การศึกษาการผลิตเยื่อกลเชิงเคมีจากไม้ตีนเป็ด

Study of Chemithermomechanical Pulping (CTMP) from

***Alstonia scholaris* (L) R. Br.**

คำนำ

การใช้ประโยชน์จากไม้ใบแคบ (softwood) ในโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษมีข้อจำกัดมากขึ้น ส่งผลให้ไม้ใบกว้าง (hardwood) ได้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษแทน โดยเฉพาะกับประเทศที่มีไม้ใบแคบจำกัดแต่มีไม้ใบกว้างเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปในไม้ใบกว้างจะมีเส้นใย (fibers) สั้นและบางกว่าไม้ใบแคบ ซึ่งอาจจะให้คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของเส้นใยไม่เท่าไม้ใบแคบ แต่สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายชนิดในการผลิตกระดาษเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยในไม้ใบแคบ

การใช้ประโยชน์ไม้ใบแคบที่มีมากได้แก่การนำมาผลิตเป็นเยื่อเชิงกลเนื่องจากเป็นเยื่อที่จะสามารถให้สมบัติด้านความแข็งแรงเป็นที่ยอมรับได้เมื่อนำมาผลิตด้วยวิธีนี้ แต่จากการจำกัดเรื่องวัตถุดิบดังกล่าวจึงทำให้มีการพิจารณาการผลิตเยื่อโดยวิธีนี้กับไม้ใบกว้างด้วย

กระบวนการผลิตเยื่อกล (mechanical pulping) เป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่ให้ผลผลิตเยื่อสูงมากกว่า 85% เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping) ที่ให้ผลผลิตเยื่อประมาณ 50% และยังพบว่าการผลิตเยื่อกลมีต้นทุนในการติดตั้งต่ำกว่า ซึ่งสำคัญต่อการลงทุนในประเทศที่กำลังพัฒนา วิธีการแยกเยื่อในวิธีกลที่นิยมมากในไม้ใบกว้างได้แก่ การผลิตเยื่อกลเชิงเคมี (chemithermomechanical pulping, CTMP) โดยวิธีนี้จะมีการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับ (chip pretreatment) ด้วยสารเคมีก่อนที่จะนำไปบดด้วยเครื่องบด กรรมวิธีนี้เป็นที่นิยมเพราะให้ผลผลิตเยื่อสูง และจากการใช้สารเคมีในการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับก่อนที่จะนำไปบดด้วยเครื่องบดสามารถทำให้ลดพลังงานในการบดลง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตลดลงได้ด้วย และยังสามารถช่วยให้สมบัติทางด้านความแข็งแรงของพันธะเส้นใยของเยื่อที่ได้ดียิ่งขึ้น

ไม้ตีนเป็ด (*Alstonia scholaris* (L) R. Br.) เป็นไม้ที่โตเร็วชนิดหนึ่งที่ปัจจุบันกรมป่าไม้ได้มีการส่งเสริมให้ปลูกเป็นสวนป่ามากยิ่งขึ้น และยังเป็นไม้ภายในประเทศไทยเองด้วย ลักษณะของเนื้อไม้ที่มีสีขาวอมเหลือง มีความหนาแน่นไม่มาก เหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกลเชิงเคมี

ดังนั้นในการทำการศึกษาครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นการผลิตเยื่อ CTMP ฟอกจากไม้ตีนเป็ด โดยจะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของเยื่อที่ผลิต เช่น อายุของไม้ ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการปฏิบัติเบื้องต้น เป็นต้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเคมีที่ใช้ในการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับต่อสมบัติเยื่อ CTMP จากไม้ตีนเป็ด
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุไม้ต่อสมบัติเยื่อ CTMP จากไม้ตีนเป็ด
3. เพื่อศึกษาสมบัติเยื่อ CTMP ฟอกจากไม้ตีนเป็ด

ตรวจเอกสาร

วัตถุดิบที่ให้เส้นใย

เส้นใย (fibers) ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษหมายถึง เซลล์ผนังหนาที่มีความยาวหรือความชะลูดมากและปลายทั้งสองข้างของเซลล์สอบปิดเข้าหากัน ซึ่งเซลล์ดังกล่าวเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างต่างๆ ในพืชยืนต้นชั้นสูง เช่น ลำต้น ใบ และผล เป็นต้น ดังนั้นเส้นใยจึงมักได้จากกระบวนการผลิตเยื่อ (pulping) ที่ทำให้เซลล์ต่างๆ รวมทั้งเซลล์ที่ให้เส้นใยในโครงสร้างดังกล่าวแยกเป็นอิสระออกจากกัน เรียกว่า เยื่อ (pulp) แล้วนำไปคัดกรอง (screening) เพื่อแยกเอาเฉพาะเส้นใย และนำไปใช้ในการผลิตกระดาษ (สมหวัง, 2548ก)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเส้นใยที่ได้จากส่วนของลำต้นของพืชยืนต้นชั้นสูงที่เป็นเนื้อไม้ เรียกว่า wood fibers ได้แก่เส้นใยที่ได้จากเซลล์เส้นใยของเนื้อไม้ในลำต้นของไม้ใบกว้าง (hardwoods หรือ broadleaf trees หรือ gymnosperms) และเส้นใยที่ได้จากเซลล์เทรคีดของเนื้อไม้ในลำต้นของไม้ใบแคบ (softwoods หรือ conifers หรือ angiosperms) โดยทั่วไปความยาวเฉลี่ยของเส้นใยที่ได้จากไม้ใบกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร ส่วนเส้นใยที่ได้จากไม้ใบแคบจะยาวกว่าคือประมาณ 3 มิลลิเมตร (สมหวัง, 2548ข)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้ตีนเป็ด

