

บทที่ 2 ทฤษฎีสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและค้นคว้า เอกสาร แนวความคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่อง การผลิตกระดาษจากการผสมเยื่อสอยดาวและเยื่อการฟัทเพื่อพัฒนาเป็นกระดาษเหนียวประเภทสูงชั้นเดียวมีรายละเอียด ดังนี้

- 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับต้นสอยดาว
- 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเยื่อเคมีชนิดฟอกขาว
- 2.3 แหล่งเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ
- 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้
- 2.5 องค์ประกอบของกระดาษ
- 2.6 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ
- 2.7 คุณสมบัติกระดาษ
- 2.8 มาตรฐานการทดสอบกระดาษ
- 2.9 ประเภทมาตรฐาน
- 2.10 กระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ
- 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับต้นสอยดาว [1]

2.1.1 ชื่อทางวิทยาศาสตร์

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ (*Mallotus paniculatus* (Lmk) muell Arg) ชื่อวงศ์ Euphorbiaceae

2.1.2 ลักษณะทั่วไป

ต้นสอยดาวเป็น ไม้ต้นสูงได้ถึง 20 เมตรมีการเจริญเติบโตรวดเร็วมาก 1 ปี อาจสูงถึง 3 - 5 เมตร การขยายพันธุ์ เพาะเมล็ด ประโยชน์ น้ำต้มจากรากกินบำรุงหลังคลอดบุตรใช้เป็นยาพอกฝีระงะแก้ปวด ต้นต้มน้ำใช้เป็นยาล้างแผล ถิ่นกำเนิด พบทั่วไปในป่าดิบหรือป่าผลัดใบ ลักษณะทั่วไป พรรณ ไม้ยืนต้นเจริญเติบโตได้ดีกลางแจ้ง (แสงแดดเต็มวัน) ต้องการน้ำน้อย ความสูงมากกว่า 2 เมตร ใบเดี่ยว เรียวสลับรูปวงรี รูปไข่ กิ่งก้านมีขน (แดงปนน้ำตาล)



รูปที่ 2.1 ใบของต้นสอยดาว



รูปที่ 2.2 ลำต้นของต้นสอยดาว



รูปที่ 2.3 ต้นสอยดาว

2.1.3 ชื่อพื้นเมือง

จันทบุรี	เรียก	ต้นสอยดาว
ระยอง	เรียก	ต้นปอเซ่ง
แพร่	เรียก	ปอจีไก่อ
น่าน	เรียก	ปอเบา
เชียงใหม่	เรียก	ปอยาบ
เพชรบุรี	เรียก	แขนงดาว
สุราษฎร์	เรียก	พังแหล
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียก	ปอหู

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเยื่อเคมีชนิดฟอกขาว [2]

เป็นเยื่อที่ผลิตโดยใช้สารเคมีและความร้อนในการแยกเยื่อ และขจัดลิกนิน เยื่อกระดาษที่ได้จากวิธีการนี้มีความสมบูรณ์กว่าเยื่อสด แต่ได้ผลผลิตที่ต่ำกว่า ราคาสูงกว่า เยื่อเคมีที่ได้จากการใช้สารซัลเฟต ซึ่งเรียกว่าเยื่อซัลเฟต (Sulfite Pulp) จะเป็นเยื่อที่เหนียวมีสีคล้ำอมน้ำตาลมักจะนำไปใช้ทำกระดาษเหนียว (Kraft Paper) สำหรับทำถุงและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ส่วนเยื่อเคมีที่ได้จากการใช้สารซัลไฟต์ซึ่งเรียกว่าเยื่อซัลไฟต์ (Sulfite Pulp) จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเยื่อซัลเฟตนิยมนำไปฟอกให้ขาวเพื่อใช้เป็นกระดาษสำหรับพิมพ์เขียนและกระดาษเพื่อใช้ในงานพิมพ์



รูปที่ 2.4 เชื้อเคมีชนิดฟอกขาว

2.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ [3]

ไม้ จัดว่าเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำเยื่อกระดาษ (Wood Pulp) ไม้ทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ เราสามารถจำแนกไม้ออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ

2.3.1 ไม้ยืนต้น

ไม้ยืนต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.3.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (Softwood)

เป็นไม้จำพวกที่มีโครงสร้างของเมล็ดรูปกรวย (Coniferous) หรือพืชจำพวก ต้นสน (Gymnosperm) มีใบเป็นรูปเข็ม ไม้ผลัดใบ เช่น Spruce Pine และ Fir ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และ สนสามใบ เส้นใยของไม้เนื้ออ่อนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เชื้อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน เรียกว่า เชื้อใยขาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “N” (Needle) นำหน้า เช่น NBKP (Needle Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเชื้อใยขาว

2.3.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood)

เป็นไม้จำพวกที่เมล็ดจะมีเปลือกหุ้ม (Angiosperm) โดยทั่วไปมีใบกว้าง (Broad Leaved) ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเลและสนประดิพัทธ์ในเขตอบอุ่น ไม้พวกนี้จะผลัดใบ (Deciduous) เส้นใยของ

ไม้เนื้อแข็งมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เช่น ยูคาลิปตัส ต้นเบิร์ช ต้นเอสเฟิน และไม้ใบกว้างต่างๆ ในประเทศไทย เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง เรียกว่า เยื่อใยสั้น และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “L” (Leaved) นำหน้า เช่น LBKP (Leaved Bleached Kraft Pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อใยสั้น

2.3.2 ไม้ล้มลุก (Non-wood)

เส้นใยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้จาก

2.3.2.1 ส่วนที่เหลือทิ้งจากการเกษตร (Agriculture Residue) เช่น ฟางข้าว และชานอ้อย

2.3.2.2 พืชตระกูลหญ้า (Natural Growing Plants) เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ เป็นต้น

2.3.2.3 พืชเส้นใยต่างๆ (Crop Fibers) เช่น ปอกระเจา (Jute), ปอแก้ว (Kenaf) และปอสา เป็นต้น

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ [4]

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษไม่ว่าจะเป็น ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) หรือ Non-wood ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และ สารสกัด (Extractive) เป็นต้น

2.4.1 เซลลูโลสเป็นโฮโอโพลิเมอร์

เซลลูโลสเป็นโฮโอโพลิเมอร์ (Homopolymer) ของดี-กลูโคส (d-glucose) เกาะกันด้วย 1,4 β glucosidic bond มีลักษณะเป็นเส้นตรง (Straighted chain) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วยในระหว่างแฉกมีการยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ซึ่งมีขนาดประมาณ 35 \AA เรียกว่า elementary fibril อันเป็นหน่วยเล็กที่สุดที่ปรากฏเป็นเอกเทศตามธรรมชาติเซลลูโลสมีความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมีโดยมีสารเคมีที่ละลายเซลลูโลสได้ไม่กี่ชนิด เช่น กรดซัลฟูริกความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 68 กรดเกลือความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 41 ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2), quaternary ammonium compound และ complexing agents บางชนิด เช่น CuO $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$, CuO -ethylene diamine- H_2O เป็นต้น ดังภาพที่ 2.1

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์

เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส (glucose), แมนโนส (mannose), ไซโลส (xylose) และอราบินโนส (arabinose) เฉลี่ย

ประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อซิติกและยูโรนิกจับอยู่ด้วยเฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นอสัณฐานสามารถอมน้ำและพองตัวได้ตีคุณสมบัตินี้เป็นสิ่งสำคัญในการทำกระดาษในไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เฮมิเซลลูโลสจะเป็นพวก xylan ส่วนในไม้เนื้ออ่อนส่วนใหญ่เป็นกลูโคแมนแนน

2.4.3 ลิกนิน

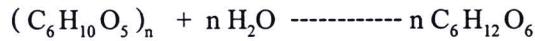
ลิกนินประกอบด้วย Phenyl propane unit เฉลี่ยประมาณ 2,500 หน่วย เป็นอสัณฐาน (amorphous) จับตัวกันเป็นโครงสร้างสามมิติด้วย ether bond และ C-C bond ส่วนใหญ่เป็น phenyl-O-aryl ether bond ลิกนินพบมากในส่วนที่เรียกว่า middle lamella ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยเป็นสารซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) อุณหภูมิที่อ่อนตัวประมาณ 120-200 °C ขึ้นอยู่กับความชื้น ดังภาพที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของลิกนิน

2.4.4 สารสกัดได้

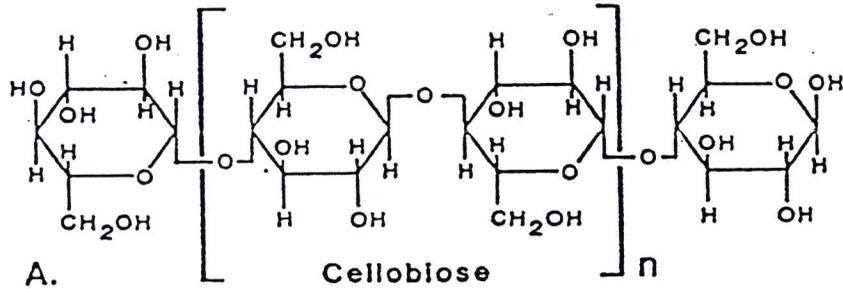
สารสกัดได้ (extractive) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ไคคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์ม เป็นต้น ทั้งนี้ไม่รวมถึงอนินทรีย์สาร (inorganic material) ที่อาจละลายปะปนออกมาด้วย สารสกัดที่ได้นี้มักเป็นชันสนหรือยางไม้

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน

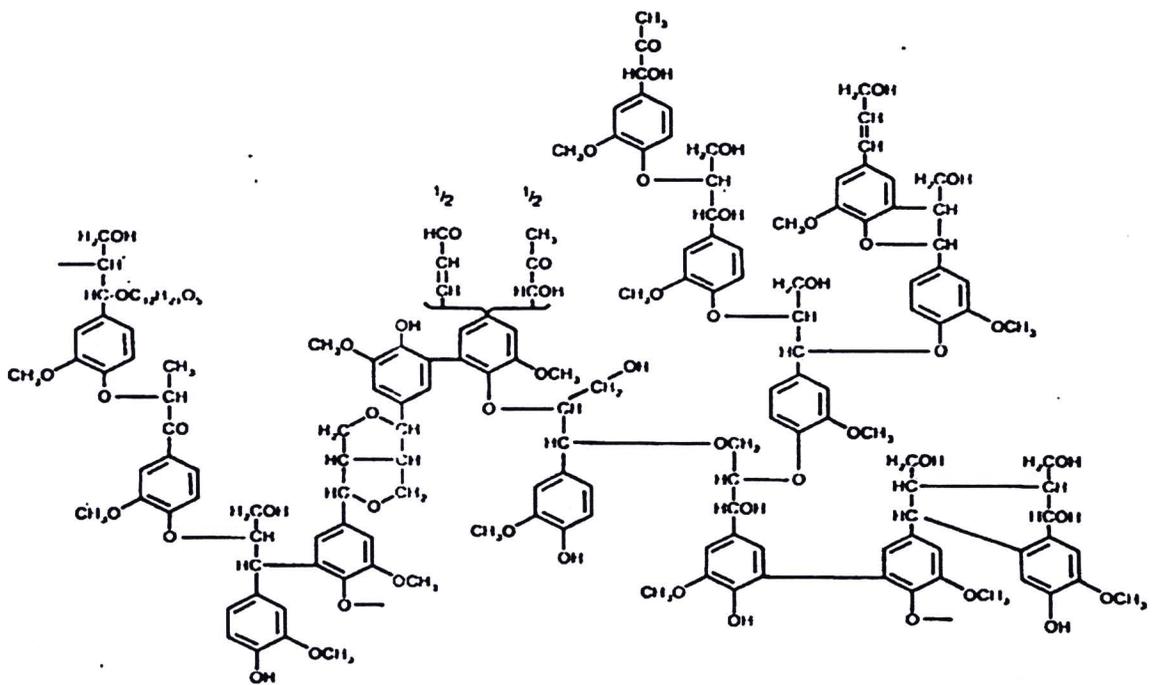
องค์ประกอบทางเคมี หน่วย : ร้อยละ	ไม้เนื้ออ่อน (softwood)	ไม้เนื้อแข็ง (hardwood)
เซลลูโลส (Cellulose)	~ 45	~ 43
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	15-20	15-30
ลิกนิน (Lignin)	24-32	17-25
สารสกัดได้ (Extractive)	~3.4	~ 2.0



Cellulose Molecule



รูปที่ 2.5 Molecular structure of cellulose, Schematic



Constitutional formula for spruce lignin (Freudentberg, 7).

รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของลิกนิน

2.5 องค์ประกอบของกระดาษ [3]

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลายๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมเหล่านี้ได้แก่ เยื่อใยสั้น เยื่อใยยาว แป้ง ชันสน ดินขาวและผงสี วัสดุที่ใช้ผสมเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย

(Fibrous Materials) ซึ่งเป็น โครงสร้างของแผ่นกระดาษ และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

2.5.1 ส่วนเส้นใย (Fibrous Materials)

ในกระดาษทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ในประมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณส่วนเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต ส่วนเส้นใยนี้จะได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชล้มลุก ส่วนเส้นใยหรือที่เรียกทั่วไปว่า เยื่อ เยื่อที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้น ดังนั้นในส่วนเส้นใยจึงประกอบด้วย เซลล์พืชชนิดต่างๆ ผสมกันอยู่ เซลล์เหล่านี้ ได้แก่ เส้นใย (Fiber) เซลล์สำรองอาหาร (Parenchyma Cell) และเซลล์ลำเลียงน้ำ (Vessel Element) ถ้าเป็นเยื่อที่ได้จากไม้ล้มลุกอาจมีเซลล์ชนิดอื่นผสมมาด้วย เช่น เซลล์วงแหวน (Ring Thickening) เซลล์ปากใบ (Epidermis Cell) และเซลล์ผิวหนัง (Epidermis Cell)

2.5.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (Non Fibrous Materials)

ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยหรือที่เรียกว่า สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สารเติมแต่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.2.1 สารเติมแต่งหลัก (Functional Additive)

สารเติมแต่งประเภทนี้จะทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติเฉพาะอย่างของกระดาษแบ่งเป็น 6 ชนิดด้วยกัน คือ

ก. สารต้านการซึมน้ำ (Sizing Agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ (Blot-ting Paper) โดยการเติมสารกันซึมลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด การเติมสารต้านทานการซึมน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับ มีชื่อเรียกกระดาษที่เติมสารต้านทานการซึมน้ำแต่ละระดับ ดังนี้

- กระดาษที่ไม่ใส่สารต้านการซึมน้ำเลย (Waterleaf) เช่น กระดาษชำระ
- กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำเล็กน้อย มีระดับต้านการซึมน้ำปานกลาง (Slack Sized)

เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน

- กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมาก มีระดับการต้านการซึมน้ำสูง (Hard Sized) เช่น กระดาษทำถ้วย กระดาษทำกล่องนม

สารด้านการซึมน้ำที่ใช้ในการทำกระดาษ ได้แก่ สารส้มและชันสน (Alum/Rosin Size) ไขผึ้ง (Wax) ยางมะตอย (Asphalt) อัลคีนิวซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Alkenyl Succinic Anhydride, ASA)

ข. ตัวเติม (Filler) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นผงแร่สีขาว ไล่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์ และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์กระดาษ นอกจากนี้ยังไล่ลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วย เพราะตัวเติมส่วนมากจะมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใย ผงแร่ที่ใช้จะเป็นตัวเติมลงในกระดาษจะต้องมีขนาดเล็กละเอียด ตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน ผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวภายในกระดาษโดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศ และผงแร่กับเส้นใย ทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสง (Light Scattering) ของกระดาษทำให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมาก เมื่อไล่ลงไปจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษ ได้แก่ ดินขาว (Kaolin Clay) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide, TiO_2) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate, $CaCO_3$) ผงแร่เมื่อไล่ลงไปจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของกระดาษให้ดีขึ้น ดังนี้

- ทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น
- เพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษ
- ทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น
- ลดต้นทุนการผลิตกระดาษ



แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วยผงแร่แต่ละชนิดจะมีลักษณะรูปร่าง ขนาด และดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน

ค. สารเพิ่มความเหนียว สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงคั้นทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมาก เพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่างการพิมพ์ได้ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ ได้แก่ แป้งธรรมชาติ (Native Starch) แป้งปรุงแต่ง (Modified Starch) ปรับให้เป็นประจุบวก กัมและพอลิอะคริลเอไมด์ (Polyacrylamide) โดยแป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดีและมีใช้มานานแล้วแต่ในปัจจุบันนิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลเอไมด์มากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวก จึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ง. สารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก (Wet Strength Agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีเติมลงไปเพื่อรักษาความเหนียวของกระดาษให้คงไว้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของความเหนียวเดิม ปกติจะไม่ใส่สารชนิดนี้ในกระดาษพิมพ์ทั่วไป แต่อาจพบในกระดาษพิมพ์งานพิมพ์พิเศษที่ต้องการความเหนียวเมื่อเปียกสูง เช่น กระดาษพิมพ์แผนที่ กระดาษธนบัตร สารเคมีที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียว



เมื่อเป็ยก ได้แก่ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde), เมลามันฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine-formaldehyde), พอลิเอไมด์ (Polyamide) และพอลิเอมีน (Polyamine)

จ. สาระสีย้อม (Dyes) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการด้วยกันคือ

