บทที่ 2
การจัดกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ

2.1 การจัดแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ

ที่ปรึกษาได้มีแนวคิดในการแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อใช้ในการศึกษาวิเคราะห์เกณฑ์การใช้พลังงาน ซึ่งแนวคิดการแบ่งกลุ่มดังกล่าวได้ผ่านความเห็นชอบของคณะผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการแล้ว ซึ่งการแบ่งกลุ่มสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ซึ่งได้แก่ อุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ในการแบ่งอุตสาหกรรมกระดาษออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังกล่าว ได้มีการพิจารณาจากชนิดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของกระบวนการผลิต เป็นสำคัญ โดยในแต่ละกลุ่มหลักยังประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมกระดาษต่างๆ ซึ่งสามารถแยกย่อยลงไปได้อีก ตามชนิดของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต รวมถึงลักษณะการใช้พลังงานของแต่ละกลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มหลักนั้นจะเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระดาษประเภทต่างๆดังนี้

อุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้น

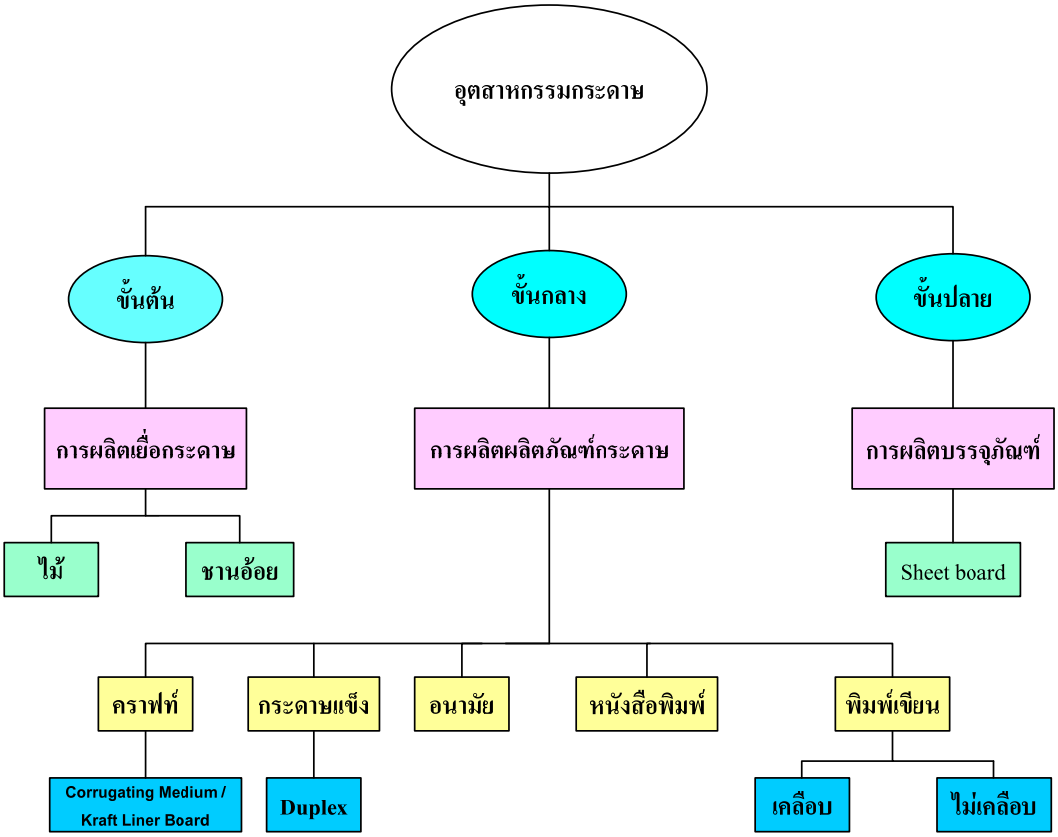
ในขั้นนี้จะเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ (เยื่อบริสุทธิ์) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ ในอุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลาง

อุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลาง

เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ โดยเป็นการใช้เยื่อกระดาษมาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่างๆ ดังนั้นในอุตสาหกรรมขั้นกลางนี้จึงเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษประเภทต่างๆหลายประเภท ซึ่งได้แก่อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษคราฟท์ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษอนามัย กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษแข็ง

อุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลาย

เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมขั้นกลาง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์ เช่นกล่องต่างๆ รวมถึงอุตสาหกรรมการพิมพ์ด้วย ซึ่งในการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมขั้นปลายนั้น จะพิจารณาเฉพาะการผลิต Sheet board เท่านั้น



รูปที่ 2.1 การจัดแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษที่ใช้ในการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงาน

2.2 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นต้น

2.2.1 อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

เยื่อกระดาษจัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ สำหรับนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษประเภทต่างๆ วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเยื่อกระดาษนั้นได้แก่ ไม้ ซึ่งในประเทศไทยไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส รวมถึงวัสดุประเภทอื่นที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เช่น ชานอ้อย ไม้ไผ่ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยมีโรงงานผลิตเยื่อกระดาษรวมทั้งสิ้น 7 โรงงาน เป็นโรงงานที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ 6 โรงงาน และใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเพียง 1 โรงงาน ตารางที่ 2.1 เป็นตารางสรุปรายชื่อของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย พร้อมกับแสดงกำลังการผลิต ชนิดของเยื่อ และวัตถุดิบที่ใช้ของแต่ละโรงงาน

ตารางที่ 2.1 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย

ชื่อโรงงาน	กำลังการผลิต (Ton/Year)	ชนิดของเยื่อ		วัตถุดิบ
		ฟอกขาว	ไม่ฟอกขาว	
1. บริษัท แอดว้านซ์อะโกรจำกัด (มหาชน) (Advance Agro Public Company Limited)	457,000	√		ไม้ยูคาลิปตัส
2. บริษัท ฟินิคส์ พัลพ์ แอนด์ เปเปอร์ จำกัด (มหาชน) (Phoenix Pulp & Paper Public Company Limited)	230,000	√		ไม้ยูคาลิปตัส
3. บริษัท ปัญจพล พัลพ์ อินดัสตรี จำกัด (มหาชน) (Panjapol Pulp Industry Public Company Limited)	110,000		√	ไม้ยูคาลิปตัส
4. บริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) (The Siam Pulp and Paper Public Company Limited)	108,000	√		ไม้ยูคาลิปตัส
5. บริษัท เอนไวรอนเม็นท์พัลพ์ แอนด์ เปเปอร์ จำกัด (Environment Pulp and Paper Co., Ltd)	100,000	√		ชานอ้อย
6. บริษัท สยามเซลลูโลส จำกัด (Siam Cellulose Co., Ltd)	82,000	√		ไม้ยูคาลิปตัส
7. บริษัท เอเวอร์กรีน พลัส จำกัด	-	√		ไม้ยูคาลิปตัส

2.2.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

การผลิตเยื่อกระดาษจะเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้นที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์กระดาษประเภทต่างๆ การผลิตเยื่อกระดาษจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ

ขั้นตอนในการผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญได้ 2 ส่วนดังต่อไปนี้

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)
2. การผลิตเยื่อ (Pulping)

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

การจัดเตรียมวัตถุดิบมีจุดประสงค์เพื่อเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมสำหรับที่จะใช้ในการดำเนินการเพื่อผลิตเยื่อในขั้นตอนต่อไป โดยในขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับการแปรรูปไม้ ให้อยู่ในรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตเป็นเยื่อต่อไป ซึ่งมีหลักการคือ การแยกกำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออก และแปรรูปให้มีขนาดพอเหมาะ ซึ่งในขั้นตอนของการจัดเตรียมวัตถุดิบนี้จะประกอบขั้นตอนที่สำคัญดังนี้ด้วย

- การปอกเปลือก (Debarking)

การปอกเปลือกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเปลือกไม้เป็นส่วนที่ไม่มีประโยชน์ต่อการผลิตเยื่อกระดาษ และยังมีผลเสียเนื่องจากเปลือกไม้มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่มาก และเป็นส่วนที่มีเส้นใยน้อย หากเข้าไปสู่กระบวนการผลิตอื่นๆ เช่นการ

- การสับชิ้นไม้ (Chipping)

หลังจากการปอกเปลือกแล้ว ไม้ท่อนจะถูกสับให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อความเหมาะสมในการต้มเยื่อ ไม้ท่อนเมื่อผ่านเครื่องสับไม้แล้ว จะได้เป็นชิ้นไม้สับ (Chip) ขนาดของชิ้นไม้สับจะมีความสำคัญต่อการผลิตเยื่อ ขนาดของชิ้นไม้สับควรมีความสม่ำเสมอ ขนาดของชิ้นไม้ที่สับจะขึ้นกับประเภทของไม้ ว่าเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน และกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเยื่อ โดยชิ้นไม้เนื้ออ่อนที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อโดยกระบวนการเคมี โดยทั่วไปควรมีความยาว 25 มม. (+/- 3 มม.) และมีความหนา 6-8 มม. ในขณะที่ ชิ้นไม้เนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง ที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีทางกล โดยทั่วไปจะมีขนาดยาว 20 มม. (+/- 2 มม.) และมีความหนา 6-8 มม.