ไม้ตีนเป็ดมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Alstonia scholaris* (L) R.Br. จัดอยู่ในวงศ์ Apocymaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่สูงถึง 35-40 เมตร เมื่ออายุน้อยจะมีเรือนยอดเป็นรูปเจดีย์ และเรือนยอดค่อนข้างแบนเมื่อต้นมีขนาดใหญ่ โคนต้นมักเป็นพูพอน ลำต้นเป็นร่องตามยาว เปลือกสีเทาหรือสีเทาอมเหลือง หรือสีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง ค่อนข้างหนาแต่เปราะ เรียบหรือแตกเป็นร่อง เปลือกชั้นในมีสีน้ำตาล มีน้ำยางสีขาวไหลมาก ใบเดี่ยวเรียงเป็นวงรอบกิ่ง วงละ 5-8 ใบ แผ่นใบรูปรีแกมรูปขอบขนานถึงรูปหอกแกมรูปขอบขนาน หรือรูปกลมแกมรูปบรรทัด ปลายใบมักแหลมเป็นติ่งเล็กน้อย โคนใบสอบเข้าหากัน ขอบใบเรียบผิวเกลี้ยงทั้งสองด้าน ด้านบนมีสีเขียวเข้ม ด้านล่างสีขาวนวล ก้านใบยาว 1.5-3 เซนติเมตร เส้นแขนงใบมาก ทำมุมฉากกับเส้นกลางใบและขอบใบ ดอกขนาดเล็กสีขาวอมเขียว ออกดอกเป็นช่อตามปลายกิ่ง ปากท่อของกลีบดอกมีขนยาวปุกปุย ผลเป็นฝักกลมยาวเรียว ผิวเกลี้ยงและห้อยลงสู่พื้นดิน ฝักออกเป็นคู่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5

เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร โดยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะมีฝักประมาณ 260 ฝัก เมล็ดภายในฝักมีรูปทรงบรรทัดแคบๆ ยาวประมาณ 7 มิลลิเมตร มีขนยาวอ่อนนุ่มปุกปุยติดอยู่เป็นกระจุกที่ปลายทั้งสองข้าง เมื่อฝักแก่จะแตกออกเมล็ดซึ่งมีขนจะปลิวกระจายไปตามลม ดอกจะเริ่มบานประมาณเดือนตุลาคม-ธันวาคม และจะเริ่มติดฝักประมาณเดือนมกราคม (กรมป่าไม้, 2542)

แหล่งที่พบในประเทศไทย: ภาคเหนือ-แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย แพร่ พิษณุโลก; ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ-เลย อุดรธานี สกลนคร ขอนแก่น; ภาคตะวันออก-นครราชสีมา; ภาคกลาง-ลพบุรี สระบุรี กรุงเทพฯ; ภาคตะวันออกเฉียงใต้-ชลบุรี จันทบุรี ตราด; ภาคใต้-นครศรีธรรมราช ตรัง สตูล ยะลา

มักพบขึ้นในป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ ป่าพรุ มีชื่อเรียกแตกต่างกันในประเทศไทย เช่น ชบา พญาสัตบรรณ ตีนเป็ด ตีนเป็ดขาว บะซา ปูแล สัตตบรรณ

ในประเทศไทยพบอยู่ 7 ชนิด ได้แก่ *Alstonia macrophylla, A. rupestris, A. curtisii, A. rostrata, A. scholaris, A. spatulata* และ *A. angustiloba* (Santisuk and Larsen, 1999)

1) <u>คุณสมบัติเนื้อไม้</u>

ไม้ตีนเป็ดมีความทนทานตามธรรมชาติของเนื้อไม้ ตั้งแต่ 0.8-2 ปี หรือเฉลี่ยประมาณ 1.4 ปี มีความชื้นในเนื้อไม้ประมาณ 12 % ความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.41 เนื้อไม้ไม่มีแก่น มีสีขาวอมเหลือง เสี้ยนตรง เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ ค่อนข้างเหนียว ไสกบตกแต่งได้ง่าย สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ พบว่ามีปริมาณการละลายในแอลกอฮอล์-เบนซีน ร้อยละ 4.01 ปริมาณการละลายในน้ำเย็น ร้อยละ 3.99 ปริมาณการละลายในน้ำร้อน ร้อยละ 5.55 ปริมาณการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 13.99 ปริมาณขี้เถ้า ร้อยละ 1.24 ปริมาณเพนโตแซน ร้อยละ 13.15 ปริมาณลิกนิน ร้อยละ 31.72 ปริมาณโฮโลเซลลูโลส ร้อยละ 63.35 ปริมาณเซลลูโลส ร้อยละ 53.51 (สมภัทร, 2544) วิรัช และ ดำรง (2517) ได้บรรยายลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ตีนเป็ดดังต่อไปนี้

<u>วงปี</u> (growth rings) เห็นไม่ชัด

ท่อน้ำ (vessel) ท่อน้ำมีขนาดความกว้างและความยาวเฉลี่ยประมาณ 190 และ 642 ไมครอน ตามลำดับ การกระจายของท่อน้ำเป็นแบบกระจัดกระจาย (diffuse-porous wood) ส่วนใหญ่เป็นท่อน้ำแฝด 2-5 เซลล์ มีท่อน้ำเดี่ยวปนอยู่บ้าง ภายในท่อน้ำบ้างท่อมีทายโลซิส (tylosis) มีแผ่นเปอร์ไฟเรชั่น (perforation) เป็นแบบรูเดี่ยว

พาเรงไคมา (parenchyma) มีทั้งแบบติดท่อน้ำ (paratracheal parenchyma) และแบบไม่ติดท่อน้ำ (apotracheal parenchyma) ที่อยู่ติดท่อน้ำจะล้อมท่อน้ำเป็นแถบแคบๆ กว้าง 1-4 เซลล์ ภายในเซลล์บางเซลล์จะมีผลึก (crystals) อยู่ด้วย