- ต้องการทำการกระดาษสี (Colored Paper) ในกรณีนี้จะเติมสารสีย้อมลงไปในส่วนผสมของน้ำเยื่อจนได้สีตามที่ต้องการ

- ต้องการแต่งสีกระดาษขาวให้ได้ระดับสีคล้ำตามที่ต้องการ หรือเพื่อให้ดูขาวขึ้น เรียกว่า สีแต่ง (Tinting Dyes) โดยใช้สีแต่งปริมาณน้อยๆ เติมลงในส่วนผสมน้ำเยื่อ สีที่ใช้แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ในกระดาษขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

สารสีย้อมที่ใช้แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ สีไคเรก (Direct Dyes) สีเบสิก (Basic Dyes) และสีแอสิก (Acid Dyes) โดยสีแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารสีย้อมชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	สีไคเรก	สีแอสิก	สีเบสิก
สมบัติการละลายน้ำ	ต่ำ	สูง	-
ความทนต่อแสง (Light Fastness)	ดี	ดี	ไม่ดี
ความสดใของสี	น้อย	น้อย	มาก
การยึดติดของเส้นใย	มาก	ต้องใช้สารช่วยย้อม	ต้องใช้สารช่วยย้อม

ฉ. สารเพิ่มขาวสว่าง สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีย้อมประเภทเรืองแสง (Fluorescent Dyes) เรียกทั่วไปว่า สารฟอกนวล เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น กระดาษพิมพ์เขียนทุกชนิดจะมีสารฟอกนวลผสมอยู่ด้วย

2.5.2.2 สารเติมแต่งเสริม (Chemical Processing Aids)

สารเติมแต่งประเภทนี้นอกจากทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารเติมแต่งหลักทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้ดีขึ้นแล้วยังช่วยในการบำรุงดูแลรักษาความสะอาดของเครื่องจักรผลิตกระดาษ เพื่อให้สามารถเดินกระดาษได้ดีอีกด้วย สารเติมแต่งประเภทนี้แบ่งเป็น 6 ชนิด ตามลักษณะหน้าที่ดังนี้

ก. สารเพิ่มการตกค้าง (Retening Aids) สารชนิดนี้ช่วยให้มีการตกค้างของเส้นใยละเอียดและตัวเติมค้างในเยื่อกระดาษมากขึ้น

ข. สารต้านการเกิดฟอง (Defoamer) สารชนิดนี้ช่วยป้องกันการเกิดฟอง และช่วยให้เชื้อกระดาษมีความสม่ำเสมอดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำแยกตัวออกจากเยื่อได้เร็วขึ้น

ค. สารควบคุมจุลชีวะ (Microbiological Control Agent) สารชนิดนี้จะช่วยควบคุมการเกิดเมือก (Slime) และการแพร่ขยายของจุลชีวะ

ง. สารควบคุมการเกิดจุดดำ (Pitch Control Agent)

จ. สารช่วยแยกน้ำ สารชนิดนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแยกน้ำออกจากกระดาษให้เร็วขึ้น

ฉ. สารช่วยกระจายตัว สารชนิดนี้จะช่วยให้เส้นใยกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดการจับกลุ่มก้อนของเส้นใย

2.6 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ [3]

2.6.1 กระบวนการผลิตเยื่อ

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อก็เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีโดยวิธีเคมีและเชิงกล เยื่อที่ได้จะนำไปผ่านการฟอกให้ขาว สำหรับทำกระดาษที่ใช้เพื่อการสื่อสารต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าในขั้นตอนนี้จะต้อง ประกอบด้วย กรรมวิธีการผลิตเยื่อ (Pulping Process) และการฟอกเยื่อ (Bleaching)

2.6.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อ (Pulping Process)

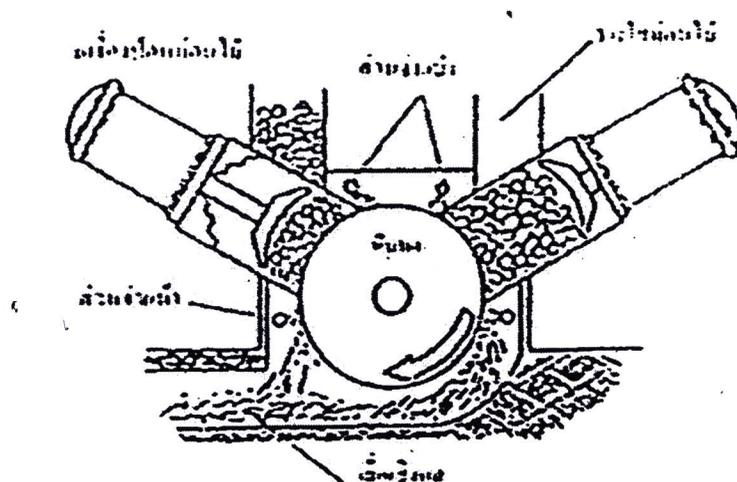
เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆ ของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกล

ก. การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulp Process) จะใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียก เยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกลให้ผลผลิตเยื่อมากกว่าร้อยละ 85 เยื่อไม้บดจะมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อไม้บดนี้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ จะมีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใย (Bundle of Fiber) ปนอยู่ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเยื่อไม้บดจะประกอบด้วย

- เส้นใยฝอย (Fines) ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใย
- เส้นใยเดี่ยว (Individual Fiber) เส้นใยเดี่ยวของเยื่อไม้บด ยังแยกไม่ค่อยสมบูรณ์
- กลุ่มของเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัด

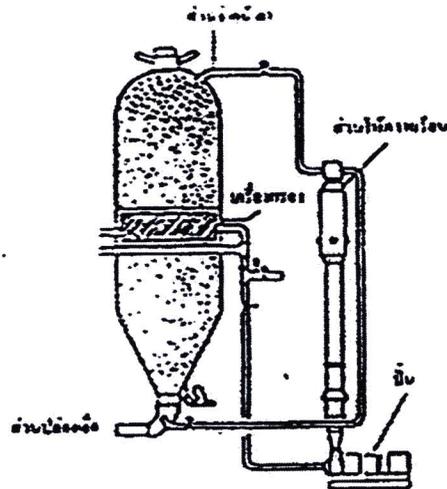
เยื่อชนิดนี้เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษจะให้สมบัติตามส่วนประกอบทั้ง 3 คือ เส้นใยฝอย จะเพิ่มสมบัติด้านการทึบแสง เส้นใยเดี่ยวซึ่งไม่ค่อยสมบูรณ์อาจมีการฉีกขาดและยังคงมีลักษณะค้ำ

อยู่มากทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ เชื้อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูง เชื้อชนิดนี้มีราคาถูก เหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูก เช่น หนังสือพิมพ์ หรือใช้เป็นเชื้อชั้นในกระดาษแข็ง

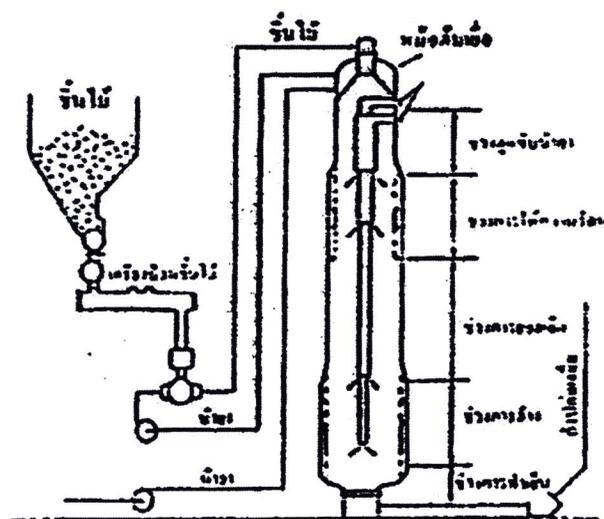


รูปที่ 2.7 แสดงการผลิตเยื่อเชิงกล

ข. การผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping Process) การผลิตเยื่อเคมีตามกรรมวิธีนี้ จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน โดยไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ (Digester) ซึ่งมีทั้งชนิดหม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว (Batch Digester) และหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Digester) แบบต่อเนื่องจะต้มไปได้เรื่อยๆ ไม่ต้องหยุดเหมือนแบบเดี่ยวและเป็นที่ยอมรับกว่าการผลิตเยื่อเคมีนั้นอาศัยสารเคมีและความร้อนในการละลายลิกนินออกไปเหลือส่วนที่ไม่ละลาย คือ เยื่อ เยื่อเคมีมีหลายชนิดเรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิต เช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟท์ และเยื่อ โซดา เยื่อเคมีให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40 เยื่อเคมีที่ได้จะมีลักษณะนุ่ม มีสีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบูรณ์เยื่อชนิดนี้มีปริมาณการใช้สูงมาก เพราะสามารถพัฒนาศักยภาพของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เหมาะทั้งใช้ในงานรับแรงและเพื่อการสื่อสาร ถ้าใช้ในงานรับแรง เช่น นำไปทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องฟอก แต่ถ้าใช้เพื่อการสื่อสารจะต้องนำไปฟอกให้ขาวก่อน



รูปที่ 2.8 แสดงหม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว (Batch Digester)



รูปที่ 2.9 แสดงหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Digester)

2.6.1.2 การฟอกเยื่อ (Bleaching)

เป็นการทำให้เยื่อมีสีขาวเหมาะกับการใช้พิมพ์ การฟอกเยื่อมี 2 วิธี คือ วิธีฟอกเยื่อเพื่อกำจัดลิกนินออกไป หรือ วิธีฟอกเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปไม่มีสี โดยเยื่อเคมีจะฟอกโดยใช้วิธีกำจัดลิกนินออกไปโดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วกำจัดออก การฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอน การฟอกมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและเรียงตามลำดับตัวอักษรตัวแรกของแต่ละขั้นตอน โดยสารเคมีสัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกที่ใช้เป็นไป ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงสารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกเยื่อ

สารเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก
คลอรีน(Chlorine)	C	ขั้นคลอรีเนชัน (Chlorination stage)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)	E	ขั้นแอกแทรกชัน (Extraction Stage)
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium Hypochlorite)	H	ขั้นไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite Stage)
คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide)	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide Stage)
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide)	P	ขั้นแอกแทรกชัน (Extraction Stage)
ออกซิเจน (Oxygen)	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen Stage)
โอโซน(Ozone)	Z	ขั้นโอโซน (Ozone Stage)
กรด(Acid)	A	ขั้นกรด (Acid Stage)

โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-6 ขั้นตอน ตัวอย่างเช่น CEH, CEDEP, CEOP เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูง ประมาณร้อยละ 80-95 เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดแบบแอลริโฟ

2.6.2 กระบวนการผลิตกระดาษ

2.6.2.1 การเตรียมน้ำเยื่อ

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock Preparation) มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

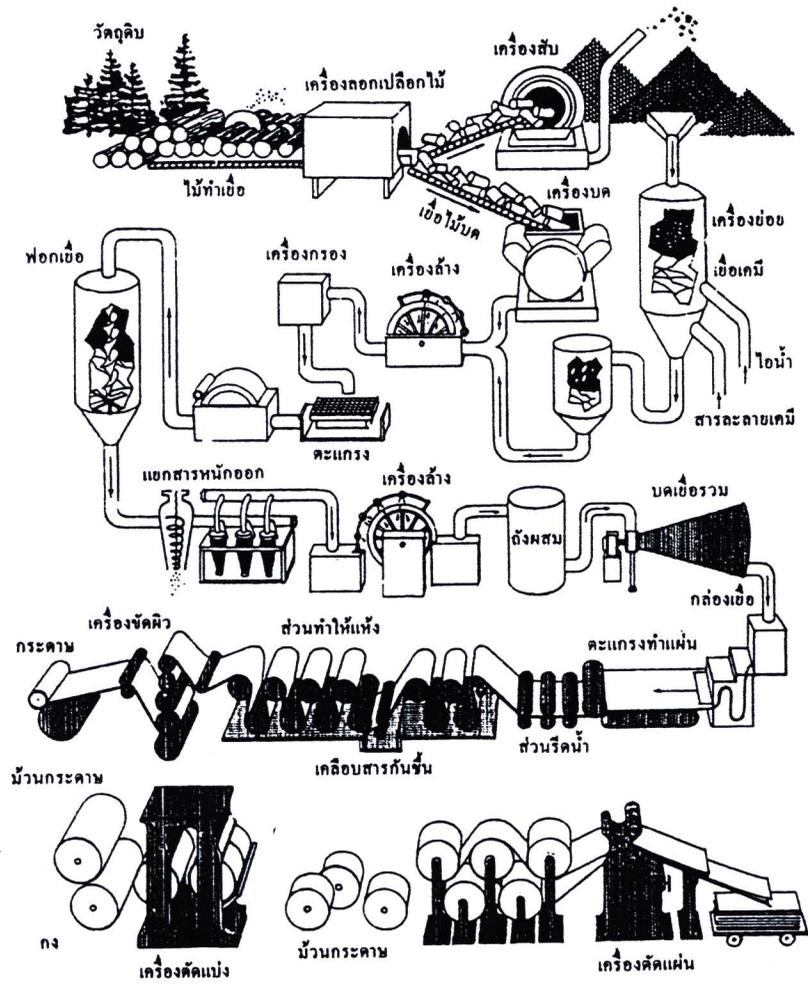
ก. เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใยโดยการนำเยื่อไปบด

ข. เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนดส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำเยื่อ” หรือ “สต็อก” (Stock) เยื่อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด แต่จะบดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อ เยื่อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บดและเยื่อหมุนเวียนใช้ใหม่ (Recycle Pulp) เพราะเยื่อเหล่านี้ผ่านการบดมาแล้ว

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการบดและผสม โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติเรียงตามลำดับคือ

- การกระจายเส้นใยเป็นการกระจายเชื้อเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดร่าพัลพ์เพอร์ (Hydra Pulper)
- การบดเชื้อ เป็นการบดเชื้อเพื่อให้เส้นใยแตกแขนง เป็นการเพิ่มการยึดกันระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือ รีไฟน์เนอร์ (Refiner)
- การผสมน้ำเชื้อเป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเชื้อที่ผ่านการบดแล้ว โดยผสมในถังใบพัดคววนเชื้อจะถูกเก็บไว้ในถังที่เรียกว่า แมชชีนเชสต์ (Machine Chest)
- การคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรก เป็นการคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเชื้อ การคัดขนาดจะใช้ตระแกรงราบ (Flat Screener) เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาดระบบเซนติฟิวจ์หรือระบบปั่นแยก (Centrifugal Cleaner) จะคัดแยกวัสดุอื่นออกไป โดยใช้หลักความถ่วงจำเพาะ
- การควบคุมความชื้นของน้ำเชื้อ เพื่อควบคุมให้น้ำเชื้อมีความเข้มข้นคงที่



รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังแสดงกระบวนการผลิตกระดาษ

2.6.2.2 การทำแผ่นกระดาษ

หลังการผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำให้เป็นแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องที่เรียกว่า กระดาษม้วน เครื่องจักรพื้นฐานที่ใช้ผลิตกระดาษมี 2 แบบ คือ แบบโฟร์ดรีนเนอร์ (Fourdrinier) และแบบไซลินเดอร์ (Cylinder) โดยเครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบ จะมีส่วนประกอบต่างๆ เพื่อทำหน้าที่หลัก 3 ประการ

ก. การแยกน้ำออก (Draining) อาศัยตะแกรงรองรับน้ำเยื่อ น้ำจะลอดผ่านตะแกรง ทำให้เยื่อ ก่อตัวเป็นแผ่นเปียก

ข. การกดน้ำออก (Pressing) มีลูกกลิ้งทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการ ยึดติดกันแน่นระหว่างเส้นใยภายในแผ่นกระดาษ

ค. การอบกระดาษ แผ่นกระดาษจะถูกอบให้แห้งเพื่อไล่น้ำออกจนกระดาษแห้ง เหลือ ความชื้นประมาณร้อยละ 4-6

จะเห็นได้ว่าหน้าที่หลักทั้ง 3 ประการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเอาน้ำออกจากกระดาษ อีกทั้งเครื่องจักรผลิต กระดาษทุกแบบจะออกแบบเพื่อรองรับหน้าที่หลักทั้ง 3 ประการ ซึ่งส่วนประกอบที่ทำหน้าที่โดยตรง ได้แก่ ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น ส่วนกดกระดาษ และส่วนอบกระดาษ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรผลิต กระดาษแบบโฟร์ดรีนเนอร์จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ถังจ่ายน้ำเยื่อ (Head Box) ทำหน้าที่จ่ายน้ำเยื่อเข้าสู่ตะแกรงลวดเดินแผ่น
- ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น (Wire Section หรือ Forming Section) ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ ก่อตัวเป็นแผ่นกระดาษด้วยกระบวนการกรองและการแยกน้ำออก (Dewatering) แผ่น เปียกที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 80
- ส่วนกดกระดาษ (Press Section) ทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการ ยึดติดกันแน่นภายในเนื้อกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 การเอาน้ำ ออกให้ได้มากกว่านี้ ด้วยแรงกดไม่สามารถทำได้เพราะทำให้กระดาษขาด
- ส่วนอบกระดาษ (Drying Section) ในส่วนนี้จะให้ความร้อนกับกระดาษทำให้กระดาษ แห้ง โดยกระดาษออกจากส่วนนี้将有ความชื้นประมาณร้อยละ 4-6
- ส่วนรีดกระดาษ (Calender) ทำหน้าที่ปรับแผ่นกระดาษให้เรียบและมีเนื้อแน่นขึ้น
- ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน (Winder) ทำหน้าที่นำกระดาษเข้าม้วน

2.6.3 การปรับสภาพผิวกระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุใช้พิมพ์จะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในงานพิมพ์โดยต้องมีความ สะอาด ความขาวสว่าง ความทึบแสง และความแข็งแรงทางเชิงกลต่างๆ แล้วยังต้องมีสมบัติด้าน พื้นผิวที่ดีอีกด้วย เช่น มีความเรียบ การรับหมึก และความแข็งแรงของผิวกระดาษ ซึ่งสมบัติด้าน พื้นผิวเหล่านี้มีความสำคัญต่อคุณภาพงานพิมพ์มาก เพราะสมบัติด้านพื้นผิวมีผลต่อสภาพการเดิน

กระดาษคล่องและสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงผิวกระดาษ เพื่อให้ที่สมบัติด้านพื้นผิวที่เหมาะสมกับการพิมพ์ ซึ่งสามารถทำการปรับปรุงได้ 4 วิธีด้วยกัน คือ

2.6.3.1 การฉาบผิว

การฉาบผิวเป็นการปรับปรุงสมบัติด้านพื้นผิวของกระดาษเพื่อให้พื้นที่ผิวของกระดาษแข็งแรง ซึ่งทำให้กระดาษไม่เกิดการถอนผิว เมื่อได้รับแรงระหว่างการพิมพ์หรือการแปรรูปต่างๆ การฉาบผิวจะทำในขณะที่กระดาษเดินผ่านอยู่และแห้งแล้ว โดยการใช้แป้งกัม และพีวีเอ (PVA) ฉาบที่ผิวหน้ากระดาษ โดยฉาบที่เครื่องไซส์เพรส เพื่อให้แป้งไปอุดรูที่มีในผิวกระดาษทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น และยังเป็น การเพิ่มพื้นที่ผิวกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวแข็งแรงขึ้น เครื่องฉาบผิว มีหลายแบบ ได้แก่ แนวตั้ง แนวนอน และแนวเอียง โดยแบ่งตามลักษณะของลูกกลิ้งที่ใช้ฉาบ โดยแบบแนวตั้ง (Vertical) เป็นแบบที่เก่าที่สุด มีวิธีการฉาบผิวดังนี้ น้ำแป้งถูกส่งเข้าไปที่ลูกกลิ้งตัวบน น้ำแป้งส่วนเกินจะไหลผ่านกระดาษลงไปในถาดรองรับ ซึ่งน้ำแป้งจะถูกเก็บไว้แล้วจะถูกส่งไปที่ด้านล่างกระดาษ โดยลูกกลิ้งตัวล่าง เดิมทีการฉาบผิวจะหมายถึง การฉาบด้วยน้ำแป้งเท่านั้น

ในปัจจุบันได้มีการเติมผงแร่ลงในน้ำแป้งด้วย การเพิ่มปริมาณของผงแร่ที่เติมลงไปทำให้การฉาบผิวทำได้ช้าเกิดปัญหาหลายประการ เพราะเป็นการเพิ่มน้ำหนักของกระดาษ ทำให้กระดาษเกิดการหย่อนตัว ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบของเครื่องฉาบผิวขึ้น เป็นแบบแนวนอน (Horizontal) และแนวเอียง (Incline Size Press) แบบแนวนอนและแบบเอียง เหมาะสำหรับการฉาบผิวกระดาษด้วยความเร็วสูง

การเติมผงแร่ลงไปใน การทำการฉาบผิวเป็นการเพิ่มความขาวสว่าง ความทึบแสงของกระดาษและควบคุมสมบัติด้านพื้นผิวให้เหมาะสมกับการพิมพ์ในการฉาบผิวน้ำแป้งจะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ดีเท่าๆ กับที่ผิวกระดาษ จึงทำให้เครื่องฉาบผิวมี 2 หน้าหลัก คือ เพิ่มความแข็งแรงของพื้นที่และปรับปรุงสมบัติด้านผิวกระดาษให้มีความเรียบสูงขึ้น

2.6.3.2 การรีดผิว

การรีดผิวกระดาษเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อจากส่วนลูกอบเป็นการนำกระดาษที่แห้งแล้วไปผ่านลูกกลิ้งทรงกระบอกไร้สนิม กระดาษจะถูกรีดผิวจนราบและมีพื้นผิวเรียบขึ้น ทำให้สามารถพิมพ์ได้ดี โดยให้กระดาษวิ่งผ่านระหว่างลูกกลิ้งซึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ภายใต้สภาวะนี้กระดาษจะมีสมบัติคล้ายพลาสติก และถูกทำให้หย่นตัว ทำให้ผิวกระดาษเรียบมากขึ้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรีดกระดาษ ได้แก่ ปริมาณความชื้นในกระดาษแรงกดที่กระทำบนกระดาษ และจำนวนของลูกกลิ้งที่กระดาษวิ่งผ่าน ถ้ามีปริมาณความชื้นในกระดาษสูงกระดาษจะหย่นตัวมาก

อีกทั้งลูกกลิ้งที่ซ้อนกันเป็นแถวของส่วนรีดกระดาษจะช่วยลดความหนาของกระดาษ ลูกกลิ้งตัวล่างของแถวลูกกลิ้งจะเกิดการหักงอเนื่องจากน้ำหนักลูกกลิ้งและแรงกดที่ใช้ ถ้าลูกกลิ้งเหล่านี้โก่งงอ แผ่นกระดาษจะได้รับแรงกดที่ขอบมากกว่าส่วนกลางม้วน ทำให้ผิวกระดาษตรงกลางหยาบและลดความหนาของกระดาษ เพื่อแก้ปัญหานี้ลูกกลิ้งตัวล่าง ซึ่งเรียกว่า คิงส์โรล จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าลูกอื่น ๆ และมีลักษณะคล้ายรูปมงกุฎ คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกลางใหญ่กว่าขอบนอก เมื่อลูกกลิ้งตัวบนได้รับแรงกดจะถ่วงน้ำหนักลงสู่ลูกกลิ้งตัวล่างสุดทำให้ลูกกลิ้งตัวล่างไม่โก่งงอ ส่งผลทำให้การรีดผิวกระดาษเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้ง ทำให้กระดาษมีผิวราบและเรียบเหมาะกับการพิมพ์

2.6.3.3 การเคลือบผิว

การเคลือบผิวเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติด้านพื้นผิวกระดาษที่ต้องใช้เทคนิคสูงกว่าวิธีอื่น นิยมใช้กันมากสำหรับทำกระดาษที่ต้องการนำไปทำเป็นวัสดุพิมพ์ในงานพิมพ์คุณภาพสูง การเคลือบผิวกระดาษทำโดยใช้น้ำยาเคลือบผิว ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ผงแร่สีขาว และสารยึดติด เคลือบไปบนผิวกระดาษ โดยใช้เครื่องเคลือบ ส่วนผสมของแร่ประมาณร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักรวม ผงแร่ที่ใช้ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ดินขาว และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) สารยึดติดได้แก่ แป้งเคซีน (Casein) และกาวลาเท็กซ์ (Latex) เมื่อน้ำยาเคลือบไปเคลือบบนผิวกระดาษ ผงแร่ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมากจะไปอุดรูระหว่างเส้นใย ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น การเคลือบผิวกระดาษอาจทำแบบหน้าเดียวหรือสองหน้าก็ได้หรืออาจเคลือบแบบผิวด้าน (Matte Surface) หรือแบบผิวมัน (Gloss Surface) ถ้าต้องการให้กระดาษเคลือบมีความมันวาวสูงต้องผ่านกระดาษเคลือบเข้าสู่เครื่องขัดผิวอีกครั้งหนึ่ง เครื่องเคลือบที่ใช้มีหลายชนิด เรียกตามอุปกรณ์ที่ใช้ปาดหน้ากระดาษ เช่น ใบมีดปาด

2.6.3.4 การขัดผิว

การขัดผิวเป็นการปรับปรุงผิวกระดาษโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผิวกระดาษมีความมันวาวสูง โดยผ่านกระดาษที่เคลือบผิวเข้าสู่เครื่องขัดผิว ซึ่งประกอบด้วยแถวของลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียงซ้อนกันอยู่ กระดาษเคลือบจะวิ่งผ่านลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียงซ้อนกันอยู่ กระดาษเคลือบจะวิ่งผ่านไประหว่างลูกกลิ้งคลหะไร้สนิม และลูกกลิ้งโลหะที่หุ้มด้วยผ้าฝ้ายหรือพลาสติกซึ่งมีลักษณะนุ่มกว่าโดยวางซ้อนสลับกัน กระดาษที่ได้จะมีความมันวาวสูงเหมาะสำหรับการนำไปเป็นวัสดุพิมพ์ของงานพิมพ์คุณภาพสูง

2.7 คุณสมบัติของกระดาษ [3]

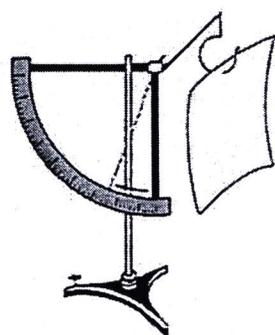
2.7.1 ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural Properties)

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมีได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเคมีแต่งอุดช่องระหว่างเส้นใย ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใยทิศทางการเรียงตัวในแนวนอนเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย

2.7.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight หรือ Grammage)

น้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสถานะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นกรัมต่อตารางเมตร ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือ ปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต

ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ” (Grammage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน



รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐาน

2.7.1.2 ความหนา (Thickness)

หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (Inch) หรือมิล (Mill) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) ความหนาของ

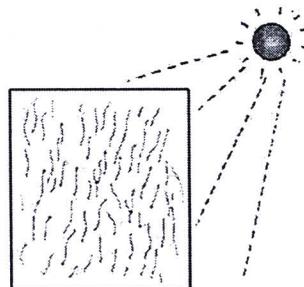
กระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกกดขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและ ชนิดของเยื่อที่ใช้ ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในวงการ กระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานได้เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent Density) ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนัก มาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาได้ ดังนี้

น้ำหนักกระดาษ	49	กรัมต่อตารางเมตร
ความหนา	0.085	มิลลิเมตรหรือ 8.5×10^{-5} เมตร
ความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ	49/0.085	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	หรือ 576,470.58	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หน่วยของความหนาแน่นเสมือนที่นิยมใช้ในระบบ SI จะกำหนดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ความหนาแน่นเสมือนที่ได้ของกระดาษชนิดนี้จะเป็น 576 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฉะนั้นกระดาษที่มีน้ำหนักเท่ากัน แต่มีความหนาของกระดาษต่างกัน กระดาษที่มีความหนามากจะให้ค่าความ หนาแน่นเสมือนน้อย

2.7.1.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)

ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวข้องประสานหรือเกิด พันระเคมีต่อกันในแต่ละบริเวณของกระดาษ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษพิมพ์ เมื่อนำกระดาษเนื้อไม่สม่ำเสมอ (Wild Formation) ไปพิมพ์จะให้งานที่มีคุณภาพไม่ดี ความไม่ สม่ำเสมอของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่ง ต่างๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสง และ องค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสมและการเดินแผ่น ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการ กระจายตัวและจับตัวของสารผสมเหล่านี้ทั้งสิ้น



รูปที่ 2.12 แสดงวิธีตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)

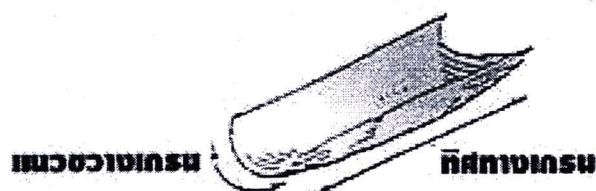
การตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษสามารถทำได้ โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่าง ถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่ำ (Poor Formation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาษไม่เสมอกัน ปรากฏภาพเป็นดวงๆ เป็นทางๆ เป็นฝ้ามม หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ ความสม่ำเสมอของกระดาษมีผลต่อสมบัติของกระดาษทั้งทางเชิงกล และทางแสง ในเชิงปริมาณจะนิยามความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษว่าเป็นสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษพื้นที่ขนาดจิว (100 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน /น้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ย) ปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดที่กำหนดเป็นมาตรฐาน

2.7.1.4 ทิศทางของเส้นใย (Directionality)

หมายถึง แนวหรือทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ ในการผลิตกระดาษเส้นใยจะเรียงตัวในแนวราบเป็นส่วนใหญ่ ถ้าแบ่งตามทิศทางของเครื่องจักรสามารถแบ่งได้เป็น 2 แนว คือ แนวขนานเครื่อง (Machine Direction, MD) หรือแนวเกรน (Grain Direction) และแนวขวางเครื่อง (Cross Direction, CD) หรือแนวขวางเกรน (Cross-Grain Direction) โดยเส้นใยจะเรียงตัวตามแนวขนานเครื่อง (MD) มากกว่าแนวขวางเครื่อง (CD) จากการที่ทิศทางของเส้นใยเรียงตัวในแนวขนานเครื่องมากกว่าแนวขวางเครื่อง ทำให้สมบัติทางเชิงกลของกระดาษทั้งสองแนวแตกต่างกัน (Paper Anisotropy)

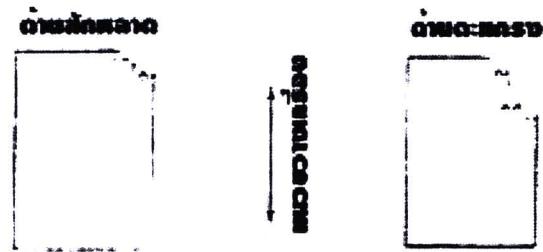
การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษมีความสำคัญมากในขั้นตอนการนำกระดาษไปแปรรูป ยกตัวอย่างเช่น การหักพับ เซาะร่อง สามารถทำได้ง่ายในแนวขนานเครื่อง และค่าความทรงรูปในแนวขนานเครื่องที่สูงกว่ามีประโยชน์ในการออกแบบเพิ่ม หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษ อาจทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

ก. การตรวจสอบการโค้งงอ (Curl Test) ตัดกระดาษเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2 x 2 ตารางนิ้ว แล้วใช้น้ำทาเพียงด้านเดียว กระดาษจะงอตามแนวขวางเครื่อง



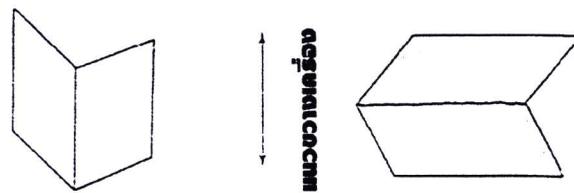
รูปที่ 2.13 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูการโค้งงอของกระดาษ

ข. การตรวจสอบโดยการฉีกกระดาษ ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องจะฉีกได้ง่ายกว่า และแนวตรงกว่าการฉีกในแนวขวางเครื่อง



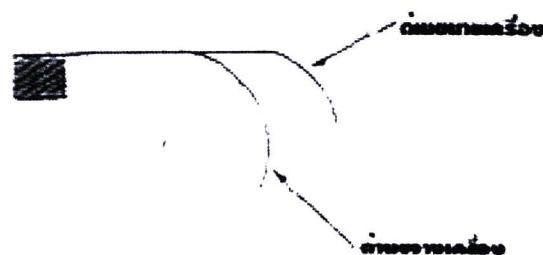
รูปที่ 2.14 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการฉีกกระดาษ

ค. การตรวจสอบโดยการพับกระดาษ (Folding Test) ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องรอยพับจะเรียบกว่าแนวขวางเครื่อง สำหรับแนวขวางเครื่องนั้นเมื่อพับแล้วจะเป็นรอยแตกหัก และไม่เรียบ ถ้าเป็นกระดาษแข็งสามารถสังเกตเห็นรอยแตกหักได้ชัดเจน



รูปที่ 2.15 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการพับกระดาษ

ง. การตรวจสอบโดยการดูความทรงรูป (Relative Stiffness) โดยการตัดกระดาษให้มีความกว้าง และความยาวเท่ากัน ปล่อยให้กระดาษโค้งงอโดยน้ำหนักตัวเองหรือแรงจากภายนอกเท่ากันมากระทำ พบว่า ถ้าเป็นแนวขวางเครื่องจะโค้งงอได้มากกว่าแนวขนานเครื่อง



รูปที่ 2.16 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูความทรงรูป

2.7.1.5 ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-Sideness)

