คู่มือฝึกอบรม

ผู้เชี่ยวชาญการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ

สนับสนุนโดย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

กระทรวงพลังงาน

ดำเนินการโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตุลาคม 2550

สารบัญ

เรื่อง		หน้า
บทที่ 1	**ความรู้เบื้องต้นในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ**	1 - 1
	1.1 ภาพรวมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย	1 - 1
	1.2 แนวโน้มของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย	1 - 2
	1.3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ	1 - 2
บทที่ 2	**การอนุรักษ์พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ**	2 - 1
	2.1 บทนำ	2 - 1
	2.1 ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษ	2 - 1
	2.1.1 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ	2 - 1
	(Raw Material Preparation)	
	2.2.2 ขั้นตอนการผลิตเยื่อ (Pulping)	2 - 2
	2.2.3 การคัดคัดขนาด (Screening)	2 - 7
	2.2.4 การล้างเยื่อ (Washing)	2 - 8
	2.2.5 สกัดลิกนินด้วยออกซิเจน (O_2 Delignification)	2 - 8
	2.2.6 การฟอกเยื่อ (Bleaching)	2 - 8
	2.2.7 หน่วยทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก	2 – 9
	(Bleached Stock Screening)	2 – 9
	2.2.8 ขั้นตอนการเดินแผ่น (Sheet Forming) และอบแห้ง (drying)	2 – 9
	2.2.9 ระบบการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery)	2 – 10
	2.3 การใช้พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ	2 – 12
	2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	2 – 12
	2.3.2 ขั้นตอนการทำเยื่อ	2 – 13
	2.3.3 ขั้นตอนการฟอกเยื่อ (Bleaching)	2 – 14
	2.3.4 ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery)	2 – 14
	2.4 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ	2 – 15
	2.4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ (Wood Preparation)	2 – 15
	2.4.2 ขั้นตอนการต้มและฟอกเยื่อ (Digestion and Bleach)	2 – 17
	2.4.3 ขั้นตอนการผลิตเยื่อแห้ง	2 – 17
	2.4.4 ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับมาใช้	2 – 18
บทที่ 3	**การอนุรักษ์พลังงานในการผลิตกระดาษ**	3 - 1
	3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ	3 - 1
	3.1.1 การเตรียมเยื่อ (Stock preparation)	3 – 3

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง			หน้า
บทที่ 3	**การอนุรักษ์พลังงานในการผลิตกระดาษ**		
	3.1.2	ผลิตกระดาษ (Papermaking)	3 - 3
	3.2	ใช้พลังงานในการผลิตกระดาษ	3 - 5
	3.3	อนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตกระดาษ	3 - 6
	3.3.1	การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (Stock Preparation)	3 – 6
	3.3.2	การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ (Sheet Forming)	3 - 11
	3.3.3	การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการรีดน้ำ (Press section)	3 -12
	3.3.4	การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการอบแห้ง (Drying section)	3 - 14
บทที่ 4	**การอนุรักษ์พลังงานในระบบ Utilities**		4 - 1
	4.1	หม้อไอน้ำและระบบใช้ไอน้ำ	4 - 1
	4.1.1	การลดการสูญเสียในตัวหม้อไอน้ำ	4 - 2
	4.1.2	การใช้หม้อไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	4 - 4
	4.1.3	การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้	4 - 5
	4.1.4	การปรับปรุงระบบเพื่อลดต้นทุนการผลิตไอน้ำ	4 - 5
	4.2	ระบบอัดอากาศ	4 - 8
	4.2.1	การใช้อากาศอัดให้คุ้มค่า	4 - 8
	4.2.2	การลดการรั่วไหลของอากาศอัด	4 – 8
	4.2.3	การปรับลดความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน	4 – 9
	4.2.4	การลดอุณหภูมิอากาศเข้า	4 – 9
	4.2.5	ลดการเดินเครื่องอัดอากาศแบบไร้โหลด หรือการบริหารเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ	4 - 10
	4.2.6	การแก้ไขขนาดท่อและถังพัก	4 – 10
	4.2.7	การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศตามกำหนด	4 – 10
	4.3	มอเตอร์ไฟฟ้า	4 – 11
	4.3.1	การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ	4 - 11
	4.3.2	มีการระบายความร้อนที่ดี	4 - 12
	4.3.3	การควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม	4 – 12
	4.3.4	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	4 – 12
	4.3.5	การบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าและระบบส่งกำลังอย่างถูกต้องเหมาะสม	4 - 13

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง		หน้า
บทที่ 4	**การอนุรักษ์พลังงานในระบบ Utilities**	
	4.4 ปั๊มน้ำ	4 – 13
บทที่ 5	**การตรวจวัดและการวิเคราะห์การใช้พลังงาน ในอุตสาหกรรมกระดาษ**	5 - 1
	5.1 เครื่องมือวัดทางด้านพลังงาน	5 - 1
	5.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด	5 - 12
	5.3 ค่าที่ตรวจวัด และการนำไปใช้ของอุปกรณ์ต่างๆ	5 - 15

รายการรูป

รูปที่			หน้า
รูปที่	1.1	การใช้พลังงานของโรงงาน	1 - 5
รูปที่	1.2	การใช้พลังงานของโรงงานที่ผลิตไฟฟ้าเอง	1 - 5
รูปที่	1.3	การใช้พลังงานของโรงงานที่ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า	1 - 6
รูปที่	2.1	Semichemical Pulping Process	2 - 4
รูปที่	2.2	กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการคราฟท์ (ซัลเฟต)	2 - 6
รูปที่	2.3	กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการซัลไฟต์	2 - 7
รูปที่	2.4	การเตรียม Green Liquor	2 - 11
รูปที่	2.5	กระบวนการ Causticization ของการเปลี่ยน Green Liquor ไปเป็น White Liquor	2 - 11
รูปที่	2.6	กระบวนการ Calcining หรือ Lime Reburning	2 - 12
รูปที่	3.1	ขั้นตอนในการผลิตกระดาษ	3 - 2
รูปที่	3.2	เครื่องผลิตกระดาษ	3 - 2
รูปที่	3.3	Refiners	3 - 6
รูปที่	3.4	ฟันของ Refiner	3 - 9
รูปที่	3.5	การรีดน้ำ (Press section)	3 - 12
รูปที่	3.6	Shoe Press	3 - 14
รูปที่	3.7	การอบแห้ง (Drying section)	3 - 15
รูปที่	4.1	หม้อไอน้ำ (Boiler)	4 - 1
รูปที่	4.2	การสูญเสียพลังงานในระบบหม้อไอน้ำ	4 - 2
รูปที่	4.3	ระบบอัดอากาศ	4 - 8
รูปที่	4.4	มอเตอร์ไฟฟ้า	4 - 11
รูปที่	4.5	ปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal)	4 - 14
รูปที่	5.1	เครื่องวัดกระแส(Ammeter)	5 - 1
รูปที่	5.2	เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)	5 - 2
รูปที่	5.3	เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง (Lux meter)	5 - 2
รูปที่	5.4	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบงเทอร์โมคัปเปิล	5 - 3
รูปที่	5.5	โพรบวัดอุณหภูมิแบบ RTD	5 - 4
รูปที่	5.6	รูปแบบของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป	5 - 4
รูปที่	5.7	เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี	5 - 5

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่			หน้า
รูปที่	5.8	กล้องอินฟาเรดตรวจจับอุณหภูมิ	5 - 6
รูปที่	5.9	เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์	5 - 6
รูปที่	5.10	เครื่องมือวัดความเร็วลม	5 - 10
รูปที่	5.11	มิเตอร์วัดน้ำมันแบบโพสิทีฟดิสเพลสเมนต์	5 - 8
รูปที่	5.12	มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำช่องเดียว (Single- Jet Meters)	5 - 8
รูปที่	5.13	มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำหลายช่อง (Multi- Jet Meters)	5 - 9
รูปที่	5.14	การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิค	5 - 9
รูปที่	5.15	เกจวัดความดันแบบต่าง ๆ	5 - 10
รูปที่	5.16	เครื่องมือวัดความดันก๊าซ (Draft Gauge)	5 - 10
รูปที่	5.17	เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ	5 - 11
รูปที่	5.18	เครื่องมือวัดการเผาไหม้	5 - 12
รูปที่	5.19	แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	5 - 13
รูปที่	5.20	แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงานผลิตกระดาษ	5 - 14
รูปที่	5.21	แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงานผลิตกล่องกระดาษ	5 - 15

รายการตาราง

ตารางที่			**หน้า**
ตารางที่	1.1	เกณฑ์การใช้พลังงานที่ควรพิจารณา	1 - 7
ตารางที่	1.2	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตเยื่อกระดาษ (Pulp)	1 - 9
ตารางที่	1.3	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษคราฟท์ (Kraft Paper)	1 - 10
ตารางที่	1.4	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน (Printing & Writing Paper)	1 - 11
ตารางที่	1.5	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษ Duplex Boar	1 - 12
ตารางที่	1.6	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษอนามัย (Tissue Paper)	1 - 13
ตารางที่	1.7	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ (Newsprint Paper)	1 - 14
ตารางที่	1.8	ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (Sheet board)	1 - 15
ตารางที่	2.1	สภาวะของการฟอกเยื่อเคมีที่ขั้นตอนต่างๆ	2 - 9
ตารางที่	2.2	ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ	2 - 13
ตารางที่	2.3	พลังงานเฉลี่ยของการผลิตเยื่อประเภทต่างๆ	2 - 13
ตารางที่	2.4	พลังงานเฉลี่ยสำหรับกระบวนการฟอกเยื่อ	2 - 14
ตารางที่	2.5	พลังงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนในกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน	2 - 15
ตารางที่	3.1	สารเคมีที่มีการเติมในขั้นตอนของการเตรียมเยื่อ	3 - 3
ตารางที่	3.2	ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ในการผลิตกระดาษแยกตามประเภทของกระดาษ	3 - 5
ตารางที่	3.3	แสดงอัตราการไหลซึ่งมีผลต่อประสิทธิของ Refiner	3 - 7
ตารางที่	3.4	แสดงค่าจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับกระดาษเกรดต่างๆของ Refiners	3 - 7
ตารางที่	3.5	แสดงค่า Freeness Drop ต่อพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเยื่อประเภทต่างๆ	3 - 9
ตารางที่	3.6	แนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานในส่วนของปั๊ม	3 - 11
ตารางที่	4.1	พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดความดันใช้งานลง (ที่การใช้งาน 7200 ชม. ต่อปี)	4 -9
ตารางที่	4.2	พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดอุณหภูมิอากาศเข้า (ที่การใช้งาน 7,200 ชม.ต่อปี)	4 - 10

บทที่ 1
ความรู้เบื้องต้นในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

1.1 ภาพรวมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย

อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่ง ที่ยังคงความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจและสังคมและมีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ แม้อุตสาหกรรมนี้จะไม่ใช่อุตสาหกรรมที่สร้างเม็ดเงินหรือความมั่งคั่งให้กับเศรษฐกิจของประเทศโดยตรง แต่ก็เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆเกือบทุกประประเภทรวมถึงยังมีส่วนส่งเสริมให้เกิดการจ้างงาน การกระจายรายได้ และยังสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศจากการผลิตเพื่อส่งออก ในปี 2548 อัตราการบริโภคกระดาษของคนไทยมีค่าประมาณ 50 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในขณะที่ประเทศแถบเอเชียด้วยกัน เช่น มาเลเซีย เกาหลี ไต้หวัน และญี่ปุ่น มีอัตราการบริโภคกระดาษประมาณ 98, 169, 206 และ 241 กิโลกรัมต่อคนต่อปี จึงนับว่าการบริโภคกระดาษของคนไทยยังค่อนข้างต่ำ ทำให้อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กระดาษ และบรรจุภัณฑ์ ยังมีความสามารถที่จะขยายตัวได้อีกมาก จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ภาวการณ์ปี 2549 มีปริมาณการผลิตเยื่อรวม 0.9 ล้านตัน และมีการผลิตกระดาษประเภทต่างๆรวม 3.5 ล้านตัน ซึ่งเมื่อเทียบกับปี 2548 พบว่ามีปริมาณการผลิตเยื่อและกระดาษเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 6.9 และ 2.8 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการใช้ในประเทศมีการขยายตัวขึ้นและส่วนหนึ่งเกิดจากการนำเข้าเยื่อกระดาษของประเทศจีนที่ขยายตัวสูงขึ้นอย่างมาก

จากข้อมูลของสมาคมเยื่อและกระดาษแห่งประเทศไทยพบว่า ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษรวมกันทั้งสิ้น 56 แห่ง แบ่งเป็นโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ 7 แห่ง โรงงานผลิตกระดาษคราฟท์ 17 แห่ง โรงงานผลิตกระดาษพิมพ์เขียน 12 แห่ง โรงงานผลิตกระดาษแข็ง 12 แห่ง โรงงานผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ 1 แห่ง และโรงงานผลิตกระดาษอนามัย 8 แห่ง

การนำเข้าเยื่อกระดาษและเศษกระดาษในปี 2549 มีมูลค่า 414.8 ล้านเหรียญสหรัฐ เมื่อเทียบกับปี 2548 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 9.7 เนื่องจากมีความจำเป็นต้องนำเข้าเยื่อใยยาวที่ไม่สามารถผลิตภายในประเทศได้ เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ในประเทศที่เพิ่มขึ้น โดยแหล่งนำเข้าเยื่อใยยาวที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และญี่ปุ่น การนำเข้ากระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษในปี 2549 มีมูลค่า 955.0 ล้านเหรียญสหรัฐ เมื่อเทียบกับปี 2548 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 2.4

การส่งออกเยื่อกระดาษในปี 2549 มีมูลค่า 128.5 ล้านเหรียญสหรัฐ เมื่อเทียบกับปี 2548 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 41.0 เนื่องจากเศรษฐกิจจีนขยายตัวทำให้มีความต้องการใช้เยื่อกระดาษเพิ่มขึ้น โดยมีมูลค่าการส่งออกไปจีนสูงเกินครึ่งหนึ่งของมูลค่าการส่งออกเยื่อกระดาษทั้งหมด การส่งออกกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษในปี 2549 มีมูลค่า 1,058.3 ล้านเหรียญสหรัฐ เมื่อเทียบกับปีก่อนมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 16.3 เนื่องจากปัจจัยด้านราคากระดาษในตลาดโลกสูงกว่าตลาดในประเทศส่งผลให้ผู้ผลิตกระดาษส่งออกมากขึ้น

1.2 แนวโน้มของอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย

แนวโน้มอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ คาดว่าจะขยายตัวต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยสนับสนุนหลักสองประการ ประการแรกคือภาครัฐพร้อมที่จะให้การสนับสนุนนิคมอุตสาหกรรมการพิมพ์ฯ เพื่อผลักดัน ให้เป็นศูนย์กลางการพิมพ์ (Printing Hub) ในภูมิภาคอาเซียน โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนในการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และการพัฒนาบุคลากร ประการที่สองคือกระทรวงอุตสาหกรรมมีแผนปฏิบัติการส่งเสริม SMEs ปี 2550 - 2551 ซึ่งสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมและสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยร่วมกันผลักดัน โดยอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่อยู่ในแผนดังกล่าวซึ่งจะดำเนินโครงการที่เกี่ยวข้องกับการยกระดับมาตรฐานอุตสาหกรรม จึงทำให้อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษขยายตัวตามไปด้วย

1.3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่สูงมาก ซึ่งพลังงานที่นำมาใช้ในกระบวนการการผลิตเยื่อ และกระดาษมีอยู่ 2 ประเภทคือ ไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษสรุปได้ดังนี้

<u>การผลิตเยื่อกระดาษ</u>

ในการผลิตเยื่อกระดาษจะมีการใช้พลังงานในขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. ขั้นตอนของการจัดเตรียมวัตถุดิบ (Wood Preparation) จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อขับเคลื่อนระบบมอเตอร์ต่างๆในอุปกรณ์การปอกเปลือก ตัดชิ้นไม้ และอุปกรณ์ในการลำเลียงชิ้นไม้
2. ขั้นตอนของการทำเยื่อ (Pulping) จะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนสำหรับการต้มเยื่อ (Cooking) ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก
3. ขั้นตอนการฟอกเยื่อ (Bleaching) พลังงานที่ใช้ในการการฟอกเยื่อโดยส่วนใหญ่ จะใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำเพื่อทำให้เยื่อเกิดความขาว และช่วยการขจัดลิกนินให้จากไปเส้นใย สำหรับพลังงานไฟฟ้านั้นจะถูกใช้ในอุปกรณ์ประเภทระบบปั๊ม ระบบการผสม และใช้ในอุปกรณ์ทางกลอื่นๆ
4. ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery) ในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆ หลายขั้นตอน ได้แก่

4.1 Evaporation: การระเหย Black Liquor จะเป็นส่วนที่มีการใช้ไอน้ำมากที่สุดในโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์

4.2 Recovery Boiler: ในส่วนนี้จะมีการใช้พลังงานในรูปแบบของเชื้อเพลิงเสริมต่างๆรวมถึงพลังงานไฟฟ้าด้วย

4.3 Recausticizing: ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ในขั้นตอนนี้จะใช้ไอน้ำสำหรับการให้ความร้อนกับ Make-up water

4.4 Calcining: ในขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการดูดความร้อน (Endothermic Process) ซึ่ง จะมีการใช้น้ำมันเตา หรือก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิง

<u>การผลิตกระดาษ</u>

กระบวนการผลิตกระดาษ จะมีสัดส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหลัก ๆ ดังนี้ พลังงานความร้อนจากไอน้ำ (Steam) จะถูกนำไปใช้ที่กระบวนการต้มเยื่อประมาณร้อยละ 10 และอีกร้อยละ 90 จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งกระดาษ สำหรับพลังงานไฟฟ้าจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการปั่นเยื่อหรือตีเยื่อ (Pulping) ประมาณร้อยละ 30 ถูกใช้ในขั้นตอนของการบดเยื่อ (Refining) ร้อยละ 25 ใช้ในเครื่องผลิตกระดาษ (Paper Machine) ร้อยละ 35 และถูกนำไปใช้ในส่วนอื่นๆ อีกร้อยละ 10

1.4 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูง ดังนั้นหากที่โรงงานทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิเคราะห์การใช้พลังงานและหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตได้

1.4.1 Specific Energy Consumption (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานตัวหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น หารด้วยปริมาณผลผลิตทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งค่าการใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิต แสดงถึงปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในการผลิตผลผลิต 1 หน่วยนับทางกายภาพของผลผลิตนั้นๆ

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดในการผลิตผลผลิตนั้นในช่วงเวลาที่สนใจ (MJ)}}{\text{ปริมาณผลผลิตนั้น ในช่วงเวลาที่สนใจ (หน่วยนับทางกายภาพ)}}$$

การเปรียบเทียบค่า SEC สามารถกระทำได้ทั้งในเชิงเดี่ยว (โรงงานแต่ละแห่ง) เพื่อติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงานของ โรงงานนั้นๆ ในแต่ละช่วงเวลา หรือในเชิงกลุ่มสำหรับแต่ละโรงงานในกลุ่มซึ่งมีกิจกรรมการใช้พลังงานและผลผลิตคล้ายกัน

ค่า SEC จะขึ้นกับปัจจัย 3 ตัวด้วยกัน คือ ชนิดของผลผลิต, ชนิดของกระบวนการผลิต ซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตและชนิดของผลผลิต และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต อาจจะเป็นไปได้ที่จะแยก SEC ตามกระบวนการผลิตที่ใช้และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น การพิจารณาค่า SEC อาจทำได้ 2 แบบ คือ เปรียบเทียบกับค่า SEC ปัจจุบันของกระบวนการผลิตหรือเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุด

ปริมาณการใช้พลังงาน คือ การพิจารณาพลังงานรวมในรูปของพลังงานขั้นสุดท้าย (หน่วยเป็น MJ) ได้แก่ พลังงานทั้งหมดที่ผ่านเข้าโรงงานจริงและใช้ในการผลิตผลผลิตนั้น ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิง เป็นการพิจารณาระดับโรงงาน ค่าดัชนีการใช้ พลังงานที่ได้จะไม่ขึ้นกับประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้า ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในช่วงเวลาที่สนใจ อาจเป็นในช่วงเวลา 6 เดือนหรือ 12 เดือน พลังงานที่ใช้ในการผลิตผลผลิตหนึ่งๆ จำเป็นต้องรวมพลังงานที่ใช้ในส่วนสำนักงานและส่วนอื่นเข้าไว้ด้วย เนื่องจากถือว่าเป็นพลังงานพื้นฐาน (Based Energy) ที่ต้องใช้เพื่อสนับสนุนในการผลิตผลผลิตนั้นๆ

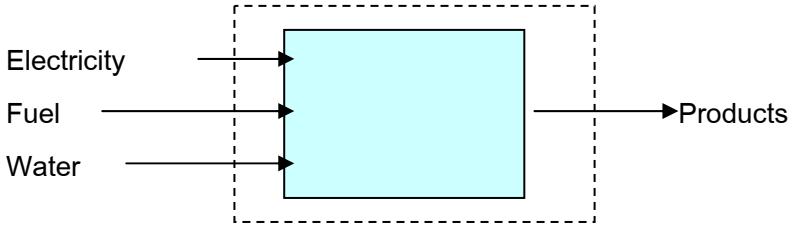
ดัชนีการใช้พลังงานรวม (SEC_{Total}) สำหรับผลผลิตหนึ่งๆ อาจหาได้จากดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกับดัชนีการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง และการพิจารณาสำหรับพลังงานไฟฟ้าพิจารณาจากพลังงานที่ซื้อทั้งหมดหักลบกับพลังงานไฟฟ้าที่ขาย ส่วนพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงพิจารณาจากพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ซื้อทั้งหมดหักลบกับพลังงานความร้อนที่ขายในรูปของไอน้ำ

ปริมาณผลผลิต คือ ปริมาณผลผลิตหลักที่โรงงานผลิตโดยใช้ปริมาณพลังงานที่กล่าวถึง ข้างต้น หน่วยที่ใช้มักเป็นหน่วยนับทางกายภาพ เช่น จำนวน น้ำหนัก ปริมาตร ขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โรงงานอุตสาหกรรมจะมีทั้งที่ผลิตผลผลิตเดียวซึ่งสามารถค่าดัชนีการใช้พลังงานได้ตรงไปตรงมา และบางส่วนที่เป็นโรงงานที่ผลิตหลายผลผลิตในโรงงานเดียวกัน ซึ่งมักจะไม่มีการติดตั้งมิเตอร์ตรวจวัดหรือบันทึกการใช้พลังงานแยกสำหรับแต่ละผลผลิต ทำให้มีความยุ่งยาก ซับซ้อนในการหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน สำหรับโรงงานประเภทนี้จำเป็นต้องมีค่าดัชนีการใช้พลังงานหลายค่าตามประเภทของผลผลิตที่มีในโรงงาน เพื่อให้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับโรงงานอื่นๆ ที่มีกระบวนการผลิตและผลผลิตคล้ายคลึงกันได้

ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ค่า SEC คือ กรณีที่มีผลผลิตหลายชนิดวิธีที่ให้ความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ การอาศัยข้อมูลที่แท้จริงจากการตรวจวัดโรงงาน เนื่องจากสามารถแยกแยะการใช้พลังงานแต่ละชนิดตามประเภทของผลผลิตนั้นๆ ได้จริง หากนำข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมไว้อาจสามารถจำแนกพลังงานได้ค่อนข้างยาก

1.4.2 การวิเคราะห์เกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ

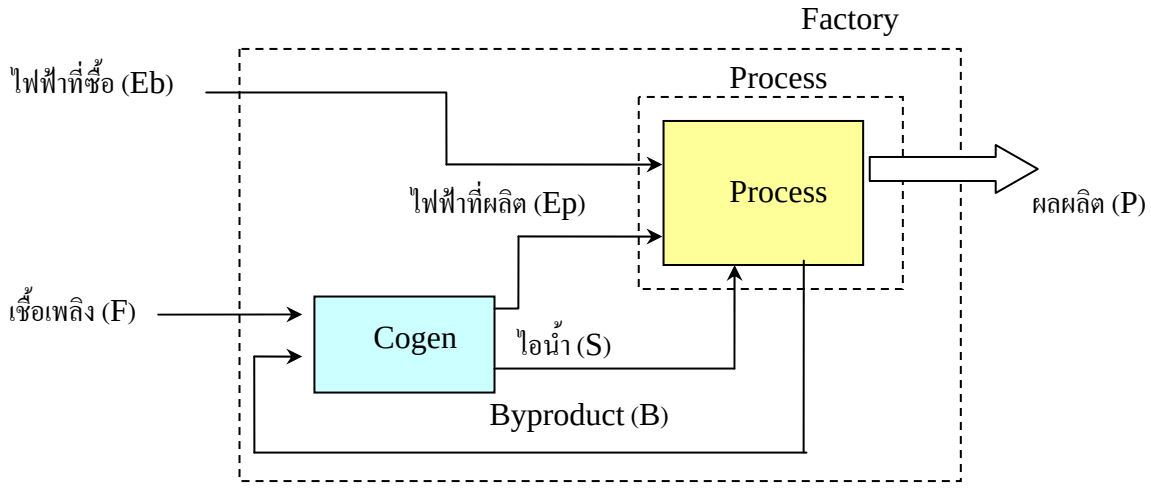
เกณฑ์การใช้พลังงานสามารถเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษได้ ในการหาเกณฑ์การใช้พลังงานนั้นจำเป็นต้องมีการวัดการใช้พลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน รวมถึงเชื้อเพลิงอื่นๆที่อาจมีการใช้ในโรงงาน



รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานของโรงงาน

เนื่องจากโรงงานในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ จะประกอบด้วยโรงงานอยู่ 2 กลุ่ม คือ โรงงานที่มีการผลิตไฟฟ้าใช้เอง และโรงงานที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นในการพิจารณาเกณฑ์การใช้พลังงาน จึงได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

1. โรงงานที่ผลิตไฟฟ้าเอง



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานของโรงงานที่ผลิตไฟฟ้าเอง

<u>ประเภทโรงงาน</u>

โรงงานประเภทนี้ได้แก่ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษทุกโรง และโรงงานผลิตกระดาษขนาดใหญ่บางแห่ง

เกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม

ระดับโรงงาน

SEC_{EF} = พลังงานไฟฟ้าที่โรงงานซื้อต่อเดือน (Eb) / ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P) kWh / ton

SEC_{FF} = พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ไม่รวม Byproduct (F) / ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P) MJ / ton

การใช้พลังงานรวม (SEC_F) = $SEC_{EF} \times 3.6 + SEC_{FF}$ MJ / ton

SEC_W = ปริมาณน้ำดิบที่ใช้ต่อเดือน / ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P) m^3 / ตัน