- การคัดขนาด (Screening)

ชิ้นไม้สับที่ได้ขนาดจะถูกแยกออกจากพวกเสี้ยนไม้ ฝุ่น และชิ้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ด้วยเครื่องคัดขนาด ชิ้นไม้สับที่มีขนาดใหญ่จะถูกทำให้เล็กลง ส่วนเสี้ยนไม้ และฝุ่นจะถูกรวบรวมกับเปลือกไม้เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ

2. การผลิตเยื่อ (Pulping)

หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุแล้ว ชิ้นไม้สับจะถูกนำมาใช้ในการผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 8 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การแยกเส้นใย (Pulp Disintegration)

ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยชิ้นไม้วัตถุดิบ เพื่อทำการแยกเส้นใยภายในเนื้อไม้ออกมา หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้ว ชิ้นไม้สับจะถูกนำมาทำการแยกเส้นใย ซึ่งกระบวนการในการแยกเส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรรมวิธี

- **Mechanical pulping process**

การผลิตเยื่อวิธีนี้จะใช้พลังงานกลในการแยกเส้นใยออกมา หลักการที่สำคัญของกระบวนการนี้คือ การบด (Grinding) โดยอาจมีการใช้ความดัน พลังงานความร้อน และสารเคมีร่วมด้วย ท่อนไม้หรือชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดจนชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ ซึ่งจะทำให้เส้นใยเกิดการกระจายออกจากกัน เยื่อที่ได้เรียกว่าเยื่อเชิงกลหรือเยื่อไม้บด คุณสมบัติด้านความเหนียวของเยื่อที่ผลิตได้ไม่ดีนัก เพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ ยังมีสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ลิกนิน เกลือแร่ ยางไม้ เป็นต้น ซึ่งมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์มีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ มีลิกนินตกค้างอยู่มาก ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ การกลับ

การผลิตเยื่อทางกลสามารถแบ่งแยกได้ 4 ประเภท ตามลักษณะของการ Refining และรวมถึงขั้นตอนในการผลิตเยื่อว่ามีการใช้ความดัน ไอน้ำ หรือสารเคมีในการผลิตหรือไม่ ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของกระบวนการผลิตเยื่อโดยใช้วิธีทางกลทั้ง 4 ประเภท

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปที่สำคัญของการผลิตเยื่อทางกล

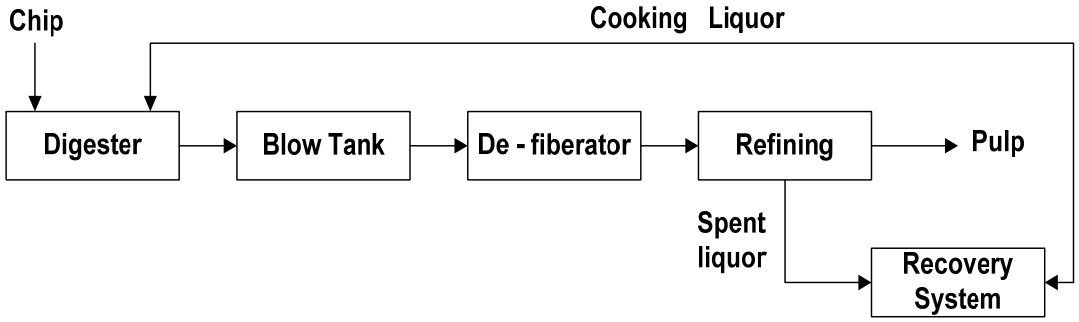
	Stone Groundwood (SWG)	Refiner Mechanical Pulp (RMP)	Thermo-Mechanical Pulp (TMP)	Chemi-Thermo-Mechanical Pulp (CTMP)
Grinding Mechanism	Pulpstone	2-stage refining using disc refining plates	-stage refining using disc refining plates	-stage refining using disc refining plates
Feedstock	Softwood log bolts	Primarily softwood chips	Softwood and certain hardwood sawdust, woodchips, and pin chips	Softwood and certain hardwood sawdust, wood chips, and pin chips
Refining Pressure	Atmospheric	Atmospheric	1st refiner: >100 °C 2nd refiner: atmospheric	1st refiner: >100 °C 2nd refiner: atmospheric
Pretreatment	None	None	Presteaming of chips at > 100 °C for 2-3 minutes	Presteaming with moderate chemical treatment at > 100 °C for 2-5 minutes

- **Semichemical pulping process**

การผลิตเยื่อโดยวิธีนี้จะใช้กระบวนการเคมีและทางกลรวมกัน ซึ่งเยื่อที่ได้กระบวนการนี้จะมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างเยื่อไม้บดและเยื่อเคมี วิธีการนี้จะนำชิ้นไม้สับมาต้มกับน้ำยาต้มเยื่อในหม้อต้มเยื่อภายใต้เวลา อุณหภูมิ และปริมาณน้ำยาเคมีต่อไม้ที่กำหนด เมื่อต้มได้สภาวะหนึ่งแล้วก็นำไปผ่านกระบวนการกลเพื่อแยกเส้นใยออกมา เรียกเยื่อที่ได้ว่าเยื่อกึ่งเคมี ซึ่งกระบวนการกึ่งเคมีจะมีขั้นตอนหลักๆดังแสดงในรูปที่ 2.2

1. การแช่น้ำยา (Impregnation) โดยชิ้นไม้ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะถูกนำมาแช่ให้ชุ่มด้วยโซดาไฟ (NaOH) และ โซเดียม

2. การต้มเยื่อ (Cooking) จะทำการต้มในหม้อต้มเยื่อ (Digester) ซึ่งใช้ไอน้ำความดัน 10 barg และมีการควบคุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 180 °C หลังจากการต้ม ร้อยละ 25 ของวัตถุดิบจะถูกละลายออกมา และเหลืออีก ร้อยละ 75 ที่จะกลายเป็นเยื่อ การต้มด้วยเวลาที่นานขึ้นและใช้น้ำยามากขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณเยื่อน้อยลง แต่เยื่อที่ได้จะมีความแข็งแรง เวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อประมาณ 20 นาที
3. การบดเยื่อ เป็นกระบวนการแยกเส้นใยต่อจากกระบวนการทางเคมีเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อที่ได้ โดยเยื่อจะถูกบดในช่องแคบๆ ระหว่างจานหมุน 2 จานของเครื่องบด ความมากน้อยของการบดจะวัดจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อตันเยื่อ การบดจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การบดแยกเส้นใย (Defibration), การบดเยื่อความเข้มข้นสูง (High Consistency Refining) และการบดเยื่อที่ความเข้มข้นต่ำ (Low Consistency Refining)



รูปที่ 2.2 Semichemical Pulping Process

- **Chemical pulping process**

การผลิตเยื่อโดยกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน วิธีการนี้จะนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) สารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลายคือเยื่อ ซึ่งเยื่อจากกระบวนการนี้จะมีปริมาณของเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่นๆปนอยู่น้อยมาก มีความเหนียวสูง เยื่อเคมีที่ได้มีหลายชนิดตามชื่อของสารเคมีที่

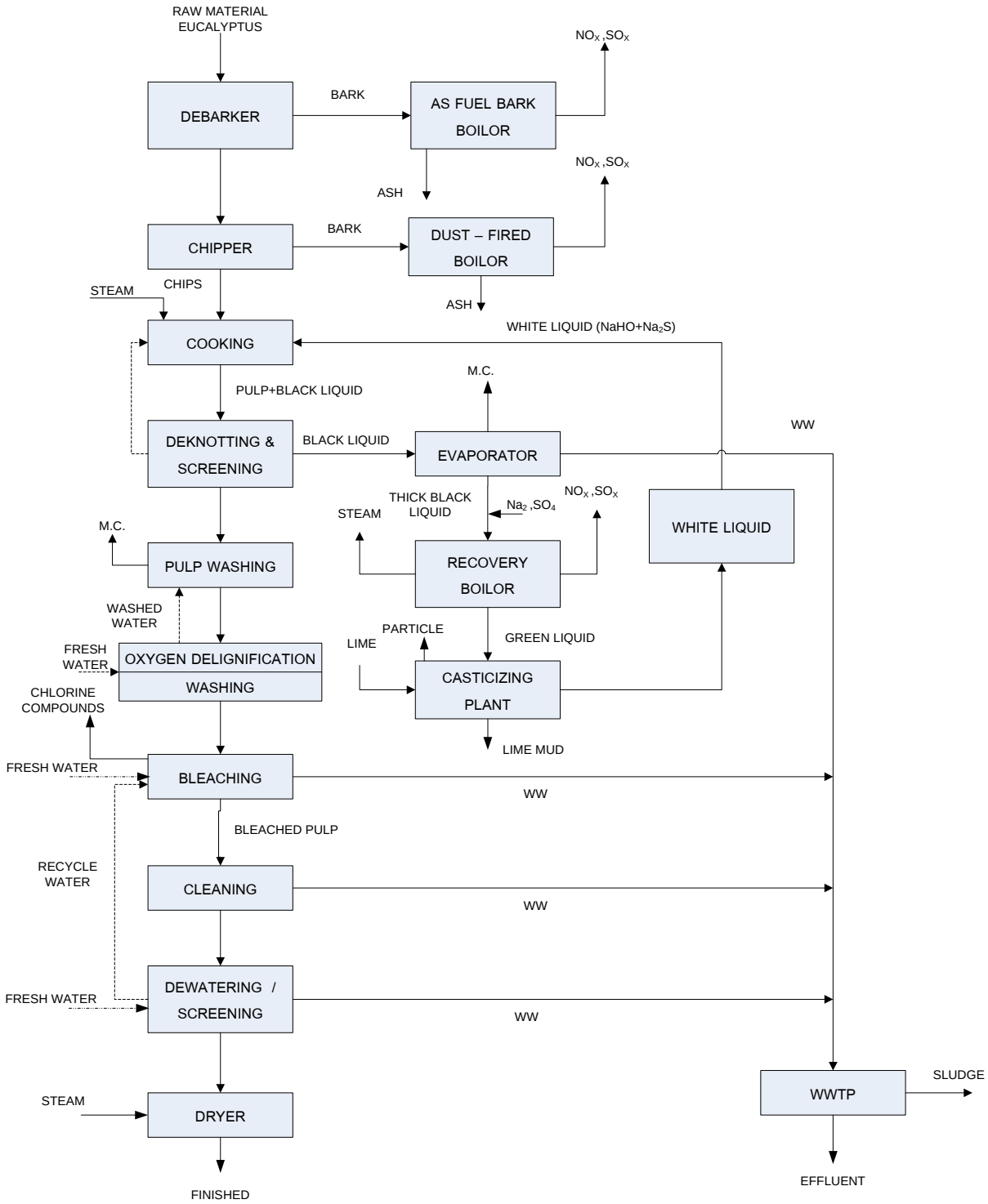
1. กระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์ (Sulphate or Kraft Process)

การผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการนี้ ชิ้นไม้จะถูกต้มในหม้อต้มเยื่อกับสารเคมีซึ่งเรียกว่า “White liquor” ซึ่งประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaoH) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และ Weak Black Liquor เป็น Make up Chemical ระยะเวลาและอุณหภูมิของการต้มจะขึ้นกับชนิดของไม้ และ degree of delignification ที่ต้องการ หม้อต้มเยื่อจะมีทั้งแบบชนิดที่เป็นกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) เยื่อที่ผลิตได้จากกระบวนการซัลเฟตส่วนใหญ่จะใช้ทำกระดาษห่อของ กระดาษเหนียว (Kraft paper) กระดาษผิวกล่อง (Kraft Linerboard) และเยื่อซัลเฟตฟอกขาวยังสามารถนำไปใช้ทำกระดาษได้หลายชนิดตั้งแต่กระดาษพิมพ์เขียนจนถึงกระดาษอนามัย กระบวนการผลิตเยื่อโดยกระบวนการซัลเฟต (คราฟท์) แสดงดังรูป 2.3

กระบวนการซัลเฟต เป็นกระบวนการผลิตเยื่อที่พัฒนามาจากกระบวนการโซดา (Soda Process) ซึ่งมีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวในการต้มเยื่อ กระบวนการซัลเฟตได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษแทนกระบวนการโซดาเนื่องมาจากสามารถนำสารเคมีกลับคืนมาได้ และยังมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่ากระบวนการโซดา เยื่อโซดาไฟฟอกขาวนี้ส่วนใหญ่จะใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียน นอกจากนั้นการผลิตกระดาษชนิดพิเศษ เช่นกระดาษสาก็จะใช้โซดาไฟในการต้มเยื่อเช่นกัน กระบวนการผลิตเยื่อโดยกระบวนการซัลเฟต (คราฟท์) แสดงดังรูป 2.4

2. กระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite Process)

การผลิตเยื่อโดยกระบวนการนี้จะใช้กรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid: H_2SO_3) และไบซัลไฟต์ไอออน (Bisulfite ion: HSO_3^-) เพื่อละลายลิกนินที่จับระหว่างเยื่อไม้ให้หลุดออกมา เยื่อที่ได้จากกระบวนการซัลไฟต์จะมีสีอ่อนกว่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการซัลเฟต และสามารถฟอกสีได้ง่ายกว่า แต่มีข้อเสียคือเยื่อที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า กระบวนการผลิตเยื่อโดยกระบวนการซัลไฟต์ แสดงดังรูป 2.5