เซลล์รัศมี (radial cell) มีความกว้าง 60 ไมครอน มีความสูงตั้งแต่ 180-720 ไมครอน เป็นเซลล์แถวเดียวซึ่งมีอยู่น้อย ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ตั้งทั้งหมด (upright cells)

เส้นใย (fiber) มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1630 ไมครอน ความกว้างประมาณ 27 ไมครอน และผนังเส้นใยหนาประมาณ 4 ไมครอน

2) การปลูกสร้างสวนป่าไม้ตีนเป็ดในประเทศไทย

การปลูกสร้างสวนป่าไม้ตีนเป็ดเริ่มได้รับความความสนใจมากยิ่งขึ้นทั้งจากภาครัฐและเอกชน ตัวอย่างเช่น โครงการส่งเสริมปลูกไม้โตเร็วเศรษฐกิจของกรมป่าไม้ (กรมป่าไม้, 2542) ซึ่งไม้ตีนเป็ดเป็นไม้ชนิดหนึ่งที่มีการส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปปลูกเป็นสวนป่า และนอกเหนือจากพื้นที่สวนป่าไม้ตีนเป็ดตามโครงการดังกล่าวแล้ว ยังพบว่ามีการปลูกไม้ตีนเป็ดที่ดำเนินการโดยกลุ่มเกษตรกรรายย่อยอื่นๆ อย่างไรก็ดี ข้อมูลพื้นที่สวนป่าไม้ตีนเป็ดทั่วประเทศไทยยังไม่ชัดเจนมากนัก แต่คาดว่าในอนาคตพื้นที่สวนป่าไม้ตีนเป็ดจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อนำไม้ตีนเป็ดมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น กระดาษ ไม้อัด และแผ่นไม้ประกอบ เป็นต้น ซึ่งหากผลการวิจัยดังกล่าวประสบผลสำเร็จ ก็จะเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้มีการปลูกสร้างสวนป่าไม้ตีนเป็ดมากยิ่งขึ้น (สมภัทร, 2544)

ความเป็นมาของกรรมวิธีการผลิตเยื่อกล (mechanical pulping)

เทคโนโลยีการผลิตเยื่อกลได้ถูกพัฒนาขึ้นมาประมาณปี ค.ศ. 1960 เริ่มผลิตเยื่อกลด้วยกรรมวิธี stone groundwood (SGW) พบว่าในปี ค.ศ. 1975 SGW เป็นกระบวนการที่ถูกใช้ในอเมริกาเหนือถึง 90% ต่อมาในปี ค.ศ. 1990 พบว่ามากกว่า 50% ในกระบวนการผลิตเยื่อกลได้ใช้กรรมวิธีแบบบด (refining) แทน เนื่องจากให้ผลผลิตเยื่อที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้เศษเหลือจากโรงเลื่อยจำพวกชิ้นไม้สับและเศษขี้เลื่อยแทนการใช้ไม้ท่อน เยื่อที่ได้ให้สมบัติเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงกว่าและลดค่าใช้จ่ายแรงงาน จึงทำให้กรรมวิธีแบบบดได้ถูกพัฒนาขึ้นจนสามารถปรับปรุงกระบวนการที่จะควบคุมจนสามารถใช้กับไม้ใบกว้างได้และสามารถที่จะผลิตเยื่อกลที่มีคุณสมบัติหลากหลายขึ้นอีกด้วย

Smook (1997) ได้อธิบายกรรมวิธีแยกเยื่อกลและมีการเรียกชื่อต่างกันไปตามกรรมวิธีผลิตดังนี้

SGW (stone groundwood) เป็นการนำเอาท่อนไม้มาฝนกับหินบดที่สภาวะบรรยากาศ

PGW (pressurized groundwood) เป็นการนำเอาท่อนไม้มาฝนกับหินบดที่อุณหภูมิ มากกว่า 100°C ภายใต้ความดัน

RMP (refiner mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาบดที่สภาวะบรรยากาศ

TRMP (thermo refiner mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C แล้วนำมาบดที่สภาวะบรรยากาศ

PRMP (pressure refined mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาบดภายใต้แรงดันที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C แล้วนำไปบดครั้งที่สองที่สภาวะบรรยากาศ

TMP (thermo mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C แล้วบดครั้งแรกภายใต้ความดันอุณหภูมิมากกว่า 100°C นำมาบดครั้งที่สองที่สภาวะบรรยากาศ

CRMP (chemi-refiner mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาปฏิบัติเบื้องต้นด้วยสารเคมีที่สภาวะบรรยากาศ แล้วนำมาทำการบดที่สภาวะบรรยากาศ

CTMP (chemithermomechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาปฏิบัติเบื้องต้นด้วยสารเคมีในระดับความเข้มข้นต่ำภายใต้แรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C แล้วนำมาบดครั้งแรกที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C โดยภายใต้แรงดันและบดครั้งที่สองที่สภาวะบรรยากาศ

TCMP (thermo-chemi-mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาปฏิบัติเบื้องต้นด้วยสารเคมีในระดับความเข้มข้นต่ำภายใต้แรงดันไอน้ำที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C แล้วนำไปบดที่สภาวะบรรยากาศ

TMCP (thermo-mechanical pulp) นำมาบดครั้งแรกที่อุณหภูมิมากกว่า 100°C ภายใต้แรงดัน จากนั้นนำเยื่อที่บดครั้งแรกมาเติมสารเคมีและนำไปบดครั้งที่สองที่สภาวะบรรยากาศ

*BCTMP (bleached CTMP) นำเยื่อ CTMP มาทำการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวน 1 หรือ 2 ครั้ง

