ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซลในวารสารงานวิจัยมากมาย บทความฉบับนี้จึงได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล อาทิเช่น พฤติกรรมการเกิดไฟบริลเลชัน สาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฟบริลเลชันในเส้นใยไลโอเซล นอกจากนี้ยังได้รวบรวมวิธีการในการวัดระดับการเกิดไฟบริลเลชันและการควบคุมไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล

คำนำ

เส้นใยไลโอเซล (Lyocell fiber) เป็นเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ที่ได้จากกระบวนการปั่นในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent spinning) โดยการละลายเยื่อ-เซลลูโลสในสารละลาย N-methyl-morpholine-N-oxide (NMMO) เข้มข้น แล้วจึงอัดรีดผ่านสปินเนอเรตลงสู่สารละลาย NMMO เจือจางในอ่างตกตะกอน ภายในอ่างตะกอนสารละลายเซลลูโลสจะถูกเปลี่ยนเป็นเส้นใยดังรูปที่ 2 การแข็งตัวของเส้นใยเกิดจากการแทนที่ของ NMMO ซึ่งเป็นตัวทำละลายกับน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสภายในเส้นใยจาก binodal phase ไปเป็น spinodal phase เป็นผลให้เซลลูโลสตกตะกอนดังรูปที่ 1



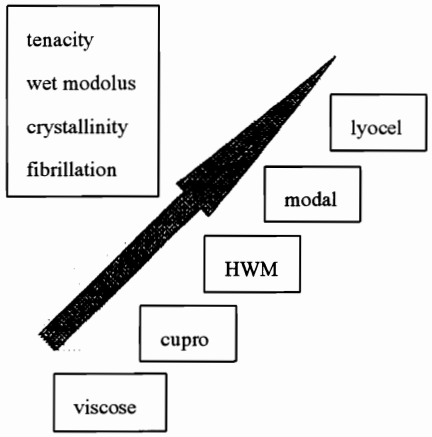
รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการตกตะกอนของเซลลูโลส (Schulz, 1996)



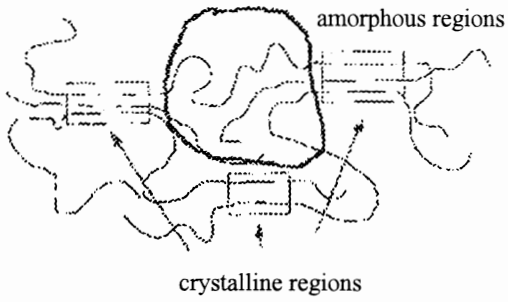
รูปที่ 2 กระบวนการผลิตเส้นใยไลโอเซล (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 1999)

ไลโอเซลเป็นเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ที่ได้รับการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นระบบปิดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยสามารถนำตัวทำละลาย NMMO ที่ใช้ในกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ได้เกือบ 100% นอกจากนี้เส้นใยไลโอเซลมีความแข็งแรงทั้งในขณะเปียกและขณะแห้งสูง มีอัตราการหดตัวต่ำ มีการบวมตัวในน้ำสูงจึงดูดซึมสีย้อมและสารเคมีได้ดี และมีแนวโน้มการเกิดไฟบริล-เลชัน (fibrillation) สูงเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ ดังตารางที่ 3

ไฟบริลเลชันเป็นสมบัติหนึ่งที่ทำให้ไลโอเซลมีความพิเศษแตกต่างจากเส้นใยชนิดอื่น เป็นผลเนื่องมาจากโมเลกุลของเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีความเป็นผลึกสูง ทำให้เส้นใยไลโอเซลมีความแข็งแรงมากในทิศทางเส้นใย ดังรูปที่ 4 และ 5 แต่อย่างไรก็ตามความเป็นผลึกสูงและการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบตามความยาวของเส้นใย กลับส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในแนวด้านข้าง (lateral strength) มีความแข็งแรงต่ำ เมื่อเส้นใยได้รับการขัดถูในภาวะเปียก บริเวณผิวภายนอกของเส้นใยจะเกิดการบวมตัว ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างส่วนที่เป็นผลึกในแนวด้านข้างแตกออก เกิดไฟบริลเลชันรอบแกนเส้นใย ดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นผลึกกับไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล (Schulz, 1996)



รูปที่ 5 การจัดเรียงผลึกในเส้นใย (Schulz, 1996)

ตารางที่ 3 สมบัติของเส้นใยไลโอเซลเปรียบเทียบกับเส้นใยอื่น (Schulz, 1996)