สองด้านของผิวกระดาษที่กล่าวถึง คือ ด้านตะแกรง (Wire Side, WS) และด้านสักหลาด (Felt Side, FS) ด้านตะแกรง หมายถึง ผิวของกระดาษด้านที่สัมผัสกับตะแกรงลวดในเครื่องเดินแผ่น ด้านตะแกรงมักมีรอยตะแกรงปรากฏให้เห็น ด้านสักหลาด หมายถึง ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรง หรือเป็นด้านบนเวลาทำแผ่นกระดาษ ที่จริงแล้วควรเรียกว่า ด้านบน (Top Side) มากกว่า ในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นจะมีการสั่นสะเทือนของเครื่องเพื่อไม่ให้เส้นใยจับกลุ่มกันและในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้ น้ำเชื้อจะเริ่มก่อตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรองและมีการแยกน้ำออก ซึ่งในการแยกน้ำออกจะมีอุปกรณ์ลมดูดต่างๆ ซึ่งจะดูดเอาส่วนเชื้อละเอียด หรือสารเติมแต่งต่างๆ หลุดไปพร้อมกับน้ำด้วย เมื่อมองในทิศทางของ Z (Z-Direction) หรือภาคตัดขวางของกระดาษทั้งแผ่น จะเห็นว่าผิวกระดาษทั้งสองด้านมีองค์ประกอบต่างๆ แตกต่างกัน คือ ด้านบนหรือด้านสักหลาดจะมีส่วนของเชื้อละเอียด (Fine) และส่วนที่ไม่ใช้เส้นใยอยู่มาก ในขณะที่ด้านล่างหรือด้านตะแกรงจะมีส่วนที่เป็นเส้นใย และมีการจัดเรียงตัวตามแนวเกรนของเครื่องมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากด้านตะแกรงนั้น ส่วนของเชื้อละเอียด และอนุภาคของสารเติมแต่งต่างๆ สามารถลอดผ่านตะแกรงไปได้ ผิวกระดาษด้านตะแกรงจะหยาบกว่าด้านสักหลาด โดยความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้านจะมีผลต่อความเรียบ การดูดซึมน้ำ และน้ำมัน โดยเฉพาะในด้านการพิมพ์ความแตกต่างของผิวกระดาษไม่ควรแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการผลิตกระดาษปัจจุบันจะพยายามปรับความแตกต่างของผิวกระดาษ โดยมีการผลิตตะแกรงที่มีความเรียบสูงขึ้น ซึ่งวิธีตรวจสอบผิวกระดาษว่าด้านไหนเป็นด้านตะแกรงหรือด้านสักหลาด สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

ก. การสังเกตว่าด้านไหนที่แสดงรอยตะแกรงจะเป็นด้านตะแกรง (WS)

ข. การตรวจสอบโดยการฉีกขาดที่มุม และสังเกตรอยฉีกขาด โดยคว่ำกระดาษให้ด้านหนึ่งขนานกับพื้นแล้วฉีกที่มุม ถัวยฉีกบริเวณมุมเป็นแนวกว้างของการลอกออกของเส้นใยมาก แสดงว่าเป็นด้านตะแกรง เพื่อให้แน่ใจลองพลิกกระดาษในด้านตรงข้ามแล้วฉีกที่มุมเทียบรอยที่ได้

2.7.1.6 ความพรุนของกระดาษ (Porosity)

กระดาษที่เรามองเห็นนั้นไม่ใช่ว่าจะทึบไปทั่วแผ่นจริงๆ แล้วมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ อยู่ภายในแผ่นกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่ไม่ใช้เส้นใย กระดาษโดยทั่วไปจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราส่วนของปริมาตรรูพรุนต่อปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกระดาษนั้น เรียกว่า ความพรุนของกระดาษ วิธีวัดความพรุนของกระดาษโดยตรงทำได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปจะใช้วัดเทียบกับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่าน โดยวัดจากปริมาตรอากาศ (Total Volume) ที่สามารถไหลผ่านกระดาษในหนึ่งหน่วยเวลา ในสภาวะการทดสอบมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ความพรุนของกระดาษจะแสดงถึงความต้านทานอากาศที่สามารถผ่านได้ด้วย ถ้ากระดาษมีความพรุนมาก หมายถึง ความต้านทานอากาศผ่านจะน้อย ความต้านทานอากาศซึมผ่านมี

ความสำคัญมากต่อการใช้งาน เช่น ถุง กระดาษ กระดาษทิชชู กระดาษกรอง กระดาษกันน้ำมัน เครื่องที่ใช้วัดความพรุนของกระดาษที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบ เช่น เครื่องเบนท์เซน (Bendtsen) และเกอร์เลย์ (Gurly) เครื่องเกอร์เลย์เป็นการวัด โดยการกำหนดให้อากาศคงที่ เวลาเปลี่ยนหน่วยที่ใช้วัดจะเป็นเวลาต่อปริมาตรอากาศ ซึ่งหลักการจะแตกต่างจากของเบนท์เซน ที่เป็นการวัดการต้านทานอากาศ โดยวัดเป็นปริมาณอากาศที่ไหลผ่านในระยะเวลาที่กำหนด หน่วยที่จะวัดเป็นปริมาตรต่อเวลา

2.7.1.7 ความเรียบของผิวกระดาษ (Smoothness)

เป็นลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน ความเรียบมีความสำคัญ โดยเฉพาะทางด้านการพิมพ์ โดยจะแปรไปตามกระบวนการ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต การใช้เส้นใยสั้น ส่วนละเอียด และตัวเติมมากขึ้นจะเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษ นอกจากนี้การรีดผิว เคลือบผิว ขัดผิว ก็มีผลต่อการเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษเช่นกัน การวัดความเรียบใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดความพรุน ความเรียบของผิวกระดาษที่ใช้วัดได้จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ ความหยาบของผิวกระดาษ ความราบของผิวกระดาษ และการขูดตัวเมื่อรับแรงกด

2.7.2 สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ (Mechanical Properties)

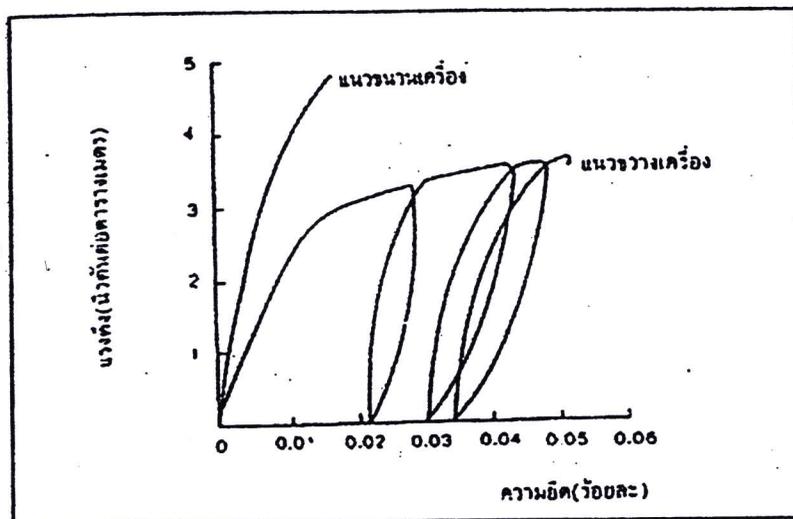
สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษซึ่งหมายถึง การที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งานกระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาในรูปของสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษด้วย ซึ่งสมบัติเชิงกลของกระดาษ แบ่งเป็น 2 ประเภท

2.7.2.1 สมบัติทางเชิงกลพื้นฐาน (Fundamental Mechanical Properties)

สมบัติทางเชิงกลที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของกระดาษที่เกิดขึ้นในขณะที่ได้รับแรงดึง ซึ่งกระดาษแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้น และแรงเครียด (Stress-Strain Plot)

ความเค้น (Stress) ในที่นี้ หมายถึง แรงที่กระทำให้วัตถุเกิดการยืดตัว ยกตัวอย่างเช่น แขนงค้ำน้ำหนักไว้ที่ปลายลวด ลวดได้รับแรงดึงทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น แรงที่กระทำเรียกว่า เทนไซส์สเตรส (Tensile Stress) มีหน่วยเป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

ความเครียด (Strain) ในที่นี้ หมายถึง การยืดตัวของวัตถุเมื่อถูกแรงดึง หน่วยที่ใช้เป็นร้อยละ โดยคิดจากความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิมของวัตถุ เช่น วัตถุเดิมยาว 100 มิลลิเมตร หลังจากได้รับแรงดึง มีความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 105 มิลลิเมตร ดังนั้นวัตถุนี้就会有ความเครียด หรือความยืดเท่ากับร้อยละ 5 โดยพฤติกรรมของกระดาษอธิบายจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้ ดังรูปที่ 2.17

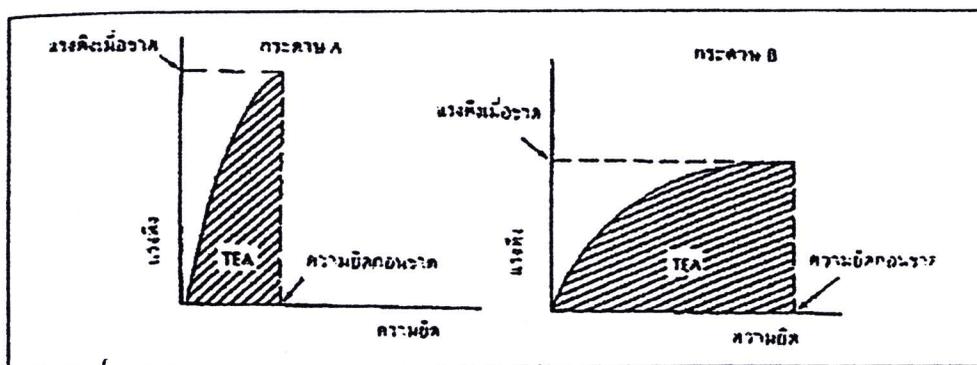


รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของกระดาษ

จากภาพจะเห็นว่าค่าแรงดึงของแนวขนานเครื่องจะสูงกว่าแนวขวางเครื่อง และความยืดตัวของแนวขวางเครื่องจะสูงกว่าแนวขนานเครื่อง อันเป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวของเส้นใย ที่ระดับความยืดร้อยละ 0.005 ของกระดาษทุกชนิด ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และแรงยืด จะเป็นสมการเส้นตรง โดยเมื่อได้รับแรงดึงของกระดาษจะมีการยืดตัวออก และสามารถหดตัวกลับไปที่มีความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออก เรียกพฤติกรรมนี้ของกระดาษว่า พฤติกรรมที่ยืดหยุ่นได้ (Elastic Behavior) แต่ที่ระดับความยืดตัวสูงกว่านี้กระดาษจะแสดงสมบัติคล้ายพลาสติก คือ เมื่อได้รับแรงดึงกระดาษจะยืดออกแล้วไม่สามารถหดตัวกลับไปที่มีความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออก ซึ่งเป็นลักษณะการยืดตัวของพลาสติก ที่ระดับความยืดร้อยละ 0.022 หรือ 0.03 ซึ่งเป็นวงจรที่สอง และสามของการยืดตัวของกระดาษ (Straining-Destraining Cycles) ในช่วงวงจรนี้ กระดาษยืดตัวออกโดยมีแรงกระทำที่คงที่ แต่ไม่สามารถหดตัวกลับไปที่มีความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออก จะเห็นได้ว่ากระดาษสามารถแสดงสมบัติทั้งของยางและพลาสติกได้เมื่อได้รับแรงดึง (Viscoelastic)

จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง และค่าความยืดตัว สามารถจัดสมบัติเชิงกลพื้นฐาน โดยพิจารณาจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของแรงดึง และความยืดตัว หรือทีอีเอ (Tensile Energy Absorption,

TEA) มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น จูลต่อตารางเมตร (J/m^2) กระจกแต่ละชนิดจะมีพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง และความยืดตัวต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.18 กระจก 2 ตัวอย่าง A และ B จะมีค่าทีอีเอ (TEA) ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความยืดของกระจก A และ B

กระจก A มีค่าแรงดึงสูงกว่ากระจก B แต่กระจก B จะมีค่าทีอีเอ (TEA) สูงกว่า กระจก A ซึ่งมีแรงดึงสูงกว่า ทั้งนี้เพราะกระจก B มีค่าความยืดสูงกว่าจึงให้ค่าทีอีเอ (TEA) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากค่าแรงดึง และความยืดตัว

2.7.2.2 สมบัติทางเชิงกลประยุกต์ (Applied Mechanical Properties)

สมบัติทางเชิงกลประยุกต์เป็นสมบัติของกระจกที่บ่งชี้ถึงค่าความต้านทานแรงที่มากกระทำต่อกระจกในหลายลักษณะจนกระจกขาด ได้แก่ แรงดึง แรงฉีก และแรงเฉือน สมบัติทางเชิงกลของกระจก ได้แก่ ความต้านแรงดึง และการยืดตัว ความต้านแรงด้นทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด ความทนต่อการพิบขาด และความทรงรูป

สมบัติทางเชิงกลเหล่านี้ ยกเว้นความต้านแรงด้นทะลุจะขึ้นอยู่กับทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยว่าจะ เป็นแนวนานเครื่อง หรือแนวขวางเครื่อง โดยทิศทางของเส้นใยจะทำให้ค่าสมบัติทางเชิงกลของกระจกตามแนวนานเครื่อง และขวางเครื่องแตกต่างกัน เช่น ความต้านแรงดึงขาดในแนวนานเครื่องจะมีค่ามากกว่าแนวขวางเครื่อง หรือความต้านทานแรงฉีกขาดในแนวนานเครื่องจะมีค่าน้อยกว่าแนวขวางเครื่อง การทดสอบสมบัติเชิงกลเหล่านี้ มีความหมายต่อการนำไปใช้งาน และการตรวจสอบด้านคุณภาพ

ก. ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และการยืดตัว (Elongation) ความต้านแรงดึง หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระจกจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็น

แรงต่อความกว้างของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m^2) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in) โดยค่าที่วัดได้จะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นถึงความทนทาน และศักยภาพในการใช้งานของกระดาษซึ่งต้องรับแรงในขณะใช้งาน เช่น เพื่อการห่อของ ทำถุง ทำม้วนเทป โดยทั่วไปแล้วค่าต่ำสุดของความต้านแรงดึงของกระดาษแต่ละชนิดต้องการเพียงเพื่อไม่ให้แผ่นกระดาษฉีกขาดระหว่างการแปรรูปเพื่อใช้งาน เช่น การใช้กระดาษม้วนป้อนงานพิมพ์ นอกจากนี้ยังนำไปใช้สำหรับกระดาษที่ต้องการความต้านแรงดึงขาดเมื่อเปียก (Wet Tensile Strength) เพื่อให้แน่ใจว่ากระดาษไม่ยุ่ยง่ายเมื่อถูกน้ำในขณะใช้งาน โดยการตรวจสอบความต้านแรงดึงขาดขณะที่กระดาษยังเปียกอยู่

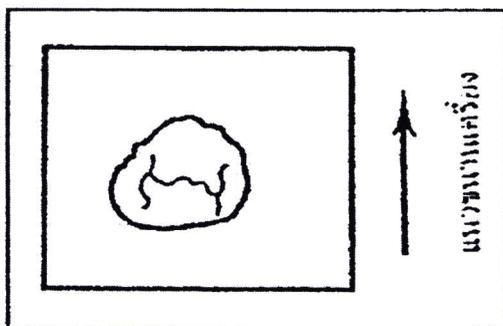
หลักการในการตรวจสอบความต้านแรงดึง นำกระดาษที่ได้รับการตัดแล้วตามมาตรฐานทดสอบโดยยึดไว้ระหว่างปากจับชั้นทดสอบทั้งสอง ปากจับชั้นทดสอบจะเคลื่อนที่ดึงจนชั้นทดสอบขาด โดยดึงด้วยความเร็วคงที่ เครื่องทดสอบแบบนี้เรียกว่า แบบลูกตุ้ม (Pendulum Type) ที่วัดโดยปากกาจับข้างหนึ่งจะตรึงอยู่กับที่ ส่วนอีกข้างหนึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ เครื่องทดสอบแบบนี้เรียกว่า เครื่องทดสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์

สมบัติการยืดตัวของกระดาษนับว่ามีความสำคัญมากดังที่ได้กล่าวในสมบัติทางเชิงกลพื้นฐานเกี่ยวกับค่าทีอีเอ (TEA) ของกระดาษแล้ว ค่าความยืดที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มทีอีเอ (TEA) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกศักยภาพการใช้งานของกระดาษชนิดพิเศษที่ต้องการมีความยืดสูงมากพอที่จะทนแรงที่มากกระทำได้ เช่น กระดาษที่ใช้ทำถุงหลายชั้น เพราะกระดาษที่มีความยืดตัวสูงจะไม่แตกเปราะง่าย การที่กระดาษมีค่าแรงดึงสูงเพียงอย่างเดียวไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในลักษณะการใช้งานของกระดาษชนิดนี้ เพราะกระดาษจะเกิดการแตก เนื่องจากไม่มีความแข็งแรงพอจะรับแรงมาก จะทำให้เกิดการยืดตัวได้ ซึ่งความยืดตัวของกระดาษเพิ่มได้โดยการบดเยื่อ แต่ถ้าต้องการเพิ่มความยืดกระดาษให้สูงขึ้นอีกสามารถทำได้โดยทำให้กระดาษย่น ซึ่งเป็นการทำให้เกิดรอยย่นขนาดเล็ก (Microcrepe) บนผิวกระดาษยืดพิเศษ (Extensible Paper) กระดาษชนิดนี้จะให้ค่าทีอีเอ (TEA) สูง

ข. ความต้านแรงฉีกขาด (Bursting Strength) ความต้านแรงฉีกขาด หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความต้านแรงฉีกขาดนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความต้านแรงดึงในแนวขนานเครื่อง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของแรงที่มากกระทำต่อชั้นทดสอบ อธิบายได้ดังนี้