*APMP (alkaline peroxide mechanical pulp) เป็นการนำชิ้นไม้สับมาปฏิบัติเบื้องต้นด้วยสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นำมาบดครั้งแรกที่อุณหภูมิมากกว่า 100°Cโดยภายใต้แรงดันและบดครั้งที่สองที่สภาวะบรรยากาศ

*APP (alkaline peroxide pulp) เหมือนกับวิธี APMP เพียงแต่นำชิ้นไม้สับมาทำการกำจัดโลหะหนักก่อนนำไปแช่ในสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

หมายเหตุ: * ที่มาจาก Kappel (1999)

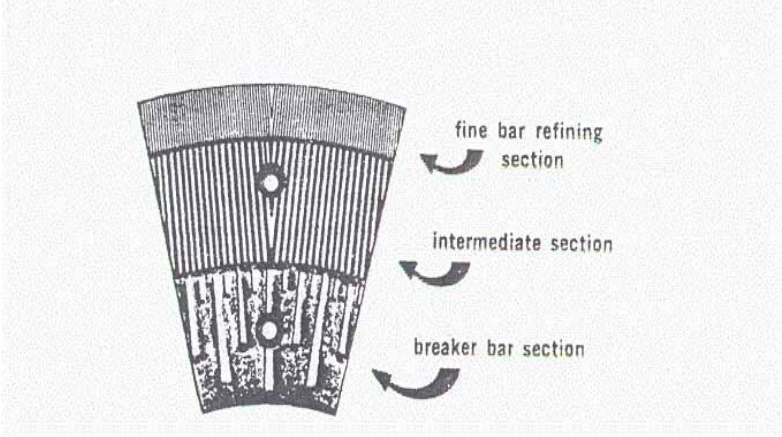
กรรมวิธีผลิตเยื่อ CTMP

กรรมวิธีผลิตเยื่อ CTMP เป็นกรรมวิธีผลิตเยื่อที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งเป็นเทคนิคที่พัฒนาโดยบริษัท Rockhammer ในประเทศสวีเดน เมื่อปี ค.ศ. 1978 โดยได้พัฒนามาจากกรรมวิธีผลิตเยื่อกลแบบ TMP (Shouzu, 1997) Kappel (1999) ได้กล่าวไว้ว่า กรรมวิธีผลิตเยื่อเชิงกลที่ใช้กับไม้คือ วิธี CTMP ซึ่งโครงสร้างในไม้ของชิ้นไม้สับจะอ่อนนุ่มขึ้นจากการใช้สารเคมี และก่อนที่จะนำไปบดให้ได้เส้นใย ชิ้นไม้สับจะดูดซึมเอาสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เข้าไปจนอิ่มตัว ในกรณีที่ใช้สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) โครงสร้างของไม้จะถูกเปิดออกซึ่งสารเคมีที่มีหมู่ซัลไฟต์ (sulfite) จะเข้าไปทำปฏิกิริยาต่อโมเลกุลของลิกนินทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของลิกนินน้อยลง ส่งผลให้ชิ้นไม้สับเกิดการอ่อนตัว (Smook, 1997) นอกจากนี้การใช้ซัลไฟต์กับชิ้นไม้สับ ทำให้เกิดการแยกตัวของเส้นใยที่ชั้นมิดเดิลลาเมลลาและจากการใช้อัลคาไลด์กับชิ้นไม้สับทำให้เกิดการแยกตัวของเส้นใยที่ผนังเซลล์ทุติยภูมิในชั้น S_1 (Xu, 1997)

จากนั้นจะนำชิ้นไม้สับที่ผ่านการปฏิบัติเบื้องต้นด้วยสารเคมีไปผ่านกระบวนการบดภายใต้ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ซึ่งทำให้ลิกนินอ่อนตัวและสามารถแยกเส้นใยได้ง่ายและยัง

ใช้พลังงานในการบดต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่เรียกว่า เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature = t_g เป็นอุณหภูมิซึ่งโพลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสัณฐานเปลี่ยนสถานะเมื่อได้รับความร้อน) ของลิกนิน ไม้จะอ่อนตัวภายใต้สภาวะกลาสทรานซิชัน ลิกนินซึ่งเป็นโพลิเมอร์แบบอสัณฐานจะถูกเปลี่ยนจากสถานะของแข็งที่มีลักษณะคล้ายแก้วไปเป็นสถานะยืดหยุ่นคล้ายยาง จากการที่ลิกนินอ่อนตัว เมื่อทำการบดชิ้นไม้สับ เส้นใยจะถูกแยกออกจากกันโดยเฉพาะที่ผนังเซลล์ชั้น S_1 แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่าระดับกลาสทรานซิชัน จะสามารถแยก เส้นใยได้ดีในชั้นมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) เนื่องจากลิกนินมีสภาพกลายเป็นพลาสติก และยังได้เส้นใยที่มีความสมบูรณ์สูงโดยไม่ได้รับความเสียหายจากการบด แต่อย่างไรก็ตาม ในสภาวะนี้บริเวณผิวหน้าของเส้นใยจะถูกปกคลุมไปด้วยลิกนินที่แข็งตัวขึ้นอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิเย็นตัวลง ซึ่งทำให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติไม่เหมาะสมในการนำไปผลิตกระดาษ (Kurdin, 1998)