สมบัติของเส้นใย	cupro	viscose	modal	lyocell	cotton
Dry tenacity (cN/tex)	22	26	35	45	34
Wet tenacity (cN/tex)	14	14	20	39	41
Elongation, dry (%)	18	17	14	12	8
Loop strength	18	7	8	19	21
Wet modulus	50	50	180	270	100
Fiber count (dtex)	1.3	1-5.6	1.1-4.2	1.7	-
ราคา (เหรียญสหรัฐ)	-	2	3	8	1.5

ปริมาณขนที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีและเกิดปัญหาในระหว่างการย้อมและการตกแต่งสำเร็จ อย่างไรก็ตามหากสามารถควบคุมไฟบริล-เลชันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านผิวสัมผัสของผ้าให้มีความนุ่มและมีลักษณะคล้ายผิวของลูกท้อ (peach skin) ทำให้ผ้ามีลักษณะเด่นแตกต่างจากผ้าชนิดอื่น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล

1. ปัจจัยในระหว่างกระบวนการผลิต

- ความเข้มข้นของเซลลูโลส
- ความเข้มข้นของสารละลาย NMMO
- ภาวะการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น
- ความเร็วในการผลิต (line speed)
- อัตราการยืดดึง (draw ratio)

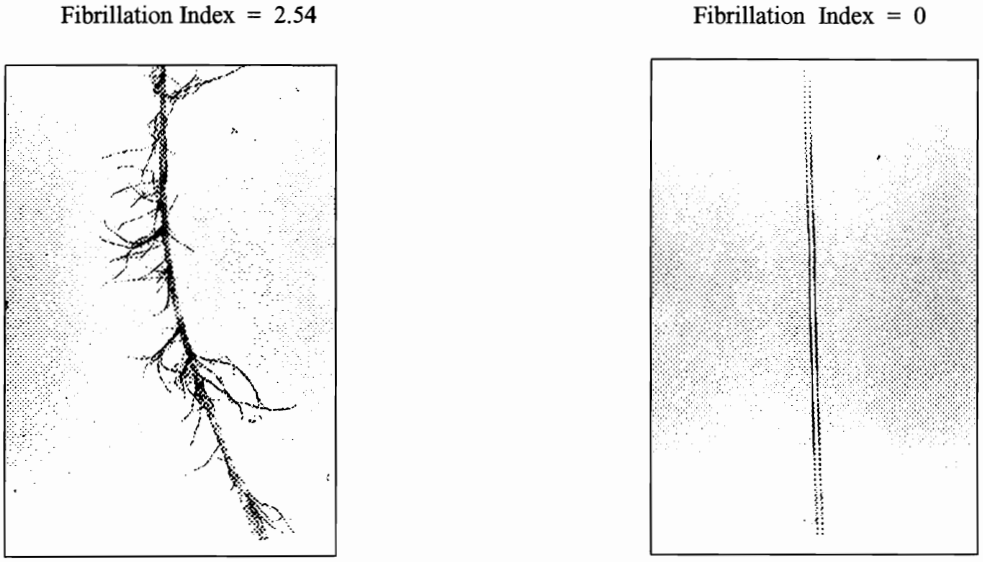
2. ปัจจัยในระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จ

- อุณหภูมิ
- เวลา
- ความเป็นกรดด่าง
- แรงกระทำเชิงกล

3. ปัจจัยทางกายภาพของเส้นใย

- การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของเซลลูโลส (molecular orientation)
- ความเป็นผลึก (crystallinity)
- ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization)

จากการศึกษาพบว่าไฟบริลเลชันของเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ มีความสัมพันธ์กับการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสในเส้นใยโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสมีความแข็งเกร็งสูง เนื่องจากเกิดความเครียดภายในโมเลกุลที่เป็นวง (cyclic strain) ภายหลังการอัดรีดเส้นใยจะมีการจัดเรียงของโมเลกุลเซลลูโลสในทิศทางของเส้นใยสูงในบริเวณที่เป็นผลึกจะพบว่าโมเลกุลของเซลลูโลสจะเรียงตัวชิดกันมากและยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เส้นใยจึงสามารถทนต่อแรงดึงในแนวทิศทางของเส้นใยได้เป็นอย่างดี แต่ขณะเดียวกันกลับพบว่าความแข็งแรงในแนวด้านข้างของเส้นใยต่ำลง เมื่อเส้นใยได้รับแรงกระทำเชิงกลในภาวะเปียกเส้นใยจะเกิดการบวมตัว (swell) ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างโมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึกแตกออก โมเลกุลของเซลลูโลสซึ่งมีความแข็งเกร็งสูงจึงพยายามคลายความเค้นที่ได้รับในกระบวนการอัดรีดลงโดยการคลายตัวออกเกิดไฟบริลเลชันขึ้น