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และพลังงานไอน้ำที่ใช้ในหน่วย MJ(Ep+S) / พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ (F)

ระดับกระบวนการผลิต

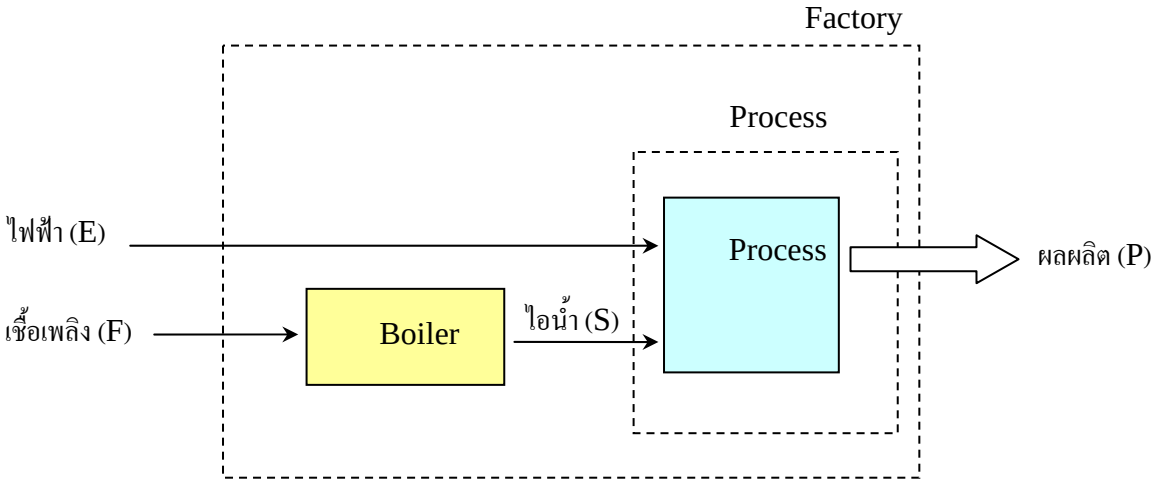
SEC_{EP} = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงงาน (EP +EB) / ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P)

SEC_{HP} = พลังงานความร้อนของไอน้ำที่ใช้ (S) / ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P)

การใช้พลังงานรวม (SEC_P) = $SEC_{EP} \times 3.6 + SEC_{HP}$ MJ / ton

อัตราส่วนการใช้ไอน้ำต่อเยื่อ = ตันไอน้ำที่ใช้ (S) / ตันผลผลิต (P)

2. โรงงานที่ไม่ผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 1.3 การใช้พลังงานของโรงงานที่ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า

ประเภทโรงงาน

โรงงานกลุ่มนี้ได้แก่โรงงานผลิตกระดาษส่วนใหญ่ และโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก

เกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม

$$SEC_E = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน (E)}}{\text{ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P)}} \quad \text{kWh / ton}$$

$$SEC_F = \frac{\text{พลังงานความร้อนเชื้อเพลิงที่ใช้ (F)}}{\text{ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P)}}$$

$$SEC_H = \frac{\text{พลังงานความร้อนของไอน้ำที่ใช้ (S)}}{\text{ปริมาณผลผลิตต่อเดือน (P)}}$$

ระดับโรงงาน $SEC_{Fa} = SEC_E \times 3.6 + SEC_F$

ระดับกระบวนการผลิต $SEC_P = SEC_E \times 3.6 + SEC_H$

$$\text{อัตราส่วนการใช้ไอน้ำต่อตันกระดาษ} = \frac{\text{ตันไอน้ำที่ใช้ (S)}}{\text{ตันผลผลิต (P)}}$$

$$SEC_W = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อเดือน}}{\text{ปริมาณผลผลิต}} \quad m^3 \text{ / ตัน}$$

โดยที่ พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง $= \sum$ ปริมาณเชื้อเพลิง x ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และ พลังงานความร้อนของไอน้ำ = ปริมาณตันไอน้ำ x เอธาลปีของไอน้ำ (h_{fg})

โดยสรุปเกณฑ์ที่ควรพิจารณาของโรงงานในอุตสาหกรรมกระดาษแต่ละประเภท มีดังนี้

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การใช้พลังงานที่ควรพิจารณา

โรงงานผลิตเยื่อ	โรงงานผลิตกระดาษ	โรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก
1 SEC_{EF}	1 SEC_{EF} (ถ้าผลิตไฟฟ้า)	1 SEC_E
2 SEC_{FF}	2 SEC_{FF} (ถ้าผลิตไฟฟ้า)	2 SEC_H
3 SEC_{FAC}	3 SEC_{FAC} (ถ้าผลิตไฟฟ้า)	3 SEC $_{FAC}$
4 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า	4 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า	4 SEC_P
5 SEC_{EP}	(ถ้าผลิตไฟฟ้า)	5 อัตราส่วนการใช้ไอน้ำต่อตัน
6 SEC_{HP}	5 SEC_{EP}	กระดาษ
7 SEC_P	6 SEC_{HP}	
8 อัตราส่วนการใช้ไอน้ำต่อ	7 SEC_P	
ผลผลิต	8 อัตราส่วนการใช้ไอน้ำต่อ	
9 SEC_W	ตันกระดาษ	
	9 SEC_W	

1.4.3 ค่าดัชนีการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ในการศึกษาโครงการเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการหาเกณฑ์การใช้พลังงานมาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทยนั้น ทางผู้ทำการศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน และข้อมูลผลผลิตจากโรงงานตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 33 แห่ง ซึ่งครอบคลุมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษทั้งหมด 7 ประเภท ได้แก่ การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตกระดาษคราฟท์ การผลิตกระดาษพิมพ์เขียน การผลิตกระดาษ Duplex การผลิตกระดาษอนามัย การผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ และการผลิต Sheet board เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ได้จากการศึกษาในอุตสาหกรรมกระดาษแต่ละประเภทแสดงได้ดังในตาราง ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษานั้นจะมีการนำไปเปรียบเทียบกับค่าดัชนีการใช้พลังงานของต่างประเทศด้วย เพื่อให้เห็นถึงศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานค่า SEC ได้แสดงในตารางดังนี้

ตารางที่ 1.2 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตเยื่อกระดาษ (Pulp)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)
Wood Preparation	-	-	25.43	-	23.4 - 28.9	-
Pulping	147	2,216*	142.8	2,750	128.3 - 215.1	2,472 - 4,645
Bleaching and Wash	62-170*	422-3,166*	135.3	1,287	127.2 - 143.4	1,028 - 1,546
Recovery Plant	91*	4,495-13,284*	168.6	5,645	111.2 - 233.7	3,324 - 6,832
รวมดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต[4]	432 -540*	7,133-18,666*	451.1	9,885	350.2 - 547.1	7,970 - 10,888
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	523.7	13,525	445.2 - 547	10,436 - 13,982

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

* U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.3 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษคราฟท์ (Kraft Paper)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)
Waste Plant	147*	-	181.7	377	153.8 - 222.8	297 - 518.7
Stock Preparation	246*	-	170.1	-	136.2 -193.7	-
Paper Machine	284*	4,220*	255.4	4,253	204.3 - 290.8	3,313 - 5,045
Cutting	-	-	40.2	-	20 - 52.2	-
ดัชนีการใช้พลังงานรวมในกระบวนผลิต[4]	530*	4,220*	604.1	4,631	563.4 – 707.3	3,663 – 5,564
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	640.2	5,757	496.9 - 777.6	4,693 - 6,825

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

* U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.4 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน (Printing & Writing Paper)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)
Waste Plant & Stock Preparation	246*	-	205.8	-	162.5 – 280.9	-
Paper Machine	577*	5,275*	339.7	4,950	272.6 – 448.3	3,412 – 5,892
รวมดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต[4]	803*	5,275*	568.4	4,950	471.4 – 729.2	3,412 – 5,892
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	625.2	6,688	471.4 – 821.1	4,416 – 8,887

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

* U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.5 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษ Duplex Board

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)
Stock Preparation	-	-	402.9	-	519.7 - 608.4	3,610 - 5,234
Paper Machine	-	-	356.1	5,509	223.3 - 465.3	3,963 - 6,839
รวมดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต[4]	-	-	758.9	5,509	669.8 – 894.8	3,963 – 6,839
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	780.3	6,992	520 - 633.8	4,693 - 5,186

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5] คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

[*] U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.6 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษอนามัย (Tissue Paper)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)
De-inking Plant	-	-	468.2	1,995	356.6 – 529.2	1,650 – 2,294
Stock Preparation	246*	-	420.4	-	356.6 – 502.3	-
Paper Machine	665*	7,913*	491.9	6,654	435.4 – 505.6	5,420 – 8,754
รวมดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต[4]	911*	7,913*	1,447	7,450	1,427 – 1,466	7,070 – 7,829
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	1,823	9,227	1,730 – 1,916	8,253 – 10,202

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

* U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.7 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ (Newsprint Paper)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)
Stock Preparation	246*	-	375	-
Paper Machine	451*	4,294*	442	3,972
รวมดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต[4]	697*	4,294*	817	3,972
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน[5]	-	-	844.8	4,593

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

* U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005”

ตารางที่ 1.8 ดัชนีการใช้พลังงานของการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (Sheet board)

กระบวนการผลิต	ดัชนีการใช้พลังงาน[1]		ดัชนีการใช้พลังงาน[2]		ดัชนีการใช้พลังงาน[3]	
	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton)	ความร้อน (MJ/Ton)	ไฟฟ้า (kWh/Ton	ความร้อน (MJ/Ton)
Corugater	-	-	42.2	1,053	26.5 – 49.7	647.2 – 1,172
ดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงาน	-	-	131.1	1,291	66.7 -114	809.1 - 1,435

หมายเหตุ

[1] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานโดยอ้างอิงจากต่างประเทศ

[2] คือดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานที่ทำการศึกษาในประเทศไทย

[3] คือช่วงของค่าดัชนีการใช้พลังงานจากการศึกษา

[4] คือดัชนีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานรวมของกระบวนการผลิตหลักของโรงงาน

[5]คือดัชนีการใช้พลังงานทั้งโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของทั้งโรงงานของโรงงานแต่ละแห่งที่สำรวจ

ข้อมูลต่างประเทศที่ใช้เปรียบเทียบ

[*] U.S Department of energy office of energy efficiency and renewable energy Industry technology program “Energy and environment profile of the U.S. Pulp and paper Industry December 2005” 2000”

บทที่ 2
การอนุรักษ์พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ

2.1 บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะเป็น

โดยในปัจจุบันมีโรงงานผลิตเยื่อกระดาษรวมทั้งสิ้น 7 โรงงาน เป็นโรงงานที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ 6 โรงงาน และใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อเพียง 1 โรงงาน

ลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศของไทย ทำให้ไม่สามารถปลูกไม้ที่ให้เส้นใยยาวเหมือน

โครงสร้างต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นต้นทุนวัตถุดิบ

2.2 ขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษ

การผลิตเยื่อกระดาษจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

1. ขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)
2. ขั้นตอนการผลิตเยื่อ (Pulping)

2.2.1 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

การจัดเตรียมวัตถุดิบมีจุดประสงค์เพื่อเตรียมวัตถุดิบให้เหมาะสมสำหรับที่จะใช้ในการดำเนินการเพื่อผลิตเยื่อในขั้นตอนต่อไป โดยในขั้นตอนนี้จะทำการแปรรูปไม้ ให้อยู่ในรูสภาพที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตเป็นเยื่อ ซึ่งมีขั้นตอนย่อยดังนี้

- การปอกเปลือก (Debarking)

การปอกเปลือกเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะเปลือกไม้เป็นส่วนที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่มากและมีปริมาณเส้นใยน้อย ถ้าหากปอกออกไม่หมดและเหลือเข้าไปในขบวนการจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น ใช้สารเคมีมากขึ้นและยังได้เยื่อกระดาษที่มีคุณภาพต่ำอีกด้วย

- การสับชิ้นไม้ (Chipping)

หลังจากการปอกเปลือกแล้ว ไม้ท่อนจะถูกสับให้มีขนาดที่เล็กลงเพื่อความเหมาะสมในการต้มเยื่อ ไม้ท่อนเมื่อผ่านเครื่องสับไม้แล้ว จะได้เป็นชิ้นไม้สับ (Chip) ซึ่งขนาดของชิ้นไม้ที่สับนี้จะขึ้นกับประเภทของไม้ ว่าเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน และกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเยื่อ โดยชิ้นไม้เนื้ออ่อนที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อโดยกระบวนการเคมี โดยทั่วไปควรมีความยาว 25 มม. (+/- 3 มม.) และมีความหนา 6-8 มม. ในขณะที่ ชิ้นไม้เนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง ที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีทางกล ควรมีขนาดยาว 20 มม. (+/- 2 มม.) และมีความหนา 6-8 มม.

- การคัดขนาด (Screening)

ชิ้นไม้สับทั้งหมดจะถูกคัดขนาดโดยเครื่องคัดขนาดจะแยกชิ้นไม้ที่มีขนาดใหญ่เกินไปกลับไปสับให้เล็กลงช่วยเสี้ยนไม้ และฝุ่นขนาดเล็กๆจะถูกคัดแยกออกเพื่อส่งไปรวมกับเปลือกไม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำต่อไป

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตเยื่อ (Pulping)

หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุแล้ว ชิ้นไม้สับแยกเส้นใยออกมานี้จะถูกนำมาย่อย เพื่อแยกเส้นใยภายในเนื้อไม้ออกมา ซึ่งกระบวนการในการผลิตเยื่อโดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 แบบ คือ Mechanical Pulping Process, Semichemical Pulping Process และ Chemical Pulping Process

2.2.2.1 Mechanical pulping process

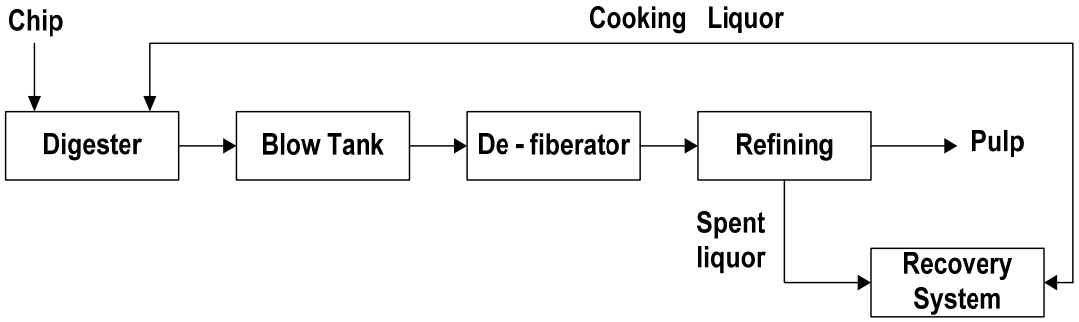
การผลิตเยื่อวิธีนี้จะใช้พลังงานกลในการบด(Grinding) ชิ้นไม้ทำให้เส้นใยออกมา โดยอาจมีการใช้ความดัน พลังงานความร้อน และสารเคมีร่วมด้วย ชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดจนชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ ซึ่งจะทำให้เส้นใยเกิดการกระจายออกจากกัน เยื่อที่ได้เรียกว่าเยื่อเชิงกลหรือเยื่อไม้บด คุณสมบัติด้านความเหนียวของเยื่อที่ผลิตได้จะไม่ดีนัก เพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ แต่ยังมีสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ลิกนิน เกลือแร่ ยางไม้ ปะปนอยู่ มีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ มีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ มีลิกนินตกค้างอยู่มาก ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ การกลับสีเร็ว เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงดึงสูงหรือเก็บไว้นานๆ แต่เหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูก เช่น ทำกระดาษหนังสือพิมพ์ และผสมทำกระดาษพิมพ์เขียน (มีความทึบแสงสูง) หรือใช้เป็นเยื่อชั้นในกระดาษแข็งเป็นต้น

2.2.2.2 Semichemical pulping process

การผลิตเยื่อโดยวิธีนี้จะใช้กระบวนการเคมีและทางกลรวมกัน ทำให้เยื่อที่ได้มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างเยื่อไม้บดและเยื่อเคมี วิธีการนี้จะนำชิ้นไม้สับมาต้มกับน้ำยาต้มเยื่อในหม้อต้มเยื่อตามเวลา อุณหภูมิ และปริมาณน้ำยาเคมีต่อไม้ที่กำหนดไว้ แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการทางกลเพื่อแยกเส้นใยออกมา เรียกเยื่อที่ได้ว่าเยื่อกึ่งเคมี สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนั้นจะทำให้เกิดการดึงลิกนินออกไปบางส่วน ทำให้เยื่อที่ได้มีความคงรูปของกระดาษ (Stiffness) มาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นของกระดาษทำลูกฟูก (Corrugating Medium) ดังนั้นจึงนิยมเยื่อกระดาษกึ่งเคมีในการทำกระดาษลูกฟูก กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมีจะมีขั้นตอนหลักๆดังแสดงในรูปที่ 2.1

1. การแช่น้ำยา (Impregnation) เป็นการนำชิ้นไม้ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมาแช่ให้ชุ่มด้วยโซดาไฟ (NaOH) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ซึ่งใช้ในการต้มเยื่อ ก่อนแช่จะมีการอบด้วยไอน้ำเพื่อไล่อากาศที่แทรกอยู่ในเนื้อไม้ออกก่อน ซึ่งจะทำให้วัตถุดิบอมน้ำยาได้ดีขึ้น
2. การต้มเยื่อ (Cooking) จะทำการต้มในหม้อต้มเยื่อ (Digester) ซึ่งใช้ไอน้ำความดัน 10 Barg และมีการควบคุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 180 °C เป็นเวลา 20 นาที หลังจากการต้มจะมีเยื่อเหลืออยู่อยู่ประมาณ 75 % ของวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปส่วนอื่น 25% จะละลายออกมากับสารเคมีที่ใช้ต้ม ในการต้มเยื่อนี้ถ้าใช้เวลามากขึ้น หรือใช้น้ำยาเคมีมากขึ้นจะทำให้มีเยื่อเหลืออยู่น้อยลงแต่เนชยื่อที่ได้จะมีความแข็งแรงมากขึ้น
3. การบดเยื่อ เป็นกระบวนการแยกเส้นใยต่อจากกระบวนการทางเคมีเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อที่ได้ โดยเยื่อจะถูกบดในช่องแคบๆ ระหว่างจานหมุน 2 จานของเครื่องบด การบดจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การบดแยกเส้นใย (Defibration), การบดเยื่อความเข้มข้นสูง (High Consistency Refining) และการบดเยื่อที่ความเข้มข้นต่ำ (Low Consistency Refining)

   การบดมากหรือน้อยสามารถดูได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อตันของเยื่อ



รูปที่ 2.1 Semichemical Pulping Process

2.2.2.3 Chemical pulping process

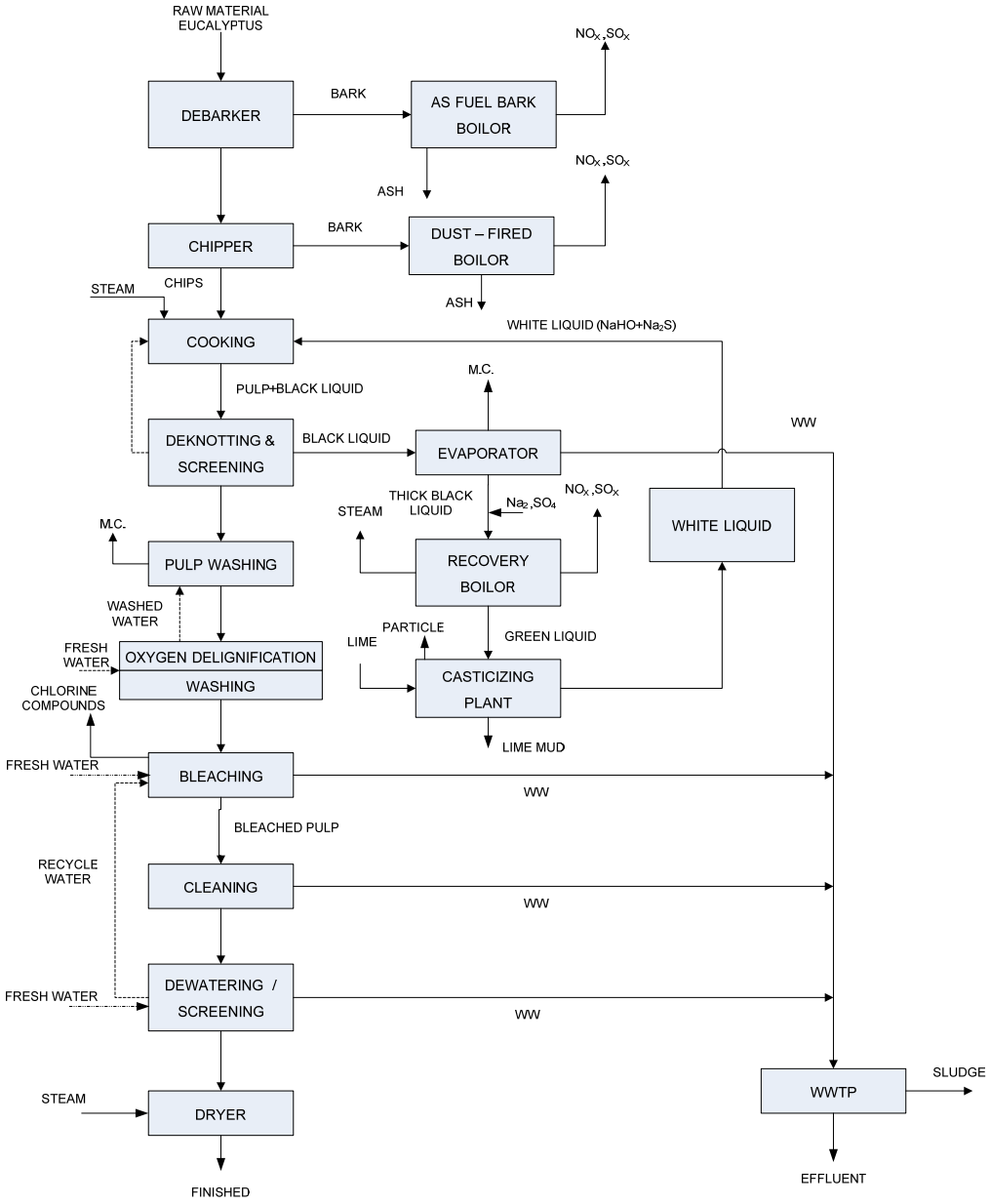
การผลิตเยื่อโดยกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน วิธีการนี้จะนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) สารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลายคือ เยื่อ ซึ่งเยื่อจากกระบวนการนี้จะมีปริมาณของเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่นๆปนอยู่น้อยมาก มีความเหนียวสูง กระบวนการผลิตเยื่อโดยวิธีเคมีนี้โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 กระบวนการคือ กระบวนการคราฟท์หรือซัลเฟต (Kraft or Sulphate Process) และกระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite Process)

1. กระบวนการคราฟท์ หรือ ซัลเฟต (Kraft or Sulphate Process)

การผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการนี้ ชิ้นไม้จะถูกต้มในหม้อต้มเยื่อกับสารเคมีซึ่งเรียกว่า “White liquor” ซึ่งประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaoH) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) และ ของเหลวดำเจือจาง (Weak Black Liquor) เป็น Make up Chemical ระยะเวลาและอุณหภูมิของการต้มจะขึ้นกับชนิดของไม้ และ Degree of Delignification ที่ต้องการ หม้อต้มเยื่อจะมีทั้งแบบชนิดที่เป็นกะ (Batch) และชนิดที่เป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) หม้อต้มแบบกะจะมีการลงทุนที่ต่ำกว่า โดยการผลิตแบบกะนั้นชิ้นไม้, White liquor, และของเหลวดำเจือจางจะถูกใส่เข้าไปในหม้อต้ม และต้มให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิระหว่าง 55 – 175 °C เป็นเวลา 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ส่วนหม้อต้มแบบต่อเนื่องนั้น ชิ้นไม้จะมีการเข้าและออกจากหม้อต้มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีข้อได้เปรียบกว่าการต้มแบบกะคือ ระบบต่อเนื่องจะทำการควบคุมได้ง่ายกว่า จึงทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าและใช้สารเคมีน้อยกว่า มีการใช้แรงงานน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่สูงกว่า ชิ้นไม้และของในหม้อต้มแบบต่อเนื่องนั้นในการต้มเยื่อจะถูก impregnated ที่ขั้นตอนต่างๆด้วย liquor และถูกทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อ ซึ่งบางครั้งได้รับความร้อนจากการใช้ไอน้ำฉีดพ่นโดยตรงหรืออาจใช้น้ำยาต้มเยื่อได้รับความร้อนผ่านทางเครื่อง

2. กระบวนการซัลไฟต์ (Sulfite Process)

การผลิตเยื่อโดยกระบวนการนี้จะใช้กรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid: H_2SO_3) และไบซัลไฟต์ไอออน (Bisulfite ion: HSO_3^-) ในการละลายลิกนินที่จับระหว่างเยื่อไม้ให้หลุดออกมา เยื่อที่ได้จากกระบวนการซัลไฟต์จะมีสีอ่อนกว่าเยื่อที่ได้จากกระบวนการซัลเฟต และสามารถฟอกสีได้ง่ายกว่า แต่มีข้อเสียคือเยื่อที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า หม้อต้มของการผลิตเยื่อโดยใช้กระบวนการซัลไฟต์นั้นส่วนใหญ่จะใช้การต้มแบบกะ โดยจะมีการให้ความร้อนอย่างช้าๆ จนมีอุณหภูมิ 140 °C แ ละทำการต้มต่อไปที่อุณหภูมินี้ อีกเป็นเวลา 6 – 8 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการผลิตเยื่อโดยกระบวนการซัลไฟต์ แสดงดังรูป 2.3