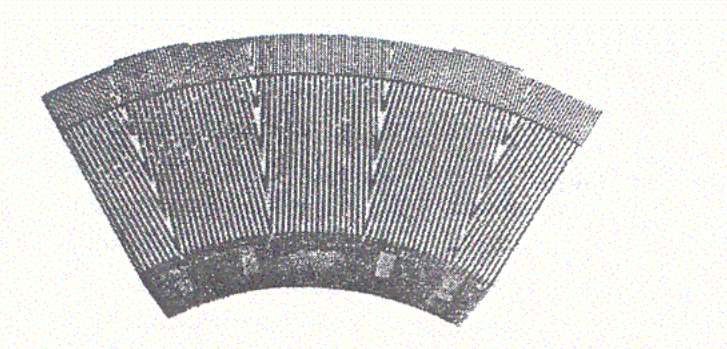
ในกระบวนการของการบดเยื่อกลเชิงเคมีจะทำการบด 2 ขั้นตอนด้วยเครื่องบด (refiner) โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบของจานบดที่มีความแตกต่างกัน โดยในขั้นตอนแรกจะใช้จานบดที่มีลักษณะหยาบกว่าและในขั้นตอนที่ 2 จะใช้ลักษณะของจานบดที่มีความละเอียด



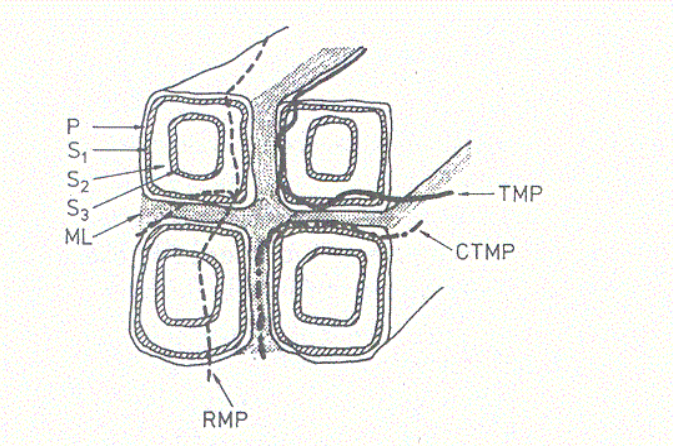
ภาพที่ 1 ลักษณะของจานบดในการบดขั้นตอนแรก
ที่มา: Kappel (1999)

ในการบดเยื่อขั้นตอนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกเส้นใยที่มีขนาดยาวออกจากเนื้อไม้โดยที่เส้นใยไม่แตกหักเสียหาย และขั้นตอนที่ 2 เส้นใยจะถูกตัดให้สั้นลง ความหนาของผนังเซลล์ลดลด

และผิวหน้าของเส้นใยเกิดการแตกของผนังเซลล์ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากต่อสมบัติทางด้านความแข็งแรงของกระดาษ



ภาพที่ 2 ลักษณะของจานบดในการบดขั้นตอนที่สอง
ที่มา: Kappel (1999)



ภาพที่ 3 แนวการแยกตัวออกจากกันของเส้นใยโดยกรรมวิธีการผลิตเยื่อกลแบบต่างๆ จากไม้ใบแคบ
ที่มา: Kappel (1999)

ซึ่งทั่วไปลักษณะของจานบดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 (breaker bar section) มีหน้าที่ทำชิ้นไม้สับให้มีขนาดเล็กลง และส่งไปยังส่วนที่ 2 (intermediate section) ซึ่งทำหน้าที่แยกเส้นใยให้เป็นเส้นใยเดี่ยวๆ และส่วนที่ 3 (fine bar section) ทำหน้าที่ปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยให้มีคุณสมบัติที่มีความแข็งแรง ดังแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2 (Kappel, 1999)

ในกระบวนการผลิตเยื่อ CTMP มิดเดิลลาเมลลาจะมีความอ่อนตัว โดยเกิดจากอุณหภูมิและสารเคมีที่ใช้กับชิ้นไม้สับ ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการบด เส้นใยจะถูกแยกตลอดแนวของมิดเดิลลาเมลลา ส่งผลให้ปริมาณมัดเส้นใย (shive) ต่ำ ดังภาพที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีผลิตเยื่อกลแบบ TMP และ RMP พบว่าแนวการกระทำที่เกิดจากการบดกับเส้นใยของกระบวนการผลิตเยื่อแบบ CTMP จะให้เส้นใยที่มีสภาพที่ค่อนข้างสมบูรณ์กว่ากรรมวิธีอื่น

กรรมวิธีที่ใช้ในการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับ

ในกรรมวิธีผลิตเยื่อกลของไม้ใบกว้างที่มีความหนาแน่นสูง มีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารเคมีกับชิ้นไม้สับก่อนทำการบด เพราะถ้าไม่มีการใช้สารเคมีจะทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการบดซึ่งมีผลต่อราคาต้นทุนที่ต้องสูงตามไปด้วย และเยื่อที่ได้ยังมีค่าความแข็งแรงต่ำ ไม่เหมาะสมในการนำไปผลิตกระดาษ วิธีการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับด้วยสารเคมีที่ใช้กันมีหลายแบบ เช่น การสเปรย์สารเคมี การให้ไอร้อนและแช่สารละลายเคมี การอัดด้วยเครื่องอัดตามด้วยแช่ในสารละลายเคมี และการใส่สารเคมีในเครื่องบดเยื่อ วิธีการปฏิบัติเบื้องต้นต่อชิ้นไม้สับมีผลต่อการดูดซับสารเคมี เนื่องจากกรณีที่ชิ้นไม้สับดูดซับสารเคมีไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้ปริมาณมัดเส้นใย (shive content) หลงเหลืออยู่ในปริมาณสูง

สารเคมีที่ถูกนำมาใช้กับไม้ใบกว้างมีอยู่ 3 ชนิดได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งกรรมวิธีดังกล่าวมี 3 วิธีดังต่อไปนี้ (Sundhlom, 2000)