จากการที่พื้นที่ทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลม ในการทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบทำงาน แผ่นไคโออะแพรมจะถูกดันให้โป่งขึ้นจนทำให้กระดาษแตกทะลุ ก่อนที่กระดาษจะแตกออก กระดาษจะเกิดการแยกตัวออกไปในทุกทิศทาง แต่เนื่องจากกระดาษมีความยืดในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน ดังนั้น

ความสามารถในการรับแรงที่มากระทำจึงไม่เท่ากันทุกทิศทาง แนวรอยแตกของชั้นทดสอบที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตั้งฉากกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ เพราะกระดาษมีการยึดตัวในแนวที่ต่ำกว่าแนวขวางเครื่อง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถบอกได้ว่า แนวรอยแตกเป็นแนวเดียวกันกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงรอยแตกของชั้นทดสอบในการทดสอบความต้านแรงคันทะลุ

กระดาษที่จำเป็นต้องตรวจสอบความต้านแรงคันทะลุ จะเกี่ยวข้องกับการบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กระดาษฟิวกล่อง (Linerboard) ซึ่งจะนำมาใช้ผลิตฟิวกระดาษลูกฟูก (Corrugated Board) หรือกล่องที่ใช้เพื่อการขนส่ง (Shipping Container) หลักการในการตรวจสอบความต้านทานแรงคันทะลุ วางชั้นทดสอบระหว่างปากจับบน และล่างซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมมีช่องกลมตรงกลาง แล้วเดินเครื่องทำงาน กลีเซอลีน (อยู่ภายในตัวเครื่อง) จะดันแผ่นยางไคอะเฟรมจนโป่งขึ้นดันจนกระดาษแตกทะลุ

ก. ความต้านแรงฉีกขาด (tearing strength) ความต้านแรงฉีกขาด หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้ชั้นทดสอบหนึ่งชั้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือกรัม (gram) กระดาษที่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาด ได้แก่ กระดาษทำถุง กระดาษพิมพ์และเขียน หลักการในการตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาดทำโดยใส่ชั้นทดสอบที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ในระหว่างปากจับบนแท่นเครื่อง และบนลูกค้อน ซึ่งเคลื่อนที่ได้ ใช้ใบมีดตัดชั้นทดสอบเป็นการฉีกนำยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยให้ลูกค้อนเคลื่อนที่ ชั้นทดสอบจะฉีกขาด ความต้านแรงฉีกขาดนี้ขึ้นกับความยาวของเส้นใยเซลลูโลสเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อก็มีผลทำให้ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามหากบดเยื่อมากเกินไปจนทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงมาก ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษก็จะลดน้อยลง แม้ว่าเส้นใยเซลลูโลสจะเกิดพันธะกันได้อีกตาม ทั้งนี้กระดาษในแนวขนานเครื่องมีความต้านแรงฉีกขาดน้อยกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง

ง. ความทนต่อการพับขาด (Fold Endurance) ความทนต่อการพับขาด หมายถึง จำนวนการพับไปพับมา (Double Folds) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็นจำนวนครั้ง หรือ \log_{10} ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขวางเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความทนต่อการพับขาดจะเป็นการคิดที่รวมความต้านแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษ และความต้านทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ เช่น กระดาษปก หลักการในการตรวจสอบความทนต่อการพับขาดที่จะทำโดยยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบด้วยแรงคงที่ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกจับด้วยปากจับ แล้วพับไปมาด้วยความเร็วคงที่ และองศาตามมาตรฐานกำหนด จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

จ. ความทรงรูป (Stiffness) ความทรงรูป หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานแรงที่มากระทำทำให้กระดาษโค้งงอด้วยน้ำหนักกระดาษจากภายนอก หน่วยที่ใช้เป็น นิวตัน หรือนิวตันต่อเมตร หรือหน่วยอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งความต้องการค่าความทรงรูปของผู้ใช้งานอาจสูง หรือต่ำก็ได้ตามความเหมาะสมของกระดาษ เช่น กระดาษสำหรับการพิมพ์ระบบป้อนเป็นแผ่น กระดาษแข็งชนิดต่างๆ เช่น กระดาษแฟ้มปกแข็ง กระดาษการ์ดต่างๆ เช่น กระดาษโปสเตอร์ กระดาษทำด้วย นอกจากนี้สมบัติด้านความทรงรูปของกระดาษนับเป็นสมบัติทางเชิงกลที่สำคัญที่สุดของกระดาษบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถต้านทานการเสียรูป หรือการโป่งพองของสินค้า (Bulging) ในขณะที่บรรจุ และตั้งวางอยู่บนชั้นวางสินค้า หลักในการตรวจสอบ ใส่ชิ้นทดสอบในปากจับ ทำการทดสอบโดยแรงกระทำจะทำให้กระดาษโค้งงอไปเป็นมุม 7.5 องศา หรือ 15 องศา แล้วแต่วัดกระดาษ

2.7.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical Properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) สี (Color) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์เพียงอย่างเดียวได้ แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตศาสตร์ร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกต และสมองตัดสินใจรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์ หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์ และแปรผลของการสะท้อนแสง หรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

สมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ที่ปรากฏแก่สายตาทั้งหมดเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างแสงกับกระดาษ คือ เมื่อแสงตกกระทบแผ่นกระดาษจะเกิดปรากฏการณ์ 4 อย่าง การสะท้อนแสง การกระเจิงของแสง และการส่องผ่านของแสง ซึ่งสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ ได้แก่

2.7.3.1 ความขาวสว่าง (Brightness)

ในวงการอุตสาหกรรมกระดาษจะหมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตรเท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่าง เพื่อต้องการดูผลของการฟอกเยื่อที่สำคัญ เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อน อันเนื่องจากลิกนินจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเยื่อไป ฟอกโดยการขจัดลิกนิน หรือเปลี่ยน โครงสร้างแล้ว เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมา

2.7.3.2 ความทึบแสง (Opacity)

ความทึบแสงของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพ หรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดปัญหาในการอ่าน และความชัดเจนของสิ่งที่พิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุ

ความทึบแสง และความขาวสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสง และการดูดซับแสง กระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมาก อาจมีปัญหาด้านความทึบแสง เพราะเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมช่วยเพิ่มมากกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

2.7.3.3 ความมันวาว (Specular Gloss)

ความมันวาว เป็นสมบัติด้านทัศนศาสตร์อย่างหนึ่งของกระดาษเคลือบผิว (Coated Paper and Board) หรือกระดาษอาร์ต โดยหลักการความมันวาว หมายถึง ลักษณะของผิวกระดาษที่จะสะท้อน ณ มุมที่กำหนด โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ สำหรับกระดาษนิยมให้เชิงมุม 75 องศา กับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (Specular) ดังกล่าวมีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไป (Diffuse) ผิวกระดาษจะดูมันวาวมาก อย่างไรก็ตามกระดาษบางประเภทที่มีความมันวาวมาก เช่น กระดาษชุบไข (Waxed Paper) อาจใช้มุมอื่นในการวัด เช่น 20 องศา

ความมันวาวของกระดาษกับความเรียบของผิวกระดาษมิได้มีความสัมพันธ์กันเสมอไป ความมันวาวเป็นความพอใจของผู้ใช้มากกว่า ความจำเป็นต่อการใช้งาน กระดาษอาร์ตด้าน (Matt Art) ซึ่งมีความมันวาวต่ำก็สามารถให้ผลงานพิมพ์คุณภาพสูงได้

2.7.3.4 ความขาว (Whiteness)

ความขาว เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง คนจะรู้สึกว่กระดาษ หรือวัสดุใดมีสีขาวกว่าอีกสิ่งหนึ่ง ถ้ากระดาษนั้นสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นออกมาสม่ำเสมอ กว่าที่ย้อม (Tinting) กระดาษขาวด้วยสีม่วง หรือสีน้ำเงินให้ดูขาวขึ้นก็เพราะแสงสีเหลือง และแสงสีแดงถูกดูดซับไว้มากขึ้น จึงถูกสะท้อนออกมาน้อยลง หากวัดค่าความขาวสว่างจะพบว่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสีที่ใส่ลงไป ในกระดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงิน จะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่น

การใช้สารฟอกขาวในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วง และสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน

2.7.4 สมบัติด้านการกีดกัน และด้านการต้านทานของกระดาษ (Barrier and Resistance Properties)

สมบัติด้านการกีดกัน (Barrier Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษสมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ

กระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสาร และการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (Greaseproof Paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ต้องมีสมบัติด้านการกีดกันสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อป้องกันสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน โดยกระดาษจะมีการดูดซึมสารเมื่อสารซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษ ซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุน และรูปิดจำนวนมากมาย ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านของกระดาษของสารซึมทะลุ

2.7.4.1 การไหลผ่านกระดาษ

อันตรกิริยาระหว่างกระดาษ และสารซึมทะลุ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีผลต่อการไหลผ่านกระดาษ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสารซึมทะลุเป็นอากาศ หรือแก๊ส อากาศจะไหลผ่านกระดาษได้ง่ายหรือไม่ จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ อากาศขึ้นจะมีการไหลผ่านกระดาษ ใก้ดีกว่าอากาศแห้ง เพราะกระดาษจะดูดซึมความชื้นไว้ ทำให้เส้นใยบวมพองส่งผลให้กระดาษขยายตัว ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ แต่ถ้าสารซึมทะลุเป็นของเหลวการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูมุมสัมผัส ที่ของเหลวทำบนผิวกระดาษและเวลาที่ของเหลวทำให้กระดาษเปียก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระดาษ ได้แก่ รูปร่าง และขนาดของรู (Pore Structure and Size) มุมสัมผัสระหว่างผิวของของเหลว และผิวกระดาษ เวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time) การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling) และการแพร่กระจาย (Diffusion)

2.7.4.2 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทาน

การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานสามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการให้กระดาษต้านทานของเหลวชนิดใด เช่น น้ำมัน ไขมัน และความชื้น สามารถทำได้ ดังนี้

ก. วิธีทางเชิงกล โดยการบดเยื่อหนักรวมเส้นใยแตกแขนง และเกิดเส้นฝอยมากมาย ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย เมื่อนำเยื่อไปทำกระดาษจะได้กระดาษเนื้อแน่น และบางใส สามารถต้านทานการซึมทะลุของน้ำมัน และไขมันได้ดี กระดาษชนิดนี้ ได้แก่ กระดาษกลาสซีน (Glassine Paper) และกระดาษกริซปรัฟ (Greaseproof Paper)

ข. วิธีทางเคมี หรือที่เรียกว่าการทำพาสเม้นท์ไทเซชัน (Parchmentization) โดยการนำกระดาษไปผ่านในสารละลายซัลฟูริกจะละลายเซลลูโลสบนผิวกระดาษ ทำให้เซลลูโลสหลอมละลายติดกัน เมื่อแห้งจะได้กระดาษที่มีเนื้อแน่น และแสงผ่านได้ดี เช่น กระดาษเว็จเจ้ทอะเบิ้ลพาสเม้นท์ (Vegetable Parchment Paper)

กระดาษที่ไม่มีรูพรุน รูปิด และเนื้อแน่นสามารถต้านทานการไหลผ่านของของเหลวได้ดี และยังทำให้อากาศไหลผ่านได้ยากอีกด้วย นอกจากนี้การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานไขมัน อาจทำได้โดยใช้แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารสังเคราะห์ปิดทับรูพรุนของกระดาษ เช่น กระดาษใช้สารฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) เดิมเป็นส่วนผสมของกระดาษ การทำให้มีสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำทำได้โดยเติมสารต้านทานการซึมน้ำ (Sizing Agent) ลงในส่วนผสมของกระดาษ ทำได้ 2 วิธี คือ

- อินเทอร์นอล ไชซ์ซิ่ง (Internal Sizing) วิธีนี้เป็นการเติมสารต้านทานการซึมน้ำลงไปในส่วนผสมของกระดาษก่อนที่กระดาษจะเดินเป็นแผ่น สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ อลูมิเนียม/โรซิน (Alum/Rosin) ไซ และยางมะตอย

- แอ็กซ์เทอร์นอล ไชซ์ซิ่ง (External Sizing) หรือที่เรียกว่าการฉาบผิวกระดาษ (Surface Sizing) เป็นการใส่สารต้านทานการซึมน้ำลงไปหลังจากที่กระดาษเดินเป็นแผ่นแห้งแล้ว สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ แป้ง กัม และพีวีเอ (Polyvinyl Alcohol, PVA) การฉาบผิวจะช่วยปรับปรุงด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ และการดัดลอนผิวกระดาษอีกด้วย การใส่สารต้านทานการซึมน้ำ แม้ว่าจะใส่ในระดับมากจนถึงขั้นที่เรียกว่าฮาร์ดไซซ์ (Hard-Sized) แล้วก็ตาม จะไม่สามารถป้องกันการซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อกระดาษได้

2.7.4.3 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านกีดกัน

การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกันเป็นการทำให้กระดาษมีสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของก๊าซ น้ำ ไขมัน น้ำมัน ไขมัน และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งนับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญมากของกระดาษบรรจุภัณฑ์ สามารถทำได้โดยการเคลือบผิวกระดาษ การฉาบชั้นฟิล์มบางๆ หรือลามิเนต และการอาบน้ำยา (Impregnation) ด้วยสารกีดกัน แม้ว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่นำมาปิดทับกระดาษโดยใช้สารยึดติดอาจใช้ได้ดี แต่ในปัจจุบันสารกีดกันที่ใ้ใช้มักเป็น โพลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) และพอลิไคลอโรไธน (Polyvinylidene Chloride, PVDC) ซึ่งจะใช้สารเหล่านี้เคลือบบนผิวกระดาษ สารเคลือบจะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ เมื่อแห้งตัว และกระดาษที่ผ่านการทำด้วยวิธีนี้จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของน้ำ อากาศ ไขมัน และอื่นๆ สูง เหมาะสำหรับการทำกระดาษบรรจุภัณฑ์

2.7.4.4 การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ มีวิธีวัดค่าที่ทดสอบได้เป็น 2 แบบ คือ การทดสอบที่วัดเป็นปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซับไว้ ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด และการทดสอบที่วัดระยะที่น้ำซึมทะลุผ่าน ภายใต้ระยะทางที่กำหนด การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ ทำได้ดังนี้

ความต้านทานการดูดซึมน้ำแบบคอบบ์เทสต์ (Cobb Test) เป็นการวัดปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซับไว้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด การทดสอบทำโดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นรูปโลหะรูปวงแหวนมีพื้นที่ภายใน 100 ตารางเซนติเมตร มีปากจับสำหรับยึดขึ้นทดสอบ วางขึ้นทดสอบที่รู้น้ำหนักแน่นอนบนแผ่นยาง แล้วยึดด้วยปากจับให้แน่น เทน้ำที่รู้ปริมาตรแน่นอนลงไป ในวงแหวน จับเวลา เมื่อถึงกำหนด เทน้ำออกจับให้แห้ง แล้วนำขึ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนัก จดน้ำหนักกระดาษเปียกไว้ น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับไว้ รายงานหน่วยเป็นกรัมของน้ำที่ถูกดูดซับต่อพื้นที่กระดาษ 1 ตารางเมตร

2.8 มาตรฐานการทดสอบกระดาษ [5]

2.8.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทดสอบ

การวิเคราะห์ทดสอบเยื่อกระดาษ กระดาษ และวัสดุอื่นที่เกี่ยวข้องมีวัตถุประสงค์สำคัญ 3 ประการ คือ

2.8.1.1 นำข้อมูลมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้การผลิตเป็นไปอย่างประหยัด มีประสิทธิภาพ และสามารถรักษาคุณภาพได้ตามเป้าหมาย

2.8.1.2 เพื่อประโยชน์ในการซื้อขาย การจัดเก็บภาษีอากร และการกำหนดควบคุมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.8.1.3 เพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัย

2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทดสอบ

ในการวิเคราะห์ทดสอบทุกอย่าง สิ่งที่ต้องระลึกถึงก่อนอื่น คือวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เพราะวัตถุประสงค์คือ หลักในการกำหนดรายละเอียดในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทดสอบ เราจึงควรเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปกับวัตถุประสงค์ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่

2.8.2.1 แผนการชักตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบ แผนที่เหมาะสมกำหนดโดยวัตถุประสงค์ (เช่น เพื่อการตรวจรับรุ่นหรือเพื่อการศึกษาวิจัย) สถานที่ (Space) เวลา (Time) ผลการทดสอบที่ได้จะอำนวยความสะดวกให้คุ้มค่าใช้จ่ายเพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการชักตัวอย่างเป็นการแรก

2.8.2.2 วิเคราะห์ทดสอบ ต้องเป็นวิธีทดสอบที่ถูกต้องและเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไป วิธีวิเคราะห์ทดสอบกระดาษที่รู้จักกันดี ได้แก่

ก. TAPPI Standards ซึ่งประกอบด้วย Official Test Methods, Provisional Test Methods และ Useful Methods

ข. SCAN Test

ค. ISO Standard

ง. ASTM

ตามปกติเราควรปฏิบัติตามวิธีทดสอบมาตรฐานโดยเคร่งครัด เพื่อความถูกต้องของผลการทดสอบและความสามารถเปรียบเทียบกันได้ดีกับแหล่งทดสอบอื่น แต่ทั้งนี้อาจพิจารณาจากวัตถุประสงค์ เช่น งานทดสอบเป็นประจำในโรงงานซึ่งต้องการความเร่งด่วนอาจดัดแปลงวิธีมาตรฐานให้สะดวกยิ่งขึ้นได้ แต่ถ้าเป็นการทดสอบเพื่อประโยชน์ทางการค้าก็จำเป็นต้องปฏิบัติตามมาตรฐานโดยเคร่งครัด และควรเลือกมาตรฐานการทดสอบที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปหรือตกลงกันไว้ก่อน