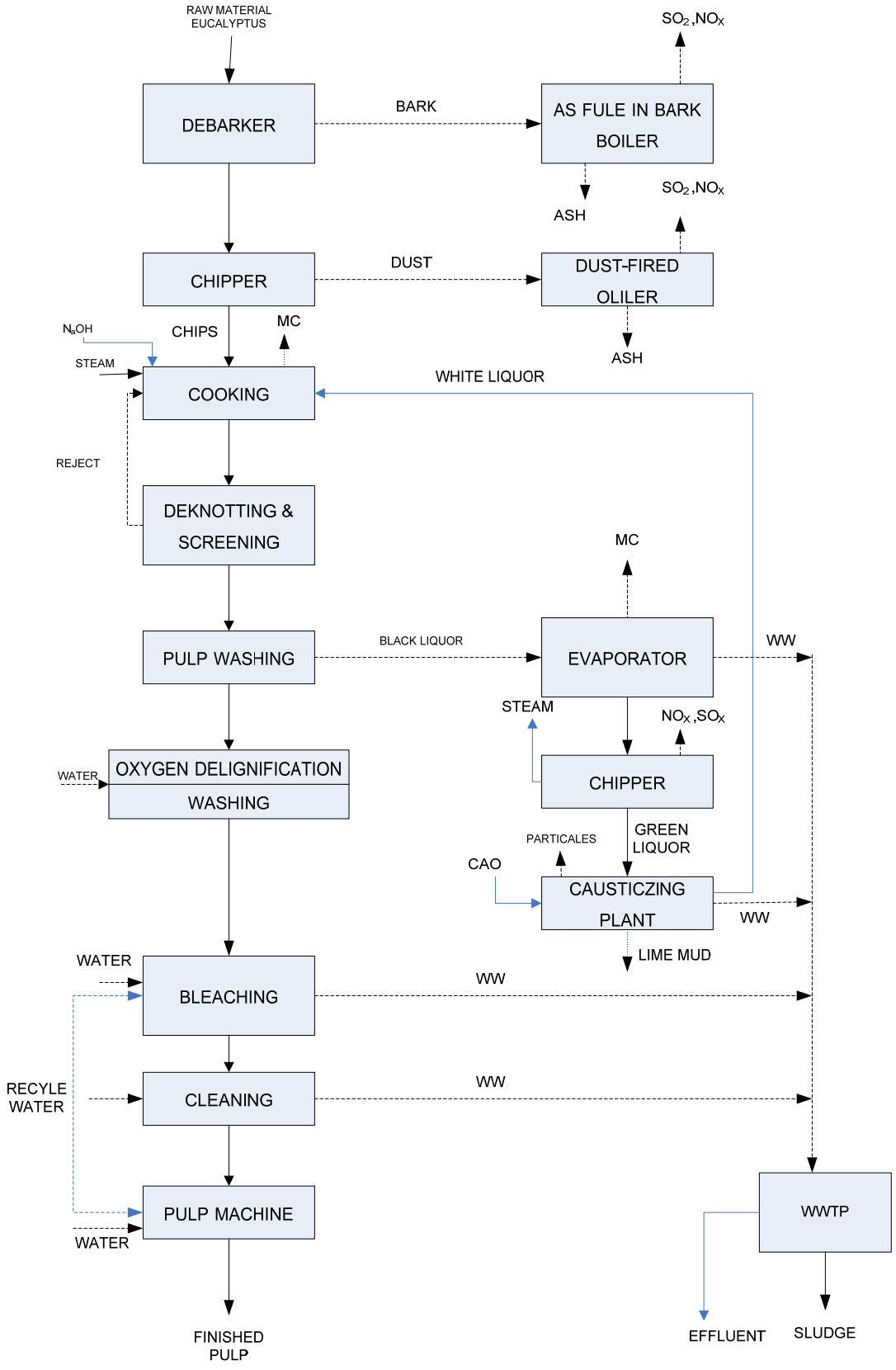


WW : waste water

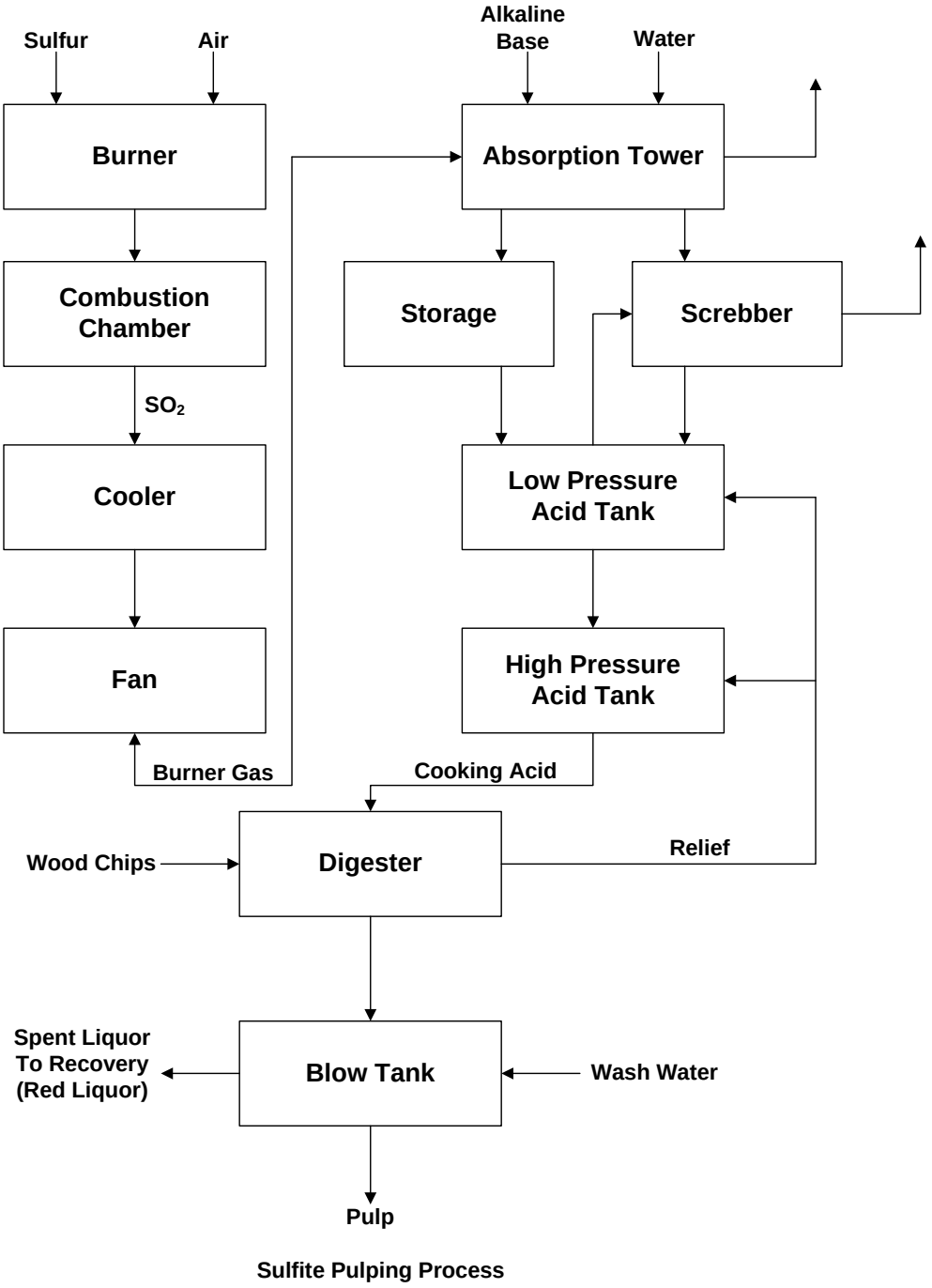
WWTP : waste water treatment plant

M.C. : malodorous compounds

รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการซัลเฟต (คราฟท์)



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตกระดาษโดยกระบวนการโซดา



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตกระดาษโดยกระบวนการซัลไฟต์

3. การคัดขนาด (Screening)

หลังจากกระบวนการการแยกเส้นใยแล้ว เส้นใยที่ได้จะถูกนำมาผ่านขั้นตอนของการคัดแยกเพื่อแยกเอาสิ่งแปลกปลอมออกจากเยื่อ ซึ่งแปลกปลอมเหล่านี้ได้แก่ ตาไม้ (Knot), ชิ้นไม้สับที่ผ่านการต้มยังไม่สมบูรณ์, เส้นใยที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการคัดขนาดได้แก่ เครื่องแยกตาไม้ (Disc Knotter), ตะแกรงหยาบ (Vibrating Knotter Screen), เครื่องร่อนแยกเยื่อ (Delta Screen), Pressure Screen และเซนติคลีนเนอร์ (Centricleaner)

4. การล้างเยื่อ (Washing)

เยื่อที่ได้จากกระบวนการทั้งแบบเคมีและกึ่งเคมี เมื่อผ่านการคัดขนาดแล้วจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนการล้างซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย สำหรับเยื่อกึ่งเคมีในขั้นตอนนี้ของเหลวจากการต้มเยื่อจะถูกล้างแยกออกจากเยื่อของเหลวนั้นประกอบด้วย สารเคมี ลิกนิน และส่วนประกอบอื่นของเส้นใย ของเหลวที่ได้นี้เรียกว่า Black Liquor ซึ่งจุดประสงค์ในการล้างเยื่อ คือล้าง Black Liquor ออกจากเยื่อ ลดการใช้สารเคมีในขั้นตอนการผลิตถัดไป และนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการต้มเยื่ออีกครั้ง

5. การสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน (O_2 Delignification)

ในการผลิตเยื่อเคมีซึ่งใช้ต้นยูคาลิปตัส หรือไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ เมื่อเยื่อผ่านขั้นตอนการล้างแล้วจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน ซึ่งจะเป็นการฟอกเยื่อขั้นตอนแรกโดยใช้ออกซิเจน ทำปฏิกิริยากับลิกนินให้ลิกนินหลุดออกจากเยื่อมากขึ้นเป็นผลทำให้ค่า Kappa Number ลดลง ค่า Kappa Number ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการต้มและการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน มีค่าประมาณ 25-28 และหลังจากทำปฏิกิริยาในถังปฏิกิริยาที่เติมออกซิเจนแล้วจะได้เยื่อที่ออกมามีค่า Kappa Number เพียง 10-12 ซึ่งหมายถึง ปริมาณลิกนินจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ใช้ในการต้ม เป็นผลทำให้การใช้สารเคมีในขั้นตอนการฟอกลดน้อยลง รวมทั้งลดปริมาณน้ำเสียจากการฟอกเยื่อด้วยด้วยสารเคมี

การสกัดลิกนินด้วยออกซิเจนจะต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาจับลิกนินนี้ ประมาณ 20 กิโลกรัมออกซิเจนต่อตันเยื่อที่ผลิต (หรือประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง) การฟอกจะเกิดจากการที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนไปสกัดลิกนินในเยื่อโดยมีไอน้ำ เพื่อรักษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่ระหว่าง 90-110 °C ระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประมาณ 20-60 นาที เยื่อที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วจะส่งเข้าล้างในเครื่องล้างแบบ Wash press โดยปกติแล้วภายหลังจากการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจนแล้วจะทำการล้าง 1 ครั้งหรือ 2 ครั้ง แล้วส่งไปเก็บในถังเก็บเยื่อความเข้มข้นปานกลางถึงสูง ก่อนส่งเข้าหน่วยฟอกขาวสำหรับการผลิตเยื่อฟอก

6. การฟอกเยื่อ (Bleaching)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพเยื่อในด้านความขาว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นในการผลิตกระดาษบางชนิด เช่นกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษทิชชู กระดาษสา เป็นต้น กระบวนการฟอกเยื่อยังแบ่งเป็นแบบหลายขั้นตอน และขั้นตอนเดียว ทั้งนี้ขึ้นกับความขาวของเยื่อที่ต้องการเช่น กระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษทิชชู ต้องการความขาวของเยื่อมากจะใช้วิธีการฟอกหลายขั้นตอน ส่วนกระดาษสาความขาวของเยื่อที่ต้องการเพื่อให้ย้อมสีได้เท่านั้น จึงใช้การฟอกแบบขั้นตอนเดียว สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีหลายชนิด ได้แก่ ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

จำนวนขั้นตอนการฟอกเยื่อจะอยู่ในช่วง 3 - 6 ขั้นตอน ขึ้นกับคุณภาพและความขาวของเยื่อที่ต้องการ ความแตกต่างของแต่ละขั้นตอนในการฟอกเยื่อจะอยู่ที่สารเคมีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน โรงงานแต่ละแห่งอาจมีขั้นตอนการฟอกเยื่อที่เหมือนหรือต่างกันก็ได้ ขึ้นกับข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ชนิดของเยื่อ ความขาวที่ต้องการ และด้าน Economics ของโรงงาน ตารางที่ 2.3 แสดงสภาวะของการฟอกเยื่อในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 2.3 สภาวะของการฟอกเยื่อที่ขั้นตอนต่างๆ

Condition	D	E	O	H	Z	P
Chemical Addition (On Pulp)	0.4 – 0.8 %	2 – 3 %	2 – 3 % 60-120 psi Mg^{2+}	2% (as Cl_2)	10 – 14 %	1 – 2 % Na_2O_2; Mg^{2+}; Silicate
Pulp Consistency	Medium	Medium	Medium or High	Medium	Medium or High	Medium
pH	3.5 - 6	11 – 12	10 - 12	8 - 10	2 - 3	8 - 10
Temperature (° F)	140 - 176	122 - 203	194 - 230	95 - 122	86 - 122	140 – 158
Time (hours)	3 - 5	0.75 – 1.5	0.3 – 1.0	1 - 5	1 – 2 minutes	2 – 4

หมายเหตุ: E = Alkaline Extraction, O = Oxygen, H = Hypochlorite, D = Chlorine Dioxide, Z = Ozone, P = Hydrogen Peroxide

7. หน่วยทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก (Bleached Stock Screening)

เยื่อที่ฟอกแล้วจะผ่านเข้าสู่หน่วยร่อนทำความสะอาดเยื่อขั้นสุดท้ายก่อนทำแผ่นเยื่อ เพื่อป้องกันไม่ให้มีสิ่งสกปรกปะปนไปกับผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ เซนติคลีนเนอร์

8. ขั้นตอนการเดินแผ่น (Sheet Forming) และอบแห้ง (drying)

เยื่อจากหน่วยร่อนทำความสะอาดขั้นสุดท้ายจะเข้าสู่เครื่องเดินแผ่น โรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษส่วนใหญ่จะมีระบบน้ำวงจรปิด ซึ่งจะนำน้ำใต้ลวดเดินแผ่นวนกลับเข้าไปเจือจากเยื่อที่ Head box และน้ำล้นส่วนที่เหลือจะนำกลับเข้าไปใช้ในขั้นตอนการล้างเยื่อ และเมื่อเยื่อผ่านกระบวนการเดินแผ่นแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการอบแห้ง เพื่อให้เหลือความชื้นประมาณ ร้อยละ 10 ก่อนส่งขายลูกค้า เวลาที่ใช้ในการผลิตเยื่อทั้งหมดจะใช้เวลาประมาณ 18 ชั่วโมง

9. ระบบการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery)

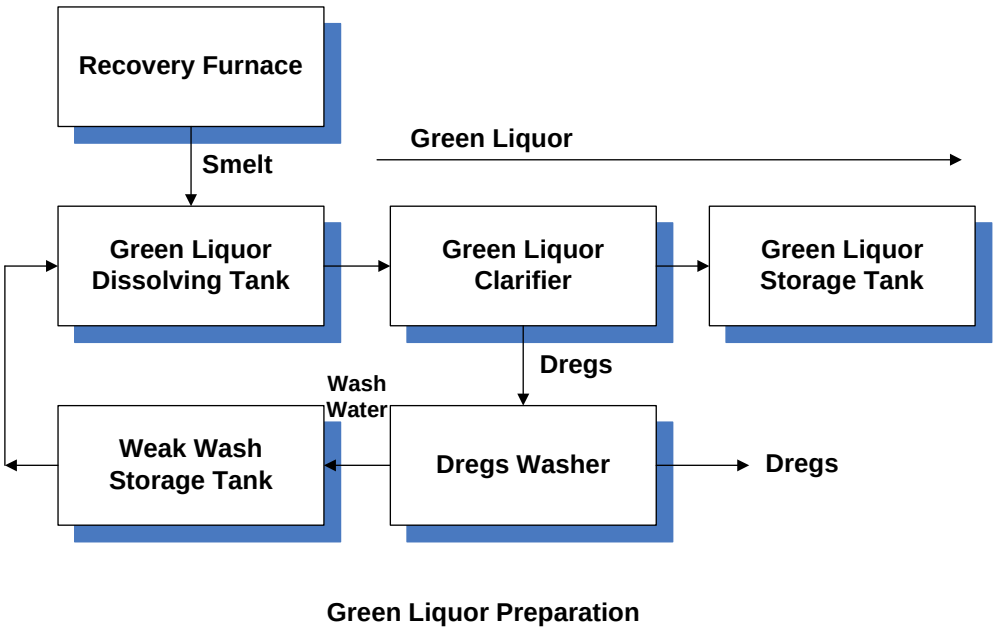
ระบบนี้จะมีเฉพาะการผลิตเยื่อเคมี เนื่องจากการผลิตเยื่อเคมีจะใช้สารเคมีในปริมาณมาก ถ้าหากไม่มีการนำสารเคมีกลับมาใช้อีกจะทำให้เยื่อกระดาษมีราคาแพงมากขึ้น เนื่องจากสารเคมีมีราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การนำสารเคมีกลับคืนมาจะประกอบด้วย

- *Black liquor evaporation:* เป็นการระเหยน้ำใน “Weak Black liquor” ที่ได้จากขั้นตอนของการล้างเยื่อซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งเพียงร้อยละ 12 – 20 ให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นเป็นร้อยละ 65 – 75 ซึ่งจะเรียกว่า “Strong Black Liquor” ก่อนส่งไปเป็นเชื้อเพลิงใน Recovery Boiler
- *Black liquor combustion (recovery boiler):* Black Liquor ซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งร้อยละ 65 – 75 จะมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 6,000 – 7,000 Btu/lb โดย Black liquor เหล่านี้จะถูกพ่นเข้าไปให้ recovery boiler น้ำที่ยังหลงเหลืออยู่ใน Black Liquor จะเกิดการระเหยไป สำหรับของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์จะเกิดการเผาไหม้ขึ้นให้พลังงานความร้อนออกมา
- *Recausticizing:* กระบวนการ Recausticizing เป็นกระบวนการที่นำสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อ (NaoH และ Na_2S) กลับมาที่อยู่ในสารอนินทรีย์ที่หลอมเหลว (Smelt) ซึ่งได้จาก recovery boiler กระบวนการ Recausticizing เริ่มจากการนำ Smelt มาผสมกับ “Green Liquor” และถูกส่งไปยัง Clarifier เพื่อดึงสารปนเปื้อนต่างๆที่เป็นของแข็งซึ่งเรียกว่า “Dregs” ออกไปจาก Green Liquor ก่อนถูกนำไป Recausticizing หลังจากนั้น Green Liquor จะถูกนำไปผสมกับ แคลเซียมออกไซด์ หรือ Lime (CaO) ใน Slaker ซึ่งภายใน Slaker จะมีอุณหภูมิสูง และมีการกวนอย่างรวดเร็ว ทำให้ CaO เปลี่ยนไปเป็น Slaked Lime ($Ca(OH)_2$) ปฏิกิริยา Causticizing จะทำการเปลี่ยน Slaked Lime ไปเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมคาร์บอเนอต (Lime mud: $CaCO_3$) ซึ่งจะถูกผ่านเข้าไปยัง Clarifier เพื่อดึง Lime mud ($CaCO_3$) ออก ของเหลวที่เหลือซึ่งเรียกว่า “White Liquor” จะถูกนำกลับไปใช้สำหรับการต้มเยื่ออีกครั้ง ขั้นตอนการเกิด “Green Liquor” และ “White Liquor” แสดงดังรูป 2.6 และ 2.7

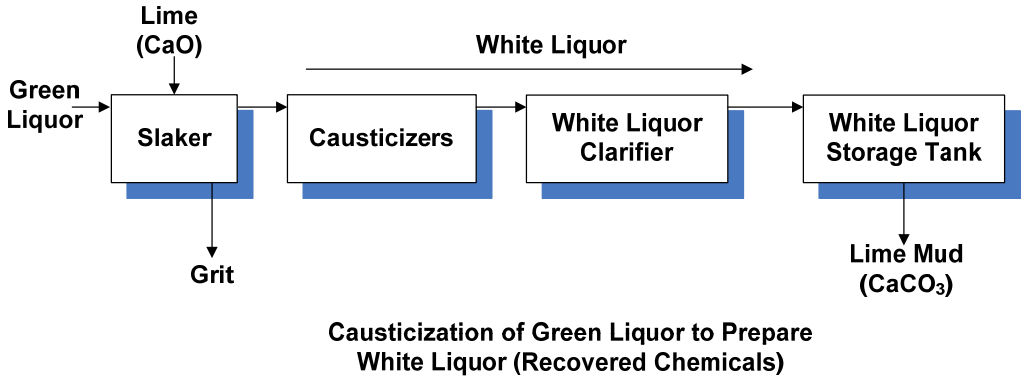
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการ Recausticizing มีดังนี้

Green Liquor + Lime ⟶ Lime Mud + White Liquor
$Na_2CO_3 + Na_2S + H_2O + CaCO_3 + 2NaOH + Na_2S$

Slaked Lime Reaction : $Cao + H2O \longrightarrow Ca(OH)2$
Causticizing Reaction : $Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \rightleftharpoons 2NaOH + CaCO_{3(s)}$

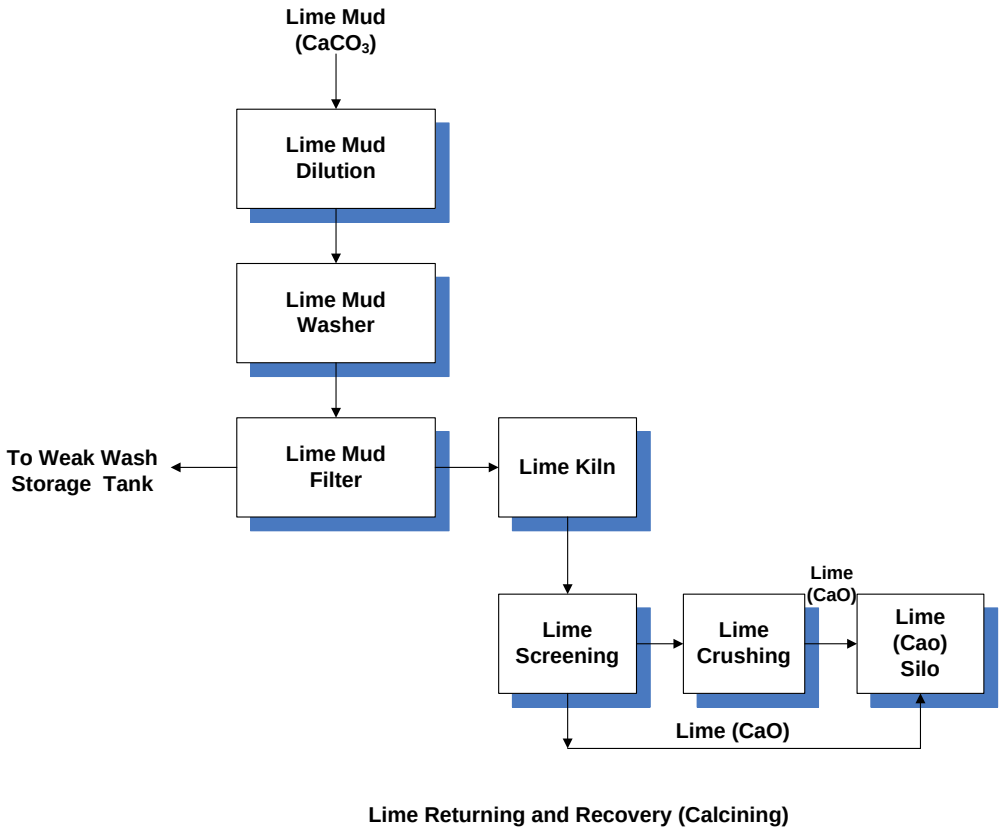


รูปที่ 2.6 การเตรียม Green Liquor



รูปที่ 2.7 กระบวนการ Causticization ของการเปลี่ยน Green Liquor ไปเป็น White Liquor