1 กรรมวิธีโซดา (caustic soda, CS)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์แช่ชิ้นไม้สับ ที่มีสภาวะบรรยากาศปกติ (จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 100°C) ก่อนที่จะนำไปบดต่อ ผลจากการใช้ด่างนี้ ทำให้ผนังเซลล์ของเส้นใยเกิดการพองตัวไม่เท่ากันก่อให้เกิดแรงเค้น (stresses) จนทำให้ผนังเซลล์ของเส้นใยในชั้นปฐมภูมิและชั้นทุติยภูมิ แยกตัวระหว่างขั้นตอนของการบดชิ้นไม้สับ ซึ่งมีผลทำให้เปิดผนังเซลล์ทุติยภูมิในชั้น S_2 ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยเมื่อนำเยื่อไปผลิตกระดาษและจะส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดีขึ้น ในขณะที่ลิกนินถูกกำจัดออกไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลผลิตเยื่อที่น้อยลงเป็นผลมาจากการสูญเสียสารแทรกและเฮมิเซลลูโลสเป็นหลัก (Ali *et al*., 2002)

2 กรรมวิธีอัลคาไลซัลไฟต์ (alkaline sulfite, AS)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมซัลไฟต์ ในกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงแม้ว่าจะให้ผลทางด้านคุณสมบัติความแข็งแรงที่ดีและยังสามารถลดพลังงานในการบด แต่ก็มีผลข้างเคียงคือทำให้เยื่อที่ได้มีสีคล้ำที่เรียกว่า alkaline darkening วิธีที่จะลดการเกิดสีคล้ำกับเยื่อคือการเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์และยังพบว่าการเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ สามารถลดพลังงานในการบดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีโซดาที่ระดับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากัน (Ognar and Xu, n.d.)

3 กรรมวิธีอัลคาไลเปอร์ออกไซด์ (alkaline peroxide, AP)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งการใช้สารเคมีนี้อาจใช้หนึ่งหรือหลายระดับก็ได้ วัตถุประสงค์ก็เพื่อทำให้เนื้อไม้เกิดการอ่อนตัวซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในการบดและพัฒนาคุณสมบัติความแข็งแรงของเยื่อ และอีกวัตถุประสงค์หนึ่งคือช่วยฟอกชิ้นไม้สับก่อนที่จะทำการฟอกเยื่ออีกครั้งเพื่อช่วยให้การฟอกเยื่อให้ง่ายและได้ความขาวตามที่ต้องการ ในแต่ละระดับที่ใช้สารเคมีกับชิ้นไม้สับนั้น จะต้องกำจัดน้ำที่อยู่ภายในชิ้นไม้สับออกก่อนเพราะน้ำจะเป็นอุปสรรคต่อการฟอกด้วยเปอร์ออกไซด์ทำให้ประสิทธิภาพในการฟอกชิ้นไม้สับลดลง (Ognar and Xu, n.d.)

การฟอกเยื่อกล

1 พื้นฐานการฟอกเยื่อที่ให้ผลผลิตเยื่อสูง

การฟอกเยื่อที่ให้ผลผลิตเยื่อสูงมีหลายวัตถุประสงค์ เช่น เพิ่มความขาวสว่างให้กับเยื่อ ลดปริมาณสารแทรก และบางกรณีเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและพันธะให้กับเส้นใย แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักในการฟอกเยื่อเพื่อเพิ่มค่าความขาวสว่างให้กับเส้นใยนั่นเอง

เยื่อที่ผลิตโดยกรรมวิธีเคมีและเยื่อกล ลิกนินจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดสี ในเยื่อเคมีจะฟอกโดยการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อออกให้หมด แต่ในกรณีของเยื่อกลและเยื่อกลเชิงเคมีไม่สามารถกำจัดออกได้หมดเพราะเนื่องจากมีปริมาณลิกนินหลงเหลืออยู่ในปริมาณมาก ในการกำจัดลิกนินให้

หมดต้องใช้สารเคมีฟอกที่รุนแรง ส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตเยื่อลดลง ซึ่งในการผลิตเยื่อกลไม่ต้องการ ดังนั้นในการฟอกเยื่อกลโดยพื้นฐาน เพื่อทำลายหมู่ที่ทำให้เกิดสีในลิกนินเท่านั้น โดยจะกำจัด chromophore ซึ่งทำให้สามารถลดการดูดกลืนแสงของลิกนินและทำให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างสูงขึ้น

ในการฟอกเยื่อกลและเยื่อเคมี จะไม่คำนึงถึงเพียงแต่ค่าความขาวสว่างสูงสุดเท่านั้น แต่จะต้องพิจารณาด้วยว่าเยื่อที่ฟอกแล้วนั้นนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อะไร และต้องการค่าความขาวสว่างเท่าไร โดยในการฟอกเยื่อจะต้องใช้ปริมาณสารเคมีให้น้อยที่สุด เพื่อให้ได้ค่าความขาวสว่างที่สูง (Carl-Anders, 2000)

2 <u>กลไกการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำยาฟอกเยื่อ</u>

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นของเหลวไม่มีสี เป็นกรดเล็กน้อย ผสมเข้ากับน้ำได้ดี กลไกที่กระทำกับ chromophore หรือสารที่ทำให้เกิดสีในลิกนินโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อให้เกิด perhydroxyl ion (OOH^-) ซึ่งการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้ต้องกระทำในระบบที่เป็นด่างจึงจะสามารถเกิดแอคทีฟ ไอออน

$$H_2O_2+OH^- \longleftrightarrow OOH^-+H_2O \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

perhydroxyl anion สามารถทำให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มค่า pH หรือเพิ่มอุณหภูมิขณะที่ทำการฟอกเยื่อ แต่อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้ง่ายภายใต้สภาวะการฟอกเยื่อโดยทั่วไปดังแสดงในสมการปฏิกิริยา

$$2H_2O_2 \longrightarrow O_2+2H_2O \qquad \text{(สมการที่ 2)}$$

3 <u>ปัจจัยที่มีผลต่อการฟอกเยื่อกลโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์</u>