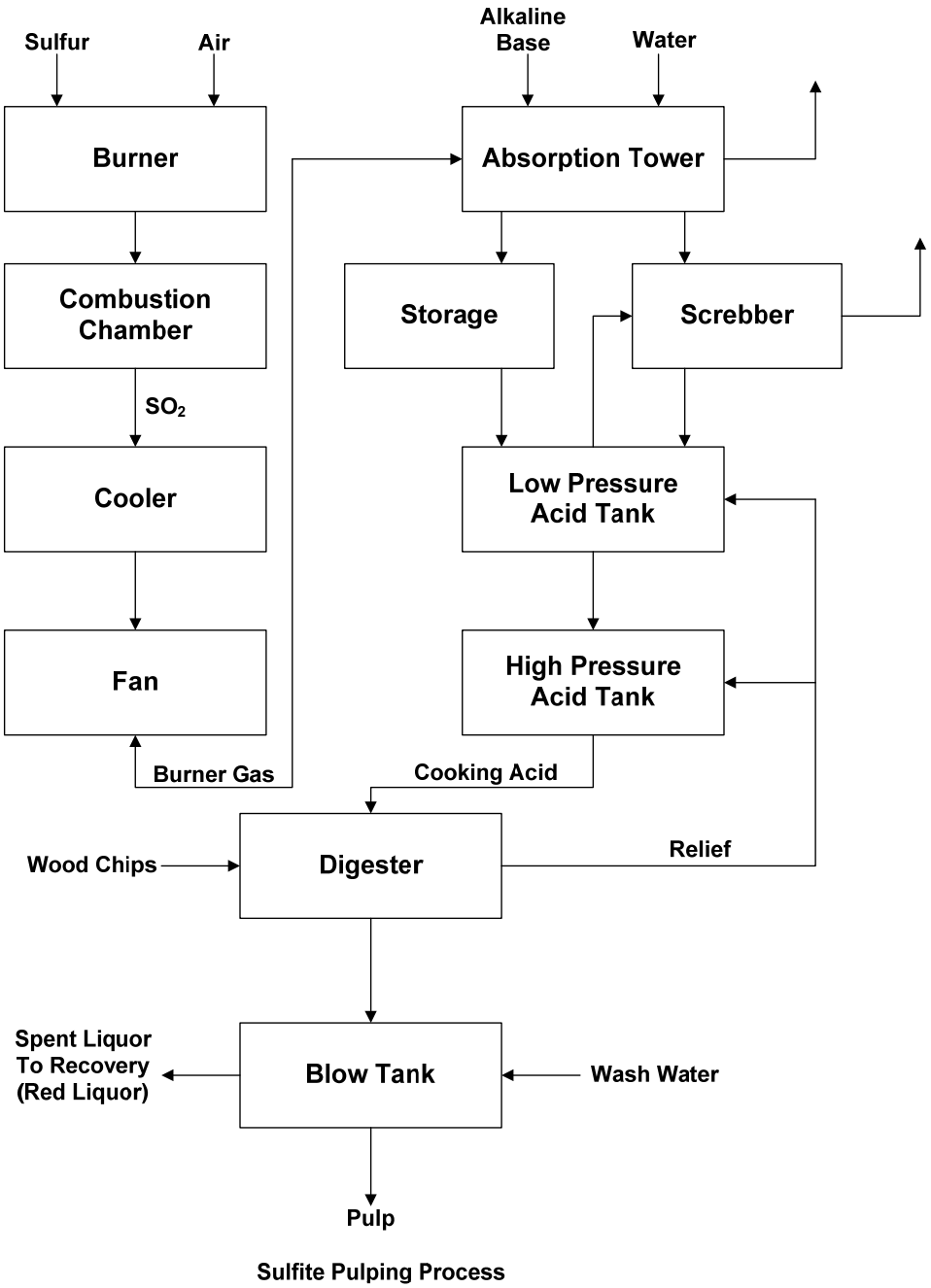


WW : waste water

WWTP : waste water treatment plant

M.C. : Malodorous compounds

รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการคราฟท์ (ซัลเฟต)



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการซัลไฟต์

2.2.3 การคัดขนาด (Screening)

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

2.2.4 การล้างเยื่อ (Washing)

เยื่อที่ได้จากกระบวนการทั้งแบบเคมีและกึ่งเคมี เมื่อผ่านการคัดขนาดแล้วจะต้องนำไปผ่านขั้นตอนการล้างซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย สำหรับเยื่อกึ่งเคมีในนั้นขั้นตอนนี้ของเหลวจากการต้มเยื่อจะถูกล้างแยกออกจากเยื่อ ของเหลวนี้เรียกว่า Black Liquor จะถูกปรับสภาพเพื่อนำกลับไปใช้ในขบวนการได้อีก

2.2.5 การสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน (O_2 Delignification)

ในการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้ต้นยูคาลิปตัสนั้น เมื่อเยื่อผ่านขั้นตอนการล้างแล้วจะนำเข้าสู่ขั้นตอนของการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน ซึ่งจะเป็นการฟอกเยื่อขั้นตอนแรกโดยใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนินให้ลิกนินหลุดออกจากเยื่อมากขึ้น เป็นผลให้ค่า Kappa Number ลดลงจาก ประมาณ 25 - 28 เป็น 10 -12 ซึ่งหมายถึง ปริมาณลิกนินจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณตั้งต้น เป็นผลทำให้การใช้สารเคมีในขั้นตอนการฟอกลดน้อยลง รวมทั้งลดปริมาณน้ำเสียจากการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีลงด้วยเช่นกัน

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

2.2.6 การฟอกเยื่อ (Bleaching)

การฟอกเยื่อเป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพเยื่อในด้านความขาว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นในการผลิตกระดาษบางชนิด เช่นกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษทิชชู กระดาษสา เป็นต้น กระบวนการฟอกเยื่อยังแบ่งเป็นแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน ทั้งนี้ขึ้นกับความขาวของเยื่อที่ต้องการ เช่น กระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษทิชชู ต้องการความขาวของเยื่อมากจะใช้วิธีการฟอกหลายขั้นตอน ส่วนกระดาษสาความขาวของเยื่อที่ต้องการเพื่อให้ย้อมสีได้เท่านั้น จึงใช้การฟอกแบบขั้นตอนเดียว สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อมีหลายชนิด ได้แก่ ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน-โซเดียมไฮดรอกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

เยื่อที่ได้จากกระบวนการเคมีจะมีปริมาณของลิกนินอยู่น้อย เพราะลิกนินส่วนหนึ่งนั้นได้ถูกกำจัดออกไปในระหว่างกระบวนการแล้วเมื่อนำมาฟอกอีกครั้งหนึ่งจะได้ เยื่อที่มีความขาว เหมาะสำหรับการผลิตเป็นกระดาษที่มีคุณภาพสูง

จำนวนขั้นตอนการฟอกเยื่อเคมีนั้นจะอยู่ในช่วง 3 - 6 ขั้นตอน ขึ้นกับคุณภาพและความขาวของเยื่อที่ต้องการ โรงงานแต่ละแห่งอาจมีขั้นตอนการฟอกเยื่อที่เหมือนหรือต่างกันก็ได้ ขึ้นกับข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ชนิดของเยื่อ ความขาวที่ต้องการ และด้านปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ของโรงงาน ตารางที่ 2.1 แสดงสภาวะของการฟอกเยื่อในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 2.1 สภาวะของการฟอกเยื่อเคมีที่ขั้นตอนต่างๆ

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

2.2.7 หน่วยทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก (Bleached Stock Screening)

เยื่อที่ฟอกแล้วจะผ่านเข้าสู่หน่วยร่อนทำความสะอาดเยื่อขั้นสุดท้ายก่อนทำแผ่นเยื่อ เพื่อป้องกันไม่ให้มีสิ่งสกปรกปะปนไปกับผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้ได้แก่ เซนติคลีนเนอร์

2.2.8 ขั้นตอนการเดินแผ่น (Sheet Forming) และอบแห้ง (drying)

เยื่อจากหน่วยร่อนทำความสะอาดขั้นสุดท้ายจะเข้าสู่เครื่องเดินแผ่น โรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษส่วนใหญ่จะมีระบบนำน้ำกลับคืน ซึ่งจะนำน้ำใต้ลวดเดินแผ่นวนกลับเข้าไปผสมกับจากเยื่อที่ Head box และน้ำล้นส่วนที่เหลือจะนำกลับเข้าไปใช้ในขั้นตอนการล้างเยื่อ และเมื่อเยื่อผ่านกระบวนการเดินแผ่นแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการอบแห้ง เพื่อให้เหลือความชื้นประมาณ ร้อยละ 10 ก่อนส่งขายลูกค้า เวลาที่ใช้ในการผลิตเยื่อทั้งหมดจะใช้เวลาประมาณ 18 ชั่วโมง

2.2.9 ระบบการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery)

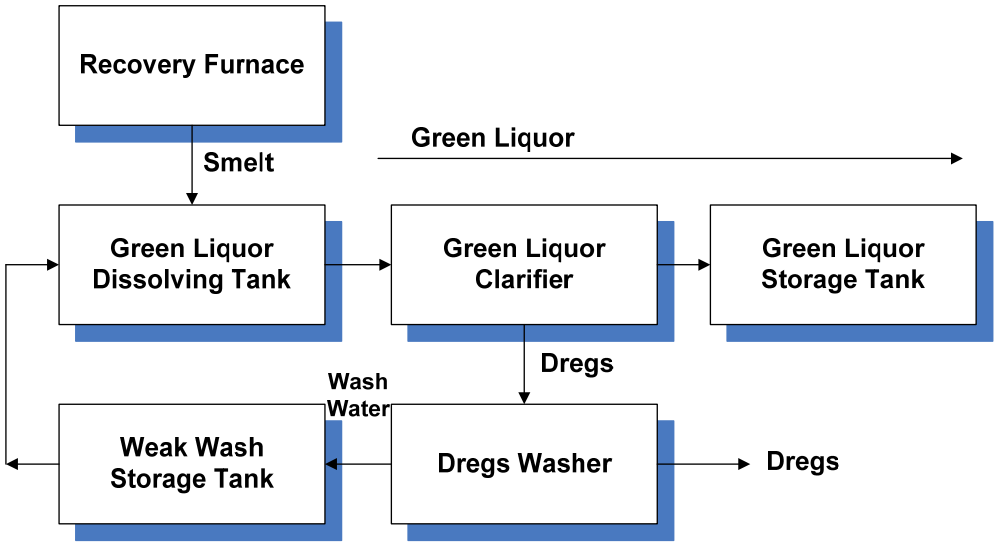
ระบบนี้จะมีเฉพาะการผลิตเยื่อเคมี เนื่องจากการผลิตเยื่อเคมีจะใช้สารเคมีในปริมาณมาก ถ้าหากไม่มีการนำสารเคมีกลับมาใช้อีกจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นมาก เนื่องจากสารเคมีที่ใช้มีราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับคืนมาจะประกอบด้วย

- *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” ออก แล้วนำไปผสมกับ แคลเซียมออกไซด์ หรือ Lime (CaO) ใน Slaker ซึ่งภายใน Slaker จะมีอุณหภูมิสูง และมีการกวนอย่างรวดเร็วทำให้ CaO เปลี่ยนไปเป็น Slaked Lime ($Ca(OH)_2$) ปฏิกิริยา Causticizing จะทำการเปลี่ยน Slaked Lime ไปเป็น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ แคลเซียมคาร์บอเนต (Lime mud: $CaCO_3$) ซึ่งจะถูกส่งเข้าไปยัง Clarifier เพื่อดึง Lime mud ($CaCO_3$) ออก ของเหลวที่เหลือซึ่งเรียกว่า “White Liquor” จะถูกนำกลับไปใช้สำหรับการต้มเยื่ออีกครั้ง ขั้นตอนการเกิด “Green Liquor” และ “White Liquor” แสดงดังรูป 2.4 และ 2.5

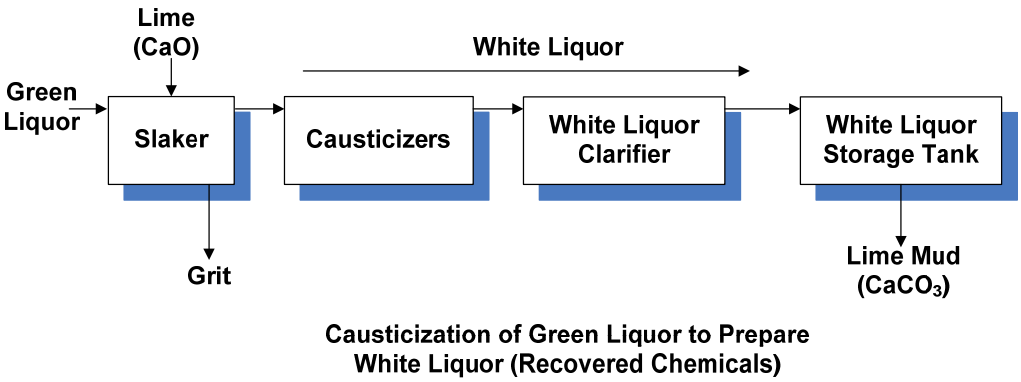
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการ Recausticizing มีดังนี้

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

Slaked Lime Reaction : Cao + H2O ---------> Ca(OH)2
Causticizing Reaction : $Ca(OH)_2 + Na_2CO_3$ <--------> $2NaOH + CaCO_{3(s)}$

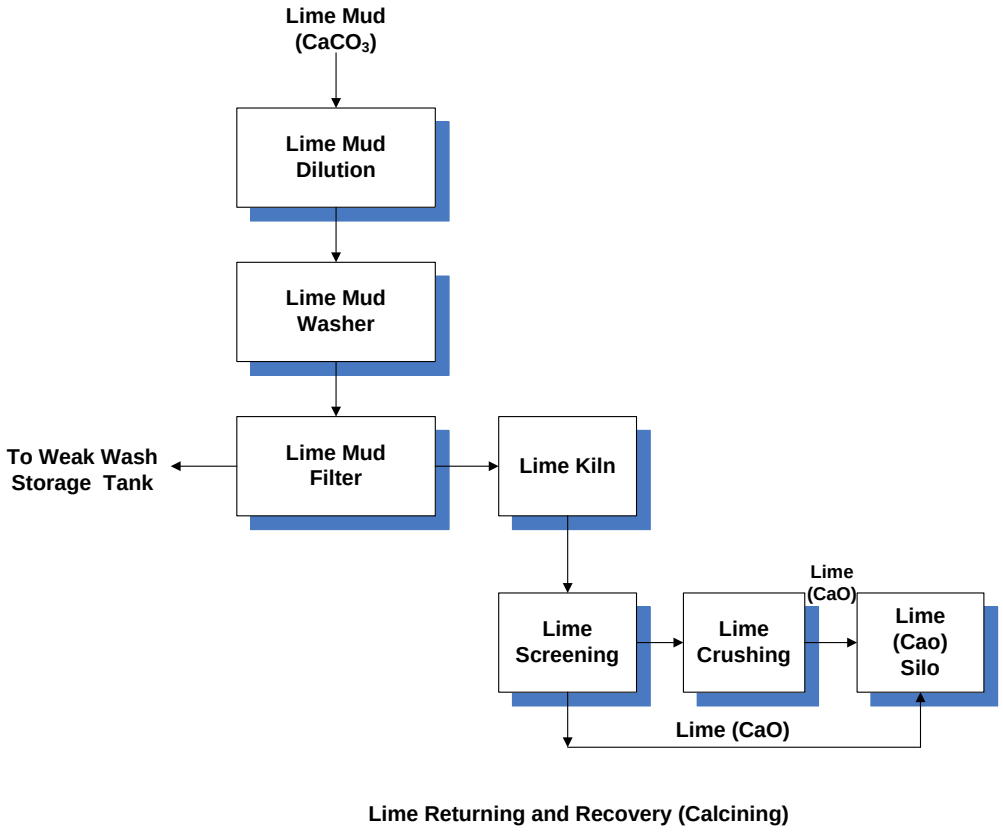


รูปที่ 2.4 การเตรียม Green Liquor



รูปที่ 2.5 กระบวนการ Causticization ของการเปลี่ยน Green Liquor ไปเป็น White Liquor

- *Calcining (Lime Reburning):* กระบวนการ Calcining เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนรูป Lime mud หรือ $CaCO_3$ (ที่ถูกดึงออกมาจาก White Liquor) โดยการเผา เพื่อให้ได้ Lime (CaO) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใน Slaker ได้อีกครั้ง กระบวนการ Calcining หรือ Lime Reburning แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการ Calcining หรือ Lime Reburning

2.3 การใช้พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ

การใช้พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษในขั้นตอนที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

การใช้พลังงานในขั้นตอนในขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบนั้น จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องปอกเปลือก (Debarker) เครื่องสับชิ้นไม้ (Chipper) ระบบสายพานลำเลียง (Conveyor) และในอุปกรณ์สำหรับคัดขนาดชิ้นไม้ ในขั้นตอนของการสับชิ้นไม้ และการลำเลียงจะมีการใช้พลังงานมากกว่าขั้นตอนการปอกเปลือกประมาณ 3 เท่า ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยของแต่ละขั้นตอนในส่วนของการเตรียมวัตถุดิบ โดยตัวแปร

ตารางที่ 2.2 ค่า Specific Energy Consumption (SEC) ของขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

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

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

2.3.2 ขั้นตอนการทำเยื่อ

พลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการผลิตเยื่อเคมีด้วยกระบวนการคราฟท์นั้น จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของหม้อต้ม, การควบคุมกระบวนการผลิต และระบบ Heat Recovery การใช้หม้อต้มแบบต่อเนื่องจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบบต้มทีละถัง แต่จะมีการใช้ไอน้ำในปริมาณที่น้อยกว่า จากการศึกษาพบว่า ในการผลิตเยื่อด้วยกระบวนการคราฟท์นั้นหม้อต้มแบบทีละถัง จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 0.71 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อ และใช้ไอน้ำประมาณ 4.49 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อ ในขณะที่เมื่อใช้หม้อต้มแบบต่อเนื่อง จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 0.95 ล้านบีทียู่ต่อตันเยื่อ และใช้ไอน้ำประมาณ 2.34 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อ ซึ่งสรุปได้ว่าการใช้หม้อต้มแบบต่อเนื่องจะมีการใช้ไอน้ำน้อยกว่าหม้อต้มแบบทีละถัง ประมาณ 40 %

สำหรับลักษณะของการใช้พลังงานในการผลิตเยื่อโดยกระบวนการซัลไฟต์ จะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างจากการผลิตเยื่อโดยใช้กระบวนการคราฟท์มากนัก

สำหรับการผลิตเยื่อโดยกระบวนการทางกลนั้น จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งความต้องการใช้ไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเยื่อที่ต้องการ เช่นการผลิตเยื่อแบบ Thermo mechanical (TMP) จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 6.32 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อ ในขณะที่มีการใช้ไอน้ำ 0.77 ล้านบีทียู่ต่อตันเยื่อ ซึ่งโรงงานผลิตเยื่อแบบ Thermo mechanical สมัยใหม่นั้นจะมีการปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนให้ดีขึ้น ด้วยการติดตั้งระบบ Heat Recovery เพื่อเป็นการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ในกระบวนการผลิตต่อไป

ตารางที่ 2.3 พลังงานเฉลี่ยของการผลิตเยื่อประเภทต่างๆ

Pulping Process	SEC (10^6 Btu/ton of pulp)	
	Electricity	Steam
Chemical	0.50	2.10
Semichemical	1.56	2.30
Mechanical	6.08	1.60

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

2.3.3 ขั้นตอนการฟอกเยื่อ (Bleaching)

การใช้พลังงานในส่วนของการฟอกขาวนั้น ขึ้นกับชนิดหรือประเภทของอุปกรณ์และระบบที่ใช้สำหรับควบคุมการฟอกเยื่อ รวมถึงจำนวนครั้งและชนิดของการฟอกเยื่อ พลังงานที่ใช้ในการการฟอกเยื่อโดยส่วนใหญ่ จะใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำเพื่อทำให้เยื่อเกิดความขาว และช่วยการขจัดลิกนินให้ออกจากเส้นใย สำหรับพลังงานไฟฟ้านั้นจะถูกใช้ในอุปกรณ์ประเภทระบบปั๊ม ระบบการผสม และใช้ในอุปกรณ์ทางกลอื่นๆ

ไอน้ำที่ต้องใช้สำหรับการฟอกเยื่อนั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.4 – 0.3 ล้านบีทียูต่อตันกระดาษ และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้นั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.21 – 0.58 ล้านบีทียูต่อตันกระดาษ ซึ่งค่าพลังงานเฉลี่ยสำหรับการฟอกเยื่อแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พลังงานเฉลี่ยสำหรับกระบวนการฟอกเยื่อ

ชนิดของพลังงาน	SEC (10^6 Btu/ton of pulp)
พลังงานไฟฟ้า	0.3
พลังงานความร้อน	2.0
รวม	2.3

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

2.3.4 ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery)

ลักษณะของการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของการนำสารเคมีกลับคืนมีดังนี้

- Evaporation: การระเหย Black Liquor จะเป็นส่วนที่มีการใช้ไอน้ำมากที่สุดในโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์ ซึ่งมีการใช้ไอน้ำเฉลี่ยประมาณ 3.78 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อ การใช้ไอน้ำของเครื่องระเหยแบบหลายขั้นตอน (Multiple-effect Evaporator) สามารถลดลงได้โดยการเพิ่มเครื่องระเหยเข้าไปในระบบให้มากขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนมาใช้เครื่องระเหยแบบ Falling Film แทนแบบRising Film ซึ่งสามารถลดการเกิด Fouling ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากอัตราการไหลของ Liquor ที่สูง และการที่ Liquor มีการไหลสวนทางกับไอที่เกิดขึ้น การใช้เครื่องระเหยแบบ Falling Film จะทำให้ได้ Black Liquor ที่มีปริมาณของแข็งที่สูง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ Black Liquor ใน Recovery Boiler มีค่ามากขึ้น
- Recovery Boiler: ในส่วนนี้จะมีการใช้พลังงานประมาณ 1.13 ล้านบีทียูต่อตันเยื่อในรูปแบบของเชื้อเพลิงเสริมต่างๆรวมถึงพลังงานไฟฟ้าสำหรับเตาเผาที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยเสริมสำหรับการเผาไหม้

- Recausticizing: จะเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นที่จะทำให้ ในขั้นตอนนี้จะใช้ไอน้ำสำหรับการให้ความร้อนกับ Make-up water สำหรับทำให้ Green Liquor เจือจาง นอกจากนี้ยังใช้สำหรับให้ความร้อน Green Liquor ที่อยู่ใน Slaker อีกด้วย
- Calcining: ในขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการดูดความร้อน (Endothermic Process) ซึ่งต้องการพลังงานประมาณ 2.2 ล้านบีทียูของเชื้อเพลิง (ซึ่งปกติจะใช้น้ำมันเตาหรือก๊าซธรรมชาติ) ต่อตันกระดาษ ในเตาเผาปูน (Lime Kiln) เพื่อให้กากปูนขาว (Lime Mud) แห้ง ซึ่งการประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาปูนนี้ สามารถทำได้โดยการลดปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในกากปูนขาวให้น้อยลงก่อนที่จะเข้าไปยังเตาเผา การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเตาเผาให้สูงขึ้น และการนำความร้อนของ Flue Gas มาใช้อุ่นกากปูนขาวก่อนที่เข้าไปยังเตาเผา หรือนำมาใช้ในการอุ่นอากาศ

ตารางที่ 2.5 พลังงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นตอนในกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน

(10^6 Btu/ton of paper)

Energy Type	Evaporation	Recovery Boiler	Recausticizing	Calcining	Total
Fuel	-	0.95	-	1.98	2.93
Electricity	0.08	0.18	-	0.05	0.31
Steam	3.78	-	1.02	-	4.8
TOTAL	3.86	1.13	1.02	2.03	8.04

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

2.4 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในการผลิตเยื่อกระดาษ

2.4.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นไม้ (Wood Preparation)

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นนั้น ไม้ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบจะถูกนำมาลอกเปลือกและสับเป็นท่อน พลังที่ใช้จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ในเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องลอกเปลือกไม้ (Debarker) เครื่องตัดชิ้นไม้ (Chipper) ตลอดจนระบบสายพานลำเลียง รวมถึงชุดกำจัดฝุ่น

วิธีการอนุรักษ์พลังงานที่สำคัญในขั้นตอนนี้ได้แก่

- **การลดการเดินเครื่องจักรตัวเปล่า**

  ขณะรอผลิตหรือเครื่องจักรขัดข้อง การหยุดสายพานลำเลียงระบบกำจัดฝุ่น เครื่องสับ เครื่องลอก โดยการวางแผนการผลิตให้มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีการ

- **การลดขนาดมอเตอร์**
  ในกรณีที่มอเตอร์ขับเครื่องจักรมีขนาดใหญ่กว่าภาระเกินกว่าร้อยละ 40 จะทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงมาก ควรสำรวจภาระของมอเตอร์และสลับเปลี่ยนให้มีขนาดเหมาะสม

- **การเดินเต็มพิกัด**
  เครื่องสับ และเครื่องลอกเปลือกควรป้อนชิ้นงานให้เครื่องทำงานใกล้เคียงพิกัดอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ต้นทุนพลังงานต่อต้นผลผลิตต่ำที่สุด ในบางกรณีที่ขนาดพิกัดเครื่องจักรไม่สอดคล้อง ควรปรับ(Up grate) ให้มีพิกัดสอดคล้องกันเพื่อให้สามารถเดินเครื่องได้เต็มพิกัด
- **การเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง**
  มอเตอร์ที่ใช้งานมานานเกิน 10 ปี ประสิทธิภาพจะต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งมอเตอร์ที่ผ่านการพันขดลวดใหม่ จึงควรพิจารณาเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง การใช้ระบบสายพานลำเลียงแทนการใช้ระบบนิวเมติก การขนส่งด้วยระบบนิวเมติกจะใช้พลังงานมากกว่าการใช้สายพานลำเลียงถึง 6 เท่า โดยทั่ว ๆ ไปจะลดการใช้พลังงานถึง 5.8 kWh/ตัน ของวัตถุดิบที่ขนถ่าย

- **การปรับปรุงเครื่องแยกขนาด**
  จากการศึกษาพบว่าการป้อนชิ้นไม้ที่ขนาดใกล้เคียงกันจะลดการใช้ไอน้ำในขั้นตอนของการต้มและในอีแวปเปอเรเตอร์ จากการทดลองสามารถลดการใช้พลังงานความร้อนได้ถึง 0.35 GJ/ ตันเยื่อ

- **การติดตั้งเครื่องชิ้นไม้ (Chip conditioners)**
  เพื่อเตรียมชิ้นไม้โดยทำรอยแตกตามแนวลายไม้ ซึ่งจะต่างจากการใช้เลื่อย (Chip slices) ทำให้การแยกลิกนินมีประสิทธิภาพขึ้นและลดการสูญเสียลงได้ 1.2 %

- **การใช้เครื่องแยกขนาดแบบบาร์ (Bar type screens)**
  การเลือกใช้เครื่องแยกขนาดแบบบาร์ จะมีข้อดีกว่า ซึ่งจะทำให้ได้เยื่อเพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานยาวขึ้น

- **การนำผงฝุ่นและเปลือกไม้มาใช้เป็นเชื้อเพลิง จะสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลลงได้**

2.4.2 ขั้นตอนการต้มและฟอกเยื่อ (Digestion and Bleach)

ขั้นตอนต้มและฟอกเยื่อ เป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานความร้อนมากที่สุดในการผลิตเยื่อกระดาษ วิธีการอนุรักษ์พลังงานที่สำคัญในขั้นตอนนี้ได้แก่