รูปที่ 6 การเกิดไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล (สิริลักษณ์ เจียรากร, 2000)

การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสสามารถหาได้ในเทอมของการหักเหสองแนว (birefringence) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างดัชนีหักเหในทิศทางของเส้นใยกับดัชนีหักเหในทิศทางตั้งฉากกับเส้นใย ดังนั้นค่าการหักเหสองแนวจึงมีความสัมพันธ์กับการเกิดไฟบริลเลชันของเส้นใย เส้นใยที่มีค่าการหักเหสองแนวมากแสดงว่าโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวในแนวทิศทางของเส้นใยมากกว่าทิศทางตั้งฉากกับเส้นใย จึงมีโอกาสเกิดไฟบริลเลชันได้มาก

นอกจากไฟบริลเลชันจะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสแล้ว ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์แต่ละชนิดเกิดไฟบริลเลชันได้มากน้อยแตกต่างกัน เส้นใยเรยอนเป็นเส้นใยที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (alkalizing) โมเลกุลของเซลลูโลสภายหลังการหมักมีขนาดสั้นลง การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบน้อยลง เส้นใยจึงมีความเป็นผลึกต่ำขณะที่ส่วนของอสัณฐาน (amorphous) เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับการขัดถูขณะเปียกพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกจะแตกออก แต่พันธะระหว่างโมเลกุลในส่วนที่เป็น อสัณฐานจะช่วยยึดโมเลกุลของเซลลูโลสไว้ ทำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชันน้อยลง ขณะที่เส้นใยไลโอเซลเป็นเส้นใยที่มีระดับการเกิดพอลิเมอร์สูงเนื่องจากในกระบวนการผลิตไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก โครงสร้างของเส้นใยจึงมีความเป็นผลึกสูงโอกาสที่พันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกจะถูกทำลายเมื่อได้รับแรงเชิงกลขณะเปียกมีมากกว่าเส้นใยเรยอน เส้นใยไลโอเซลจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดไฟบริลเลชันได้มาก

การวัดระดับการเกิดไฟบริลเลชันของเส้นใยไลโอเซล

เนื่องจากไฟบริลเลชันเป็นสมบัติที่สำคัญของเส้นใยไลโอเซล จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานในการวัดปริมาณขนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระดับการเกิดขน โดยแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นที่หนึ่ง การทำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชัน

ขั้นที่สอง การคำนวณค่าระดับการเกิดไฟบริลเลชัน

การทำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชัน

วิธีทำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชัน มีหลายวิธี เช่น

1. Sonication เป็นกระบวนการให้พลังงานเสียงความถี่สูงในการเร่งการเกิดขนของเส้นใย โดยการนำเส้นใยยาว 20 มิลลิเมตร จำนวน 10 เส้น จุ่มลงในหลอดแก้วภายในบรรจุน้ำกลั่นแล้วนำไปวางในอ่างน้ำแข็ง จุ่มแหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกลงในหลอดแก้วเป็นเวลา 15 นาที ดังรูปที่ 7 หลังจากนั้นจึงนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อคำนวณดัชนีไฟบริลเลชัน

2. Shaking Test เป็นกระบวนการทำให้เกิดไฟบริลเลชันด้วยแรงเขย่า โดยนำเส้นใยยาว 20 มิลลิเมตร จำนวน 8 เส้น ใส่ลงในขวดขนาด 20 มิลลิลิตร ภายในบรรจุน้ำกลั่น นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วระดับ 12 เป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อคำนวณดัชนีไฟบริลเลชัน

3. Abrasion Test เป็นกระบวนการทำให้เส้นใยเกิดการเสียดสีกับลูกรอก โดยการขึงเส้นใยบนลูกรอกให้ตึงทำมุม 50 องศา และถ่วงน้ำหนักที่ปลายข้างหนึ่งของเส้นใยด้วยลูกตุ้มหนัก 70 มิลลิกรัม เปิดเครื่องให้ลูกรอกหมุนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที นับจำนวนรอบการขัดถูจนเส้นใยขาดแล้วจึงคำนวณค่าการขัดถู (Abrasion Value)

การคำนวณค่าระดับการเกิดไฟบริลเลชัน

ดัชนีที่นิยมใช้วัดระดับการเกิดไฟบริลเลชันมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

1. ค่าการขัดถู (Abrasion Value) เป็นค่าที่คำนวณได้จากจำนวนรอบการขัดถูจนเส้นใยขาดต่อความละเอียดของเส้นใย ค่าการขัดถูน้อยแสดงว่าเส้นใยมีแนวโน้มเกิดไฟบริลเลชันได้มาก