3.1 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ มีความสำคัญมากที่สุดในขั้นตอนการฟอก ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ 1% กับเยื่อสามารถเพิ่มค่าความขาวสว่างให้แก่เยื่อ 6-8%ISO และถ้าปริมาณเปอร์

ออกไซด์ที่ใช้เพิ่มขึ้นและมีสภาวะที่เหมาะสม ค่าความขาวสว่างของเยื่อสามารถเพิ่มได้ถึง 15-20%ISO (Carl-Anders, 2000)

3.2 การกำจัดโลหะหนัก การกำจัดโลหะหนักทำได้โดยการทำให้เยื่อมีสภาพเป็นกรดที่ระดับ pH 2-3 หรือโดยการเติม chelating agents จำพวกสาร EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) หรือ DTPA (diethylenetetraminepentaacetic acid) สภาพความเป็นกรดและการเติม chelating agents จะทำให้โลหะหนักหลุดออกไปจากเส้นใย แต่ต้องทำการชะล้างให้ออกไปจากระบบก่อนที่จะทำการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Carl-Anders, 2000)

โลหะหนักจำพวก เหล็ก แมงกานีส และทองแดง จะเป็นตัวทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้มากขึ้นดังสมการปฏิกิริยา

$$H_2O_2+M \longrightarrow M^{+}+HO^{-}+H\bullet \qquad \text{(สมการที่ 3)}$$

$$OOH+M^{+}+OH^{-} \longrightarrow M+ H_2O +O_2^{-}\bullet \qquad \text{(สมการที่ 4)}$$

$$M^{+}+O_2^{-}\bullet \longrightarrow O_2+M \qquad \text{(สมการที่ 5)}$$

$$O_2^{-}\bullet+HO\bullet \longrightarrow O_2+ HO^{-} \qquad \text{(สมการที่ 6)}$$

โลหะหนักที่เกิดขึ้นจะมาจากไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบและบางชนิดก็ได้มาจากเครื่องมือที่ใช้ ดังนั้นเพื่อลดปริมาณโลหะหนักในขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำได้โดยการทำให้เยื่อมีสภาพเป็นกรด หรือเติม chelating agents (Carl-Anders, 2000)

3.3 ค่า pH ของเยื่อ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ผลได้ดีในสภาวะที่เป็นด่างเพราะไฮดรอกซิล ไอออน ถูกทำให้มีมากขึ้นในปฏิกิริยาการแตกตัวดังสมการที่ 1 ซึ่งเป็นอิออนที่สำคัญในการฟอกเยื่อ และควรหลีกเลี่ยงการฟอกเยื่อที่ระดับค่า pH สูงๆ เนื่องจากจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาสลายตัว ระดับ pH ที่เหมาะสมคือ 11.5 (Carl-Anders, 2000)

3.4 สารเติม ตั้งแต่เริ่มมีการฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์สำหรับการผลิตเยื่อกล โซเดียม-ซิลิเกต (Na_2SiO_3) ได้ถูกใช้เป็นสารที่เติมเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วย ที่นิยมใช้กันคือ 41 Bé solution ปัจจุบันมีการใช้โซเดียมซิลิเกต ที่ 3% หรือน้อยกว่า

กลไกที่แท้จริงของโซเดียมซิลิเกตที่ส่งผลในการฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์ไม่มีใครทราบ หลายทฤษฎีได้กล่าวว่า

-โซเดียมซิลิเกตเป็นตัวทำให้เปอร์ออกไซด์เสถียร

-โซเดียมซิลิเกตทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์

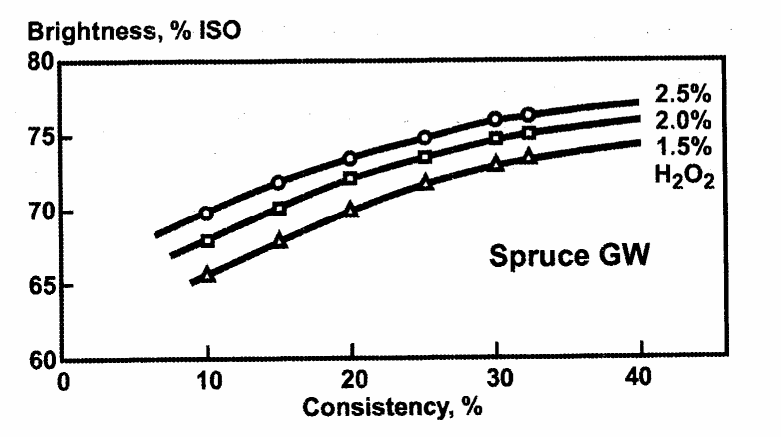
-โซเดียมซิลิเกตสามารถที่จะป้องกันไม่ให้เหล็กเร่งปฏิกิริยาทำให้เปอร์ออกไซด์สลายตัวได้ง่ายขึ้น

สารอีกชนิดที่ใช้เติมเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์คือแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O_2$) ที่รู้จักกันในนาม Epsom salt มักใช้ในปริมาณน้อย (0.05-0.1%) ทำหน้าที่ให้เปอร์ออกไซด์เสถียร (Carl-Anders, 2000)

3.5 ความเข้มข้นของเยื่อ เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าความเข้มข้นของเยื่อที่สูงสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการฟอกเยื่อเกิดขึ้นได้ดี ดังภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของเยื่อเพิ่มขึ้นในระดับ 35-40% สามารถทำให้ค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณความเข้มข้นของเยื่อที่ต่ำกว่านี้ คืออยู่ระหว่าง 15-20% (Carl-Anders, 2000)