2.8.2.3 อุปกรณ์หรือเครื่องมือทดสอบมาตรฐานวิธีทดสอบจะกล่าวถึงเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทดสอบและการปรับตั้งโดยละเอียด การดูแลรักษาเครื่องมือและปรับตั้งให้ถูกต้องตามมาตรฐานจะช่วยให้ผลการทดสอบที่ได้มีความถูกต้องและใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ความผิดพลาดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบอาจก่อให้เกิดความสูญเปล่าที่มีมูลค่าอย่างคลาดไม่ถึง

2.8.2.4 การวิเคราะห์ทดสอบผลอย่างมีหลักเกณฑ์และรายงานผลอย่างมีความหมาย ข้อมูลที่ได้รับการวิเคราะห์ทดสอบจำเป็นต้องได้รับการวิเคราะห์ทดสอบจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบพิจารณา เช่น การตัดทอนค่าที่ผิด การตรวจสอบการกระจายของผลการทดสอบ การลากเส้นผ่านจุด (Curve Fitting) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและอื่น ๆ การวิเคราะห์และรายงานเป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งในการนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยอาศัยหลักเกณฑ์ทางสถิติ

2.8.3 การจำแนกคุณสมบัติที่วิเคราะห์ทดสอบในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องในขั้นแรก เราควรพิจารณาแยกคุณสมบัติที่ทดสอบกันทั่วไปตามลักษณะปรากฏการณ์ สำหรับเป็นแนวทางการทำความเข้าใจกับเรื่องอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

2.8.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) แบ่งออกได้เป็นคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ เช่น

ก. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical) หมายถึง คุณสมบัติกระดาษที่เกี่ยวข้องการรับแรงกระทำหรือความแข็งแรง เช่น ความต้านทานแรงดึง แรงฉีกขาดสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น ความทรงรูป (Stiffness) ความต้านทานแรงกด ฯลฯ

ข. คุณสมบัติเกี่ยวกับแสง (Optical) เช่น ความขาวสว่าง ความทึบแสง ความมันวาว การดูดซับ และการกระจายแสง ฯลฯ

ค. คุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความหนาแน่น ความต้านทานอากาศ และความเรียบของผิวกระดาษ ฯลฯ

2.8.3.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties) ที่มีการวิเคราะห์กันเสมอ ได้แก่

ก. องค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณเซลลูโลส เพนโตซาน ลิกนิน ตัวเลขคัลปา (Kappa Number) และการหาความเข้มข้นของน้ำยาเคมี ฯลฯ

ข. คุณสมบัติที่วัดโดยวิธีทางไฟฟ้าเคมี เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ออกซิเดชัน-รีดักชัน โปเทนเชียล (Oxidation-Reduction Potential, mV) และการนำไฟฟ้าของสารละลาย

2.8.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพเคมี (Physico-Chemical Properties) ตัวอย่างทางปรากฏการณ์ทางกายภาพเคมีที่สำคัญในการผลิตเยื่อกระดาษ ได้แก่

ก. การเกิดฟอง (Foaming) ในขั้นตอนการผลิตต่างๆและการอยู่ตัวของฟอง (Foam Stability)

ข. การดูดหรือคายความชื้นของเยื่อกระดาษ

ค. การพองตัวของเส้นใย (Fiber Swelling) หลังการบด

ง. การตกค้างของเยื่อละเย็ด และตัวเติม (Filler) ในกระดาษ

จ. ปรากฏการณ์ทางเล็กโทรไลติก (Electrolytic) อื่นๆ ในน้ำเยื่อ (Wet End)

ฉ. การเป็ยกและชิมของน้ำเข้าในกระดาษ

2.8.4 การทดสอบกระดาษและภาชนะบรรจุกระดาษ

2.8.4.1 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน (Basic Weight)

เพื่อกำหนดเกณฑ์สำหรับการซื้อขายเนื่องจากค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษชนิดหนึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของกระดาษนั้นๆ นำกระดาษตัวอย่างมาตัดขนาดให้มีพื้นที่เหมาะสม เช่น 10 X 10 ตารางเซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด แสดงค่าน้ำหนักมาตรฐานเป็นน้ำหนักต่อพื้นที่ เช่น กรัมต่อตารางเมตร หรือปอนด์ต่อรีม (Pound per Ream) 1 รีม (U.S. Ream) มีค่าเท่ากับกระดาษขนาด 24 X 36 ตารางนิ้ว จำนวน 500 แผ่น

2.8.4.2 การทดสอบความหนา (Thickness)

นิยมใช้ตรวจสอบคุณภาพของกระดาษวัสดุอ่อนตัวทั่วไปและภาชนะบรรจุเกือบทุกประเภท เป็นวิธีการทดสอบที่รวดเร็วและทำได้ง่าย นิยมใช้เครื่องวัดที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง เช่น Dial Type Micrometer หน่วยความหนาที่ใช้ทั่วไป เช่น มิลลิเมตร ไมครอน หรือนิ้ว เป็นต้น และหน่วยที่ใช้เฉพาะวัสดุ เช่น point สำหรับกระดาษ (1 point = 1/1000 นิ้ว) mil (1 mil = 25 micron) และ gauge (100 gauge = 1 mil) สำหรับฟิล์มพลาสติกหรือวัสดุอ่อนตัวหลายชั้น

2.8.4.3 การทดสอบความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tear Resistance)

เป็นการทดสอบค่างานเฉลี่ยที่ใช้ในการฉีกกระดาษที่มีรอยบากไว้แล้ว มีหน่วยเป็นกรัมแรงต่อเมตร หรือนิวตันต่อเมตร (gram-force / meter หรือ Newton / meter เขียนย่อ gf.m หรือ N.m) การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของกระดาษ ถุงกระดาษและกล่องกระดาษแข็ง

2.8.4.4 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (Bursting Strength)

เป็นการทดสอบความสามารถของกระดาษหรือแผ่นลูกฟูกที่จะต้านทานความดันที่เพิ่มขึ้นในอัตราคงที่จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบฉีกขาด มีหน่วยวัดเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm) นิยมใช้ทดสอบคุณภาพของกระดาษ กระดาษแข็งหรือแผ่นลูกฟูกที่นำมาขึ้นรูปเป็นภาชนะ เช่น กล่อง ถัง เป็นต้น

2.8.4.5 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile Strength) (Elongation)

แผ่นตัวอย่างทดสอบจะถูกตรึงระหว่างคีมหนีบ 2 ตัว โดยที่คีมหนีบตัวหนึ่งจะเคลื่อนที่เพื่อดึงแผ่นตัวอย่างจนกระทั่งขาด บันทึกแรงที่ใช้และค่าการยืดตัวของกระดาษขณะขาด ค่าความต้านทานต่อแรง

ดึงขาดจะรายงานเป็นค่าแรงต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวอย่าง หรือแรงต่อความกว้างของแผ่นตัวอย่าง ส่วนการยึดตัวจะรายงานเป็นค่าร้อยละ

2.8.4.6 การทดสอบหาความชื้น (Moisture Content)

โดยวิธีการอบแผ่นตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในเตาอบที่ 105 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักใหม่ ผลต่างของน้ำ - น้ำที่ชั่งได้คือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง นิยมรายงานค่าเป็นร้อยละ การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อกระดาษแข็งและกระดาษลูกฟูกที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุ

2.8.4.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

เป็นการทดสอบ ความสามารถของกระดาษต่อการดูดซึมน้ำที่สัมผัสภายในระยะเวลาที่กำหนด มีค่าเป็นน้ำหนักน้ำที่กระดาษดูดซึมไว้ต่อพื้นที่สัมผัสกับน้ำ การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการพิมพ์ (การดูดซึมหมึก) การทากาว การทนทานต่อสภาวะแวดล้อมขณะขนส่ง เช่น การเปียกฝน

2.8.4.8 การทดสอบการต้านทานต่อไขมัน (Turpentine Test)

เป็นการทดสอบ ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมผ่านของไขมัน โดยจะรายงานเป็นค่าของเวลาที่ปรากฏรอยไขมันบนแผ่นตัวอย่างด้านตรงข้ามกับด้านที่สัมผัสกับไขมัน

2.9 ประเภทของมาตรฐาน [5]

ปัจจุบันมีมาตรฐานหลายประเภทได้ระบุวิธีการทดสอบสมบัติแต่ละชนิดกระดาษไว้ ดังนี้

2.9.1 มาตรฐานระดับชาติ

มาตรฐานระดับชาติ (National Standard) เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและกำหนดขึ้น โดยแต่ละประเทศ ไม่มีการบังคับครอบคลุมไปยังประเทศอื่น เช่น

มาตรฐาน BS	กำหนดโดยประเทศ	อังกฤษ
มาตรฐาน DIN	กำหนดโดยประเทศ	เยอรมัน
มาตรฐาน JIS	กำหนดโดยประเทศ	ญี่ปุ่น
มาตรฐาน ASTM	กำหนดโดยประเทศ	อเมริกา
มาตรฐาน CPPA	กำหนดโดยประเทศ	แคนาดา

2.9.2 มาตรฐานระดับการค้า (Trade Standard)

เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้น โดยสถาบันวิจัย ซึ่งมีสมาชิกมาจากโรงงานหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระดาษและการพิมพ์ ส่วนใหญ่ประเทศสมาชิกมักจะอยู่ในแถบภาคพื้นใกล้เคียงกัน เช่น กลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก ยุโรปตะวันออก สแกนดิเนเวีย หรืออเมริกาเหนือ เป็นต้น มาตรฐานระดับการค้านี้จะใช้รหัสตัวย่อของสถาบันนั้น ๆ เช่น TAPPI, APPITA, SCAN เป็นต้น

2.9.3 มาตรฐานนานาชาติ (International Standard)

เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรที่ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างประเทศ ให้ดำเนินงานและเข้าใจหลักการที่เหมือนกันข้อมูลและวิธีการส่วนใหญ่จะมาจากมาตรฐานระดับนานาชาติหรือมาตรฐานระดับการค้าที่ถูกนำมาพิจารณาใหม่ โดยสมาชิกขององค์กรซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละประเทศทั่วโลก ร่วมกันกำหนดวิธีมาตรฐานใหม่ตั้งเป็นกฏให้ประเทศสมาชิกร่วมไปปฏิบัติตามหรืออ้างอิง องค์กรนี้มีชื่อว่า International Standard Organization มีรหัสย่อว่า ISO

2.10 กระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ [6]

การฟอกเยื่อเป็นการทำให้เยื่อกระดาษ (Pulp) มีสีขาวเหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นกระดาษพิมพ์และเขียน หรือกระดาษที่ใช้ในการสื่อสารต่างๆ นับแต่ปี พ.ศ. 2327 คลอรีนถูกค้นพบในการใช้เป็นสารฟอกเยื่อโดยชาวสวีเดน ชื่อ นาย Scheele เป็นต้นมาทั้งสารที่ใช้ในการฟอก เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (H) คลอรีนไดออกไซด์ (D) ก๊าซออกซิเจน (O) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โอโซน (O_3) และเอ็นไซม์ (X) หรือกระบวนการที่ใช้ในการฟอกเยื่อ เช่น C-E-H-E-H, D-E-D-E-D, D-E₀-D-E₀-D, D,E₀-D, O-D-E₀-D, O-D-E_{0p}-D-X-D-E_{0p}-D, Z-O-P ซึ่งเป็นการพัฒนามาเพื่อที่จะทำให้ได้เยื่อฟอกที่มีความขาวสว่างตามต้องการแล้วในขณะเดียวกันไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของเยื่อที่ได้หลังฟอก ตลอดจนไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.10.1 วัตถุประสงค์ของการฟอก

2.10.1.1 การเพิ่มค่าความขาวสว่างของเยื่อโดยทำให้เยื่อมีสีน้ำตาล (Unbleached Pulp) มีสีขาวเหมาะกับการทำกระดาษเพื่อการพิมพ์และเขียนเป็นหลัก

2.10.1.2 เพื่อลดต้นทุนในการฟอกให้น้อยที่สุด สารฟอกส่วนมากมีราคาแพง ดังนั้นกระบวนการฟอกซึ่งต้องใช้ปริมาณสารฟอกที่เหมาะสมและใช้ต้นทุนน้อยที่สุด

2.10.1.3 ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการฟอกต้องไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.10.2 วิธีการฟอกเยื่อมี 2 วิธี

2.10.2.1 การฟอกเยื่อเพื่อขจัดลิกนินออกไป (renaming lignin)

การฟอกโดยใช้วิธีกำจัดลิกนินออกไป โดยมากใช้กับเยื่อเคมีซึ่งนำไปผลิตกระดาษเพื่อการพิมพ์และเขียน ที่ต้องการความขาวสว่างสูงๆ โดยใช้สารเคมี เช่น คลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วกำจัดลิกนินออกไป การฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอนการฟอก โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-6 ขั้นตอน (CEH, CEDEP, CEOP) เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 ขั้นตอนในการฟอกจะมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและขั้นตอนการฟอกจะเรียงลำดับตามอักษรที่ใช้เรียก เช่น การฟอกแบบ C-E-D-E-D

2.10.2.2 การฟอกเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปที่ไม่มีสี (bleaching lignin)

การฟอกเยื่อแบบนี้สารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อจะทำปฏิกิริยากับลิกนินและเปลี่ยนสีลิกนินให้อยู่ในรูปของสารที่ปราศจากสี เยื่อฟอกมีความขาวสว่างปานกลาง และไม่คงทน เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดกลับสี โดยความขาวสว่างจะลดลงและกระดาษจะมีสีเหลือง สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การฟอกแบบนี้เหมาะกับการฟอกเยื่อไม้บดซึ่งไม่ต้องการความขาวสว่างมากนักแต่ต้องการผลผลิตเยื่อสูง เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์

2.10.3 กระบวนการฟอกเยื่อ

การฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอน โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-5 ขั้นตอน (C-E-H, C-E-D-E-P, C-E-O-P, C-E-D-E-D) เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 ขั้นตอนในการฟอกจะมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ ฟอกและขั้นตอนการฟอกจะเรียงลำดับตามอักษรที่ใช้เรียก เช่น การฟอกแบบ C-E-D-E-D แสดงดังตารางที่ 2.4

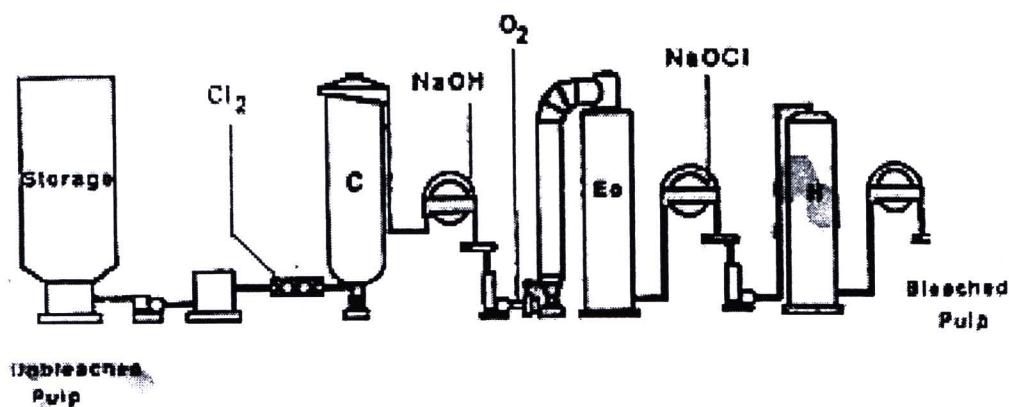
ตารางที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ของขั้นตอนการฟอกและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ

สารเคมี	สูตรทางเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อขั้นตอนการฟอก
Chlorine	Cl_2	C	ขั้นคลอรีเนชัน (Chlorination stage)
Calcium hypochlorite	NaOCl	H	ขั้นไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite stage)
Sodium hydroxide	NaOH	E	ขั้นการสกัดด้วยด่าง (Extraction stage)
Chlorine dioxide	ClO_2	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide stage)
Oxygen	O_2	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)
Hydrogen peroxide	H_2O_2	P	ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide stage)
Ozone	O_3	Z	ขั้นโอโซน (Ozone stage)
Enzymes	-	X	ขั้นเอนไซม์ (Enzymes stage)

2.10.3.1 การผลิตเยื่อฟอกขาวแบบดั้งเดิม (Conventional Bleaching) ประกอบด้วยการฟอกขาวแบบหลายขั้นตอน โดยเริ่มด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- ก. การฟอกด้วยธาตุคลอรีน (Chlorination stage, C)
- ข. การสกัดด้วยด่าง (extraction stage, E)
- ค. การฟอกด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite stage, H)

เขียนย่อเป็น C-E-H ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบดั้งเดิม

- ก. ขั้นคลอรีเนชัน (chlorination stage, C)