- *Calcining (Lime Reburning):* กระบวนการ Calcining เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนรูป Lime mud หรือ $CaCO_3$ ที่ถูกกำจัดมาจาก White Liquor โดยการเผาเพื่อให้ได้ Lime (CaO) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใน Slaker ได้อีกครั้ง กระบวนการ Calcining หรือ Lime Reburning แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการ Calcining หรือ Lime Reburning

2.2.3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การใช้พลังงานในขั้นตอนในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) และในส่วนของการผลิตเยื่อ (Pulping)

การใช้พลังงานในขั้นตอนในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบนั้น จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องปอกเปลือก (Debarker) เครื่องสับชิ้นไม้ (Chipper) ระบบสายพานลำเลียง (Conveyor) และในอุปกรณ์สำหรับคัดขนาดชิ้นไม้ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการใช้พลังงานได้แก่ การออกแบบระบบ รวมถึงอายุของอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งการใช้พลังงานในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

กระบวนการ	SEC (10^6 Btu/ton of pulp)
การปอกเปลือก (Debarking)	0.03-0.25
การสับชิ้นไม้ และการขนส่ง (Chipping & Conveying)	0.26-0.62

ที่มา: Energy and Environmental Profile of the U.S. Pulp and Paper Industry

การใช้พลังงานที่ต้องการสำหรับการผลิตเยื่อนั้น แยกได้ตามกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าพลังงานที่ต้องการเฉลี่ยสำหรับกระบวนการผลิตเยื่อ แยกตามกระบวนการผลิตเยื่อ

กระบวนการผลิตเยื่อ	ไฟฟ้า (10^6 Btu/ton of pulp)	ความร้อน (ไอน้ำ) (10^6 Btu/ton of pulp)	พลังงานรวม (10^6 Btu/ton of pulp)
กระบวนการเคมี	0.5	2.10	2.60
กระบวนการกึ่งเคมี	1.56	2.30	3.86
กระบวนการทางกล	6.08	1.60	7.68
การผลิตเยื่อกระดาษจากกระดาษที่ใช้แล้ว	0.50	0.80	1.30

ที่มา: Energy and Environmental Profile of the U.S. Pulp and Paper Industry

2.3 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลาง

2.3.1 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลางในประเทศไทย

อุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลางเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมขั้นต้น เนื่องจากมีการนำเยื่อกระดาษที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมขั้นต้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระดาษประเภทต่างๆ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ นอกจากเยื่อกระดาษซึ่งผลิตได้ภายในประเทศแล้ว ยังได้มีการสั่งนำเข้าเยื่อกระดาษจากต่างประเทศด้วย โดยเยื่อกระดาษที่ได้มีการสั่งนำเข้ามานั้น จะเป็นเยื่อชนิดใยยาว ซึ่งประเทศไทยไม่สามารถผลิตได้ นอกจากนั้นยังได้มีการนำเยื่อกระดาษซึ่งได้จากกระดาษที่ใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระดาษประเภทต่างๆด้วย ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตกระดาษประเภทต่างๆรวมกันทั้งสิ้น 45 โรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลางจะประกอบด้วยการผลิตกระดาษคราฟท์ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษอนามัย กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษแข็ง

ตารางที่ 2.6 รายชื่อโรงงานในอุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลาง

ประเภทอุตสาหกรรม	รายชื่อ	กำลังการผลิต	จังหวัด
กระดาษคราฟท์ -Corrugating Medium / Kraft Liner Board	1. บริษัทเอเซียคราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	246,000	สมุทรสาคร
	2. บริษัท เจริญชัยอุตสาหกรรม จำกัด	4,800	กรุงเทพฯ
	3. บริษัท กฤษณะมงคล จำกัด	20,000	นครปฐม
	4. บริษัท มหาชัยคราฟท์เปเปอร์ จำกัด	90,000	สมุทรสาคร
	5. บริษัท ปัญจพล เปเปอร์ อินดัสตรี้ จำกัด	300,000	พระนครศรีอยุธยา
	6. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานกระดาษปทุมธานี	60,000	ปทุมธานี
	7. บริษัท สยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด	297,000	กาญจนบุรี

ประเภทอุตสาหกรรม	รายชื่อ	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)	จังหวัด
	8. บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษธนากร จำกัด	14,000	ปทุมธานี
	9. บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	275,000	กาญจนบุรี
	10. บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	300,000	ปราจีนบุรี
	11. บริษัท ไทยพัฒนากระดาษ จำกัด	36,000	สมุทรปราการ
	12. บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด	568,000	กาญจนบุรี
	13. บริษัท ไทยเปเปอร์มิลส์ จำกัด	120,000	ระยอง
	14. บริษัท บูรพาอุตสาหกรรม จำกัด	10,000	กรุงเทพฯ
	15. บริษัท ยูไนเต็ด เปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	100,000	ปราจีนบุรี
กระดาษแข็ง Duplex	1. บริษัท บางเลนเปเปอร์มิลล์ จำกัด	30,000	นครปฐม
	2. บริษัท สุภัทร์ธนากรเปเปอร์ จำกัด	42,000	อ่างทอง
	3. โรงงานกระดาษเทนมา (ประเทศไทย)จำกัด	38,000	นนทบุรี
	4. บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด	10,000	ปทุมธานี
	5. บริษัท กระดาษแข็งไทย จำกัด	23,000	นครปฐม
	6. บริษัท ผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด.	15,000	ราชบุรี
	7. บริษัท สามพรานภรณ์เปเปอร์ จำกัด	-	นครปฐม
	8. บริษัทกระดาษสหไทยอุตสาหกรรม จำกัด	70,000	กาญจนบุรี
	9. บริษัทกระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน)	20,400	สมุทรปราการ
กระดาษพิมพ์เขียน	1. บริษัท แอ๊ดวานซ์อะโกร จำกัด (มหาชน)	470,000	ปราจีนบุรี
	2. โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษบางปะอิน	20,000	อยุธยา
	3. บริษัท เซ็นทรัลอุตสาหกรรมกระดาษ จำกัด	44,300	สมุทรปราการ
	4. บริษัท ไฮ-เทค เปเปอร์ จำกัด	33,000	ฉะเชิงเทรา
	5. บริษัท โอจิ เปเปอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด	43,200	ปราจีนบุรี
	6. บริษัท กระดาษศรีสยาม จำกัด	20,000	นครปฐม
	7. บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษศิริศักดิ์ จำกัด	6,000	กาญจนบุรี
	8. บริษัท เทพพัฒนากระดาษ จำกัด	4,400	ปทุมธานี
	9. บริษัท ผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด	273,000	ราชบุรี
	10 .บริษัทกระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน)	50,800	สมุทรปราการ
	11. บริษัท บูรพาอุตสาหกรรม จำกัด	50,000	กรุงเทพ
	12. บริษัท อุตสาหกรรมกรุงไทย จำกัด	28,000	ปทุมธานี
กระดาษอนามัย	1. บริษัทเบอร์ลี่ยุคเกอร์เซลล็อกซ์ จำกัด	27,000	สมุทรปราการ
	2. บริษัทเบอร์ลี่ยุคเกอร์เซลล็อกซ์ จำกัด		ปราจีนบุรี