- **การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch digester)**
ในโรงงานที่ใช้การต้มเยื่อแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถนำความร้อนที่อยู่ในน้ำดำ (Black liquor) กลับมาใช้โดยนำไปอุ่นชิ้นไม้ก่อนเข้าหม้อต้มซึ่งจะทำให้การใช้ไอน้ำลดลง และได้เยื่อที่คุณภาพดีขึ้น

- **การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มแบบต่อเนื่อง**
ในการต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง สามารถปรับปรุงได้โดยลดสารที่ต้องให้ความร้อนและเพิ่มการนำความร้อนกลับมาใช้ เช่น การลดอัตราส่วนของสารเคมี ในอีแวปเปอร์เรเตอร์แบบเพลต น้ำดำจะไหลลงมาผิวของเพลตในลักษณะของฟิลม์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นและความเข็มข้นที่ได้สูงขึ้น การใช้พลังงานลดลงการบำรุงรักษาน้อยลง

- **การใช้หม้อน้ำความร้อนทิ้งแบบอุณหภูมิสูง**
น้ำดำ (Black Liquor)ที่ได้จากการต้มเยื่อ หลังจากควบแน่นเพื่อเพิ่มความเข็มข้นจะถูกนำมาเผาในหม้อไอน้ำความร้อนทิ้งทั่วไป เมื่อน้ำดำสัมผัสกับก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำจะเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ของซัลเฟอร์ขึ้นและไอน้ำที่ผลิตได้ไม่สามารถได้อุณหภูมิไม่เกิน 420 °C ในหม้อไอน้ำความร้อนทิ้งแบบอุณหภูมิสูงจะมีการให้ความร้อนกับน้ำดำก่อน ด้วยไอน้ำแบบไม่สัมผัสโดยตรงแล้วจึงฉีดเข้าไปในหม้อเผาไหม้ ซึ่งทำให้ไม่เกิดกลิ่นและได้น้ำดำที่มีความเข็มข้นสูงขึ้น ทุก 2% ที่ความเข็มข้นของน้ำดำเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสูงขึ้น 0.6 % ในหม้อไอน้ำแบบนี้จะสามารถผลิตไอน้ำความดันสูงกว่า 100 บาร์ อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C ได้

2.4.3 ขั้นตอนการผลิตเยื่อแห้ง

ในโรงงานผลิตเยื่อที่ตั้งอยู่ห่างจากโรงงานกระดาษ จำเป็นต้องมีการอบแห้ง เยื่อเปียกให้เป็นแผ่นและขนส่งไปยังโรงงานกระดาษ ในการผลิตเยื่อแผ่นจะนำน้ำเยื่อฉีดขึ้นแผ่นและทำการอบแห้ง ซึ่งคล้ายกับการอบแห้งในโรงงานผลิตกระดาษ การใช้พลังงานที่

- **การควบคุมการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด**
  การอบแห้งเยื่อมีลักษณะเป็นตู้อบ มีการผลิตอากาศร้อนด้วยไอน้ำและมีพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในตู้มีการเติมและดึงอากาศออกจากตู้ จุดที่สำคัญได้แก่การควบคุมการระบายอากาศออกจากตู้อบ อากาศร้อนที่ดึงออกควรมีภาวะความชื้นเหมาะสมการดึงอากาศออกโดยเร็วเกินไป ก็จะทำให้ต้องใช้พลังงานในส่วนของพัดลม และไอน้ำในการผลิตอากาศร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในช่วงท้ายของการอบแห้งซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากการพาน้อยลงสามารถลดการหมุนเวียนอากาศลงได้

- **การนำความร้อนในอากาศที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้**
  โดยการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถจะนำความร้อนในอากาศร้อนที่ปล่อยทิ้งมาให้กับอากาศเข้าห้องอบได้ซึ่งจะประหยัดการใช้ไอน้ำลงได้

2.4.4 ขั้นตอนการนำสารเคมีกลับมาใช้

ขั้นตอนที่นำน้ำดำจากการต้มเยื่อกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและผลิตสารเคมีเพื่อใช้ในการต้มและฟอกอีกครั้ง เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีการใช้พลังงานและขณะเดียวกันผลิตพลังงานความร้อนขึ้นเพื่อใช้ในโรงงานเยื่อ วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้และผลิตพลังงานที่สำคัญในขั้นตอนนี้มีดังนี้

- **การใช้อีแวปเปอร์เรเตอร์แบบเพลต**
  น้ำดำที่นำเข้าเผาไหม้ในหม้อไอน้ำความร้อนทิ้งยิ่งมีความเข้มข้นสูงขึ้นเท่าใดประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก็จะดีขึ้นเท่านั้น ในอีแวปเปอร์เรเตอร์แบบหลายขั้นตอนที่ใช้ทั่วไปนั้น น้ำดำที่เข้มข้นจะมีความหนืดมากขึ้นและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนน้อยลงทำให้ในขั้นท้าย ๆ ต้องใช้พลังงานในการปั๊มหมุนเวียนมากขึ้น และมักเกิดสะเก็ดแข็งติดที่ผิวท่อซึ่งต้องมีการขจัดออกไป เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง

- **การตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพหอผึ่งน้ำ**
  ในการควบแน่นน้ำดำในอีแวปเปอร์เรเตอร์จะต้องมีการระบายความร้อนออกด้วยหอผึ้งน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปมักไม่ได้รับการดูแล ทำให้อุณหภูมิของน้ำลงได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ประสิทธิภาพการควบแน่นน้ำดำต่ำลง

- **การใช้หม้อต้มแบบต่อเนื่อง (Continuous Digestor)**

  ในการต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง มีข้อดีกว่าการต้มแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากความร้อนที่ให้ในขั้นตอนหนึ่ง จะถูกพาไปใช้ในขั้นตอนถัดไปด้วยโดยทั่วไป การต้มแบบต่อเนื่องจะใช้พลังงานความร้อนลดลง 6.3 GJ/ตันเยื่อ แม้ว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 75 kWh/ตัน โรงงานเก่าที่มีหม้อต้มแบบไม่ต่อเนื่องจึงมีศักยภาพที่จะปรับปรุงเป็นแบบต่อเนื่อง

- **การนำความร้อนทิ้งจากการระบายไอหลังต้มกลับมาใช้**

  ในหม้อต้มจะต้องจ่ายไอน้ำมีความดันและอุณหภูมิเข้าหม้อต้มซึ่งหลังจากผ่านการต้มจะต้องมีการลดความดันของเยื่อลงก่อนเข้าอ่างล้าง(Washer) โดยการระบายไอออกสู่บรรยากาศทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ จึงควรนำพลังงานในส่วนนี้มาใช้โดยการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้กับไอน้ำที่ใช้ในการต้มและฟอกลงได้

- **การใช้การล้างแบบใช้ความดันแบบสุญญากาศ**

  อ่างล้างแบบทั่วไปมักเป็นแบบเปิดมีอ่างหลายอ่างต่อเนื่องกัน แต่ละอ่างมีลูกกลิ้งหมุนพาเยื่อจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เยื่อติดอยู่กับผิวลูกกลิ้งด้วยแรงดูดสุญญากาศในการล้างแบบน้ำเยื่อต้องมีความเข้มข้นต่ำ ประมาณ 1 % เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำร้อนจำนวนมาก ในเครื่องล้างแบบใหม่ที่เป็นแบบปิดและใช้ความดัน จะสามารถล้างเยื่อได้ที่ความเข้มข้นถึง 10 % จึงลดการใช้น้ำลงอย่างมาก และสามารถใช้ประโยชน์จากความดันและอุณหภูมิของน้ำเยื่อที่ออกจากหม้อต้มเข้าสู่อ่างล้างได้เลย และยกเลิกถังระบาย (Blow Tank) และปั๊มน้ำเยื่อลงได้

- **การขจัดลิกนินด้วยออกซิเจน**

  ในการฟอกขจัดลิกนิน เดิมมักใช้คลอรีนเป็นสารฟอกขาว แต่ด้วยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีความพยายามเปลี่ยนสารฟอกขาวจากคลอรีนเป็นออกซิเจน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการฟอกขาวมากกว่า แต่ก็มีผลเสียต่อเยื่อมากกว่าคลอรีนจึงไม่ได้นิยมมากนัก ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการฟอกขาวโดยใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน (Two – stage oxygen delignification) ซึ่งสามารถลดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ได้อีก

บทที่ 3
การอนุรักษ์พลังงานในการผลิตกระดาษ

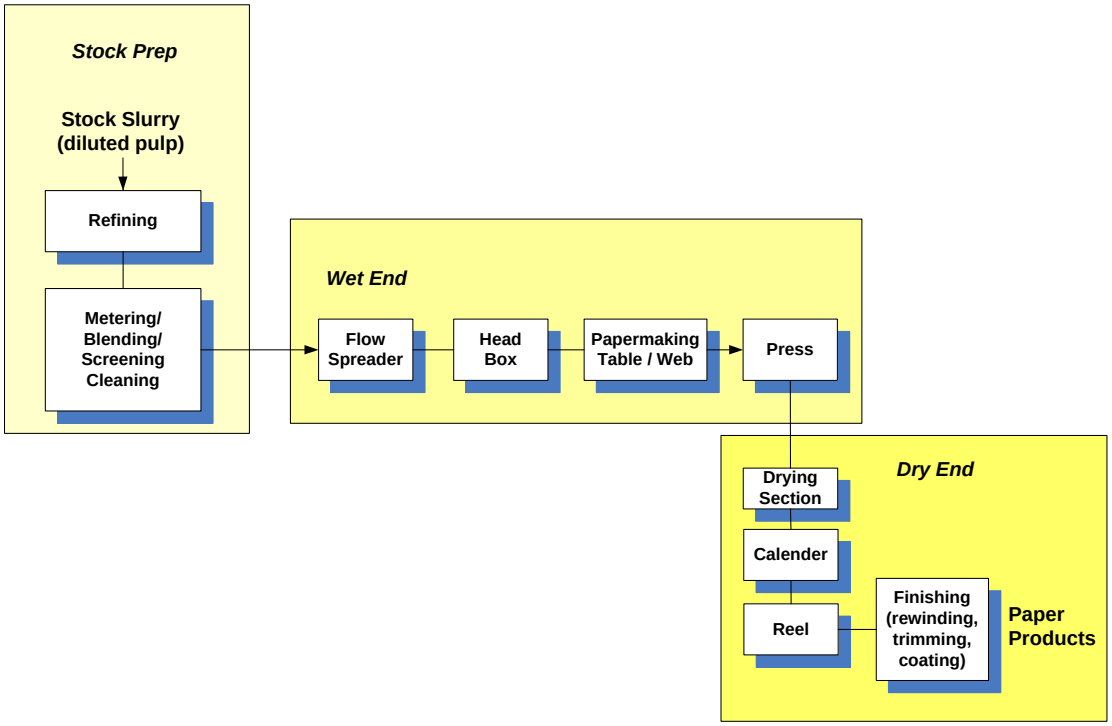
อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ เป็นอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ โดยอุตสาหกรรมนี้จะนำเยื่อกระดาษที่ผลิตได้มาใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษนี้จะประกอบด้วยการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ ได้แก่ การผลิตกระดาษคราฟท์, กระดาษพิมพ์เขียน, กระดาษอนามัย, กระดาษหนังสือพิมพ์, กระดาษ Duplex เป็นต้น

3.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

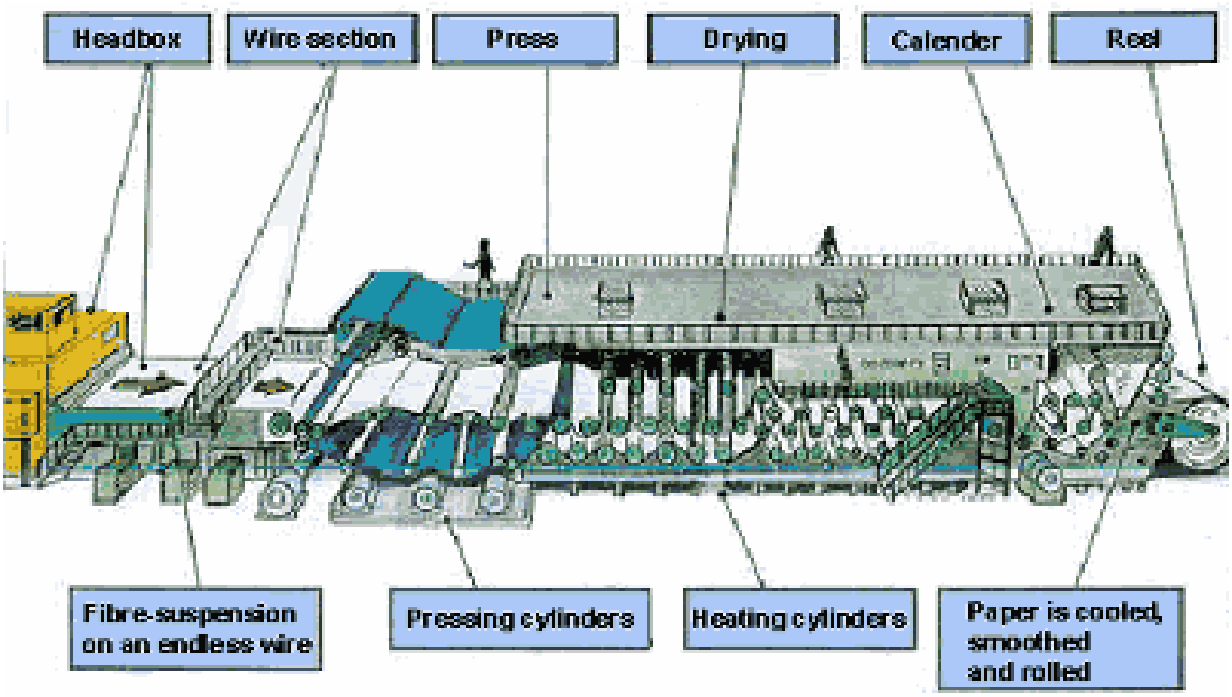
ขั้นตอนการผลิตกระดาษประเภทต่างๆในอุตสาหกรรมกระดาษขั้นกลางนั้น จะมีความคล้ายคลึงกัน โดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ 1. การเตรียมเยื่อ (Stock preparation) 2. การดึงน้ำออก (Dewatering) 3. การกดรีดน้ำ (Pressing) 4. การอบแห้ง (drying) 5. การตกแต่งผลผลิตและการแปรรูป (Finishing or Converting)

ในขั้นตอนแรก จะมีการเตรียมเยื่อโดยต้องให้น้ำเยื่อมีการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในขั้นตอนของการเตรียมเยื่อจะมีการเติมสารเคมี และสารเติมแต่งต่างๆ ลงไปเพื่อให้ได้ลักษณะของกระดาษตามที่ต้องการ จากนั้นน้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าไปยังเครื่องผลิตกระดาษ (Papermaking machine) ซึ่งจะมีการขึ้นรูปให้เป็นแผ่นกระดาษ และถูกส่งต่อไปยังส่วนกดรีดน้ำเพื่อนำน้ำออก หลังจากนั้นจะถูกนำไปยังส่วนอบแห้งเพื่อทำการอบแห้งไล่น้ำที่เหลืออยู่ต่อไป

ขั้นตอนในการผลิตกระดาษนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ “Wet End” และ “Dry End” ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งในส่วนของ “Wet End” จะครอบคลุมตั้งแต่ Machine chest ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการเก็บน้ำเยื่อ จนถึงส่วนที่ทำการกดรีดน้ำ ในขณะที่ส่วนของ “Dry End” จะเริ่มตั้งแต่การอบแห้งและส่วนแปรรูปตกแต่งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการผลิตกระดาษ



รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตกระดาษ

3.1.1 การเตรียมเยื่อ (Stock preparation)

ขั้นตอนของการเตรียมน้ำเยื่อจะมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ต้องการ ในส่วนของการเตรียมเยื่อนั้นจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ

- การ Refining: การ Refining เส้นใยของเยื่อจะถูกตีด้วยแรงทางกลจนได้เยื่อที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตกระดาษประเภทต่างๆ
- การเติมสารเคมี: สารเคมีที่เติมลงไปจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำเยื่อและยังช่วยทำให้กระบวนการผลิตกระดาษดีขึ้น ตัวอย่างของสารเคมีที่มีการเติม แสดงดังตารางที่ 3.1
- การคัดแยกและการทำความสะอาด (Screening and Cleaning): น้ำเยื่อจะถูกนำมาผ่าน Centrifugal cleaner เพื่อคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออก หลังจากนั้นน้ำเยื่อที่ผ่านการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปเก็บในถังเก็บน้ำเยื่อเพื่อเตรียมนำไปใช้สำหรับการผลิตกระดาษต่อไป

ตารางที่ 3.1 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

3.1.2 การผลิตกระดาษ (Papermaking)

น้ำเยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมเรียบร้อยแล้ว จะถูกส่งไปยังเครื่องผลิตกระดาษซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังกล่าวข้างต้น

- Wet End Operations: จะประกอบด้วย Flow Spreader, ถังจ่ายเยื่อ (Head Box), ตะแกรงลวดเดินแผ่น (Wire Section) และส่วนกดรีดน้ำ (Press Section) ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นคือ

1. การขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ (Sheet Formation) : เป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของกระดาษที่ผลิต การขึ้นรูปเป็น แผ่นกระดาษ จะเริ่มจากการฉีดน้ำเยื่อโดยผ่านถังจ่ายเยื่อ (Head Box) ลงไปบนแผ่นตะแกรง ลวดเดินแผ่นที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะมีน้ำบางส่วนในน้ำเยื่อถูกดึงออกไปโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งหลังจากผ่านส่วนนี้ไปจะเริ่มกลายเป็นแผ่นกระดาษ แต่ยังมีลักษณะที่เปียกอยู่ มีความชื้นสูงและมีค่า Strength ต่ำ
2. การกดรีดน้ำ (Pressing): กระดาษบนแผ่นตะแกรงลวดเดินแผ่นจะผ่านเข้าสู่ส่วนกดรีดน้ำ (Press Section) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่กดรีดน้ำออกจากแผ่นเปียกแล้ว การกดยังจะทำให้แผ่นเยื่อเกิดการประสานยึดติดแน่นรวมเข้าด้วยกัน ทำให้ผิวหน้ามีความเรียบ ลด bulk และ เพิ่มความแข็งแกร่งของกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 การกดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีดังนี้
   - Suction Press: 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, เวลาที่ใช้ในการสัมผัสรวมถึงความดันที่สัมผัสระหว่างลูกอบและแผ่นกระดาษ, คุณสมบัติของผ้าสักหลาด และการหมุนเวียนของอากาศร้อน เป็นต้น หลังจากนั้นกระดาษที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านไปยังส่วน Size Press ซึ่งเป็นส่วนของการปรับปรุงผิวกระดาษโดยการใช้น้ำแป้ง กระดาษที่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้ง

2. ส่วนรีดกระดาษ (Calender Stack): การรีดกระดาษจะเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบ และมีการปรับปรุงความหนาของกระดาษให้มีความหนาที่สม่ำเสมอ พร้อมกันนั้นยังทำให้กระดาษมีเนื้อแน่นขึ้น
3. ส่วนพักกระดาษเข้าม้วน (Reel-up): ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นำกระดาษเข้าม้วน รอการนำไปตัดแบ่งให้ได้ขนาดที่ต้องการ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

3.2 การใช้พลังงานในการผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษจะใช้พลังงานคิดเป็นประมาณร้อยละ 45 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ พลังงานหลักที่สำคัญที่มีการใช้คือพลังงานความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอน้ำ เพื่อใช้สำหรับการอบกระดาษให้แห้ง และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ เช่นมอเตอร์, ปั๊ม, สายพานลำเลียง เป็นต้น สัดส่วนของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหลักๆมีดังนี้ พลังงานความร้อนจากไอน้ำ จะถูกนำไปใช้ที่กระบวนการต้มเยื่อประมาณ 10 % และอีก 90 % จะถูกนำไปใช้ในส่วนของการอบแห้งกระดาษ (Dying Section) สำหรับพลังงานไฟฟ้านั้นพบว่าถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการปั่นเยื่อหรือตีเยื่อ (Pulping) ประมาณ 30 % ขั้นตอนของการบดเยื่อ (Refining) ประมาณ 25 % ใช้ในเครื่องผลิตกระดาษ (Paper Machine) ประมาณ 35 % และอื่นๆอีก 10 %

สำหรับค่า Specific Energy Consumption (SEC) ของการผลิตกระดาษชนิดต่างๆ ระหว่างประเทศไทย และของต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 3.2 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

3.3 การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตกระดาษ

3.3.1 การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (Stock Preparation)

เป็นขั้นตอนบดเยื่อทั้งเยื่อใหม่ และกระดาษที่ใช้แล้ว และคัดแยกสิ่งเจือปนเพื่อเข้าสู่เครื่องผลิตกระดาษ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานหลัก ได้แก่ Refiners ปั๊มน้ำเยื่อ และถังกรอง ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ Refiners ปั๊ม ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 20 - 25 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน

- **การเดิน Refiners ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด**

รูปที่ 3.3 Refiners

Refiners เป็นเครื่องมือย่อยตีเส้นใยในเยื่อกระดาษด้วยแรงกล ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการผลิตกระดาษ ประกอบด้าย กรวย หรือแผ่นจาน ที่อยู่นิ่ง และหมุน เยื่อกระดาษจะถูกป้อนเข้าไปในร่องฟันของชิ้นส่วนทั้งสอง มอเตอร์ขับ Refiners มีขนาดตั้งแต่หลายร้อยกิโลวัตต์ ถึงเมกกะวัตต์

ในการเดิน Refiners ให้มีประสิทธิภาพสูง ใช้พลังงานต่ำนั้น จำเป็นต้องควบคุมให้ Refiners ทำงานอยู่ในจุดที่เหมาะสม ได้แก่

1. <u>อัตราการไหลของเยื่อที่เหมาะสม</u> ถ้าอัตราการไหลของเยื่อสูงหรือต่ำเกินไป จะมีผลให้เยื่อกระดาษจัดเรียงตัวไม่ดี กระดาษโครงสร้างไม่แข็งแรง ฟันสึกหรอเร็ว และใช้พลังงานในการย่อยมากขึ้น การควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมทำได้โดยควบคุม

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราการไหลซึ่งมีผลต่อประสิทธิของ Refiner

อัตราการไหลต่ำเกินไป	อัตราการไหลสูงเกินไป
1. เพิ่มการหมุนเวียนน้ำเยื่อ 2. การปรับรูปแบบการต่อ Refiners จากแบบขนานเป็นอนุกรม 3. การเปลี่ยน Refiners ให้มีขนาดเล็กลง 4. การลดการเดิน Refiners	1. การเปลี่ยนปั๊ม 2. การปรับรูปแบบการต่อ Refiners จากอนุกรมเป็นแบบขนาน 3. การเปลี่ยน Refiners ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น 4. การเพิ่มความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) 5. การเดิน Refiners เพิ่ม

2. ความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) ต้องเหมาะสม ซึ่งจะมีผลทำให้ได้กระดาษที่มีโครงสร้าง แข็งแรง มีความสม่ำเสมอ และการย่อยมีประสิทธิภาพ โดยปกติไปจะควบคุมให้มีค่าประมาณ 4%
3. พลังงานจำเพาะในการย่อย (Specific Energy) พลังงานที่ส่งมาจากมอเตอร์ของ Refiners ไปยังเยื่อจะต้องเพียงพอที่จะทำให้โครงสร้างกระดาษที่ได้มีความแข็งแรงที่สุด และผิวกระดาษมีคุณสมบัติที่ต้องการ พลังงานจำเพาะในการย่อย คำนวณจาก

$$\text{พลังงานจำเพาะ (S.E.)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์} - \text{กำลังไฟฟ้าขณะไม่มีภาระ}}{\text{ตันต่อชั่วโมง}}$$

ในการเดิน Refiner จะต้องควบคุมให้เยื่อกระดาษได้รับพลังงานจำเพาะที่เหมาะสม พลังงานที่ให้น้อยเกินไปจะมีปัญหากับคุณภาพ ขณะที่พลังงานที่มากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น ค่าจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับกระดาษเกรดต่างๆ แสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับกระดาษเกรดต่างๆของ Refiners

Diameter mm (inches)	Max Power kW (Hp)	Normal RPM	No load kW (Hp)	FLOW RATES-GPM		
				Low	Medium	High
508(20)	225(300)	900	55(75)	150	250	400
610(24)	335(400)	720	85(65)	250	350	600
660(26)	375(500)	720	90(120)	300	450	800

Diameter mm (inches)	Max Power kW (Hp)	Normal RPM	No load kW (Hp)	FLOW RATES-GPM		
				Low	Medium	High
762(30)	450(600)	600	95(125)	375	600	1100
864(34)	595(800)	514	100(135)	475	750	1400
	750(1000)	600	160(218)	550	875	1650
966(38)	935(1260)	514	160(218)	650	1075	2026
1067(42)	1120(1500)	450	165(220)	775	1250	2400
	1305(1750)	514	245(330)	900	1450	2800
1168(46)	1495(2000)	450	240(325)	1025	1675	3275
1321(52)	2240(3000)	400	265(385)	1300	2150	4300
	2240(3000)	460	410(550)	1475	2425	4850
1372(54)	2240(3000)	400	338(450)	1475	2425	4850

4. <u>ค่า Freeness Drop</u> หน้าที่ของ Refiners ก็คือการย่อยตีเยื่อให้ขนาดเหมาะสม โดยค่าที่บอกความเหมาะสมนี้เรียกว่า Freeness ซึ่งจะได้จากห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน Canadian Standard Freeness Method ดังนั้น ตัวแปรหนึ่งที่จะบอกประสิทธิภาพของ Refiners ก็คือค่า Freeness ที่ลดลงของเยื่อ ก่อนและหลังการบดย่อย ต่อพลังงานจำเพาะที่ใช้

$$Freeness\ Drop = \frac{Freeness\ IN - Freeness\ OUT}{S.E.}$$

การควบคุม Refiner ให้มีประสิทธิภาพสูงต้องควบคุมให้ค่า Freeness Drop ต่อพลังงานจำเพาะมีค่าที่สูงที่สูด ค่าที่แนะนำหรับเยื่อประเภทต่างๆ ได้แก่

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า Freeness Drop ต่อพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับเยื่อประเภทต่างๆ