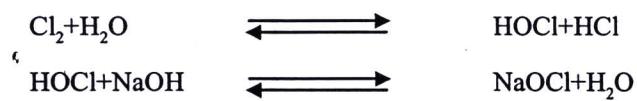
ปริมาณการใช้คลอรีนจะมีความสัมพันธ์กับค่า kappa number ของเยื่อก่อนฟอกโดยทั่วไปจะคำนวณปริมาณการใช้คลอรีนในการฟอก

จากสูตร

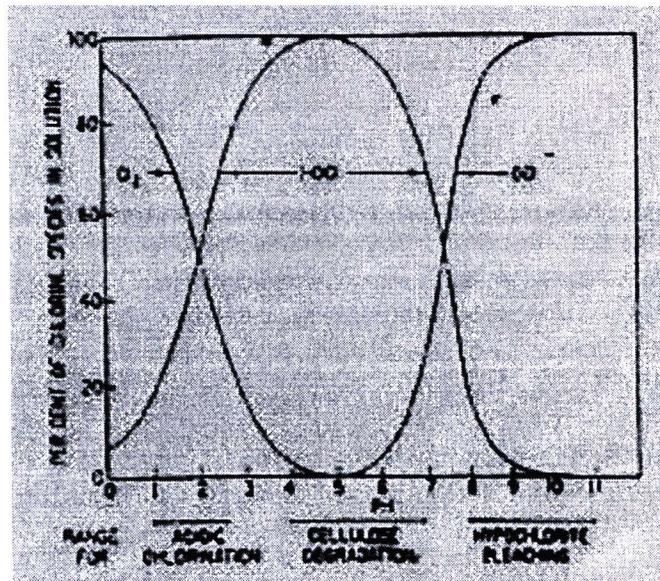
- ปริมาณคลอรีน, ไร่ยละ	=	kappa number x 0.22
C/K	=	0.22 (ตั้งแต่ 0.22-0.24)
C	=	chlorine charge
K	=	kappa number

- ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactions)

ขั้น Chlorination ปฏิกิริยาเกิดจากก๊าซคลอรีนที่ละลายน้ำ ดังสมการ



ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ดังรูปที่ 2.21



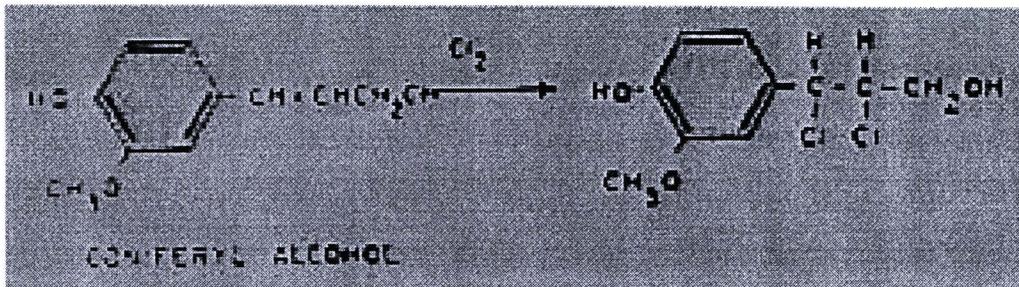
รูปที่ 2.21 แสดง chlorine-water equilibrium as function of pH

ปฏิกิริยาหลักที่สารประกอบคลอรีนทำปฏิกิริยากับลิกนินคือ

- Addition
- Substitution
- Oxidation

ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารประกอบอินทรีย์หรือลิแกิน จะเกิดปฏิกิริยาทั้ง addition substitution และ oxidation โดยการ hydrolysis ที่ alkylaryl ether bond

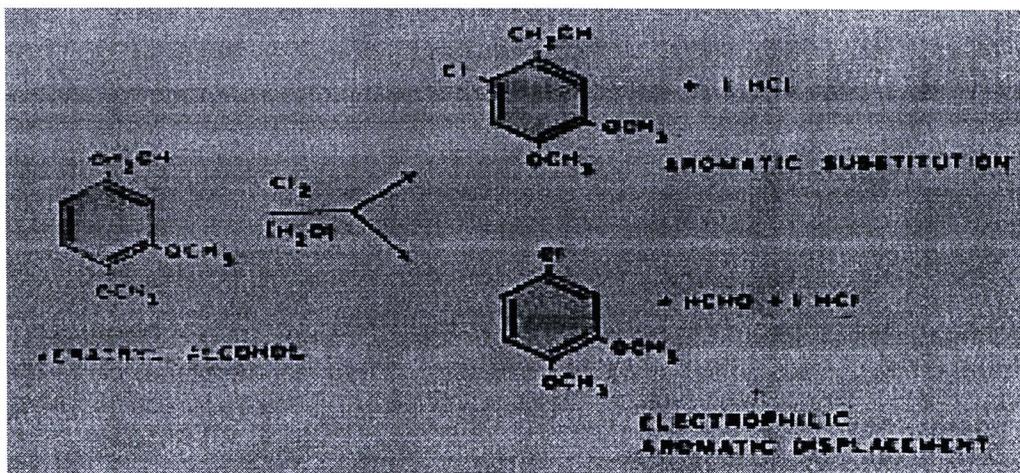
- ปฏิกิริยา addition



รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยา addition

คลอรีนจะทำปฏิกิริยา addition โดยสร้างพันธะ โควาเลนต์ที่พันธะคู่ (double bond) ใน side chain ของ ลิแกิน

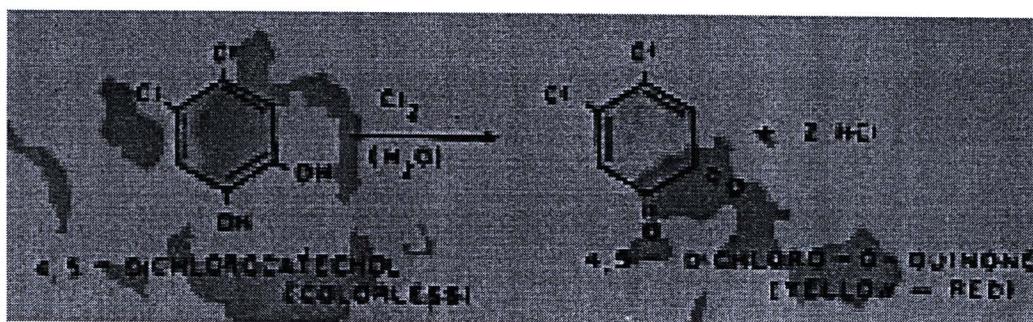
- ปฏิกิริยา Substitution



รูปที่ 2.23 ปฏิกิริยา Substitution

คลอรีนจะทำปฏิกิริยา Substitution ที่ aromatic ring ของลิแกิน

- ปฏิกิริยา Oxidation



รูปที่ 2.24 ปฏิกิริยา Oxidation

คลอรีนจะทำปฏิกิริยา Oxidation ที่พันธะอีเทอร์ (ether bond) ของลิกนิน

กระบวนการฟอกเยื่อจะทำให้ได้เยื่อสีขาว จะทำให้เกิดสารประกอบที่เรียกว่า chlorinated organic compound จำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างคลอรีนและอะตอมของคาร์บอน สารประกอบนี้ยากแก่การทำลายและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในปฏิกิริยา addition คลอรีนจะทำปฏิกิริยาเฉพาะลิกนอนและสารสกัดได้ (extractives) ไม่ทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส และในปฏิกิริยา substitution จะทำให้เกิด discrete compound ซึ่งประกอบด้วยคลอรีนอะตอมตั้งแต่ 1, 2, 3 หรือมากกว่า ส่วนในปฏิกิริยา addition คลอรีนจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับลิกนอน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง และจะสร้างสารประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งสารประกอบนี้ยากต่อการทำลายไม่ว่าจะใช้การ hydrolysis หรือ dissolution สารประกอบพวกนี้จะยังคงติดค้างอยู่ในเยื่อในรูปของ chlorinated dioxin ส่วน discrete compound ซึ่งเกิดปฏิกิริยา substitution จะถูกปล่อยออกมาทางน้ำทิ้ง (discharged effluent) ของโรงงานในรูปของ “AOX” หรือ organic halogen compound ในต่างประเทศ มีกฎหมายที่เข้มงวดมากต่อการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งกำหนดค่า AOX มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมนี้

ข. ขั้นการสกัดด้วยด่าง (extraction stage, E)

ขั้นการสกัดด้วยด่างเป็นการละลายและกำจัด chlorinated lignin เนื่องจากลิกนินที่ผ่านการฟอกด้วยคลอรีน จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งยังคงไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในด่างจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการสกัดด้วยด่างหลังจากขั้นคลอรีนขั้น และในขณะเดียวกันจะสามารถละลายยางไม้ และสารสกัดได้ที่มีอยู่เยื่อได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามหากใช้ด่างที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงก็อาจเกิดการทำลายเอมิเซลลูโลสรวมถึงเซลลูโลสได้ด้วย จึงจำเป็นต้องควบคุมสภาวะการฟอกให้เหมาะสม

- ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactions)

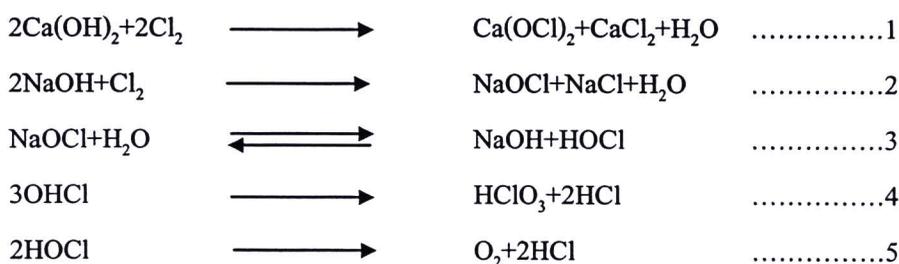


ขั้นการสกัดด้วยด่างนี้อาจจะใช้สาร oxidizing agent บางตัวช่วยเสริม (Oxidative Extraction) เช่น Hydrogen peroxide หรือ Oxygen ช่วยเสริมในการฟอก เช่น การฟอกแบบ Ep, Eo เพื่อเป็นการลดปริมาณด่างที่ใช้รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดลิกนินด้วย และจะเป็นการลดปริมาณสารฟอกในขั้นตอนต่อไปด้วย

ค. ขั้นตอนไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite stage, H)

ขั้นไฮโปคลอไรท์ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารฟอกนิยมใช้ในการฟอกตั้งแต่อดีตเนื่องจากราคาถูกแต่เนื่องจากไฮโปคลอไรท์มีการทำลายเซลล์โลสค่อนข้างมาก ในปัจจุบันจึงนิยมใช้คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide) ปลดเปอร์ออกไซด์ ทดแทนการใช้ไฮโปคลอไรท์

- ปฏิกิริยาทางเคมี (chemical Reactions)



จากสมการ 3, OCl จะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อหลังผ่านกระบวนการฟอกในขั้นคลอรีนชัน ทำให้เยื่อมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นมาก แต่ในขณะเดียวกันปฏิกิริยา oxidation นั้นไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับลิกนินเท่านั้น แต่ยัง oxidized กับเซลล์โลสและคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ในเยื่อได้อีกด้วย จึงทำให้ความแข็งแรงของเยื่อลดลงมาก ในปัจจุบันนี้ไม่นิยมใช้ไฮโปคลอไรท์ในการฟอกเลย Cl_2/HOCl , OCl ที่มีในน้ำคลอรีนจะอยู่ในรูปใดก็ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากสมการที่ 3 ภาพที่ 2 ความเป็นกรด-ด่าง 9-11 (excess alkali) จะเกิด hypochlorous acid (OCl⁻) ถ้าในปฏิกิริยามีปริมาณด่างไม่เพียงพอ จะเกิดสาร decomposition ตามสมการ 4,5 (ความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 9) และถ้ามี metallic salt ของ iron, copper, manganese, cobalt ปฏิกิริยา decomposition จะเกิดได้เร็วขึ้น

2.10.4 สารเคมีที่ใช้และขั้นตอนในการฟอก

การเลือกใช้สารฟอกและขั้นตอนในการฟอกจะขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ถึงแม้ว่าสารฟอกจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อแต่ละชนิดแต่ในขณะเดียวกันสารฟอกที่ใช้ก็จะทำลายเซลล์โลส ดังนั้นสารฟอกจำเป็นต้องถูกเลือกให้เหมาะสมเพื่อกำจัดลิกนินออกให้มากที่สุดและยังป้องกันการทำลายส่วนของเซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลส ดังนั้นจึงจำเป็นที่

จะต้องกำหนดขั้นตอนในการฟอกขึ้นมาเป็นแบบหลายขั้นตอนเพื่อให้ความขาวสว่างมากที่สุด โดยยังคงรักษาความแข็งแรงของตัวเส้นใยไว้และผลผลิตเยื่อที่ได้หลังผ่านกระบวนการฟอกต้องไม่สูญเสียมากนัก รวมทั้งการใช้ต้นทุนในการผลิตเยื่อฟอกขาวให้น้อยที่สุดด้วย

2.10.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการฟอก

เนื่องจากในกระบวนการฟอกนั้นปฏิกิริยาทางเคมีของสารฟอกที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของเส้นใย ดังนั้นจึงต้องควบคุมสภาวะการฟอกให้เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 2.5 ปัจจัยที่สำคัญๆ ได้แก่

2.10.5.1 อุณหภูมิ (Temperature)

2.10.5.2 เวลา (Time)

2.10.5.3 ความชื้นของน้ำเยื่อ (Consistency)

2.10.5.4 ความเป็นกรด – ค่า (pH)

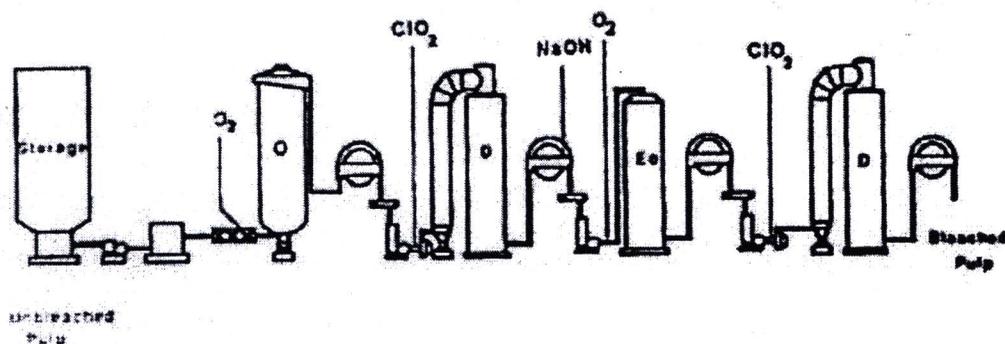
ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้และสภาวะการฟอก

สภาวะการฟอก	C stage	E stage	H stage	D stage	P stage	O stage
ปริมาณสารเคมีที่ใช้ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง	3-8	2-3	2-3 (as Cl_2)	0.4-0.8	1-2	2-3 0.4-0.8 Mpa 60-120 Psi
ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ, ร้อยละ (Plulp consistency)	3-4	10-18	4-18	10-12	10	20-30 10-12
ความเป็นกรด-ค่า (pH)	0.5-1.5	11-12	8-10	3.5-6.0	8-10	10-12
อุณหภูมิ °C	20-30	50-59	35-45	60-80	60-70	90-110
เวลา, ชั่วโมง	0.3-1.5	0.8-15	1-5	3-5	2-4	0.3-1.0

2.10.6 กระบวนการฟอกแบบปราศจากคลอรีน (Total Chlorine Free Bleaching Process) และกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน (Elemental Chlorine Free Bleaching Process)

ปัจจุบันกระบวนการฟอกได้พยายามลดการใช้ปริมาณคลอรีนลงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารพิษจากสารประกอบคลอรีน โดยได้มีการใช้ขั้นตอนของออกซิเจน เพื่อช่วยลดปริมาณลิกนินในขั้นแรก และใช้คลอรีนไดออกไซด์มาทดแทนขั้นตอนของการใช้คลอรีน นอกจากนั้นการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเยื่อเคมีก็เป็นที่นิยมกันมากขึ้นและกระบวนการฟอกในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะใช้โอโซน หรือ การฟอกแบบชีวภาพมากขึ้น เพื่อทดแทนสารฟอกที่ยังมีองค์ประกอบของธาตุคลอรีนอยู่

การฟอกเยื่อที่ใช้คลอรีน คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับลิกนินให้สารประกอบที่เรียกว่า chlorinated organic compounds ออกมา AOX (adsorbable organic halogen compounds) และ Dioxin (Polychlorinated dibenzop-dioxin) ซึ่ง AOX จะละลายออกมากับน้ำทิ้งของโรงงาน ส่วน Dioxin ส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ในเยื่อ สารประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จึงได้มีความพยายามลดการใช้คลอรีนในขั้นตอนการฟอก โดยนำเอาออกซิเจน, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ โอโซนมาฟอกแทนการใช้คลอรีน โดยมีขั้นตอนการฟอกเป็น Z-E-P, O-E-P, Z-P ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่มีการใช้ธาตุคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนในการฟอกเลย เยื่อที่ได้เรียกว่า “เยื่อที่ปราศจากคลอรีน” (Total chlorine free pulp, TCFP) หรืออาจจะเหลือเฉพาะการใช้สารประกอบคลอรีน คือ คลอรีนไดออกไซด์ ซึ่งเรียกเยื่อที่ได้ว่า “เยื่อที่ปราศจากธาตุคลอรีน” (element chlorine free pulp, ECFP) โดยมีขั้นตอนการฟอกเป็น D-E-D, O-D-Ep-D, O-D-Eo-D แสดงดังรูปที่ 2.25