Abrasion Value = จำนวนรอบ / dtex

2. ค่าดัชนีไฟบริลเลชัน (Fibrillation Index) ได้จากผลรวมความยาวขนต่อหน่วยความยาวของเส้นใย หรือในบางกรณีอาจบอกระดับการเกิดขนโดยการเปรียบเทียบค่าดัชนีไฟบริลเลชันของเส้นใยตัวอย่างกับเส้นใยมาตรฐาน ซึ่งได้ถูกกำหนดให้มีระดับการเกิดขนน้อยที่สุดจนถึงมากที่สุด

10 ระดับ ดัชนีการเกิดขนมากแสดงว่าเส้นใยมีแนวโน้มการเกิดไฟบริลเลชันมาก

Fibrillation Index = $\Sigma l / L$

L : ความยาวของเส้นใย

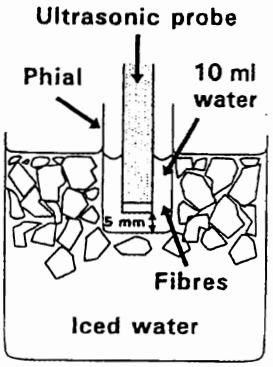
Σl : ผลรวมความยาวของขน

การควบคุมการเกิดไฟบริลเลชันของไลโอเซล

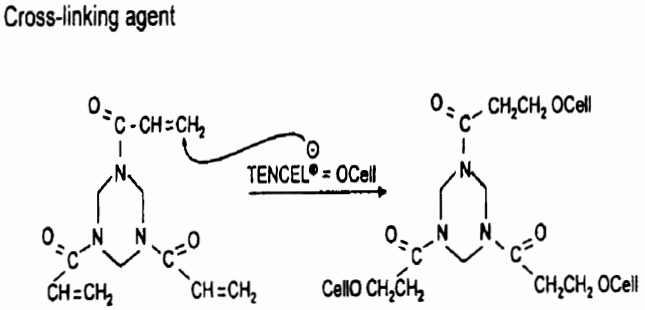
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าไฟบริลเลชันเป็นสมบัติเด่นของไลโอเซล จึงจำเป็นต้องลดหรือควบคุมไฟบริลเลชันอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีแต่ละวิธีจึงต้องเลือกให้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการตกแต่งสำเร็จอื่นๆ

1. การตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมโยง (Crosslinking Agent)

สารที่ใช้เป็นสารเชื่อมโยงมีโครงสร้างคล้ายกับสีรีแอคทีฟ แต่ไม่มีส่วนที่ทำให้เกิดสี (chromophore) และมีตำแหน่งว่องไวต่อปฏิกิริยาอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ส่วนวิธีการในการเคลือบสารเคมีบนเส้นใยอาจใช้วิธี Pad-Dry Cure หรือวิธีการในการย้อมแบบ Exhaustion ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีและกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 8 และ 9 การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในแนวด้านข้างจะช่วยลดการบวมตัวของเส้นใย เมื่อได้รับแรงกระทำเชิงกลในภาวะเปียก



รูปที่ 7 วิธี Sonication เพื่อเร่งการเกิดขนของเส้นใย (Mortimer and Peguy, 1996)



รูปที่ 8 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสารเชื่อมโยงบนไลโอเซล (Eynon,1998)

2. การใช้เอนไซม์ (Enzyme Treatment)

เป็นวิธีการควบคุมให้เส้นใยให้เกิดไฟบริลเลชันในระดับที่เหมาะสมนิยมใช้กับผ้าผืน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

2.1 Primary Fibrillation เป็นขั้นตอนการเหนี่ยวนำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชันโดยการให้แรงกระทำเชิงกลแก่เส้นใย

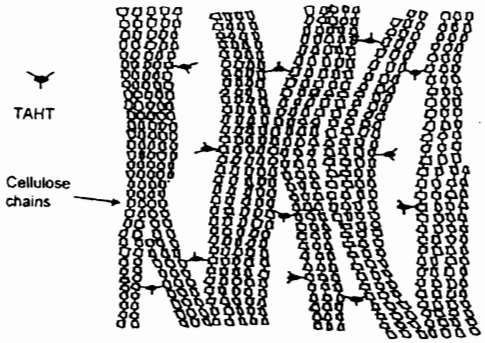
2.2 Cellulose Enzyme Treatment เป็นขั้นตอนการกำจัดขนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งจะไฮโดรไลซ์โมเลกุลของเซลลูโลสในส่วนที่เป็นขนให้หลุดออกไปจากเส้นใยโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.1 Endocellulase Endoglucanase (EG) เข้าทำลายส่วนที่เป็นอสัณฐานของโมเลกุล ทำลายพันธะ 1 และ 4 ของโมเลกุลเซลลูโลส เกิดปลายโซ่โมเลกุล ณ จุดขาด