FREENESS DROP / NET HPD/T	
Guideline Chart for Various Furnishes	
UNBL. SOFTWOOD KRAFT	
NORTHERN U.S.	15 - 25 CSF / Net HPD/T
SOUTHERN U.S.	15 - 30 CSF / Net HPD/T
BL. SOFTWOOD KRAFT	
NORTHERN U.S	25 - 50 CSF / Net HPD/T
SOUTHERN U.S.	25 - 60 CSF / Net HPD/T
BL. HARDWOOD KRAFT	
MOST SPECIES	60 - 100 CSF / Net HPD/T
EUCALYPTUS	45 - 50 CSF / Net HPD/T
SECONDARY FIBER	
OCC	40 - 70 CSF / Net HPD/T
MIXED	50 - 70 CSF / Net HPD/T
NEWS	20 - 35 CSF / Net HPD/T

ค่า Freeness Drop ที่ลดลงเมื่อใช้งานไปนานๆ อาจเนื่องมาจากอัตราการไหลของเยื่อที่ไม่เหมาะสม ความเข้มข้นไม่เหมาะสม การสึกหรอของฟัน ลายของฟันไม่เหมาะสม ฯลฯ ซึ่งจำเป็นต้องตรวจสอบและแก้ไข

รูปที่ 3.4 ฟันของ Refiner

- **การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ Refiners**

Refiners ที่ใช้งานมานาน มีการสึกหรอ และประสิทธิภาพต่ำลง ควรพิจารณาปรับปรุง ซึ่งจะทำให้คุณภาพของกระดาษดีขึ้น และการใช้พลังงานต่ำลง วิธีการปรับปรุงที่ทำได้ได้แก่

- ☞ การเปลี่ยนไปใช้เพลา และแบริ่งที่มีประสิทธิภาพสูง การบำรุงรักษา การปรับตั้งศูนย์
- ☞ การเปลี่ยนจาน (plates) หรือลดขนาดจานให้เหมาะสม ซึ่งจะสามารถลดกำลังไฟฟ้าขณะไร้ ภาระ (No load power) ลงได้ การเปลี่ยนลายให้มีความเหมาะสม และการบดย่อยมีประสิทธิภาพ
- ☞ การเปลี่ยนมอเตอร์เก่าเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

- **การเปลี่ยน Refiners**

ปัจจุบันมี Refiner รุ่นใหม่ที่ออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้พลังงานต่ำลง โดยทั่วไป Refiners แบบดิสก์จะมีการใช้พลังงานต่ำกว่าแบบกรวยถึงร้อยละ 25 ขณะเดียวกัน Refiners แบบกรวยก็มีการพัฒนาเป็นแบบกรวยหลายชั้น ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้น Refiners ที่ใช้งานมานาน และประสิทธิภาพต่ำลง จึงควรพิจารณาเปลี่ยนไปใช้แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแทน

- **การเลือกเดิน Refiners ให้มีขนาดเหมาะสม**

Refiner ขนาดใหญ่จะให้อัตราการผลิตที่สูง ขณะเดียวกันกำลังไฟฟ้าไร้ภาระที่ใช้หมุนจานก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นที่การผลิตต่ำ ควรเลือกเดิน Refiners ชุดเล็กจะใช้พลังงานลดลงได้

- **การเก็บเยื่อจากน้ำระบายทิ้งกลับมาใช้**

ที่เครื่องผลิตกระดาษจะมีการระบายน้ำทิ้ง ซึ่งควรจะมีระบบเก็บเยื่อ หรือเส้นใยขนาดเล็กกลับมาใช้ให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะลดการสูญเสียในการบดย่อย และเพิ่มผลผลิต

- **การปรับปรุงการใช้งานปั๊ม**

ในการเตรียมเยื่อ นั้นจะมีการใช้งานปั๊มเป็นจำนวนมาก โดยปั๊มน้ำเยื่อผ่านกรองต่างๆ ซึ่งปัญหาใหญ่ของการใช้งานก็คือ ความสอดคล้องระหว่างอัตราการไหล และเฮดของปั๊มกับค่าที่กระบวนการผลิตต้องการ แนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานในส่วนของปั๊ม ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานในส่วนของปั๊ม

มาตรการปรับปรุง	ผลประหยัดโดยทั่วไป (%)
1 การเปลี่ยนจากวาล์วควบคุมเป็นการปรับ ความเร็วรอบ	10 - 40%
2 การลดความเร็วรอบสำหรับโหลดที่คงที่	5 - 40%
3 การติดตั้งปั๊มหลายชุดขนาดกัน สำหรับโหลดไม่คงที่	10 - 30%
4 การติดตั้งถังพัก เพื่อสมดุลให้อัตราการไหลเวียนคงที่	10 - 20%
5 การเจียรหรือเปลี่ยนใบปั๊ม	10 - 20%
6 การเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูง	1 - 3%
7 การเปลี่ยนปั๊มและระบบควบคุมเป็นแบบ Infinite Turn – down ซึ่งจะสามารถรักษาความดันออกของปั๊มให้เต็มพิกัดได้ แม้จะลดอัตราการไหลลงต่ำสุด โดยใช้แบริ่งแบบเยื้องศูนย์ ร่วมกับการควบคุมมอเตอร์แบบเว็คเตอร์	20 - 50%

3.3.2 การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกระดาษ (Sheet Forming)

การขึ้นรูปแผ่นกระดาษเป็นขั้นตอนจากการฉีดน้ำเยื่อลงบนแผ่นตะแกรงลวดเดินแผ่นก่อนเข้าสู่การกดรีดน้ำ การใช้พลังงานในขั้นตอนนี้ ได้แก่ มอเตอร์ชุดขับต่างๆ ปั๊ม และเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำมากที่สุด

- **การลดการเดินใบกวน ในถังรับน้ำเยื่อ**

  ด้านล่างของเครื่องผลิตกระดาษจะมีถังรับน้ำเยื่อ หรือเศษกระดาษ ซึ่งมักมีอยู่ 3 จุด คือ ช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงท้าย เช่น Broke pit หรือ Press pit เป็นต้น ขณะที่เครื่องขัดข้อง หรือกระดาษขาด ถังเหล่านี้จะรับน้ำเยื่อ หรือกระดาษ แล้วปั๊มไปบดย่อยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ แต่ขณะที่เครื่องทำงานปกติ จะมีภาระน้ำเยื่อน้อยมาก จึงควรลดการเดินใบกวนในถัง โดยลดจำนวนที่เดิน หรือติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ และลดความเร็วรอบขณะที่เดินเครื่องปกติ

- **การตรวจสอบและซ่อมวาล์วที่รั่ว เปลี่ยนปะเก็นสเตนเนอร์ และชุดกรอง**

- **การควบคุมปริมาณการใช้น้ำต่อตันกระดาษ**

  ในขั้นตอนนี้มีการใช้น้ำมาก และจะสัมพันธ์กับการใช้พลังงาน ดังนั้นควรติดเครื่องวัดและเก็บข้อมูลเพื่อควบคุมการใช้น้ำให้ได้ตามเป้าหมาย โดยทั่วไปควรมีค่าประมาณ 10-12 m^3/ตัน

- **การนำน้ำในกระบวนการ (White water) กลับมาใช้ให้มากที่สุด**

  การนำน้ำในกระบวนการกลับมาใช้ จะลดปริมาณน้ำใหม่ และการบำบัดน้ำเสีย เช่น ใช้ฉีดทำความสะอาดผ้ากำมะหยี่ ใช้เจือจางสารเคมีที่ผสมลงในน้ำเยื่อ น้ำในกระบวนการบางจุดอาจต้องผ่านกรองก่อนนำมาใช้ใหม่

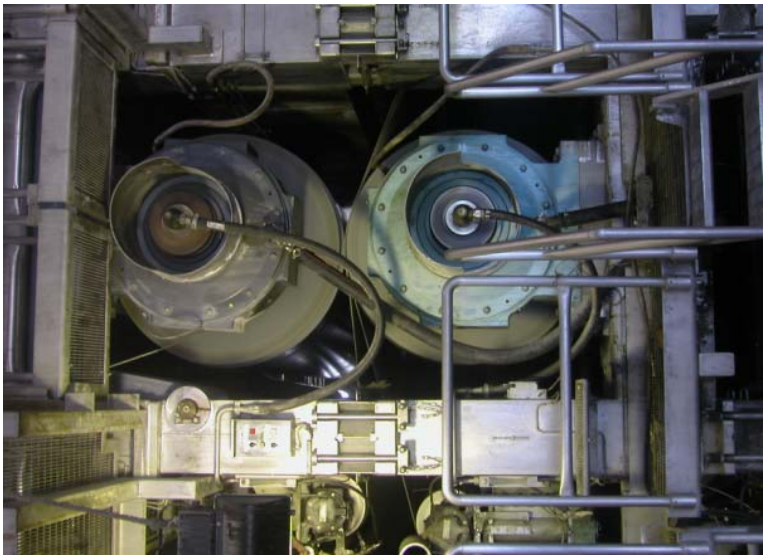
- **การเดินโหมดใช้พลังงานต่ำ**

  ควรมีการปรับตั้งให้เครื่องจักรสามารถทำงานในโหมดใช้พลังงานต่ำ (Low Energy Mode) ในช่วงลดการผลิต รอผลิต หรือกระดาษขาด จุดที่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ ได้แก่

  - ☞ การลดอุณหภูมิน้ำในกระบวนการ (Whitewater)
  - ☞ การปิด หรือลดไอน้ำเข้าสู่ลูกกลิ้งที่ไม่ใช้
  - ☞ การปิดลมร้อนเข้าให้ห้องอบ ถ้าสามารถปิดได้โดยไม่มีผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้น
  - ☞ การลดความดันไอน้ำที่เข้าลูกอบ
  - ☞ การลดไอน้ำที่วิ่งผ่าน (Blowthrough) เข้าคอนเดนเซอร์

3.3.3 การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการรีดน้ำ (Press section)

ขั้นตอนการรีดน้ำด้วยแรงกล จะสามารถลดการใช้พลังงานในการอบแห้งลงอย่างมาก ทุกๆ 1% ของน้ำในเยื่อกระดาษที่ลดลงได้ก่อนเข้าอบแห้ง จะสามารถลดการใช้ไอน้ำในการอบลงได้ถึง 4%



รูปที่ 3.5 การรีดน้ำ (Press section)

แนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการรีดน้ำ ได้แก่

- **การเดินเครื่องรีดน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด**

  เราจำเป็นจะต้องตรวจสอบและปรับตั้งให้มั่นใจได้ว่า ระบบรีดน้ำของเรามีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปมักพบว่า อุปกรณ์รีดน้ำทำงานอยู่ในจุดที่ยังไม่เหมาะสมและมักปรับปรุงได้ จุดสำคัญที่ควรพิจารณาได้แก่

  ☞ ควรมีการตรวจวัดประสิทธิภาพในการรีดน้ำ (Water Removal Efficiency (WRE)) อย่างสม่ำเสมอ

  $$\textit{ค่าประสิทธิภาพการวัดน้ำ (WRE)} = \frac{\textit{น้ำที่รีดออก}}{\textit{น้ำที่มากับเยื่อ + น้ำที่ฉีดเพิ่ม}}$$

  โดยติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลที่จุดที่น้ำเข้าและออก

  ☞ ลดการฉีดน้ำลงบนผ้าซับเท่าที่จำเป็น

  ☞ ควบคุมอุณหภูมิน้ำเยื่อที่เข้ารีด ให้อยู่ในช่วง 57 -60 $^{\circ}$C

  ☞ ควบคุมความดันสุญญากาศ ของจุดดูดให้ได้ตามมาตรฐาน

  ☞ ตรวจสอบและแก้ไขการรั่วไหลของท่อสุญญากาศ

  ☞ เพิ่มแรงกด แรงกดของลูกรีดแต่ละชุดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากชุดแรก ถึงชุดสุดท้ายแรงกดแต่ละลูกรีดควรจะได้ตามพิกัด และสม่ำเสมอตลอดพื้นที่สัมผัส

  ☞ ผ้ากำมะหยี่จะต้องเรียบ สะอาด ไม่มีสิ่งสกปรก และมีความยืดหยุ่น

  ☞ เปลี่ยนผ้าผ้ากำมะหยี่ตามอายุการใช้งาน

- **การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรีดน้ำ**

  วิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรีดน้ำ ได้แก่

  ☞ การเปลี่ยนผิวหุ้มลูกกลิ้งให้เป็นแบบมีรูพรุน และเป็นร่อง

  ☞ การเปลี่ยนผ้าเป็นแบบใหม่ที่ออกแบบให้มีคุณสมบัติรีดน้ำดีขึ้น

  ☞ การเปลี่ยนตำแหน่ง Uhle Box

  ☞ ติดตั้งใบกด (Doctor Blades) เพิ่มที่ลูกรีดชุดแรก

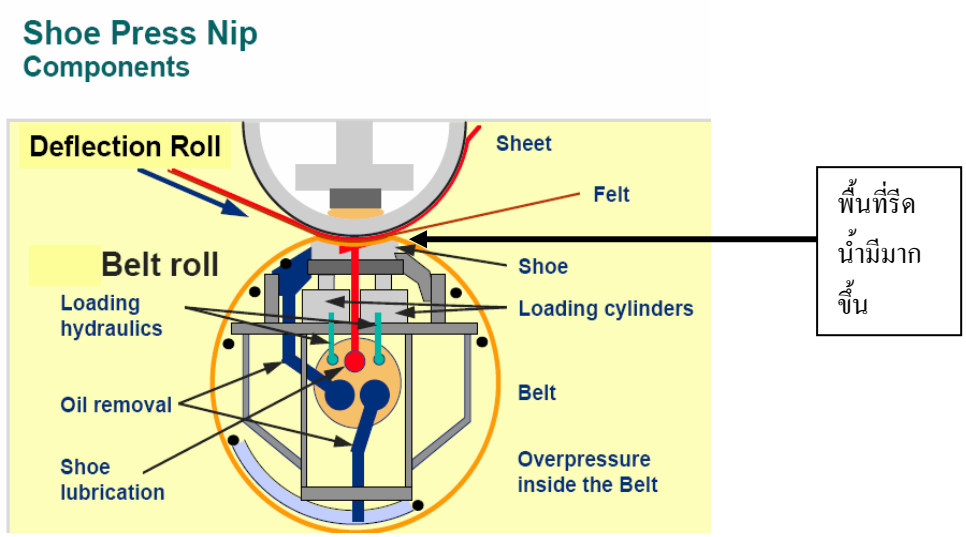
  ☞ การเปลี่ยนวัสดุหุ้มลูกกลิ้งให้อ่อนลง เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัส

- **การลดความชื้นกลับคืนมายังแผ่นกระดาษ (Minimized Rewet)**

  หลังจากผ่านลูกรีดแล้ว ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้ความชื้นกลับมาสะสมที่แผ่นกระดาษอีก เครื่องผลิตกระดาษบางเครื่อง แผ่นกระดาษและผ้ากำมะหยี่หลังจากผ่านลูกรีดแล้ววิ่งติดไปด้วยกันระยะหนึ่ง ซึ่งมีผลให้ความชื้นในแผ่นกระดาษเพิ่มขึ้น 2-3 %

- **การเปลี่ยนชุดรีดน้ำจาก Roll Press เป็น Shoe Press**

ชุดรีดน้ำแบบเดิมจะเป็นลูกกลิ้ง 2 ชุด สัมผัสกัน ข้อจำกัดคือ พื้นที่สัมผัสน้อย จึงการพัฒนาชุดรีดน้ำแบบใหม่ที่ลูกกลิ้งลูกหนึ่งกดลงบนบ่า แทนที่จะเป็นลูกกลิ้ง ทำให้พื้นที่สัมผัสมากขึ้น และสามารถรีดน้ำได้มากขึ้นร้อยละ 5 – 7 ทำให้สามารถลดไอน้ำขั้นตอนการอบได้ถึงประมาณร้อยละ 16



รูปที่ 3.6 Shoe Press

3.3.4 การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนการอบแห้ง (Drying section)

ขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากที่สุดในการผลิตกระดาษก็คือขั้นตอนของการอบแห้ง หลังจากกดรีดลดความชื้นแล้ว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ไอน้ำจำนวนมาก การอบแห้งกระดาษนั้น จะให้แผ่นกระดาษวิ่งผ่านลูกอบ จำนวน 40 – 90 ลูก ซึ่งภายในลูกอบจะมีการจ่ายไอน้ำด้วยความดันแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนเกิดจากการนำความร้อนผ่านผิวร้อนของลูกอบ และการพาความร้อนจากอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องอบ ส่วนอบแห้งมีทั้งแบบเปิดโล่ง และแบบที่มีห้องครอบชุดลูกอบทั้งหมด อุณหภูมิที่ต้องการอยู่ระหว่าง 40 – 90 $^{\circ}$C ขึ้นอยู่กับประเภทกระดาษ

รูปที่ 3.7 การอบแห้ง (Drying section)

วิธีการอนุรักษ์พลังงานในส่วนอบแห้ง ที่สำคัญมีดังนี้

1. การเดิน ส่วนอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

- การตรวจสอบประสิทธิภาพของส่วนอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ ควรมีการเก็บข้อมูลการทำงานของระบบอบแห้งอย่าสม่ำเสมอ เพื่อควบคุมให้การทำงานมีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ข้อมูลที่ควรรวบรวม ได้แก่ อุณหภูมิแผ่น อุณหภูมิผิวลูกอบ อุณหภูมิผิวตามแนวขวาง (CD) ความชื้น และอัตราการไหลของอากาศเข้าห้องอบ อุณหภูมิความชื้น และอัตราการไหลของอากาศที่ดูดออกจากห้องอบ การใช้ไอน้ำและปริมาณน้ำที่ระเหย
- ควรนำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นที่บริเวณเครื่อง มาให้ความร้อนกับน้ำฉีด หรือน้ำเติม
- นำคอนเดนเสทในส่วนอื่นกลับไปยังหม้อไอน้ำเพื่อใช้ใหม่
- นำไอแฟลชที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ เช่น การใช้ในลูกอบความดันต่ำ ใช้อุ่นน้ำฉีดล้าง ใช้ให้ความร้อนอากาศเข้าห้องอบ เป็นต้น และกำจัดการปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศให้หมด
- การปิดไอน้ำเข้าลูกอบที่เดินตัวเปล่า
- การควบคุมอากาศเข้า และระบายอากาศออกจากห้องอบให้เหมาะสม โดยพิจารณานาจากภาระความชื้นของอากาศที่ระบายทิ้ง ซึ่งหากมีค่าต่ำไป ก็จะสิ้นเปลือง พลังงานในการผลิตอากาศร้อน หรือในช่วงที่ผลิตกระดาษบางอาจเพิ่มอัตราการหมุนเวียนนำอากาศร้อนกลับมาใช้ขณะเดียวกันต้องควบคุมไม่ให้มีอากาศรั่วไหลจากภายนอก เข้าสู่ห้องอบ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในห้องลดลง การควบคุมทำได้โดยทำสมดุลระหว่างอากาศที่ดูดออก และเติมเข้าห้องอบ
- ผ้าสักหลาดต้องมีคุณสมบัติเหมาะสม

ผ้าสักหลาดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการอบ โดยต้องทำให้ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นและลูกอบดีที่สุด และไม่กีดขวางการระเหยออกจากจากผิวกระดาษ ด้วยวัตถุประสงค์ดังกล่าว ผ้าสักหลาดจะต้องตึงให้มากที่สุด และสม่ำเสมอตลอดพื้นผิวสัมผัส และต้องสะอาด ไม่มีสิ่งสกปรก

- การติดตั้งท่อกระจายลมร้อนระหว่างลูกอบ(Pocket Ventilation)
  เพื่อไล่ความชื้น และป้องกันการควบแน่นของไอน้ำ ซึ่งตรวจสอบว่ามีปัญหาควบแน่นหรือไม่ได้จากการวัดอุณหภูมิอากาศ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำค้าง (Dewpoint Temperature) ระหว่างลูกอบ
- การควบคุมการทำงานของคอนเดนเซอร์
  ไอน้ำส่วนหนึ่งที่ผ่านลูกอบ ไม่ควบแน่นเป็นคอนเดนเสท แต่วิ่งผ่านออกมาในรูปไอน้ำ ซึ่งยังมีความร้อนสูงอยู่ ควรนำไปให้ความร้อน ณ จุดที่ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่า หรือทำน้ำร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ในลูกอบท้าย ๆ จะมีไอแฟลชเหลือ ซึ่งจะต้องทำให้ควบแน่นที่ถังคอนเดนเซอร์ และส่งกลับไปยังหม้อน้ำ ในการใช้งานคอนเดนเซอร์มีจุดที่ควร พิจารณาดังนี้
  - การตรวจสอบการรั่วของระบบสร้างสุญญากาศในคอนเดนเซอร์ ซึ่งควรดำเนินการทุกครั้งที่หยุดไลน์
  - การควบคุมความดันตกคร่อมลูกอบให้ต่ำเพื่อลดปริมาณไอน้ำวิ่งผ่าน

2. การนำความร้อนทิ้งจากไอร้อน จากห้องอบมาใช้ประโยชน์ให้ได้สูงสุด

ในการอบจะต้องใช้อากาศร้อนจำนวนมาก กระดาษ 1 ตัน จะต้องระบายอากาศทิ้ง 30-50 ตัน อากาศร้อนที่ดึงออกจากห้องอบ ยังมีอุณหภูมิสูง จึงควรพิจารณานำความร้อนกลับมาใช้ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น การอุ่นอากาศเข้าห้องอบ การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น

3. การปรับปรุงห้องอบแบบเปิดเป็นแบบปิด (Closed Hood)

การปรับปรุงห้องอบแบบเปิด เป็นแบบปิดจะสามารถลดอากาศภายนอกเข้าสู่ห้องอบ สามารถเวียนอากาศร้อนเข้ามาใช้งาน และนำความร้อนจากอากาศที่ดูดทิ้งมาอุ่นอากาศเข้าสู่ห้องอบ ซึ่งจะทำให้การใช้ไอน้ำลดลงได้ถึง 40 %

4. การนำความร้อนทิ้งจากน้ำเสียมาใช้ประโยชน์

โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตมีอุณหภูมิสูง บางครั้งต้องใช้หอผึ่งน้ำลดอุณหภูมิก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนที่ได้สามารถนำมาเพิ่มอุณหภูมิน้ำเข้ากระบวนการผลิต

5. การติดตั้ง Dryer Bars ในลูกอบ

เครื่องผลิตกระดาษที่เดินที่ความเร็วสูง คอนเดนเสทที่เกิดขึ้นภายในลูกอบหลังจากให้ความร้อน จะถูกเหวี่ยงไห้เคลือบไปกับผิวในของลูกอบ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำกับผิวลูกอบต่ำลง ดังนั้นเครื่องผลิตกระดาษที่ความเร็วเดิน 300 เมตร/นาที ควรติดตั้ง Dryer Bars ภายในลูกอบเพื่อให้คอนเดนเสทที่เกิดขึ้นปะทะและหลุดออกจากผิวลูกอบ

6. การนำไอแฟลชกลับมาใช้โดยผ่าน Thermo Compressor

ในการให้ความร้อนกับลูกอบ ไอน้ำประมาณร้อยละ 10-15 จะถูกออกแบบวิ่งผ่านลูกอบโดยไม่ควบแน่นในลูกอบ เพื่อรักษาสมดุลของคอนเดนเสทและไอน้ำในลูกอบ ในเครื่องผลิตกระดาษจึงมีการออกแบบให้นำความร้อนส่วนนี้กลับมาใช้ โดยทั่วไปมักจะใช้งานในลักษณะต่อเนื่อง โดยไอน้ำที่ผ่านลูกอบแล้วจะนำไปใช้ในลูกอบชุดที่ต้องการอุณหภูมิสูงกว่าเป็นลำดับขั้น อย่างไรก็ตามไอน้ำขั้นท้าย ๆจะมีความร้อนไม่เพียงพอที่จะใช้ในลูกอบจำเป็นจะต้องนำไปควบแน่นในคอนเดนเซอร์ วิธีการหนึ่งที่สามารถนำไอน้ำความดันต่ำเหล่านี้กลับมาใช้ได้โดยไอน้ำความดันสูง เพิ่มความดันให้ไอน้ำเหล่านี้ และนำกลับมาใช้ที่ลูกอบอีกครั้ง

7. การปรับปรุงการระบายคอนเดนเสทออกจากลูกอบ

การควบคุมการระบายคอนเดนเสทออกจากลูกอบ มักควบคุมใน 2 วิธีคือ การควบคุมจากความดันไอน้ำตกคร่อมลูกอบแต่ละชุด โดยมีเครื่องวัดความร้อย ส่งสัญญาณไปสั่งวาล์วจ่ายไอน้ำ เข้าลูกอบ ซึ่งผู้ควบคุมจำเป็นจะต้องปรับตั้งความดันแตกต่างนี้อยู่ตลอดเวลาตามการใช้งาน จึงมักนะต้องมีไอน้ำวิ่งผ่านสูง และประสิทธิภาพต่ำ อีกวิธีหนึ่งคือการควบคุมจากอัตราการไหลผ่าน (Blow through Flow control) โดยติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของไอน้ำไหลผ่าน แล้วนำมาปรับวาล์วจ่ายไอน้ำเข้าลูกอบ วิธีนี้จะควบคุมให้ไอน้ำไหลผ่านในปริมาณคงที่ ดังนั้นในช่วงที่มีภาระความร้อนน้อยก็จะเปิดไอน้ำเข้าลูกอบน้อยไปด้วยจึงมีประสิทธิภาพสูง แต่ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง วิธีการปรับปรุงที่ค่าใช้จ่ายต่ำลงจะไม่ยุ่งยากนัก คือการควบคุมด้วยความดันตกคร่อมลูกอบแบบปรับค่าได้ โดยโปรแกรมความดันแตกต่างที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานแต่ละรูปแบบไว้ และใช้ระบบควบคุมปรับค่าควบคุมตามการใช้งาน

8. การใช้งาน ไซฟอนแบบอยู่กับที่

ในการดึงคอนเดนเสทและไอน้ำออกจากลูกอบ จะใช้หัวดูดไซฟอนเป็นอุปกรณ์ดึง ซึ่งมี2 แบบ คือ แบบที่ไซฟอนหมุนไปกับลูกอบ และแบบที่ไซฟอนอยู่กับที่ ไซฟอนแบบหมุนมีข้อดีที่ดึงคอนเดนเสทได้ดีแต่ต้องใช้ความดันสูงกว่า จึงทำให้มีไอน้ำวิ่งผ่านใน

9. การตัดขอบด้าน Wet End

กระดาษที่ออกจากเครื่องผลิตกระดาษจะเข้าสู่เครื่องม้วน ในการผลิตกระดาษบางเกรดจะมีการตัดขอบทิ้ง ในบางโรงงานต้องตัดขอบด้านข้างทิ้งถึงร้อยละ 10 จึงควรตัดขอบ ที่ต้นทางของเครื่องผลิตกระดาษ (Wet End Trim) เพื่อจะลดการใช้ไอน้ำในการอบแห้งลงถึงร้อยละ 10 เช่นกัน และลดพลังงานที่ใช้ในการย่อยขอบกระดาษเพื่อเข้าผลิตใหม่

10. การติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ

เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษใช้พลังงานสูงมาก เครื่องจักรที่เดินไม่เหมาะสมจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และพลังงานมาก ดังนั้นผู้ควบคุมควรทราบพารามิเตอร์ในการทำงานที่ถูกต้องและตลอดเวลา ดังนั้นควรพิจารณาติดเครื่องวัดที่สามารถบอกการทำงานของเครื่องจักร ณ จุดต่างๆได้ และการควบคุมอัตโนมัติจุทำให้มีการเดินเครื่องให้มีประสิทธิภาพได้ตลอดเวลา

บทที่ 4
การอนุรักษ์พลังงานในระบบ Utilities

4.1 หม้อไอน้ำและระบบใช้ไอน้ำ

หม้อไอน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับน้ำที่อยู่ภายในตัวหม้อไอน้ำ ผ่านทางพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะเป็นท่อโลหะ ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษจะมีการใช้ไอน้ำในโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษทุกประเภท เพื่อใช้ในส่วนอบแห้งกระดาษ (Drying section) ส่วนของลูกร้อน (Preheater) ชุดแผ่นความร้อน (Hot Plate) ในการผลิตแผ่นลูกฟูก เป็นต้น

รูปที่ 4.1 หม้อไอน้ำ (Boiler)

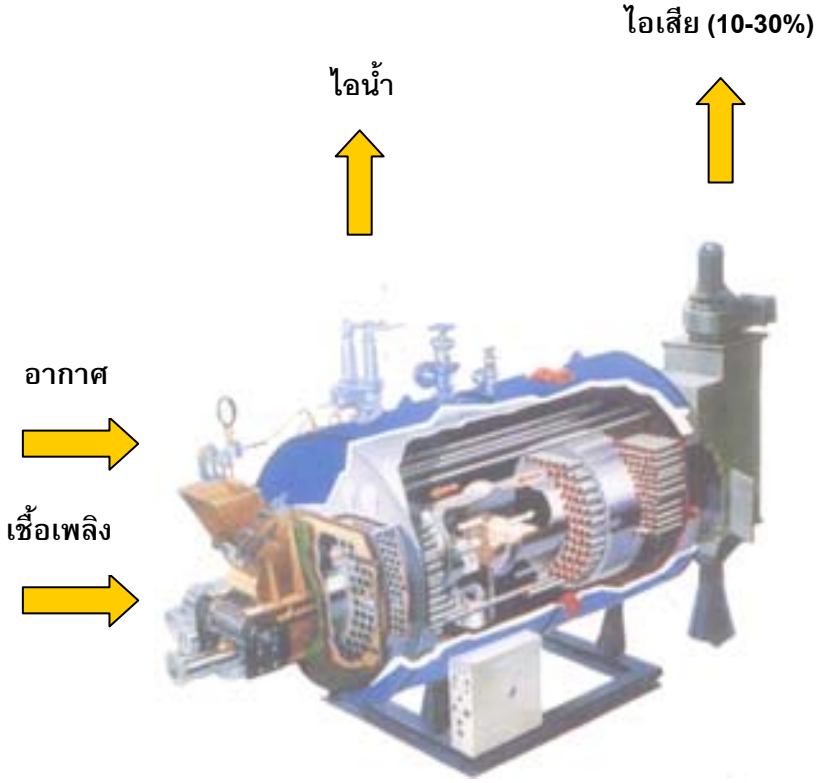
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำวัดได้จากอัตราส่วนของพลังงานไอน้ำต่อพลังงานของเชื้อเพลิง หรือ

$$\eta_b = \frac{\text{ความร้อนที่น้ำได้}}{\text{ความร้อนจากเชื้อเพลิง}}$$

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าตั้งแต่ 60-90% ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง การออกแบบพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน การสูญเสียความร้อนผ่านผิวหม้อไอน้ำและการสูญเสียจากน้ำระบาย และความสูญเสียอื่นๆ

การสูญเสียต่าง ๆ ในหม้อไอน้ำ จำแนกได้ดังนี้

- การสูญเสียทางปล่อง (Stack losses) ประมาณ 10 – 30 %
- การสูญเสียโดยการแผ่รังสี (Radiation losses) ประมาณ 0.25 – 4 %
- การสูญเสียไปกับน้ำโบลว์ดาวน์ (Blow down losses) ประมาณ 0.5 – 3 %



รูปที่ 4.2 การสูญเสียพลังงานในระบบหม้อไอน้ำ

จะเห็นได้ว่า การสูญเสียดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต่ำลง ดังนั้น จึงควรลดการสูญเสียต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้แล้ว ยังมีวิธีการที่จะช่วยประหยัดพลังงานในระบบหม้อไอน้ำได้อีก นั่นคือ การใช้หม้อไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และการปรับปรุงระบบเพื่อลดต้นทุนการผลิตไอน้ำ ซึ่งในแต่ละวิธีการสามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 การลดการสูญเสียในตัวหม้อไอน้ำ

- **<u>การลดการสูญเสียในไอเสีย</u>**

สามารถกระทำได้โดยการลดอุณหภูมิหรือปริมาณของไอเสีย หรือกระทำทั้งสองวิธีพร้อมกัน

- ***การลดอุณหภูมิไอเสียทำได้โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน***

เนื่องจาก คราบเขม่าต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำและเป็นฉนวนกันความร้อนไหลผ่าน ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อนและไอน้ำลดน้อยลง ความร้อนที่ควรถ่ายเทให้ไอน้ำจึงต้องสูญเสียไปกับไอเสียแทน นอกจากนี้ คราบเขม่าจะขัดขวางการไหลของอากาศ ทำให้การไหลของอากาศป้อนลดลง เป็นผลให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ไอเสียที่ผลิตได้มีปริมาณลดลงและทำให้ไอเสียมีเขม่าควันเกิดขึ้น ดังนั้นการรักษาความสะอาดของพื้นผิวจึงเป็นวิธีการรักษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้สูงอยู่เสมอ

ความสกปรกของพื้นผิวถ่ายเทความร้อน สามารถดูได้จากอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจดบันทึกอุณหภูมิก๊าซไอเสียอยู่ทุกวัน

การกำจัดคราบเขม่าบนด้านท่อไฟ สามารถกระทำได้โดยใช้พัดลมเป่าตามส่วนต่างๆ และใช้แปรงชักผ่านช่องท่อ และในส่วนด้านท่อน้ำ คราบสกปรกต่างๆ จะถูกควบคุมโดยการควบคุมคุณภาพน้ำให้สะอาดและไม่มีความกระด้าง ซึ่งจะช่วยให้ลดการเกิดคราบตะกรันลง เป็นผลให้การระบายน้ำ(Blow down) ลดลงอีกด้วย

- ***การลดปริมาณไอเสียทำได้โดยการลดปริมาณอากาศเผาไหม้ส่วนเกิน***

ปริมาณอากาศเผาไหม้ส่วนเกินมีความจำเป็นในกระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากอากาศส่วนเกินที่เข้าไปในห้องเผาไหม้จะช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ดีขึ้น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องมีอากาศส่วนเกินในระบบ แต่มีในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้ให้สมบูรณ์เท่านั้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้มีปริมาณอากาศเผาไหม้ส่วนเกินมากเกินไปได้แก่

(1) มีการรั่วไหลของอากาศภายนอกเข้าระบบ
(2) มีการควบคุมการป้อนอากาศที่ไม่สมบูรณ์
(3) หัวเผามีการทำงานผิดปกติ

ดังนั้น ในการควบคุมปริมาณอากาศเผาไหม้ส่วนเกินให้ลดลงจำเป็นจะต้องทราบสาเหตุที่แน่ชัดก่อนว่ามาจากแหล่งกำเนิดใดใน 3 แหล่งข้างต้น ซึ่งกระทำได้โดยการวิเคราะห์ไอเสียโดยวัดปริมาณออกซิเจนซึ่งสามารถบ่งบอกถึงปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นว่ามีมากน้อยเพียงใด ในการวิเคราะห์ให้ทำการตรวจวัดทั้งที่ห้องไฟและท่อไอเสียโดยที่ถ้าปริมาณออกซิเจนในห้องไฟมีค่าน้อยแต่มีปริมาณสูงที่ท่อไอเสียแสดงว่ามีการของอากาศภายนอกเข้ามาในระบบการแก้ไขกระทำได้โดยการปิดรอยรั่วต่างๆ ตามรอยต่อเช่นปะเก็น แต่หากผลการวิเคราะห์มีปริมาณออกซิเจนสูงทั้งในห้องไฟและท่อไอเสีย แสดงว่าปริมาณการป้อนอากาศสูงเกินไป การแก้ไขกระทำได้โดยการปรับ Damper ของอากาศเข้าให้เหมาะสม

ปริมาณอากาศส่วนเกินที่มากเกินไปยังมีสาเหตุมาจากการทำงานที่ผิดปกติของหัวเผา เช่น มีเขม่าควันเกิดขึ้นมาก ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงหัวเผาให้ทำงานเป็นปกติสม่ำเสมอ

▶ **<u>การลดการสูญเสียในการระบายน้ำทิ้ง</u>**

ความถี่และปริมาณในการระบายน้ำที่เหมาะสมขึ้นกับ ระดับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ(TDS) สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ทั่วไป จะมีค่า TDS ประมาณ 3,500-4,000 ppm โดยทั่วไปปริมาณการระบายทิ้งไม่ควรเกินร้อยละ 3 ถ้าต้องระบายทิ้งในปริมาณที่มาก ควรพิจารณาปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

4.1.2 การใช้หม้อไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

▶ **<u>ไม่ควรผลิตไอน้ำมีความดันสูงเกินความจำเป็น</u>**

การผลิตไอน้ำมีความดันยิ่งสูงมากเท่าใด จะส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเท่านั้น โดยมีประโยชน์อยู่ประการเดียวคือ มีปริมาณไอน้ำเก็บไว้ในหม้อไอน้ำและในระบบท่อมากกว่าการผลิตที่ความดันต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการแก้ไขปัญหาไอน้ำผลิตไม่ทันหรือไม่เพียงพอ เนื่องจากขนาดของหม้อไอน้ำเล็กเกินไป แต่ ข้อเสียที่ผลิตไอน้ำที่ความดันสูงเกินไปจะเกิดการสูญเสียเกิดขึ้นหลายทาง เช่น ไอน้ำที่ความดันสูง อุณหภูมิของไอน้ำก็จะสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนออกจากผิวหม้อไอน้ำ และระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำมากขึ้นมากเนื่องจากอุณหภูมิผิวจะสูงขึ้น และไอน้ำที่ความดันสูงมีความร้อนแฝง (Latent heat) ลดต่ำลง ซึ่งหมายความว่าความร้อนที่อุปกรณ์ใช้ความร้อนได้รับจะน้อยลง อุปกรณ์อาจจะร้อนช้าลง หรือต้องใช้ปริมาณไอน้ำมากกว่าที่ความดันต่ำ อีกทั้งวาล์วและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำต่างๆจะเกิดการสึกหรอเร็ว เนื่องจากรับความร้อนและเร็วไอน้ำที่สูง

▶ **<u>ควรเดินหม้อไอน้ำที่ภาระใกล้เคียงกับพิกัดการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำเสมอ</u>**

การเดินหม้อไอน้ำที่ภาระต่ำกว่าพิกัด จะมีข้อเสียหลายประการคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะต่ำลง ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำก็จะต่ำลงด้วย ทั้งนี้เพราะการสูญเสียจากผิวหม้อไอน้ำและระบบส่งจ่ายไอน้ำ การสูญเสียจากการปล่อยน้ำก้นหม้อไอน้ำ และการสูญเสียจากทางปล่องไอเสีย มีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับภาระของหม้อไอน้ำ ดังนั้นการเดินหม้อไอน้ำที่ภาระต่ำจะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไอน้ำสูงกว่าการเดินที่ภาระสูง โรงงานจึงควรพิจารณาบริหารการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ต่างๆให้มีการใช้งานเต็มพิกัดและมีการใช้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งบางโรงงานมีการจัดการระบบการผลิตใหม่ แล้วใช้ไอน้ำเต็มที่และต่อเนื่อง ส่งผลให้ระยะเวลาการเดินของหม้อไอน้ำ ตลอดทั้งวันลดต่ำลงและต้นทุนการผลิตไอน้ำลดลง

▶ เลือกเดินหม้อไอน้ำชุดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเป็นหลัก

บางโรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำหลายชุดเดิน โดยมีการสลับกันเดินไปมาในแต่ละวันหรือแต่ละสัปดาห์ หม้อไอน้ำแต่ละชุดจะมีประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นโรงงานต้องวัดประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้/ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้) ว่าชุดใดประสิทธิภาพสูงสุด ควรนำหม้อไอน้ำชุดนั้นมาใช้เดินเป็นหลัก ส่วนชุดที่ประสิทธิภาพต่ำที่สุดควรนำมาใช้งานให้น้อยที่สุด จะส่งผลให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงและลดต้นทุนการผลิตไอน้ำได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และประหยัดงานได้มาก

▶ พิจารณาลดการสูญเสียในการดับเตาที่บ่อยเกินไป

สำหรับหม้อไอน้ำที่มีการควบคุมแบบเดิน - หยุด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหม้อไอน้ำ ที่มีขนาดต่ำกว่า 5 ตันไอน้ำ ในการทำงานนั้นเมื่อความดันไอน้ำได้ตามค่าที่ปรับตั้งไว้ หม้อไอน้ำจะหยุดฉีดเชื้อเพลิง และเมื่อความดันในหม้อไอน้ำต่ำลงจนถึงความดันต่ำสุดที่ตั้งไว้ พัดลมของหัวเผาจะทำงาน โดยทั่วไปประมาณ 1-2 นาที ก่อนที่จะมีการจุดไฟเพื่อป้องกันเชื้อเพลิงตกค้างในช่วงเวลาดังกล่าว พัดลมจะดูดอากาศจากรอบๆหม้อไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิต่ำเข้าไปในหม้อไอน้ำ อากาศดังกล่าวจะระบายความร้อนออกจากห้องเผาไหม้และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทิ้งไป นั่นคือการสูญเสียความร้อนจากการดับเตาที่บ่อยจนเกินไป ดังนั้น โรงงานควรพิจารณาลดการสูญเสีย ดังกล่าวโดยการเดินใช้งานหม้อไอน้ำให้ภาระสูงและต่อเนื่องตลอดเวลา อีกทั้งควรพิจารณาปรับตั้งความดันแตกต่าง (Differential Pressure) ระหว่างความดันสูงสุดและต่ำสุดให้เพิ่มมากขึ้น

4.1.3 การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

การใช้ไอน้ำแบบผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ไอน้ำที่ใช้งานแล้วยังสะอาดอยู่และมีความร้อนเหลืออยู่ถึงประมาณ 20-30% สามารถนำกลับมาป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้อีกครั้งโดยตรง ถ้าการนำคอนเดนเสท กลับมาใช้ได้ทั้ง 100% จะลดการใช้เชื้อเพลิง ลงได้ 10-13% ในกรณีไอน้ำสัมผัสกับชิ้นงาน คอนเดนเสทมีสิ่งเจือปน แม้ไม่สามารถส่งเข้าหม้อไอน้ำได้โดยตรง ความร้อนที่เหลืออยู่คอนเดนเสทก็ยังสามารถใช้แลกเปลี่ยนให้ความร้อนกับของไหลอื่นได้ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4.1.4. การปรับปรุงระบบเพื่อลดต้นทุนการผลิตไอน้ำ

- เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมาก ควรพิจารณาซื้อจากผู้จำหน่ายหลายราย
- การหุ้มฉนวนอุปกรณ์

  การสูญเสียความร้อนในหม้อไอน้ำที่ใช้งานทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1% ของปริมาณความร้อนที่ให้กับหม้อไอน้ำขณะที่ทำงานสูงสุด แต่ในหม้อไอน้ำที่ไม่ได้มีการหุ้มฉนวนหรือมีสภาพฉนวนที่ไม่ดี การสูญเสียความร้อนอาจมาถึง 10%

- ควรพิจารณาเปลี่ยนเกรดน้ำมันเตาจากเกรด A เป็นเกรด C
  น้ำมันเตาเกรด A และเกรด C แตกต่างกันที่ความหนืด ส่วนค่าความร้อนนั้นใกล้เคียงกันการเปลี่ยนเกรดน้ำมันเตา จะต้องทำการอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เช่น อุณหภูมิน้ำมันเตาเกรด C ที่ 120°C จะมีความหนืดเท่ากับน้ำมันเตาเกรด A มีอุณหภูมิ 80°C จึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ ดังนั้นการเปลี่ยนเกรดน้ำมันเตาจะ ส่งผลให้โรงงานลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงลง เพราะน้ำมันเตาเกรด A มีราคาสูงกว่าน้ำมันเตา C

- ควรพิจารณาการอุ่นน้ำมันด้วยไฟฟ้าเป็นการอุ่นน้ำมันด้วยไอน้ำซึ่งต้นทุนต่ำกว่า
- การเปลี่ยนประเภทเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงเหลวไปเป็นก๊าซธรรมชาติ กรณีที่มีท่อก๊าซผ่าน

<u>โดยสรุป แนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการใช้งานหม้อไอน้ำ และระบบส่งจ่ายไอน้ำ มีดังต่อไปนี้</u>

- ควรหมั่นตรวจสอบท่อส่งไอน้ำให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ตลอดเวลา หากมีการชำรุดของฉนวนกันความร้อน หรือเกิดรอยรั่วต่างๆ จะต้องรีบทำการแก้ไขโดยเร็ว เพราะนั่นหมายถึงการสูญเสียความร้อน และยังเป็นผลทำให้สูญเสียพลังงานและเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกด้วย
- ตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถกระทำได้ด้วยวิธีง่ายๆ โดยการสังเกตจากสีของควันที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยแบ่งตามสีของควันดังนี้
  - ควันที่ออกทางปล่องไฟเป็นสีเทาอ่อน แสดงว่าการเผาไหม้สมบูรณ์
  - ควันที่ออกทางปล่องไฟเป็นสีดำ แสดงว่าการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำภายในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและเชื้อเพลิงเป็นอย่างมากและเป็นปัญหาด้านมลภาวะ
  - ควันออกทางปล่องไฟเป็นสีขาว แสดงว่าการเผาไหม้มีอากาศส่วนเกินที่เข้าไปช่วยในการเผาไหม้มากเกินไป ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับ อากาศส่วนเกินจำนวนนั้นด้วย

- ควรหมั่นตรวจสอบค่าอุณหภูมิของไอเสียอย่างสม่ำเสมอ ถ้าพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนมีตะกรันและเขม่าเกาะที่พื้นผิวมากก็จะ ทำให้อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่อยออกทางปล่องไอเสียมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้หม้อไอน้ำต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น โดยปกติอุณหภูมิไอเสียจะสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำในหม้อน้ำประมาณ 50 – 60°C
- ควรควบคุมปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ในหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งควบคุมได้โดยการ ควบคุมคุณภาพน้ำป้อน
- ควรปรับสภาพน้ำป้อน เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน ตะกอนของสารแขวนลอยต่างๆ ภายในหม้อไอน้ำ ซึ่งตระกรันเหล่านี้เป็นตัวที่ทำให้หม้อไอน้ำเกิดปัญหาหลายด้านเช่น การรับความร้อนของน้ำจากการ แลกเปลี่ยนความร้อนภายในพื้นผิวหม้อไอน้ำได้ไม่ดี เกิดการเดือดพล่านของน้ำทำให้ไอน้ำที่ส่งไปตามท่อเมนและระบบเปียกมาก
- ควรหมั่นดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอ และควรมีการวางแผนซ่อมบำรุงและตรวจสอบกับดักไอน้ำ และ ตัวกรองทุกๆ 6 เดือน
- ควรติดตั้งกับดักไอน้ำที่ท่อเมนและอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทุกชุดโดยเลือกชนิดให้เหมาะสม
- ควรผลิตไอน้ำที่ความดันใกล้เคียงกับความดันที่อุปกรณ์และระบบต่างๆที่ใช้ไอน้ำต้องการ
- ควรเลือกเดินใช้งานหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำ
- ควรเดินใช้งานหม้อไอน้ำในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและให้เหมาะสมกับภาระ
- ควรทำความสะอาดหัวเผาอย่างสม่ำเสมอ
- ความดันเชื้อเพลิงควรเหมาะสมกับชนิดของหัวเผา
- ควรนำคอนเดนเสทที่สะอาดกลับมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อน โดยการผสมกับน้ำป้อน
- ควรอุ่นเชื้อเพลิงเหลวให้ได้อุณหภูมิเหมาะสมก่อนเข้าหัวเผา

4.2 ระบบอัดอากาศ

รูปที่ 4.3 ระบบอัดอากาศ

แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศประกอบด้วย

4.2.1 การใช้อากาศอัดให้คุ้มค่า

การผลิตอากาศอัดมีต้นทุนที่สูง ต้องใช้ให้เหมาะสมกับคุณค่า การใช้อากาศอัดเพื่อเป่าทำความสะอาดตัวเครื่อง เป็นการสูญเสียอย่างมาก อาจทำที่ให้เป่าทำความสะอาดโดยแยกใช้เครื่องอัดอากาศที่ผลิตอากาศอัด ความดันต่ำเป่าแทน

4.2.2 การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

การมีอากาศรั่วไหล ทำให้สูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นในบางแห่งอาจมีอากาศรั่วถึง 30-40% การรั่วมักจะเกิดขึ้นตามข้อต่อ ข้องอ ข้อต่อเข้าปืนลม วาล์วของปืนลม ข้อต่อเข้าอุปกรณ์ใช้ลม โรงงานควรจะมีการตรวจสอบลมรั่ว และซ่อมแซมอย่างน้อยปีละครั้ง ปริมาณลมรั่วที่ยอมรับได้ไม่ควรเกินร้อยละ 5 ของการผลิตอากาศอัดทั้งหมด

การหาจุดรั่วที่ทำได้ง่ายๆ วิธีหนึ่งก็คือ การฟังเสียงขณะเครื่องจักรหยุดแต่ยังมีลมในถัง เช่น พักเที่ยง หลังเลิกงาน หรือวันหยุด ไล่เดินหาตามไลน์ท่อลม อย่างไรก็ตามเราสามารถหาอัตราการรั่วของทั้งระบบได้ โดยปิดวาล์วเข้าอุปกรณ์ใช้ลม แล้วเดินเครื่องอัดอากาศถ้าไม่มีลมรั่วในระบบเครื่องควรจะเดินในช่วงแรก เท่านั้น แต่ถ้าเดินๆ หยุดๆ หรือรับภาระ (Load) และไร้ภาระ (Unload) สลับกัน แสดงว่ามีลมรั่ว

การรั่วหาได้จาก

$$\%Leak = \frac{Ton}{Ton + Toff}$$

Ton = ช่วงเวลาที่เครื่องรับภาระ

Toff = ช่วงเวลาที่ไร้ภาระ

4.2.3 การปรับลดความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เนื่องจากปริมาณพลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความดันอากาศที่เครื่อง อัดอากาศผลิต การผลิตอากาศอัดที่ความดันสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงควรตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ปลายทาง โดยทั่วไปถ้าความดันที่ใช้งานสูงกว่าความดันที่ต้องการมากกว่า 10 Psi ขึ้นไป ควรพิจารณาความเป็นไปได้ในการลดความดันลง (ยกเว้นกรณีที่มีความดันตกในท่อมาก) และทุกๆ 10 Psi ที่ลดความดันลง การสูญเสียจากการรั่วไหลจะลดลง 5%

ตารางที่ 4.1 พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดความดันใช้งานลง (ที่การใช้งาน 7200 ชม. ต่อปี)

พิกัดกำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศ(kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดความดันลงได้			
	0.5 บาร์	1 บาร์	1.5 บาร์	2 บาร์
4	1,152	2,304	3,456	4,608
7.5	2,160	4,320	6,480	8,640
11	3,150	6,300	9,450	12,600
15	4,302	8,604	12,898.8	17,208
37	10,602	21,204	31,806	42,408
75	21,510	43,020	64,530	86,040

4.2.4 การลดอุณหภูมิอากาศเข้า

พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้แปรผันตามอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่อง อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ในการอัดอากาศให้ได้ระดับความดันที่ต้องการ ถ้าใช้อากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลงหรือในอากาศเย็น ซึ่งอาจจะทำได้โดยจัดการระบายความร้อนในห้องเครื่องให้ดีขึ้น หรือเดินท่อนำอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามา เครื่องอัดอากาศจะใช้พลังไฟฟ้าลดลง ทั้งนี้อากาศที่นำเข้ามาต้องไม่มีความชื้นสูง ปัญหาที่พบบ่อยมักจะเป็นกรณีที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศไม่เหมาะสม อากาศระบายความร้อนไม่ได้ และกลายเป็นอากาศเข้าของเครื่องอื่นซึ่งจำเป็นต้องย้ายตำแหน่งใหม่

ตารางที่4.2 พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดอุณหภูมิอากาศเข้า (ที่การใช้งาน 7,200 ชม.ต่อปี)

อุณหภูมิที่	พลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่ประหยัดได้ต่อปีเมื่อลดอุณหภูมิอากาศ ของเครื่องอัดอากาศ					
	4 kW	7.5 kW	11 kW	15 kW	37 kW	75 kW
3	288	540	792	1,080	2,664	5,400
6	576	1,080	1,584	2,160	5,328	10,800

4.2.5 การลดการเดินเครื่องอัดอากาศแบบไร้โหลด หรือการบริหารเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากเครื่องอัดอากาศประสิทธิภาพจะลดต่ำลงมากเมื่อทำงานที่ภาระน้อยๆ การเดินเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กที่ภาระเต็มพิกัดโหลด ประสิทธิภาพจะดีกว่าการเดินเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่ภาระการทำงานต่ำๆ (Part Load) ดังนั้นในระบบรวมที่ใช้เครื่องอัดอากาศหลายชุด จึงควรเลือกเดินเครื่องที่มี ประสิทธิภาพสูงสุดและให้ทุกเครื่องทำงานใกล้เคียงกับพิกัดให้มากที่สุด ควรหยุดเครื่องที่ทำงานภาระน้อยลง

4.2.6 การแก้ไขขนาดท่อและถังพัก

เมื่อออกแบบติดตั้งในครั้งแรก ขนาดท่อและถังพักมักเหมาะสมกับการใช้งาน แต่เมื่อเวลาผ่านไป

การใช้อากาศอัดมากขึ้น มีการเพิ่มเครื่องอัดอากาศ แต่สิ่งที่ถูกลืมคือ ท่อลม และถังพัก ทำให้ความดันตกในระบบสูง และ เครื่องอัดอากาศต้องทำงานหนัก ความดันของอากาศอัดไม่สม่ำเสมอ เรามีหลักง่ายๆ ดังนี้