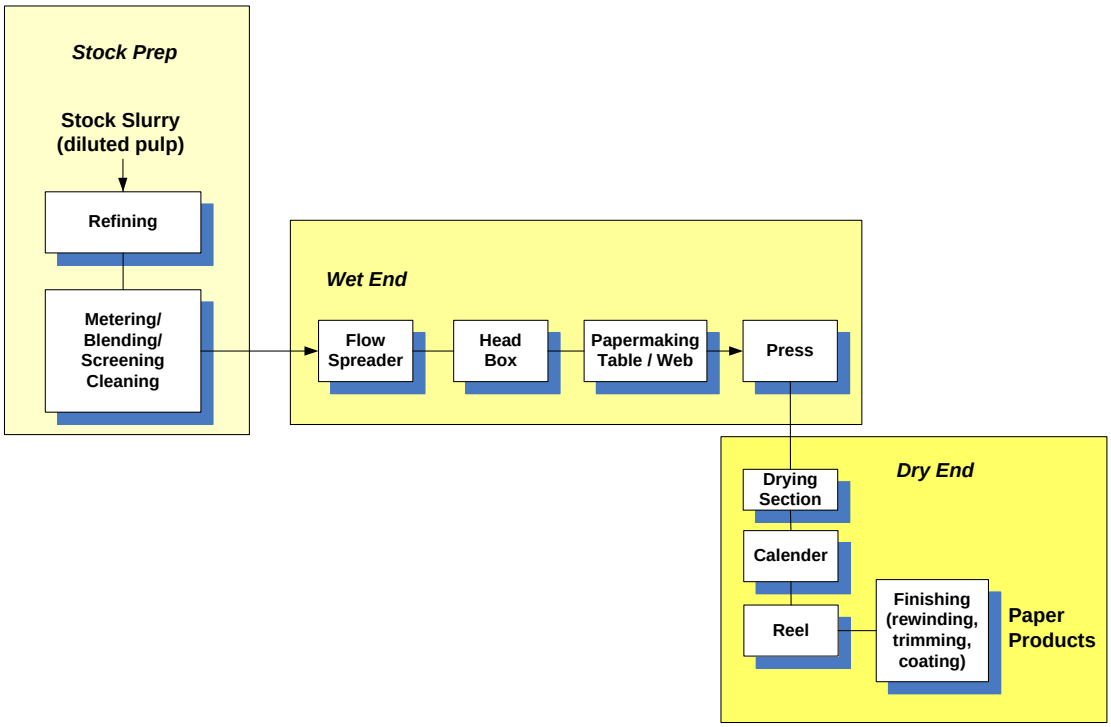
ประเภทอุตสาหกรรม	รายชื่อ	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)	จังหวัด
	3. บริษัทคิมเบอร์ลี่ย์-คล๊าค ประเทศไทย จำกัด	35,000	ปทุมธานี
	4. บริษัทคิมเบอร์ลี่ย์-คล๊าค ประเทศไทย จำกัด		สมุทรปราการ
	5. บริษัทไทย-วิคตอรี่เปเปอร์ จำกัด	1,800	กรุงเทพ
	6. บริษัท กระดาษธนธาร จำกัด	16,200	สมุทรปราการ
	7. บริษัท กระดาษ วัง เอ็น ที จำกัด	6,000	ลพบุรี
	8. บริษัท ริเวอร์โปร์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด		สมุทรปราการ
กระดาษหนังสือพิมพ์	1. บริษัท นอร์สเค้ สกู๊ด (ประเทศไทย) จำกัด	125,000	สิงห์บุรี

2.3.2 กระบวนการผลิตกระดาษ

กระบวนการผลิตกระดาษประเภทต่างๆในอุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลางนั้น จะมีความคล้ายคลึงกันอย่างมาก โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ 1. การเตรียมเยื่อ (Stock preparation) 2. การดึงน้ำออก (Dewatering) 3. การกดและการทำให้แห้ง (Pressing and drying) 5. การตกแต่งผลผลิตและการแปรรูป (Finishing or Converting)

ขั้นตอนแรก จะมีการเตรียมเยื่อโดยต้องให้น้ำเยื่อมีการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในขั้นตอนของการเตรียมเยื่อจะมีการเติมสารเคมี และสารเติมแต่งต่างๆลงไปเพื่อให้ได้ลักษณะของกระดาษตามที่ต้องการ จากนั้นน้ำเยื่อจะถูกผ่านเข้าไปยังเครื่องผลิตกระดาษ (Papermaking machine) ซึ่งจะมีการ form น้ำเยื่อให้เป็นแผ่น และถูกผ่านไปยังส่วนกดน้ำเพื่อนำน้ำออก หลังจากนั้นจะถูกนำไปอบแห้งต่อไป

ขั้นตอนในการผลิตกระดาษนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ “Wet End” และ “Dry End” ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งในส่วนของ “Wet End” จะครอบคลุมตั้งแต่ Machine chest ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการเก็บน้ำเยื่อ จนถึงส่วนที่ทำการกด ในขณะที่ส่วนของ “Dry End” จะเริ่มหลังจากผ่านการกด ซึ่งได้แก่ ส่วนการทำแห้ง และส่วนแปรรูปตกแต่งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการผลิตกระดาษ

2.3.2.1 การเตรียมเยื่อ (Stock preparation)

ขั้นตอนของการเตรียมน้ำเยื่อน้ำจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ต้องการ ในส่วนของการเตรียมเยื่อนั้นจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ

- การ Refining: การ Refining จะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการผลิตกระดาษ ระหว่างที่มีการ Refining นั้นเส้นใยของเยื่อจะถูกตีด้วยแรงทางกลจนได้เยื่อที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตประเภทต่างๆ
- การเติมสารเคมี: สารเคมีที่เติมลงไปจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำเยื่อและยังช่วยทำให้กระบวนการผลิตกระดาษทำได้อย่างยิ่งขึ้น ตัวอย่างของสารเคมีที่มีการเติม แสดงดังตารางที่ 2.7
- การคัดแยกและการทำความสะอาด (Screening and Cleaning): น้ำเยื่อจะถูกนำมาผ่าน Centrifugal cleaner เพื่อคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออก หลังจากนั้นน้ำเยื่อที่ผ่านการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปเก็บในถังเก็บน้ำเยื่อเพื่อเตรียมนำไปใช้สำหรับการผลิตกระดาษต่อไป

ตารางที่ 2.7 สารเคมีที่มีการเติมในขั้นตอนของการเตรียมเยื่อ

Additive	Application
1. Acids and bases	1. Control pH
2. Alum	2. Control pH, fix additives onto fiber, improve retention
3. Sizing agent (e.g. rosin)	3. Control penetration of liquids
4. Dyes and pigments	4. Impact desired color
5. Retention aids	5. Improve retention of fines and fillers
6. Fiber flocculants	6. Improve sheet formation
7. Deformers	7. Improve drainage and sheet formation
8. Optical brighteners	8. Improve apparent brightness
9. Slimicides	9. Control slime growths and other microorganisms
10. Specialty chemicals	10. Corrosion inhibitors, flame-proofing, anti-tarnish

2.3.2.2 การผลิตกระดาษ (Papermaking)

น้ำเยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปยังเครื่องผลิตกระดาษซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังกล่าวข้างต้น

- Wet End Operations: จะประกอบด้วย Flow Spreader, Head Box, Papermaking Table and web, Press Section ในส่วนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นคือ

1. <u>การ Form แผ่นกระดาษ</u> (Sheet Formation) : เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิต การ Form แผ่นกระดาษจะเริ่มจากการฉีดน้ำเยื่อโดยผ่าน Head Box ลงไปบนแผ่นตะแกรงผ้าสักหลาดที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะมีน้ำบางส่วนในน้ำเยื่อถูกดึงออกไปโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งหลังจากผ่านส่วนนี้ไปจะเริ่มกลายเป็นแผ่นกระดาษ แต่ยังมีลักษณะที่เปียกอยู่ มีความชื้นสูงและมีค่า Strength ต่ำ
2. <u>การกด</u> (Pressing): กระดาษบนแผ่นตะแกรงผ้าสักหลาดจะผ่านเข้าสู่ส่วนกด (Press Section) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียกแล้ว การกดยังจะทำให้แผ่นเยื่อเกิดการประสานยึดติดแน่นรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ผิดหน้ามีความเรียบ ลด bulk และ เพิ่มความแข็งแกร่งของกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 การกดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีดังนี้
   - <u>Suction Press</u>: จะประกอบด้วย Hard Press Roll (Solis Roll) และ Suction Roll น้ำจะถูกดูดออกจากผ้าสักหลาดผ่านรูของ Suction Roll และตกลงไปบนที่รองรับ ซึ่งการกดโดยวิธีนี้จะใช้แรงดูด (Suction Force) จาก Vacuum Box ซึ่งอยู่ใน Suction Roll เป็นตัวดึงน้ำออกจากกระดาษ

- Grooved Press: การกดแบบนี้ไม่มีการใช้ Vacuum แต่จะใช้ตัว Solis Roll กดน้ำจากกระดาษไปยังผ้าสักหลาด และจากผ้าสักหลาดไปยัง Grooved Roll ซึ่งวิธีนี้จะทำให้น้ำไหลไปยังล่องของ Roll และถูกนำออกไปโดยใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal Force)

- Dry End Operations: จะประกอบด้วย ส่วนอบแห้งกระดาษ (Dryer Section), ส่วนรีดกระดาษ (Calender Stack), ส่วนนำกระดาษเข้าม้วน (Reel Building) และ Off-machine finishing operations

1. ส่วนอบแห้งกระดาษ (Dryer Section): หลังจากผ่านการกด กระดาษจะถูกส่งไปยังส่วนอบแห้ง เพื่อทำการระเหยดึงน้ำส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ออกไป โดยผ่านกระดาษที่ยังชื้นอยู่ไปบนลูกอบที่ร้อน ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากลูกอบไปยังกระดาษที่ยังชื้นอยู่ เกิดการระเหยของน้ำออกไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยน้ำได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณของไอน้ำที่เข้าไปในลูกอบ, เวลาที่ใช้ในการสัมผัส รวมถึงความดันที่สัมผัสระหว่างลูกอบและแผ่นกระดาษ, คุณสมบัติของผ้าสักหลาด และการหมุนเวียนของอากาศร้อน เป็นต้น หลังจากนั้นกระดาษที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านไปยังส่วน Size Press ซึ่งเป็นส่วนของการปรับปรุงผิวกระดาษโดยการใช้น้ำแป้ง กระดาษที่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งแล้วจะถูกอบให้แห้งอีกครั้ง กระดาษที่ผ่านออกมาจากส่วนอบกระดาษนั้นจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 4-6
2. ส่วนรีดกระดาษ (Calender Stack): การรีดกระดาษจะเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบ และมีการปรับปรุงความหนาของกระดาษให้มีความหนาที่สม่ำเสมอ พร้อมกันนั้นยังทำให้กระดาษมีเนื้อแน่นขึ้น
3. ส่วนพักกระดาษเข้าม้วน (Reel-up): ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นำกระดาษเข้าม้วน รอการนำไปตัดแบ่งให้ได้ขนาดที่ต้องการ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.3.3 การใช้พลังงานในการผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษจะใช้พลังงานคิดเป็นประมาณร้อยละ 45 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ พลังงานหลักที่สำคัญที่มีการใช้คือพลังงานความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอน้ำ เพื่อใช้สำหรับการอบกระดาษให้แห้ง และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ เช่นมอเตอร์, ปั๊ม, สายพานลำเลียง เป็นต้น ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ของการผลิตกระดาษชนิดต่างๆ ระหว่างประเทศไทย และของต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.8 ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ในการผลิตกระดาษแยกตามประเภทของกระดาษ