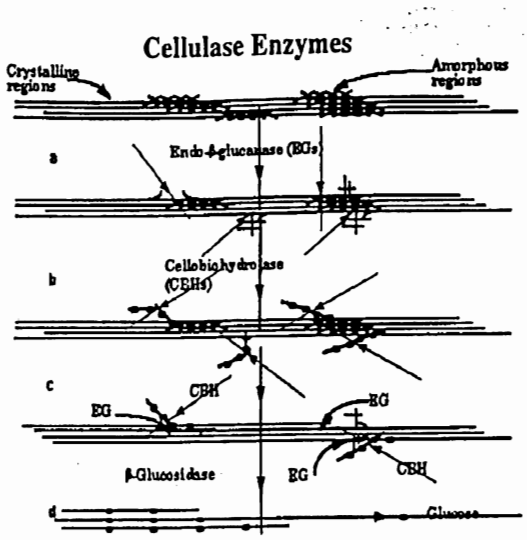
2.2.2 Exocellulase Cellobiohydrolase (CBH) เข้าทำลายบริเวณปลายโซ่โมเลกุลให้หลุดออกเป็นเซลโล-ไบโอส (cellobiose)

2.2.3 β-glucosidase เข้าไฮโดรไลซ์โอลิโกเมอร์ให้เป็นกลูโคสในที่สุด ดังรูปที่ 10

2.3 Secondary Fibrillation เป็นขั้นตอนการเหนี่ยวนำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชันอีกครั้งขนที่เกิดภายหลังการใช้เอนไซม์จะมีขนาดสั้นสม่ำเสมอและมีผิวสัมผัสดีขึ้น



รูปที่ 9 การเชื่อมโยงของ Trisacryloylhexahydrotriazine บนไลโอเซล (Eynon, 1998)



รูปที่ 10 ขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จด้วยเอนไซม์ (Kumar and Harnden, 1999)

3. การเคลือบด้วยเรซิน (Resination)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กับผ้า โดยการเคลือบเรซินลงบนผ้าเพื่อลดการขัดสีในระหว่างกระบวนการผลิต

4. การเผาขน (Singeing)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กับผ้าทำให้ไมโครไฟบริลที่ผิวผ้าหลุดออกไป โดยการผ่านผ้าเข้าไปในเปลวไฟอย่างรวดเร็ว

นอกจากวิธีการดังกล่าวข้างต้นแล้วปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหลายรายได้กำลังมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้เส้นใยไลโอเซลที่มีสมบัติปลอดการเกิดขน (non-fibrillation) ดังเช่น Tencel A100 ของบริษัท Courtauld Fibers ซึ่งได้ผ่านการเชื่อมโยงด้วยสารเคมีในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้เส้นใยเกิดไฟบริลเลชันได้น้อยลง จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาเมื่อผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จขั้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Anonymous 1998. New World of Cellulosic Fibers. *JTN Monthly* **522 (5)** : 31-45.

Eynon, Tim 1998. Fibrillation-Free Lyocell Fibers an Introduction to "Tencel A100". *Japan Textile News*. **529 (12)** : 70-75.

Harnden, Alix 1996. *An Introduction to tencel processing*. Coventry, Courtaulds Fibres : 1-8.

Kumar, Akhil and Purtell, Charles 1994. Enzymatic Treatment of Man-Made Cellulosic Fabrics. *Textile Chemist and Colorist* . **10** : 25-28.

Kumar, Akhil and Harnden, Alix 1999. Cellulose Enzymes in Wet Processing of Lyocell and its Blends. *Textile Chemist and Colorist* . **15 (9)**. : 37-41.

Lenzing, A.G. 1997. Fiber : Lenzing Lyocell. *TTIS Textile Digest* . **5 (52)** : 12-13.

Mortimer, S.A., and Peguy, A.A. 1996. Method for Reducing the Tendency of Lyocell Fibers to Fibrillate. *Journal of Applied Polymer Science.* **60** : 305-316.

Schulz, G. 1996. The cellulose family with its junior Lyocell. *Fachhochschule fur Technik und Wirtschaft Reutlingen.* **(9)** : 1-20.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา 2542. ไลโอเซลล์ Lyocell. *วิทยาศาสตร์เส้นใย.* กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 158-164.

(Revised version accepted April 4, 2000)