- ความดันตกระหว่างจุดใช้งานและที่ถังลมไม่ควรต่างกันเกิน 0.5 บาร์
- ถังลมควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 10 เท่าของขนาดเครื่องในหน่วยลิตรต่อวินาที เช่น เครื่องมีพิกัด 30 ลิตร/วินาที ควรมีถังพักไม่น้อยกว่า 300 ลิตร เป็นต้น
- ขนาดท่อ ความเร็วลมในท่อไม่ควรเกิน 6 เมตร/วินาที

4.2.7 การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศตามกำหนด

โรงงานควรมีแผนการบำรุงรักษาตามกำหนด ซึ่งจุดที่ควรให้ความสำคัญมีดังนี้คือ

- ควรตรวจหาและซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอย่างสม่ำเสมอ
- ตรวจสอบการระบายน้ำในถังลมและท่ออย่างสม่ำเสมอ ควรตรวจสอบทุกวัน ถ้าเป็นระบบอัตโนมัติให้ทดสอบว่าทำงานถูกต้อง ไม่ตั้งเวลานานเกินไป

- ควรหมั่นทำความสะอาด ชุดกรองอากาศในระบบอัดอากาศ, แผงกรองอากาศก่อนเข้าเครื่อง, ตัวกรองสารแขวนลอยในระบบน้ำหล่อเย็นทุกเดือน รวมทั้งทำการเปลี่ยนเมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสม
- ควรตรวจสอบสภาพและปริมาตรของน้ำมันหล่อลื่นทุกวัน
- ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและไส้กรอง, อัดจาระบี ทุก 6 เดือน หรือเมื่อหมดอายุการใช้งาน
- ควรตรวจและปรับแต่งสายพานส่งกำลัง หรือชุดเกียร์ส่งกำลังอย่าง สม่ำเสมอทุกเดือน
- ควรมีการตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิและความดันของอากาศเข้าเครื่องอัดและอากาศในถัง และอุณหภูมิสารระบายความร้อนเข้าและออก

4.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษหลายแห่งด้วยกัน เช่น ระบบการขนส่งสิ้นไม้สับ ระบบบำบัดน้ำเสีย และในกระบวนการผลิตที่ติดมากับเครื่องผลิตกระดาษ (Paper machine) ซึ่งโดยปกติแล้วมอเตอร์มีอายุการใช้งานตามแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน ถ้าการใช้งานของมอเตอร์ไม่เหมาะสมอาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ลดลง ซึ่งมีแนวทางการใช้งานมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมีดังนี้

รูปที่ 4.4 มอเตอร์ไฟฟ้า

4.3.1 การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ

เมื่อภาระของมอเตอร์ลดลง ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อภาระลดลงต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพิกัด ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อภาระลดลงกำลังสูญเสียส่วนหนึ่งยังคงที่ เช่น กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก

4.3.2 มีการระบายความร้อนที่ดี

มอเตอร์ทำงานได้ดีเมื่อมีการระบายความร้อนที่ดี เมื่อใช้งานไปฝุ่นละอองสิ่งสกปรกจะมาเกาะมอเตอร์ ทำให้การระบายความร้อนต่ำลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น และการสูญเสียมากขึ้น อุณหภูมิมอเตอร์ที่สูงขึ้น 25°C จะหมายถึงการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จึงควรพิจารณาในเรื่องตำแหน่งติดตั้งอยู่ในที่ร่ม อากาศถ่ายเท และทำความสะอาดเปลือกนอกของมอเตอร์อย่างน้อยปีละครั้ง

4.3.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ จะทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพสูงเมื่อได้รับระดับแรงดันที่ถูกต้อง แรงดันที่สมดุลกันทุกเฟส และแรงดันที่ปราศจากฮาร์มอนิกส์ ระดับแรงดันมีผลต่อประสิทธิภาพคือ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลเกินร้อยละ 2 จะเพิ่มความสูญเสียขึ้นถึงร้อยละ 25 ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ ไม่ควรเสียสมดุลเกิน 1% ระดับแรงดันควรมีค่าใกล้เคียงแรงดันพิกัดของมอเตอร์ สำหรับแรงดันที่มีฮาร์มอนิกส์มากจะทำให้มอเตอร์ร้อนขึ้น และแรงบิดของมอเตอร์ลดลงมอเตอร์ที่ร้อนเกินไป จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

4.3.4 การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้รับการออกแบบให้มีกำลังสูญเสียต่ำ โดยการปรับปรุงแกนเหล็กและขดลวดทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไป 1-3% เนื่องจากมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานค่อนข้างนาน 15-20 ปี มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงทำให้ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานลดลงอย่างมาก

มอเตอร์ที่ผ่านการซ่อมขดลวดใหม่ ประสิทธิภาพจะต่ำลง จากการทดสอบจะมีประสิทธิภาพ ต่ำลง 1-2 % สืบเนื่องจากฉนวนที่เคลือบแผ่นเหล็กเสียหายจากความร้อนและไม่สามารถซ่อมได้ ทำให้กำลังสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เครื่องจะยังทำงานได้เหมือนเดิมแต่จะร้อนขึ้น กินกระแสไฟมากขึ้น ดังนั้นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีความคุ้มค่ามาก

4.3.5 การบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าและระบบส่งกำลังอย่างถูกต้องเหมาะสม

การบำรุงรักษาที่ไม่ดี จะทำให้มอเตอร์กินกำลังมากขึ้น ดังนั้นควรบำรุงรักษามอเตอร์ดังนี้

- การบำรุงรักษาที่สำคัญเพื่อทำให้มอเตอร์ทำงานได้ดี ก็คือการหล่อลื่น การอัดจาระบี ที่รองลื่นของมอเตอร์ และเกียร์ การอัดจาระบีมากไปหรือน้อยไป จะเพิ่มความเสียดทานและทำให้อายุรองลื่นสั้น นอกจากนี้จาระบีที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการสะสมของจาระบี และสิ่งสกปรกที่ขดลวด ทำให้มีความร้อนสะสมและเสียหายได้ ดังนั้นควรอัดจาระบี หรือเปลี่ยนสารหล่อลื่นทุก 6 เดือน
- มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูง การส่งกำลังจากมอเตอร์ไปสู่อุปกรณ์ทางกลต้องมีประสิทธิภาพสูงด้วย การส่งกำลังมีได้หลายลักษณะ เช่น การต่อกับเพลาโดยตรง ต่อผ่านกระปุกเกียร์ โซ่ หรือสายพาน ฯลฯ
- การใช้สายพานส่งกำลังเป็นวิธีการส่งกำลังที่ใช้กันมากถึงหนึ่งในสาม การใช้สายพานจะการสูญเสียเกิดขึ้นเสมอ เมื่อใช้ไปจะยืด สึก และหย่อน ทำให้เกิดการไหลเลื่อน (Slip) จึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาโดยปรับความตึงอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นควรตรวจสอบและปรับแต่งความตึงสายพานและชุดเกียร์ส่งกำลังทุก เดือน

4.4 ปั๊มน้ำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษจะใช้ปั๊มน้ำสำหรับสูบน้ำเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การล้างเยื่อ ระบบบำบัดน้ำเสียและระบบประปา โดยส่วนมากเป็นปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal) ซึ่งเป็นปั๊มที่ได้รับความนิยมในการใช้งานเมื่อเทียบกับปั๊มชนิดอื่นๆ เนื่องจากปั๊มประเภทนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เหมาะสมกับการใช้งานหลายประเภท ประกอบกับการดูแลรักษาง่าย ปั๊มแรงเหวี่ยงแสดงในรูปที่ 4.5 มีใบพัดอยู่ในเสื้อเครื่องสูบรูปหอยโข่ง (Volute Casing) ให้พลังงานแก่ของเหลวโดยการหมุนของใบพัด ทำให้สามารถยกน้ำจากระดับต่ำขึ้นไปสู่ระดับสูงได้ เครื่องปั๊มน้ำอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษนั้น จำเป็นต้องพิจารณาให้ละเอียดมากขึ้น เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีเรื่องราคาและค่าการบำรุงรักษาเข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลที่จำเป็นที่ต้องทราบก่อนที่จะทำการเลือกเครื่องปั๊มน้ำแรงเหวี่ยง (Centrifugal) มีดังนี้

รูปที่ 4.5 ปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal)

- ชนิดของน้ำ ที่ต้องการสูบ อุณหภูมิ ความหนืด ความหนาแน่น
- อัตราการสูบ หรือ Flow rate ที่ต้องการ
- ความดัน หรือความสูงที่ต้องยกน้ำนั้น ๆ ขึ้นไป หรือที่เรียกกันว่า HEAD
- ความเร็วรอบของเครื่องปั๊มน้ำที่เป็นไปได้
- ค่า $NPSH_r$ หรือสภาวะทางด้านดูดของเครื่องปั๊มน้ำนั่นเอง
- ตัวขับเคลื่อนที่เป็นไปได้ของสถานที่ตั้งเครื่องปั๊มน้ำนั้น
- ลักษณะของระบบท่อที่มี หรือจะต้องมี System Head curve
- ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่ายเครื่องปั๊มน้ำ ได้แก่ Pump curve

<u>การใช้เครื่องปั๊มน้ำให้ประหยัดพลังงาน</u>

- พยายามเลือกใช้เครื่องปั๊มน้ำขนาดเล็กจำนวนหลายตัว จะดีกว่าใช้ขนาดใหญ่แต่มีจำนวนน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการสูบน้ำในขบวนการทั่ว ๆ ไป จะมีจุดการทำงานที่แปรเปลี่ยนได้ในช่วงค่อนข้างกว้าง เครื่องปั๊มน้ำจึงมักทำงาน ที่จุดที่ต่ำกว่าความสามารถที่ทำได้เต็มที่ของมัน นั่นเป็นเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพต่ำไปด้วย ซึ่งเราสามารถแก้ไขปัญหาโดยการใช้เครื่องปั๊มน้ำขนาดเล็กหลายตัว ต่อขนานกัน เพื่อรองรับอัตราการไหลที่ไม่คงที่
- ไม่ควรเผื่อขนาดเครื่องปั๊มน้ำให้มีขนาดใหญ่จนเกินไปนัก ส่วนมากมักจะเผื่อสำหรับอนาคตไกล ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำสำหรับโหลดในปัจจุบัน น่าจะเปลี่ยนการเผื่อพื้นที่ติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำเพิ่ม และติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำขนาดเล็กไปก่อน จะเหมาะสมกว่า
- ไม่ควรเลือกใช้ปั๊มโดยเผื่อขนาดใบพัดให้เล็กกว่าขนาดเต็มที่ของตัวเครื่องฉุดปั๊มน้ำ เพราะจะทำให้ทำงานที่ประสิทธิภาพต่ำ

- เลือกเครื่องปั๊มน้ำซึ่งมีจุดทำงานอยู่ในช่วงประสิทธิภาพสูงสุด โดยใกล้เคียงกับจุดใช้งานให้มากที่สุด
- ควรคำนวณความเสียดทานของระบบท่อ โดยละเอียด ซึ่งจะได้ค่า TDH ที่ถูกต้อง
- เลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงในปั๊มน้ำแทนการใช้มอเตอร์แบบมาตรฐานทั่วไป
- การใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VSD Control) ในปั๊มน้ำแทนการปิดวาล์วหรือแทนการ Bypass จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า เนื่องจากผลการประหยัดพลังงานในปั๊มจะแปรผันตรงกับความเร็วรอบกำลังสาม
- การติดตั้งระบบควบคุม PLG หรือเครื่องตั้งเวลาเพื่อควบคุมการทำงานและหยุดการใช้งานของปั๊มน้ำที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลาค่าความต้องการสูงสุด (On Peak)
- การติดตั้งระบบถังเก็บน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำในช่วงเวลา On Peak เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานของปั๊มน้ำ
- การจัดรายการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องปั๊มน้ำอย่างสม่ำเสมอ เพราะการซ่อมบำรุงจะสามารถรักษาประสิทธิภาพของปั๊มน้ำให้สูงอยู่เสมอ และยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของปั๊มน้ำให้ยาวนานขึ้น

บทที่ 5
การตรวจวัดและการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมกระดาษ

การตรวจวัดและเก็บข้อมูลด้านพลังงานมีความสำคัญอย่างมากต่อการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบและบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ และติดตามผลมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการ เนื่องจากในการผลิตกระดาษจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจำนวนมากเพื่อควบคุมภาพ เพื่อดูค่าประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ และข้อมูลด้านพลังงาน ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงเฉพาะการตรวจวัดเก็บข้อมูลด้านพลังงานครอบคลุม เครื่องมือวัดด้านพลังงานที่สำคัญ ข้อมูลที่ตรวจวัด และการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

5.1 เครื่องมือวัดทางด้านพลังงาน

เครื่องมือที่สำคัญในการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน ได้แก่

1. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
2. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า
3. เครื่องวัดความส่องสว่าง
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
5. เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์
6. เครื่องมือวัดความเร็วลม
7. เครื่องมือวัดอัตราการไหล
8. เครื่องมือวัดความดัน
9. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ
10. เครื่องมือวัดการเผาไหม้

1. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า กระแสอาจจะเป็นกระแสตรงหรือกระแสสลับ เครื่องวัดกระแสที่ใช้กับงานตรวจสอบการใช้พลังงานควรจะเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ และออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้ง่ายและถอดง่ายโดยวัดแบบเฟสเดียว

รูปที่ 5.1 เครื่องวัดกระแส(Ammeter)

2. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและสำคัญมาก เพราะเป็นเครื่องมือที่วัดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนวิธีอื่นต้องมีการวัดค่ากระแส แรงเคลื่อนและนำมาคำนวณ ในกรณีที่เป็นกระแสสลับ 3 เฟส การวัดวิธีนี้ทำให้การคำนวณการใช้ไฟฟ้าง่ายขึ้น

รูปที่ 5.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

3. เครื่องวัดความส่องสว่าง

เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง เป็นเครื่องมือวัดการส่องสว่างของแสง มีหน่วยเป็นแรงเทียน หรือลักซ์ การวัดอาศัยเซลล์ที่ไวต่อแสง ปกติแล้วเครื่องมือแบบนี้จะเคลื่อนย้ายหรือพกติดตัวได้ เหมาะกับการใช้วัดความสว่างได้ตามจุดต่าง ๆ

ระดับของแสงที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการใช้พลังงาน จะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 1,000 แรงเทียน ซึ่งในระดับนี้เครื่องมือมีขายทั่วไป

รูปที่ 5.3 เครื่องมือวัดระดับแสงสว่าง (Lux meter)

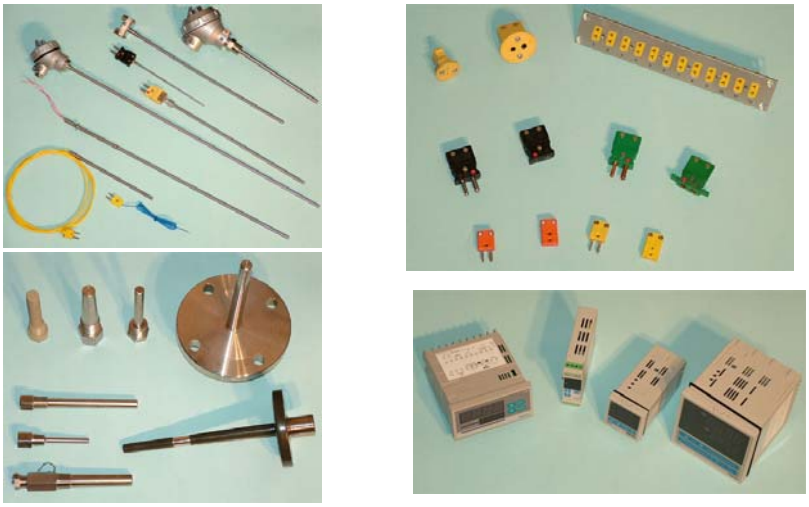
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิในปัจจุบันมีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละแบบก็มีความแตกต่างในเรื่องของสภาวะแวดล้อมในการตรวจวัด และการประยุกต์ใช้งาน เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ทั่วไปได้แก่

4.1 เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานทั่วไปสำหรับการตรวจวัดที่ติดตั้งแบบถาวร และบริเวณที่จำกัด เทอร์โมคัปเปิ้ลมีการใช้อย่างแพร่หลาย ราคาถูก มีความคงทน ติดตั้งง่าย และให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว สามารถใช้วัดอากาศ ก๊าซ และน้ำได้ แม้ว่าจะต้องมีการปรับแต่งค่าสำหรับการตรวจวัดในสภาพแวดล้อมต่างๆ ก็ตาม ข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ลคือ อาจเกิดความผิดพลาดของค่าที่ตรวจวัดได้ สำหรับการใช้งานบางอย่าง ซึ่งต้องการความถูกต้องแม่นยำอาจจำเป็นต้องใช้โคลด์จังชั่น (Cold Junction)

มีเทอร์โมคัปเปิ้ลหลายชนิดในท้องตลาด เทอร์โมมิเตอร์แบบพกพา ซึ่งโดยปกติจะอยู่ในเปลือกหุ้มที่เป็นเซรามิคจะเรียกว่า เทอร์โมโพรบ (Thermoprobe)

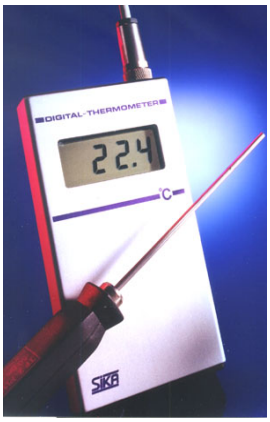


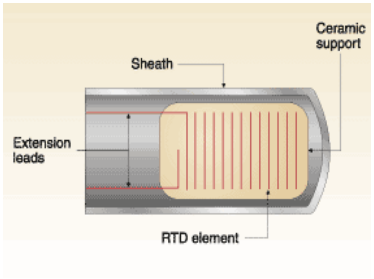
รูปที่ 5.4 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบงเทอร์โมคัปเปิล

4.2 เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน (Resistance Thermometers - RTDS)

อาร์ทีดี ทำด้วยโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0 ^{o}C โดยลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และมีสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นพวกเซรามิก หรือแก้วขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความสั่นสะเทือนได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อขดลวดรับความร้อนจะขยายตัว และเมื่อเย็นลงจะหดตัว แกนที่ที่ใช้พันต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด

หลักการของ อาร์ทีดี ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แล้วนำหลักการดังกล่าวมาวัดอุณหภูมิ ข้อได้เปรียบของการใช้ RTD คือ มีความเป็นเชิงเส้นตลอดพิสัยการใช้งานดี มีพิสัยของอุณหภูมิใช้งานกว้าง มีเสถียรภาพที่ดีที่อุณหภูมิสูง มีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือมีราคาแพง

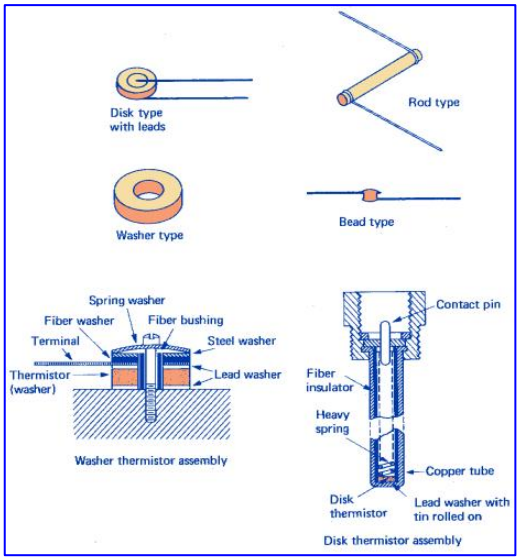




รูปที่ 5.5 โพรบวัดอุณหภูมิแบบ RTD

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเหมือนอาร์ทีดี แต่เทอร์มิสเตอร์ใช้คาร์บอน และสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) พวกออกไซค์ของโลหะ เช่น นิเกิล เหล็ก ทองแดง แมงกานิส เป็นต้นโดยปกติทำจาก ออกไซค์ของแมงกานีสกับทองแดง และออกไซค์ของนิเกิลกับทองแดง ที่ให้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง



รูปที่ 5.6 รูปแบบของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป

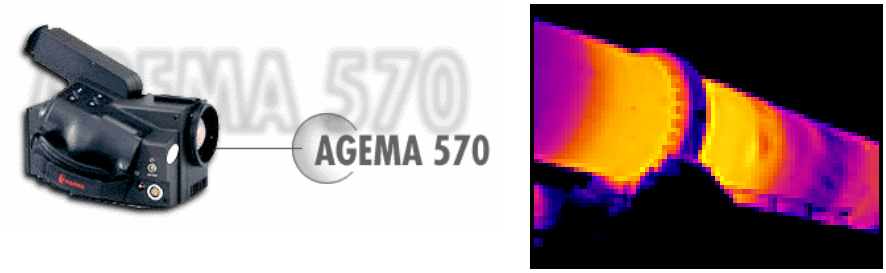
4.4 เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี (Radiation Pyrometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีจะเหมาะสำหรับใช้งานที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิสูง (500-1600 องศาเซลเซียส) ปัจจุบันได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากสามารถใช้วัดวัสดุที่อุณหภูมิสูงมากได้โดยตรง และให้ค่าที่แม่นยำรวดเร็ว ลักษณะของเครื่องมือที่สามารถพกพาได้ ทำให้เหมาะกับการนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ข้อเสียของเครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีก็คือมีราคาแพง และความแม่นยำอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากสภาวะของพื้นผิวที่ทำการตรวจวัด อุปกรณ์รุ่นใหม่ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการตรวจวัดค่าการเปล่งรังสีออกจากพื้นผิว

รูปที่ 5.7 เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี

4.5 กล้องอินฟาเรดตรวจจับอุณหภูมิ (Infra Red Camera)

วัตถุทั้งหมดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ จะมีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา โดยความยาวคลื่นจะสั้นลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งกล้องอินฟาเรดใช้หลักการนี้ในการวัดความแตกต่างอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง โดยการเปลี่ยนความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้เป็นรูปสี หรือขาวดำ กล้องอินฟราเรดมีการใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นโรงงาน อุตสาหกรรม อาคาร กิจกรรมของตำรวจ และทหาร สำหรับงานด้านพลังงาน โดยทั่วไปจะใช้กล้องอินฟราเรดเพื่อที่จะตรวจวัดคุณสมบัติของฉนวนอาคาร หรือเตาเผา โดยสามารถตรวจวัดจุดร้อน และความแตกต่างอุณหภูมิได้ เนื่องจากราคาที่ค่อนข้างสูง จึงใช้เครื่องมือนี้ในการตรวจวัดวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดโดยบริษัทที่ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น



รูปที่ 5.8 กล้องอินฟาเรดตรวจจับอุณหภูมิ

5. เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์

การตรวจวัดความชื้นมักจะวัดอยู่ในหน่วยของ % ความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นว่ามีค่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไอน้ำสูงสุดที่มีได้ (ปริมาณไอน้ำอิ่มตัว) ที่อุณหภูมินั้น ๆ ตัวอย่างเช่น อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 60% ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C หมายความว่า อากาศขณะนั้นมีปริมาณไอน้ำอยู่ 60% ของปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C

เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์ จะวัดค่าความชื้นโดยใช้หัวเซ็นเซอร์แบบตัวเก็บประจุ (Capacitive Sensor) ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศที่วัด หรือเป็นหัวเซ็นเซอร์ที่ทำด้วยซิลิคอน ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามความชื้นของอากาศที่วัดค่า สัญญาณไฟฟ้าจากหัวเซ็นเซอร์จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผล เพื่อแสดงค่าความชื้นของอากาศที่ตรวจวัดในปัจจุบัน เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์มีความแม่นยำ ในการตรวจวัดสูง และสะดวกในการพกพาในการนำไปตรวจวัด ณ จุดต่างๆ

รูปที่ 5.9 เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเลคทรอนิกส์

6. เครื่องมือวัดความเร็วลม

มีการนำเครื่องวัดความเร็วของไหลมาใช้แทนเครื่องวัดอัตราการไหลกันมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องวัดอัตราการไหลของท่อขนาดใหญ่จะมีราคาสูงมาก หากสามารถนำเครื่องวัดความเร็วของไหลมาใช้แทนได้จะมีข้อได้เปรียบมาก อย่างไรก็ตาม กรณีที่การกระจายความเร็วของไหลในท่อมีความไม่สม่ำเสมอ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาแล้ว ความเที่ยงตรงในฐานะที่เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลจะไม่ค่อยดีนัก
วิธีใช้เครื่องวัดความเร็วของไหลในการวัดอัตราการไหลแบ่งเป็น 2 วิธี

(ก) เลือกตำแหน่งที่การกระจายความเร็วภายในท่อไม่มีความปั่นป่วน ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วของไหล ณ ตำแหน่งที่สามารถวัดได้ความเร็วของไหลเฉลี่ย นำผลลัพธ์ที่ได้มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อจะได้อัตราการไหล อนึ่ง ตำแหน่งที่จะวัดได้ความเร็วของไหลเฉลี่ย โดยประมาณจะอยู่ห่างจากผนังท่อออกมาเป็นระยะ 12% ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

(ข) วัดความเร็วของไหลหลายๆ จุดบนพื้นที่หน้าตัดท่อซึ่งกำหนดตำแหน่งไว้ก่อนแล้ว นำมาหาความเร็วของไหลเฉลี่ยภายหลัง หรือติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร็วของไหลหลายๆ ตัวพร้อมกัน แล้วนำมาคำนวณหาความเร็วของไหลเฉลี่ย เครื่องวัดบางรุ่นเพียง 1 เครื่องก็มีหน้าที่การทำงานเหมือนกับมีเซ็นเซอร์ความเร็วของไหลจำนวนหลายตัว

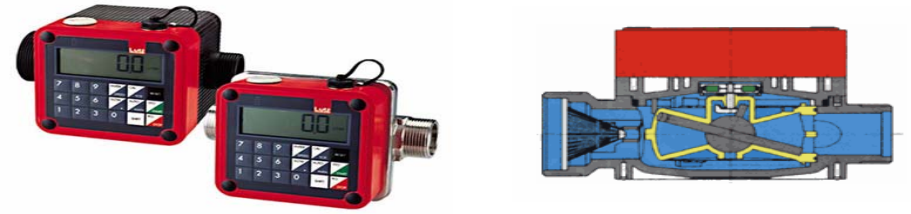
รูปที่ 5.10 เครื่องมือวัดความเร็วลม

7. เครื่องมือวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลมีความสำคัญในการประเมินปริมาณพลังงานโดยการวัดการไหลจะมี 2 แบบ คือ วัดปริมาณการไหล มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3) และวัดอัตราการไหล คือ ปริมาณการไหลต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/h) ตัวอย่างปริมาณการไหล และ อัตราการไหลที่ต้องทำการวัดคือ น้ำ น้ำมัน คอนเดนเสท แก๊ส อากาศ ไอน้ำ และ อื่น ๆ