ประเภทกระดาษ	ดัชนีการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ			
	ไฟฟ้า (kWh/ton)		ความร้อน (MJ/ton)	
	ประเทศไทย[1]	ต่างประเทศ[2]	ประเทศไทย	ต่างประเทศ
1. กระดาษคราฟท์	574.00	-	8,734.00	-
2. กระดาษพิมพ์เขียน	1,097.00	557.00	11,342	5,275.00
3. กระดาษอนามัย	986.00	665.00	5,935.00	7,913.00
4. กระดาษหนังสือพิมพ์	844.00	451.00	4,594.00	4,294.00
5. กระดาษแข็ง (Duplex)	646.00	-	7,797.00	-

หมายเหตุ: 1. ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานของประเทศไทยได้มาจากข้อมูล บพร.1 ปี พ.ศ. 2548
2. ข้อมูลจาก "Energy and Environmental Profile of the U.S. Pulp and Paper Industry

จากตารางพบว่า การใช้พลังงานในการผลิตกระดาษประเภทต่างของประเทศไทยจะมีค่าการใช้พลังงานสูงกว่าการใช้พลังงานในการผลิตกระดาษของต่างประเทศ แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษของประเทศไทยยังมีศักยภาพในการปรับปรุงการใช้พลังงานให้ดีขึ้นได้อีก

2.4 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลาย

2.4.1 อุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลายในประเทศไทย

อุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลาย เป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมขั้นกลาง โดยการนำผลิตภัณฑ์จากกระดาษขั้นกลาง ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่กระดาษคราฟท์ มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ (กล่อง) ของสินค้าประเภทต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลายในประเทศไทย มีเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และกล่อง พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 71 โรงงาน (ข้อมูลจาก สมาคมผู้ผลิตกล่องและแผ่นกระดาษลูกฟูกไทย) รายชื่อโรงงานผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และบรรจุภัณฑ์ (กล่อง) แสดงในภาคผนวก ก.

2.4.2 กระบวนการผลิตกระดาษ

<u>การผลิตแผ่นลูกฟูก (Corrugating)</u>

เป็นการนำเอากระดาษทำผิวกล่องและกระดาษทำลอนมาประกบกันโดยใช้เครื่องทำแผ่นลูกฟูก (Corrugating) เป็นแผ่นลูกฟูกชนิด 3 ชั้น (Single Wall) ลอน B ลอน C หรือแผ่นลูกฟูกชนนิด 5 ชั้น ลอน BC เพื่อนำไปผลิตเป็นกล่องต่อไป เครื่องทำแผ่นลูกฟูกเป็นเครื่องที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ Single Facer และ Double Facer Section

Single Facer Section ประกอบด้วยชุดร้อยม้วน กระดาษ 2 ชุด สำหรับใส่กระดาษผิวกล่องด้านใน (Inner Liner) โดยร้อยผ่าน Preheater เพื่อให้ลดความชื้นและช่วยให้กาวแห้งได้เร็ว และอีก

จากนั้น กระดาษทำลอนจะผ่านเข้าไปในชุดลูกลอน (Corrugating Roll) เพื่อขดให้เป็นลอน โดยใช้ระบบลมดูดเป็นตัวช่วยให้กระดาษประกบอยู่กับลูกลอน เพื่อให้ได้ขนาดลอนที่สม่ำเสมอ ชนิดของลูกลอนจะถูกกำหนดโดยตัวลูกลอนที่ติดตั้งอยู่ที่ Single Facer จากนั้นกระดาษที่ขดเป็นลอนแล้วจะผ่านไปที่ Glue Roll เพื่อทากาวที่ยอดลอนและประกบกับกระดาษ Inner Liner ได้ เป็นแผ่นลูกฟูกหน้าเดียว (Single Facer) ซึ่งจะส่งขึ้นไปกองไว้บน Bridge Conveyor เพื่อรอส่งเข้าไปที่ชุด Double Facer ต่อไป ในเครื่องทำแผ่นลูกฟูกทั่วไปนั้น จะมีชุดทำลอน (Single Facer) อยู่ 2 ชุด เพื่อผลิตเป็นแผ่นลูกฟูกได้ทั้ง ชนิด 3 ชั้นและ 5 ชั้น

Double Facer Section ประกอบด้วยชุดรอยม้วนกระดาษผิวกล่องด้านนอก (Outer Liner) ผ่าน Preheater แล้ว ทากาวประกบกับแผ่นลูกฟูกหน้าเดียวเป็น จากนั้นจะผ่านเข้าไปที่ชุด Hot Plate เพื่ออบให้กาวแห้ง ผ่าน Cooling Section เพื่อระบายอุณหภูมิของแผ่นลูกฟูก

แผ่นลูกฟูกที่ออกมาจากจุดนี้จะเป็นลักษณะต่อเนื่อง มีแนวลอนลูกฟูกตั้งฉากกับแนวเครื่องจักร จากนั้นเครื่อง Sliter – Scorer ทำหน้าที่ผ่าแผ่นลูกฟูกตามขนาดหน้ากว้าง และทำเส้นพับฝากล่อง (สำหรับกล่อง R.S.C.) จากนั้น Cut Off จะตัดแผ่นลูกฟูกตามความยาวให้เป็นขนาดตามที่ต้อง แผ่นลูกฟูกที่ทำการตัดแล้วจะถูกส่งเรียงซ้อนที่ Stacker เพื่อส่งขายในลักษณะของแผ่นลูกฟูก หรือ นำไปเข้ากระบวนการผลิตเป็นกล่องต่อไป

<u>การผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก</u>

การผลิตกล่องลูกฟูก (Conveting) กระบวนการผลิตกล่อง สามารถแบ่งออกตามชนิดของกล่องและการเชื่อมรอยต่อ (Manufacture's joint) แผ่นลูกฟูกที่ออกจากเครื่องลูกฟูก ที่มีการทำเส้นพับฝาที่ Slitter Scorer จะใส่ไปที่ Feed Unit ของเครื่องพิมพ์ โดยจะป้อนแผ่นลูกฟูกเข้าไปทีละแผ่นเข้าไปยัง Printing Section เพื่อทำการพิมพ์บนกล่องการพิมพ์จะมีจำนวนตู้สี และแม่พิมพ์ของแต่ละสีแยกออกจากกัน แผ่นลูกฟูกจะผ่านเข้าตู้สีแล้วทำการพิมพ์ทีละสีจนครบตามต้องการระบบการพิมพ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นแบบ Flexography โดยใช้หมึกแบบน้ำ (Water based ink)

1. กล่องแบบลวดเย็บ

ส่วนมากจะเป็นกล่องที่มีขนาดใหญ่ บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมากหรือกล่องที่มีรอยต่อค่อนข้างยาว ทำการทากาวไม่สะดวก กระบวนการผลิตจะใช้เครื่อง Printer Slotter แล้วนำไปทำการตอกที่เครื่องตอก

2. กล่องแบบติดกาว

เป็นกล่องที่ผลิตได้รวดเร็ว และมีการใช้กับสินค้าทั่วๆไป กระบวนการผลิตจะใช้เครื่อง Flexo Folder Gluer ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่รวม Printer Slotter และ Folder Gluer เข้าด้วยกัน ในการผลิตกล่องชนิดนี้ แผ่นลูกฟูกจะมีการพิมพ์ทำเส้นพับ และเซาะร่องเช่นเดียวกับกระบวนการ

3. กล่องไดคัท

เป็นกล่องที่มีรูปแบบแตกต่างจากกล่องประเภท Slot ใน 2 แบบแรก ขึ้นกับการออกแบบเพื่อความสวยงาม เช่น กล่องรูปเหลี่ยม หรือเพื่อความสะดวก ต่อการใช้งานเช่น กล่องขัดล็อก กล่องหูหิ้ว การผลิตกล่องชนิดนี้ จะมีการทำเพลทตัด(Cutting Die) โดยวาดรูปแบบกล่องลงบนไม้อัด แล้วทำการเลื่อยและฝังใบมีดเป็นรูปแบบตามที่ต้องการเพลทนี้จะถูกนำเข้าเครื่อง(แผ่นคลี่) กล่องบางประเภทจะมีการนำไปเชื่อมรอยต่อโดยการทากาวหรือเย็บลวดก่อนส่งให้ลูกค้า

2.4.3 การใช้พลังงานในการผลิตกระดาษ

จากข้อมูลการใช้พลังงาน บพร .1 ปี พ.ศ. 2548 พบว่า ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษขั้นปลายนั้น มีค่าค่อนข้างคงที่ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีดัชนีการใช้พลังงานเฉลี่ยดังนี้

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า: 545 MJ/ตัน
ดัชนีการใช้พลังงานความร้อน: 1075 MJ/ตัน
ดัชนีการใช้พลังงานรวม: 1620 MJ/ตัน