3.6 อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาการฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้มีการเพิ่มปฏิกิริยาการฟอกเยื่อเพียงอย่างเดียว แต่ปฏิกิริยาการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์และปฏิกิริยาระหว่างด่างก็ยังกับเยื่อเกิดขึ้นด้วย

ที่ระดับอุณหภูมิสูงๆ (มากกว่า 80 ^{o}C) ค่าความขาวสว่างจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและอาจได้ค่าความขาวสว่างตามที่ต้องการในระยะเวลาต่ำกว่า 30 นาที ระยะเวลาในการฟอกที่นานๆ จะทำให้เยื่อเกิดสีคล้ำ ที่ระดับอุณหภูมิต่ำๆ ค่าความขาวสว่างจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่อาจเกิดความเสี่ยงที่เยื่อจะเกิดสีคล้ำได้น้อยกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการฟอกที่นานๆ โดยปกติในถังฟอกเยื่อจะใช้อุณหภูมิในช่วง 40-70 ^{o}C เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างด่างและเยื่อถูกเร่งให้เพิ่มขึ้นโดยที่มีการใช้อุณหภูมิสูงๆ จึงทำให้ปริมาณด่างที่ใช้ลดลง (Carl-Anders, 2000)



ภาพที่ 4 อิทธิพลของความเข้มข้นของเยื่อต่อระดับค่าความขาวสว่างที่ใช้เปอร์ออกไซด์ในปริมาณความเข้มข้นต่างกัน

ที่มา: Carl-Anders (2000)

3.7 ระยะเวลาในการฟอกเยื่อ มีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิมาก เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต้องลดระยะเวลาในการฟอกเยื่อให้น้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม เปอร์ออกไซด์ไม่ควรถูกใช้ในการฟอกเยื่อจนหมดควรเหลือปริมาณเปอร์ออกไซด์หลังการฟอกเยื่อเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เยื่อเกิดสีคล้ำขึ้น (Carl-Anders, 2000)

ผลทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตเยื่อ CTMP

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในการศึกษานี้จะแสดงใน 2 ส่วน คือ กระบวนการผลิตเยื่อกลเชิงเคมีแบบ CTMP และการฟอกเยื่อ TCF Kappel (1999) ได้กล่าวไว้ว่าสารประกอบอินทรีย์จะถูกละลายออกมาในกระบวนการการแยกเส้นใย (defibration) และการฟอกเยื่อในการผลิตเยื่อกล (mechanical pulp) ซึ่งจะมีการสูญเสียผลผลิตเยื่อ 2-10% แสดงว่า 10-50 กิโลกรัมต่อตันของไม้ จะถูกละลายต่อวันในโรงงานที่ทำการผลิตเยื่อกล 500 กิโลกรัมต่อตันของไม้ต่อวัน ซึ่งจะพบส่วนที่ละลายนี้ในรูปของ COD สิ่งปนเปื้อนและแหล่งกำเนิดจากโรงงานผลิตเยื่อกลสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สิ่งปนเปื้อนจากโรงงานผลิตเยื่อกลและแหล่งกำเนิดสิ่งปนเปื้อน

ชนิดสิ่งปนเปื้อน	แหล่งที่มา
- Sodium silicate	- การฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์
- Salts (sodium sulfite, sodium sulfate, etc)	- การฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์และไดไทโอไนท์ (dithionite acidification)
- Caustic	- การฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์
- Sulfuric acid, sodium bisulfite	- acidification
- Hemicellulose, fatty acid, resin, lignin derivatives	- เยื่อกล
- Humic acid	- น้ำดิบ (fresh water)
- Organic acids	- Resin-dispersing agent

ที่มา: Kappel (1999)

ในรายงานของ European Commission (2001) ดังแสดงในภาพที่ 5 เป็นการปลดปล่อยของเสียสู่น้ำของโรงงานผลิตเยื่อ CTMP ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นของเสียอินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (oxygen consuming organic substance) และอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายและกระจายตัวในน้ำได้ นั่นแสดงว่าจากผลผลิตเยื่อ 92-97% มี 30-80 กิโลกรัมต่อตันของไม้ ที่อยู่ในรูปของแข็งและสารที่สามารถละลายได้ เกิดการสูญเสียระหว่างผลิตเยื่อ ซึ่งผลผลิตเยื่อจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้และอุณหภูมิในกระบวนการผลิตและการใช้สารเคมี ส่วนชนิดของไม้ ความแตกต่างของฤดูกาลและสภาพที่ทำการเก็บไม้ จะมีผลต่อปริมาณของแข็งละลายได้ (dissolved solid) ระหว่างทำการผลิตเยื่อกล คาร์โบไฮเดรต เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน สารแทรก (fatty และ resin acid) โปรตีน และสารอนินทรีย์ รวมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จะถูกละลายและกระจายตัวอยู่ในน้ำ ยิ่งถ้าปริมาณผลผลิตเยื่อลดลงและอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย (organic load) ของน้ำจากการผลิตเยื่อสูงขึ้น กรณีที่เยื่อกลถูกนำมาฟอกด้วยอัลคาไลเปอร์ออกไซด์ จะทำให้ปล่อยมลพิษจำพวกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เพราะเกิดจากสภาวะด่างระหว่างฟอกเยื่อด้วยอัลคาไลเปอร์ออกไซด์ การปลดปล่อยของเสียสู่บรรยากาศของโรงงานผลิตเยื่อกล ส่วนใหญ่จะเป็นสารระเหยอินทรีย์ ในรายงานของ European Commission (2001) ได้สรุปแหล่งกำเนิดในการปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ บรรยากาศและสารประกอบหลักที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อ CTMP ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6