7.1 การวัดอัตราการไหลแบบ Positive Displacement

มาตรวัดการไหลของของไหลแบบแทนที่ทางปริมาตร “โพลิทีฟดิสเพลสเมนต์” เป็นมิเตอร์ที่นิยมมากที่สุด โดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมที่แปรผันโดยตรงกับปริมาตรของการไหลในท่อมิเตอร์ แบบนี้มักใช้กับการตรวจวัดของไหล เช่น น้ำ น้ำมันเชื้อเพลิง และแอลกอฮอล์ มิเตอร์สามารถต่อเข้ากับท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-80 มิลลิเมตร และสามารถวัดอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 80 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อชั่วโมงจนถึง 24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

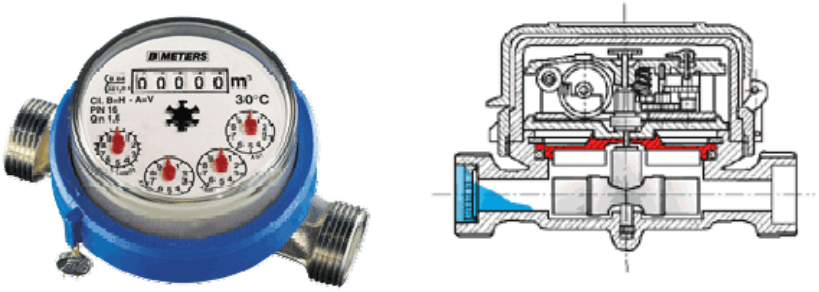


รูปที่ 5.11 มิเตอร์วัดน้ำมันแบบโพสิทีฟดิสเพลสเมนต์

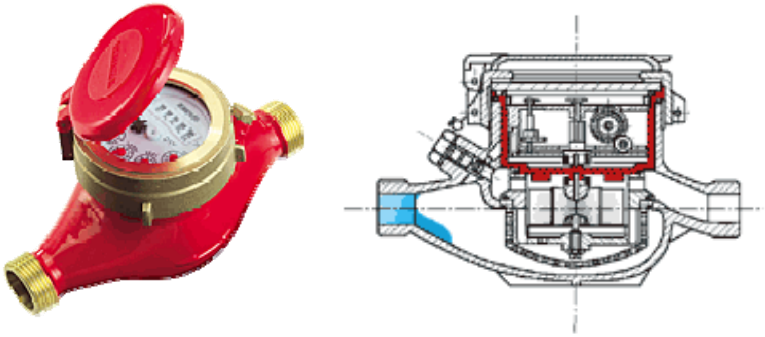
7.2 มาตรวัดปริมาณการไหลแบบใบพัด (Turbine Meter) แบบ single Jet และ Multi Jet

หลักการทำงานคือใบพัดจะหมุนตามกระแสน้ำ โดยความเร็วของกระแสน้ำจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบการหมุนของใบพัด คือเมื่อน้ำไหลเร็วใบพัดจะไหลเร็ว แล้วจะถ่ายเทการหมุนผ่านกลไก และชุดเฟืองสู่เครื่องบันทึกปริมาตรน้ำ

- มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำช่องเดียว (Single- Jet Meters)
- มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำหลายช่อง (Multi- Jet Meters)
- มาตรวัดน้ำแบบติดตั้งใบพัดแนวนอน



รูปที่ 5.12 มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำช่องเดียว (Single- Jet Meters)



รูปที่ 5.13 มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำหลายช่อง (Multi- Jet Meters)

7.3 การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิค

มีหลักการวัดคืออาศัยคลื่นความถี่เหนือเสียง โดยอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่เมื่อส่งไปกระทบกับอนุภาคของสารที่ปะปนมากับของเหลว เนื่องจากอนุภาคของสารมีความเร็วเท่ากับ Fluid ดังนั้นความเร็วในการสะท้อนกลับจะต่างไปจากค่าที่ส่งออกไป ค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้จะแปรผันตรงกับความเร็วในการไหลของของไหล เราจึงสามารถทราบค่าอัตราการไหลของของไหลได้

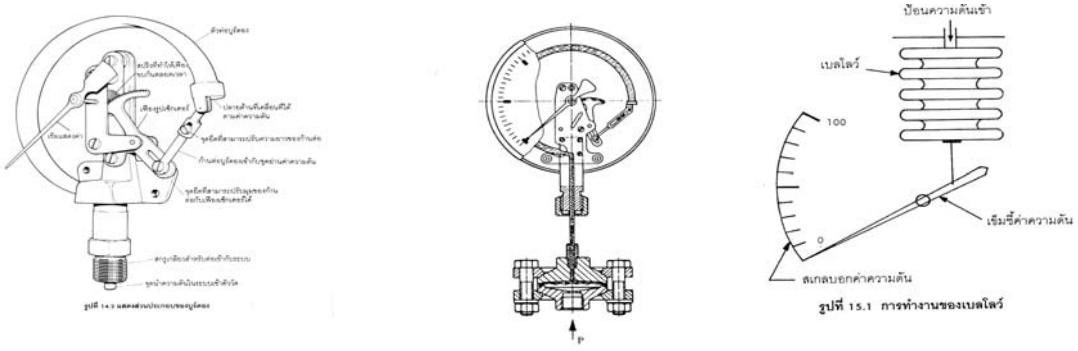
รูปที่ 5.14 การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิค

8. เครื่องมือวัดความดัน

การตรวจวัดความดันเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับโรงงานซึ่งมีการใช้ระบบอากาศอัดแบบวงแหวน หรือมีระบบการส่งจ่ายไอน้ำจากส่วนกลางระบบดังกล่าวจะมีการสูญเสียความดันเกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากผู้ใช้ปลายทาง หรือการรั่วไหล การตรวจวัดความดันของระบบดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงการรั่วไหล การใช้งานที่ไม่ถูกต้อง หรือการกำหนดตารางเวลาใช้งานที่ไม่เหมาะสมของไอน้ำหรืออากาศอัด ดังนั้น การใช้อุปกรณ์วัดความดันจะช่วยให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ และทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพขึ้น

8.1 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

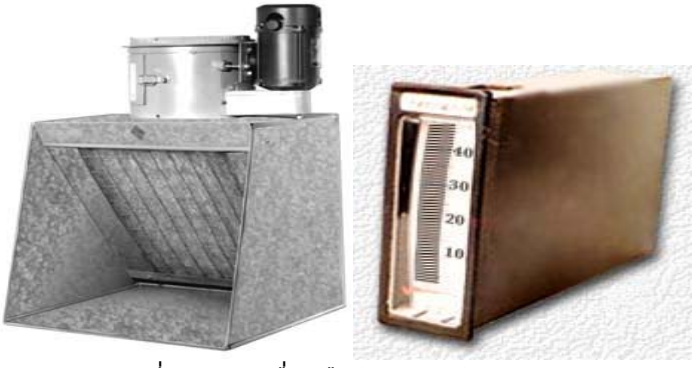
เกจวัดความดันนิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เพราะเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ถึงย่านสูง ๆ ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ แบบบูร์ดอง แบบเบลโลว์ และแบบไดอะแฟรม



รูปที่ 5.15 เกจวัดความดันแบบต่าง ๆ

8.2 เครื่องมือวัดความดันก๊าซ (Draft Gauge)

เครื่องมือวัดชนิดนี้เป็นการวัดความดันของก๊าซในเตา หน่วยที่ใช้อาจจะเป็นความดัน หรือความสูงของน้ำ การตั้ง Draft ให้เหมาะสมทำให้หัวเผาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขนาดของ draft แสดงถึงอัตราการรั่วไหลของก๊าซจากการเผาไหม้ที่ออกจากเตา และเป็นการควบคุมปริมาณการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้อีกด้วย



รูปที่ 5.16 เครื่องมือวัดความดันก๊าซ (Draft Gauge)

9. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าโลหะ 2 ขั้วแยกกัน โดยมีระยะห่างคงที่ ซึ่งออกแบบให้ใช้มือถือได้และใช้กับแบตเตอรี่โดยไม่ต้องใช้สายไฟ หลักการของเครื่องมือใช้การชดเชยค่าการนำไฟฟ้าอัตโนมัติโดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ ค่าที่วัดได้ควรอยู่ในช่วง 0-1990 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร(μs/cm) โดยเครื่องมือนี้ควรจะมีการตั้งค่ามาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐาน

ค่าการนำไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นเครื่องมือวัด เพื่อประมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าปริมาณของแข็งละลายอยู่ในน้ำ Total Dissolved Solids (TDS) ดังนี้

$$TDS\ (ppm) = Conductivity\ (\mu s/cm) \times 0.7$$

รูปที่ 5.17 เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

10. เครื่องมือวัดการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ หรือเตาเชื้อเพลิงจะสามารถวัดได้จากการตรวจวัดส่วนประกอบของก๊าซที่ปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ปริมาณ O_2, CO หรือ CO_2 ในก๊าซ และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่อยทิ้ง จะใช้ในการคำนวณการสูญเสียความร้อนทางปล่อง และประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเชื้อเพลิง เครื่องมือวัดการเผาไหม้สมัยใหม่ จะมีโพรบการตรวจวัดที่วัดตัวแปรทั้งหมด และสามารถให้ผู้ใช้ป้อนคุณสมบัติของเชื้อเพลิงได้ ซึ่งเครื่องจะให้ผลการตรวจวัดของก๊าซ และผลการคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ออกมาโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 5.18 เครื่องมือวัดการเผาไหม้

5.2 ข้อมูลที่ตรวจวัด

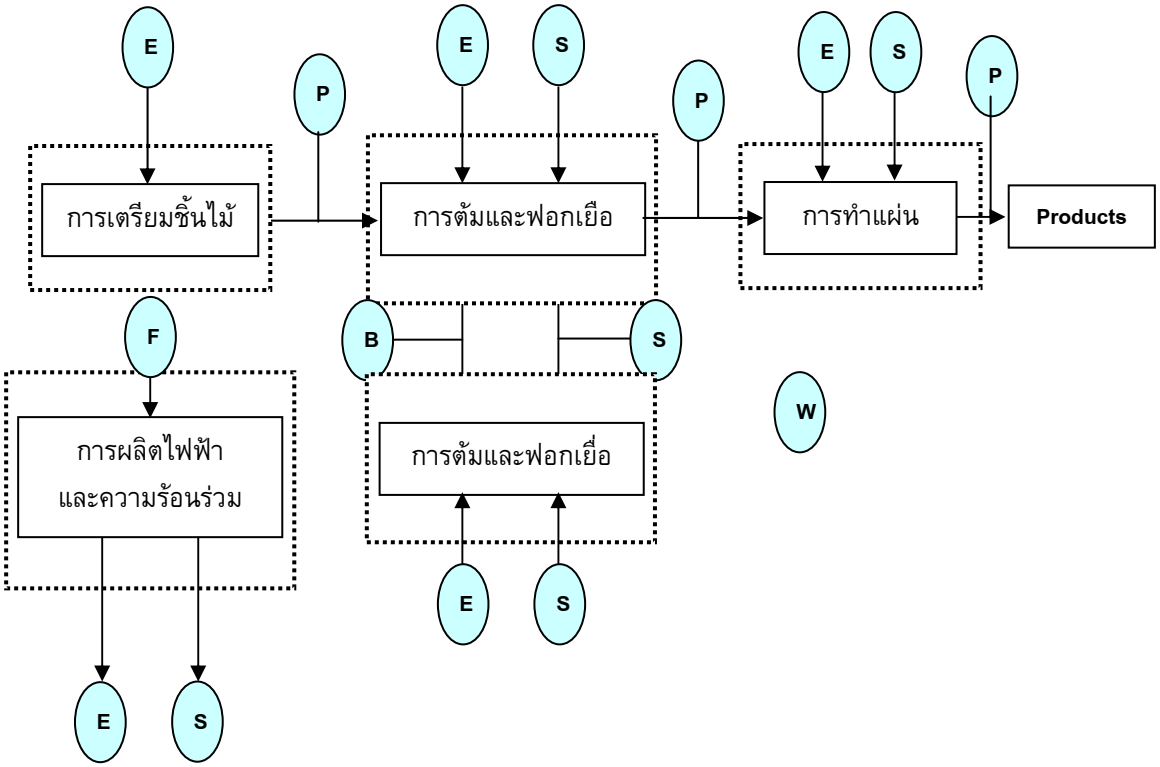
ข้อมูลที่ตรวจวัดด้านพลังงานพิจารณาได้เป็น 2 ระดับ คือ

- ข้อมูลระดับโรงงานและระดับกระบวนการผลิต
  เพื่อติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาพรวม ได้แก่ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และไอน้ำ ระดับกระบวนการผลิต และข้อมูลปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน เป็นต้น
- ข้อมูลระดับอุปกรณ์
  เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานพลังงานของอุปกรณ์หลักเป็นรายวัน เช่น ปริมาณก๊าซออกซิเจนในเสีย อุณหภูมิผิวฉนวน เป็นต้น

ข้อมูลระดับโรงงานและกระบวนการผลิต ควรจะติดตั้งเครื่องวัดเพื่อบันทึกค่าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้พลังงานมากที่สุด จำเป็นต้องควบคุมอย่างใกล้ชิดซึ่งสามารถแบ่งได้ตามประเภทอุตสาหกรรมดังนี้

1. โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ประกอบด้วยกระบวนการทำแผ่นเยื่อแห้ง กระบวนการผลิตที่สำคัญ ได้แก่ การเตรียมและลอกเปลือกชิ้นไม้ การต้มและฟอกเยื่อ การนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ข้อมูลที่เก็บ ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้ไอน้ำ การผลิตไฟฟ้า การผลิตไอน้ำ การใช้น้ำของแต่ละขั้นตอน แสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

หมายเหตุ

E หมายถึง มิเตอร์วัดไฟฟ้าที่จ่ายหรือรับ

S หมายถึง มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำที่จ่ายหรือรับ

B หมายถึง มิเตอร์วัดอัตราการไหลของ Black Liquor

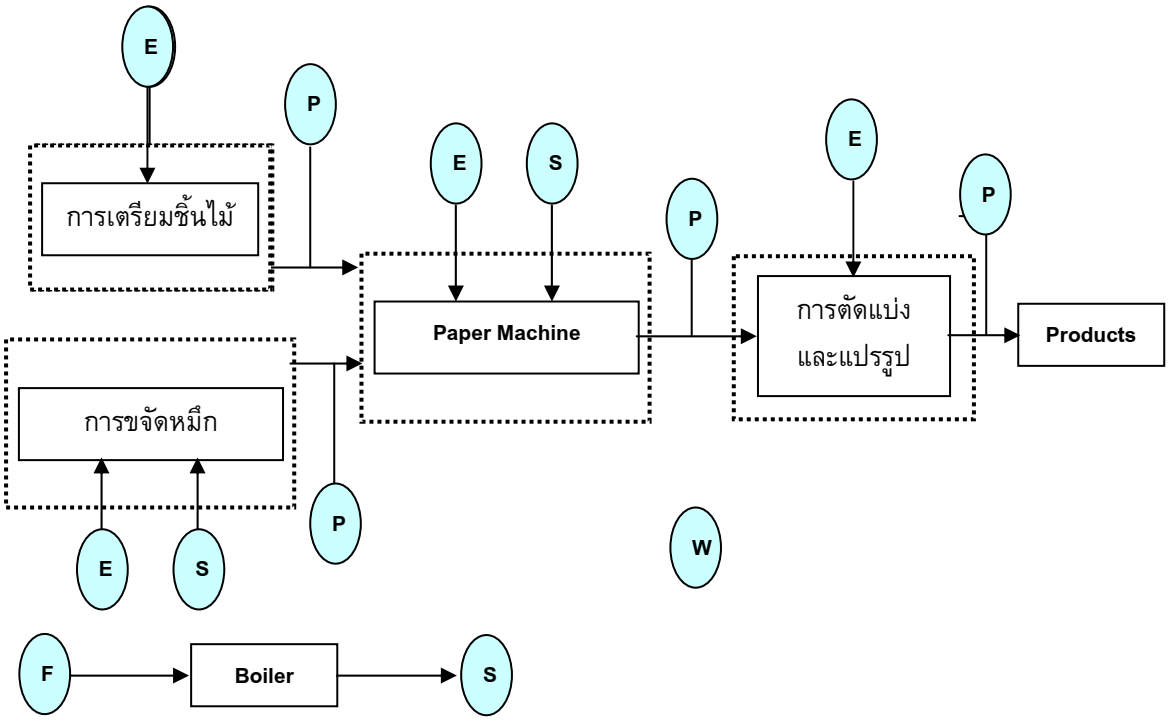
F หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

W หมายถึง มิเตอร์วัดปริมาณน้ำใช้

P หมายถึง ปริมาณผลผลิต

2. โรงงานผลิตกระดาษ

ในการผลิตกระดาษมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมเยื่อ การผลิตกระดาษ การตัดและแปรรูป และในบางโรงงานเพิ่มขั้นตอนของการขจัดหมึกเข้ามาด้วย



รูปที่ 5.20 แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงานผลิตกระดาษ

หมายเหตุ

E หมายถึง มิเตอร์วัดไฟฟ้าที่จ่ายหรือรับ

S หมายถึง มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำที่จ่ายหรือรับ

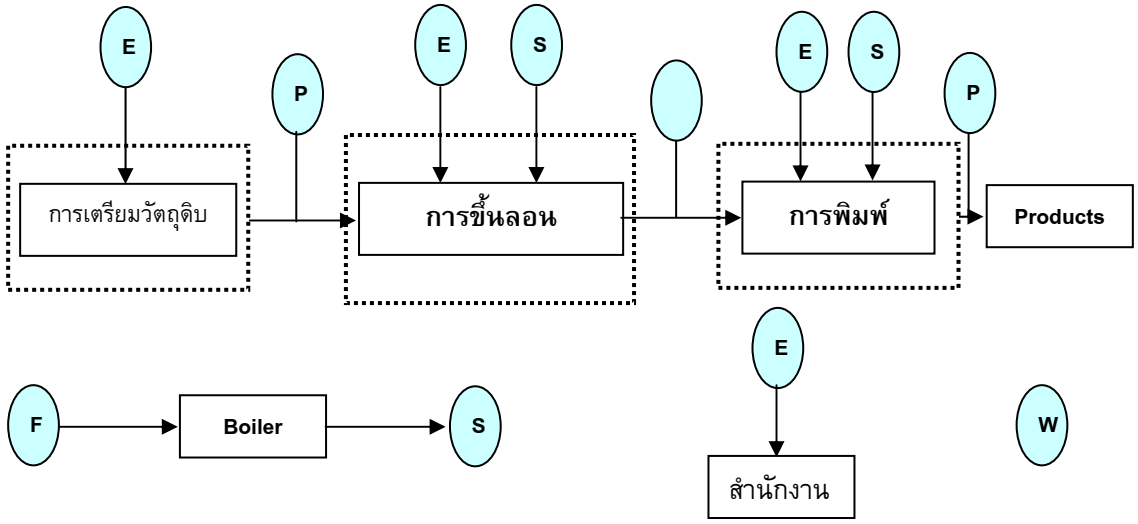
F หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

W หมายถึง มิเตอร์วัดปริมาณน้ำใช้

P หมายถึง ปริมาณผลผลิต

3. โรงงานผลิตกล่องลูกฟูก

การผลิตกล่องกระดาษ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ส่วน ได้แก่ การเตรียมเยื่อ การขึ้นลอน การพิมพ์ การขึ้นรูปกล่อง และส่วนของสำนักงาน



รูปที่ 5.21 แสดงจุดตรวจวัดการใช้พลังงานในภาพรวมของโรงงานผลิตกล่องกระดาษ

<u>หมายเหตุ</u>

E หมายถึง มิเตอร์วัดไฟฟ้าที่จ่ายหรือรับ

S หมายถึง มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำที่จ่ายหรือรับ

F หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

W หมายถึง มิเตอร์วัดปริมาณน้ำใช้

P หมายถึง ปริมาณผลผลิต

5.3 ค่าที่ตรวจวัด และการนำไปใช้ของอุปกรณ์ต่าง ๆ

ข้อมูลสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่จำเป็นต้องตรวจสอบอยู่เสมอ สรุปได้ดังนี้

จุดที่ตรวจสอบ	วิธีการเก็บข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
<u>1.การใช้พลังงานรวมทั้งโรงงาน</u>		
1.1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	- อ่านจากเครื่องวัดการไฟฟ้าหรือใบเสร็จค่าไฟฟ้า	- เพื่อประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า และความร้อน ซึ่งอาจจะเป็นรานเดือน หรือรายวัน
1.2 ปริมาณเชื้อเพลิง	- อ่านจากมิเตอร์เชื้อเพลิง	
1.3 ปริมาณผลผลิต	- บันทึกข้อมูลผลิต	
1.4ปริมาณวัตถุดิบเข้าผลิต	- บันทึกข้อมูลผลิต	- เพื่อให้ทราบว่ามีการสูญเสียระหว่างผลิตในอัตราเท่าใด

จุดที่ตรวจสอบ	วิธีการเก็บข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
1.5 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด	- อ่านจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า	- เพื่อติดตามค่าความต้องพลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือนว่าอยู่ในเกณฑ์หรือไม่
1.6 ปริมาณการใช้น้ำต่อวัน	- อ่านจากมิเตอร์	- เพื่อหาปริมาณน้ำต่อตัน
<u>2.หม้อไอน้ำและระบบใช้ไอน้ำ</u>		
2.1 อัตราการป้อนน้ำแก้หม้อไอน้ำแต่ละชุด(กิโลกรัม/ชม.)	- จากมิเตอร์น้ำ	- เพื่อประเมินสมรรถนะอัตราการผลิตไอน้ำ/เชื้อเพลิง
2.2 อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (ลิตร/ชม.)	- จากมิเตอร์น้ำมัน	- เพื่อประเมินสมรรถนะอัตราการผลิตไอน้ำ/เชื้อเพลิง
2.3 ตรวจสอบว่าท่อไอน้ำ วาล์ว หน้าแปลนและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ มีการหุ้มฉนวนหรือไม่	- สังเกต/สำรวจ	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสีย
2.4 ตรวจสอบจุดที่ไม่ใช้งานมีวาล์วปิดหรือไม่ หรือมีไอน้ำขังอยู่	- สังเกต/สำรวจ	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสีย
2.5 ตรวจสอบว่ามีการติดตั้งกับดักไอน้ำที่ท่อส่งไอน้ำ ท่อน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำถูกต้องหรือไม่	- สังเกต/สำรวจ	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสีย
2.6 ตรวจสอบการทำงานของกับดักไอน้ำ	- สังเกต/สำรวจ	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสีย
2.7 ตรวจสอบว่ามีน้ำร้อนหรือไอน้ำเหลือปล่อยทิ้งหรือไม่	- สำรวจ	- เพื่อประเมินศักยภาพ
2.8 ตรวจสอบว่ามีการนำคอนเดนเซสกลับมาใช้หรือไม่	- ตรวจสอบ	- เพื่อประเมินศักยภาพ
2.9 ตรวจสอบอัตราการระบายน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ปกติ	- ตรวจสอบ	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสียจากน้ำระบาย
2.10 ตรวจสอบอุณหภูมิก๊าซไอเสีย	- เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	- เพื่อตรวจสอบความสูญเสียจากอากาศส่วนเกิน
2.11 ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนหรือคาร์บอนไดออกในก๊าซ	- เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	
<u>3.หอผึ่งน้ำเย็น</u>		

จุดที่ตรวจสอบ	วิธีการเก็บข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
3.1 อุณหภูมิในถาด	- ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ	- เพื่อดูว่าหอผึ่งน้ำเย็นชุดใดประสิทธิภาพสูงกว่า
3.2 อุณหภูมิและความชื้นอากาศเข้าหอผึ่งน้ำ	- ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น อากาศ	- เพื่อประเมินอุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำในถาดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งควรต่างกันไม่เกิน 3 $^{\circ}$ C
3.3 การกระจายของน้ำ	- สังเกต	- เพื่อตรวจสอบการลัดวงจรของอากาศ - เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ทำงานปกติกระจายน้ำได้สม่ำเสมอ
3.4 ความเร็วรอบของสปริงเกอร์	- นับและจับเวลา	- เพื่อตรวจสอบว่าอัตราการจ่ายน้ำสูงเกินไปหรือไม่ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้
<u>4.ระบบอัดอากาศ</u>		
4.1 การทดสอบหาลมรั่ว	- อัดลมเข้าถัง ขณะหยุดการใช้ลม	- เพื่อประเมินการสูญเสียจากลมรั่ว
4.2 ความดันที่ตั้งและต้องการใช้งาน	- สังเกตและอ่านค่า	- เพื่อตรวจสอบการตั้งความดันว่าเหมาะสมหรือไม่
4.3 อัตราส่วนการรับภาระ (Load) และไร้ภาระ(Unload)	-สังเกตและจับเวลา	- เพื่อนำไปบริหารการใช้ให้เหมาะสม
4.4 พลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศแต่ละชุด ขณะรับภาระและไร้ภาระ	- ใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า	-เพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองไฟฟ้าของแต่ละเครื่องและบริหารการใช้งานให้เหมาะสม(kW/ลิตร/วินาที)
4.5 อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดและอุณหภูมิแวดล้อม	- วัดอุณหภูมิ	- เพื่อตรวจสอบว่าระบายอากาศทำได้ดีไม่นำอากาศร้อนเข้าเครื่องอัด
<u>5. เครื่องปรับอากาศ</u>		
5.1 การปรับตั้งอุณหภูมิในแต่ละบริเวณเหมาะสมหรือไม่	- สังเกต/สอบถาม	- เพื่อตรวจสอบว่าการใช้งานและการบำรุงรักษาเหมาะสมหรือไม่
5.2 มีการทำความสะอาดแผง	- สังเกต/สอบถาม	

จุดที่ตรวจสอบ	วิธีการเก็บข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
5.3 มีการใช้ในช่วงเที่ยงเลิกงานหรือไม่	- สังเกต/สอบถาม	
<u>6.ไฟฟ้าแสงสว่าง</u> 6.1 มีการเปิดไฟฟ้าแสงสว่างทิ้งไว้หรือไม่ในบริเวณที่ใช้หรือมีแสงธรรมชาติหรือช่วงพัก 6.2 มีการติดตั้งหลอดไฟฟ้ามากเกินความจำเป็นหรือไม่	- สังเกต	- เพื่อตรวจสอบว่าการใช้งานและการบำรุงรักษาเหมาะสมหรือไม่