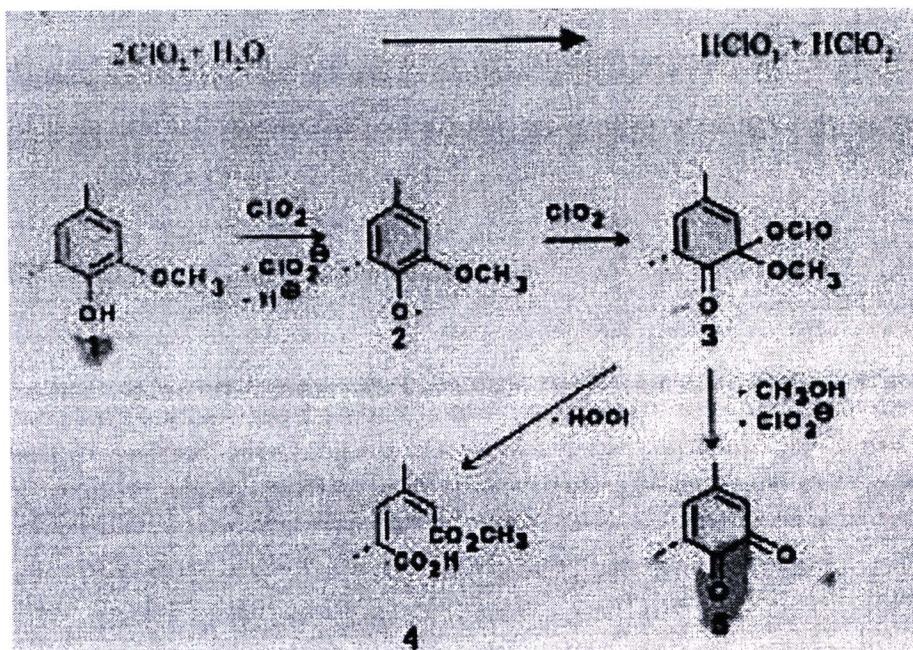


รูปที่ 2.25 แสดงกระบวนการฟอกเยื่อแบบปราศจากธาตุคลอรีน

2.10.6.1 ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide stage)

คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารฟอกที่นำมาใช้แทนสารคลอรีน โดยแต่เดิมนั้นใช้เป็น oxidizing agent เพื่อลดปริมาณยางไม้ (resin) ในเชื้อหลังผ่านการฟอกขั้นการสกัดด้วยด่างเท่านั้นแต่เนื่องจากคลอรีนไดออกไซด์ไม่ทำลายความแข็งแรงของเส้นใยและเชื้อไม่การกลับสีน้อยกว่าการฟอกด้วยคลอรีนจึงนิยมนำมาใช้เป็นสารฟอกในเวลาต่อมา นอกจากนี้การฟอกโดยใช้คลอรีนไดออกไซด์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อยจากเชื้อฟอกที่ได้จะมีสาร Dioxin ในเชื้อ หรือ AOX ในน้ำทิ้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactions)



รูปที่ 2.26 ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactions)

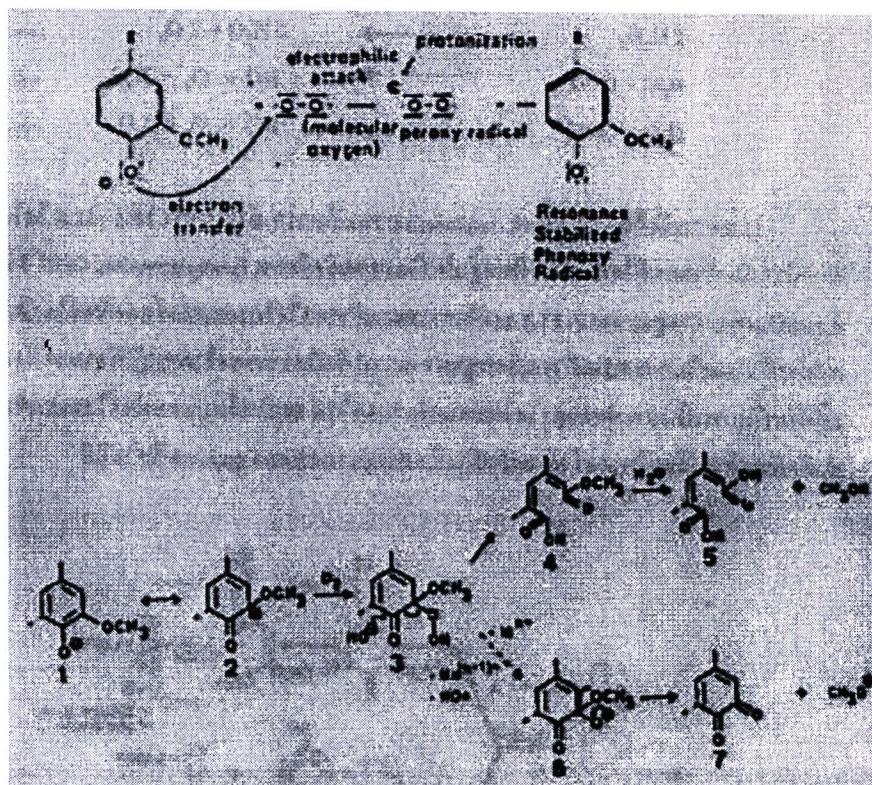
จากรูปที่ 2.26 คลอรีนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับลิกนินที่ Phenolic acid (1) เกิด free radical (2) แล้วเปลี่ยนโครงสร้างเป็น Muconic acid (4) และ o-quinone (5)

2.10.6.2 ขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)

เป็นการฟอกเชื้อที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการเกิดสารประกอบ AOX และสาร Dioxin ข้อดีอีกประการหนึ่งของการฟอกด้วยออกซิเจน คือ มีความเฉพาะเจาะจงต่อ

ลิกนินสูงและไม่ทำลายคาร์โบไฮเดรต ในปัจจุบันนิยมใช้ออกซิเจนเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการฟอก

- ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactions)



รูปที่ 2.27 แสดงปฏิกิริยาของออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนิน

จากรูปที่ 2.27 แสดงปฏิกิริยาของออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนิน ภายในสถานะที่เป็นค่า phenoxy anion (1) ในโครงสร้างของลิกนิน ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินเปลี่ยนโครงสร้างเป็น hydroperoxide (3) หลังจากนั้นจะแตกตัวให้สารประกอบของ muconic acid (4) แต่ถ้าในปฏิกิริยามี โลหะหนักผสมอยู่ hydroperoxide (3) จะแตกตัวให้สารประกอบของ o-quinone (6)

2.10.6.3 ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide stage)

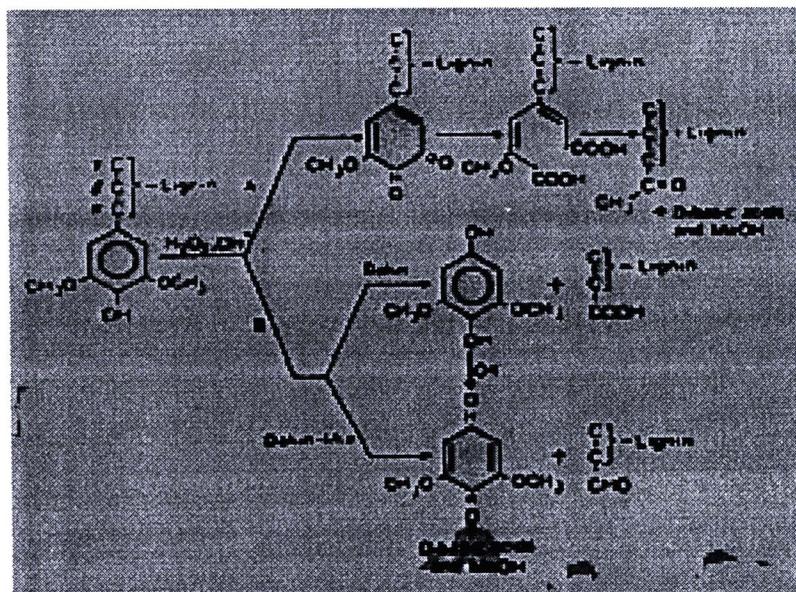
การฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้นิยมใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเพิ่มความขาวสว่างสูงสุด และความคงทนของการกลับสี เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินซึ่งมีสี ไปเป็นสารประกอบควิโนนซึ่งไม่มีสี



- ปฏิกริยาทางเคมี (Chemical Reactions)



ในสภาวะที่เป็นด่าง (alkali condition) ความเป็นกรด-ด่าง ในช่วง 10.5-11.0 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์ ทำให้เกิดอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (prehydroxion, OOH) ดังสมการที่ 1 แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างสูงมากกว่า 11.5 จะเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เป็นน้ำและออกซิเจนดังสมการที่ 2 และในการสลายตัวจะเกิดอนุมูลของ radical ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามาก ดังสมการที่ 3 และ 4 ปฏิกริยาในการเป็นสารฟอกของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเกิดที่อนุมูลของเปอร์ไฮดรอกซิลไอออนทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วเปลี่ยน โครงสร้างของลิกนินเป็นสารประกอบของ quinone ซึ่งไม่มีสี



รูปที่ 2.28 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนิน

จากรูปที่ 2.28 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยา oxidation กับลิกนินเปลี่ยนโครงสร้างของลิกนินเป็นสารประกอบของ quinone

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เชื้อชาย ทิพย์สมบัติบุญ [1] ต้นสอยดาวเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ซึ่งใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก ชาวสวนส่วนใหญ่จะมองว่าเป็นวัชพืช ที่ทำความเสียหายให้กับต้นไม้ที่ปลูก เพราะต้นสอยดาวจะโตเร็วมาก 1 ปีอาจสูงถึง 3-5 เมตร จะปกคลุมต้นไม้ต่าง ๆ ชาวสวนจึงตัดทิ้งเมื่อพบที่ใดก็ตาม ผมเป็นนักเคมีคนหนึ่งที่มีเริ่มมีความสนใจว่า ต้นสอยดาวน่าจะมีประโยชน์มากกว่านี้จึงเริ่มทดลองสกัดสารเคมีจากต้นสอยดาว เนื่องจากเครื่องมือเครื่องไม้ของเรายังไม่ค่อยมี ผมเองก็ยังคงความรู้ทางด้านสกัดสารอินทรีย์จากพืช จึงไม่พบอะไรแต่จากการสกัดสารเคมี จึงต้องนำเปลือกของต้นสอยดาวมาบดทำให้พบว่าเปลือกต้นสอยดาวมีเนื้อเยื่อที่ตีมาก เริ่มทดลองทำกระดาษดูปรากฏว่า ได้แผ่นกระดาษออกมาน่าสนใจมาก จึงได้พัฒนาการผลิตกระดาษโดยเลียนแบบกระดาษสา และได้นำผลิตภัณฑ์นี้ไปให้กระทรวงอุตสาหกรรมฝ่ายส่งเสริมเทคโนโลยีพื้นบ้านปรากฏว่าทางกระทรวงก็สนใจกระดาษตัวนี้มากจึงให้การสนับสนุนและส่งเสริมตลอดมาทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ จากกระดาษสอยดาวออกมามากมาย

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, ชีระชัย รัตนโรจน์มงคล และ จิระศักดิ์ ชัยสนธิ [7] ในรายงานการศึกษาวิจัยพบว่า เปลือกปอสามีค่าการละลายในด่าง (1% NaOH) ค่อนข้างสูงมาก ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าเปลือกปอสามีจะมีการเสื่อมสลายตัวอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บทิ้งไว้ตามธรรมชาติ เส้นใยของเปลือกปอสามีมีความยาวเฉลี่ยสูงมากถึง 8.2 มิลลิเมตร เมื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษจะทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงสูงมาก ในการศึกษาทดลองผลิตเยื่อพบว่า การนำเปลือกปอสามีไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปต้มเยื่อจะให้เยื่อที่ปริมาณลิกนินต่ำกว่าเยื่อที่ได้จากเปลือกปอสามีแช่น้ำเพียงอย่างเดียวมากและในการศึกษาทดลองฟอกเยื่อพบว่า ณ ที่ระดับการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เดียวกันสภาวะการฟอกที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเยื่อสูงจะให้เยื่อฟอกที่มีความขาวสว่างสูงกว่าสภาวะการฟอกที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่ำ ผลจากการศึกษาวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อปอสามีซึ่งใช้กระบวนการผลิตแบบปราศจากคลอรีนที่ให้ค่าความขาวสว่างถึงร้อยละ 84.7 โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ลัดดา สนิททวาริผล, สสุชล ว่องวุฒิ และอาภาศรี ชุ่มทรัพย์ไพศาล [8] ได้ศึกษาวิธีการผลิตกระดาษถนอมสายตาจากใบหญ้าแฝก โดยเริ่มจากผลิตเยื่อโดยนำใบหญ้าแฝกมาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ แล้วนำมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 จากนั้นศึกษาผลของการเติมสารเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพกระดาษหญ้าแฝก โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเคมีที่ผสมลงไป โดยใช้ปริมาณของสารแคลเซียมคาร์บอเนต 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ปริมาณของแป้งดัดแปลงประจุบวก 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ปริมาณของสารแอลคิลคีตินไคเมอร์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, 0.75

และ 1.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จากนั้นศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพ สมบัติทางด้านเชิงกล และสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ต่างๆ ของกระดาษหญาแฝกซึ่งมีสีเหลืองนวล จึงนำไปเปรียบเทียบกับสมบัติต่างๆ กับกระดาษถนอมสายตาทั่วไป จากนั้นนำไปฉาบผิวด้วยแป้งตัดแปลงประจุบวกโดยใช้แท่งเคลือบเบอร์ 0 แล้วนำไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบพ่นหมึก

นิทัศน์ ทิพย์โสตนัยนา [9] ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิจัยเรื่องศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากวัชพืชสามชนิดคือ ต้นหญ้าแฝก ต้นรูปฤๅษี และผักตบชวา โดยการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระดาษทำลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อวัชพืชเดี่ยวแล้วผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 สำหรับรูปฤๅษี และร้อยละ 16 ของเยื่อน้ำหนักแห้ง สำหรับหญ้าแฝกและผักตบชวา นำมาทำแผ่นกระดาษน้ำหนัก 120 แกรมด้วยเครื่องทำแผ่นกระดาษทดสอบโดยวัชพืชที่อัตราส่วนร้อยละ 0,25,50,75 และ 75 ซึ่งใช้สาเดิมแต่งในปริมาณคงที่ คือแคลเซียมคาร์บอเนต แบะสารแอลคิลคิทีนไคเมอร์ ร้อยละ 2,1.2 และ 2 ของน้ำหนักเยื่อหลังจากทดสอบสมบัติของกระดาษแล้วจึงทดลองขึ้นแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยเครื่องทำลอนทดสอบ จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่า กระดาษจากรูปฤๅษีมีความหนา ปริมาณความชื้น และความต้านแรงฉีกขาดสูงสุด กระดาษจากเยื่อหญ้าแฝกมีความยาวสูงสุด ส่วนกระดาษลูกฟูกที่มีผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกหรือเยื่อผักตบชวามีความต้านทานแรงกดวงแหวน และความต้านทานแรงกดลอนสูงสุด จากการผสมเยื่อวัชพืชพบว่ากระดาษลูกฟูกมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเทียบกับเยื่อรีไซเคิล และระหว่างเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 25 เยื่อรูปฤๅษีร้อยละ 25 และผักตบชวาร้อยละ 50 ในการผลิตเป็นกระดาษทำลูกฟูกมีสมบัติด้านต่างดีที่สุด เพราะมีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน และค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม

จักรกฤษ มุขัน ,ธีรพงศ์ อุปทุม,วรารัตน์ สุขศรี และณรงค์ รอดเจริญ [10] โครงการนี้เป็นการทดลองอัดขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากเปลือกทุเรียนผสมยางพารา โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทดลองอัดขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากเปลือกทุเรียนผสมยางพาราให้ได้เป็นแผ่นใยไม้อัดสำเร็จแล้วทำการศึกษาค้นพัฒนาสูตรของแผ่นใยไม้อัดให้แข็งแรงใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM ขั้นแรกทำการต้มเยื่อ ฟอก บั่น ให้ได้เส้นใยเปลือกทุเรียนแล้วทำการทดลองอัดขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดในอัตราส่วน 1:1 ,1:2 ,1:3 และ 1:4 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วนำอัตราส่วนดังกล่าวมาทำการผสมกับสารเสริมแรง (สารซิลิกา) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ,30 และ 40 ของน้ำยางเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วนำมาเติมสารอะซาดิเรคติน ร้อยละ 40 ของเยื่อเปลือกทุเรียน ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ด้านเชิงกลเปรียบเทียบกับแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางสุดท้ายนำแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้มาสกรีนแล้วทดสอบสมบัติด้านการยึดติด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แผ่นใยไม้อัดจากเปลือกทุเรียน (สูตรที่ 4 เยื่อเปลือกทุเรียน :

ตาราง 1:3 ปริมาณวิธีการย่อย 30 ของน้ำยางและสารอะซาดิแรคตินร้อยละ 40 ของเชื้อเปลือกทุเรียน) มีความสามารถในการยึดติระดับ 3 ตามมาตรฐาน ASTM