บทที่ 3 กระบวนการผลิตของโรงงาน

เริ่มต้นกระบวนการผลิตโดยการนำไม้ยูคาลิปตัสขนาด 2-6 เมตรมาปอกเปลือก ซึ่งเปลือกที่ได้จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้า (Power Boiler) ส่วนไม้ยูคาลิปตัสที่ปอกเปลือกแล้วจะส่งต่อไปตัดให้มีขนาดเล็กลงให้ได้เป็นชิ้นไม้สับ (Chip) จากนั้นจะส่งไปยังขั้นตอนการต้มเยื่อ (Cooking) ทำให้ได้ผลผลิต 2 ส่วน คือ เยื่อและ Black Liquor (น้ำมันยางดำ) ที่มี %Dry Solid ประมาณ15 – 17 % โดยเยื่อจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการฟอกเยื่อ (Brown Stock) ด้วย O_2 (O_2 - delignification) แล้วส่งต่อไปยังขั้นตอน Bleaching เพื่อนำไปฟอกเยื่อด้วยสารเคมี (H_2O_2/ClO_2 และ NaOH/O_2) จะได้เยื่อที่ฟอกขาวแล้วป้อนให้กับโรงงานกระดาษต่อไป

3.1 กระบวนการผลิตเยื่อ

กระบวนการผลิตเยื่อที่ใช้ในการผลิตคือ กระบวนการทางเคมี (Chemical Pulping Process) เป็นการแยกเส้นใยออกจากกันด้วยวิธีทางเคมี กระบวนการทางเคมีเป็นกรรมวิธีการผลิตเยื่อที่ใช้สารเคมีละลายสารในเนื้อไม้ที่เป็นตัวยึดให้เส้นใยกับเส้นใยที่จับตัวกันไว้ออกมา วิธีการนี้เป็นวิธีการนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมีความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ (Digester) โดยใช้อุณหภูมิและความดันช่วยลิกนินในเนื้อไม้จะละลายในน้ำยาต้มเยื่อและถูกแยกออก % ผลผลิต (Yield) ที่ได้ค่อนข้างต่ำประมาณ ร้อยละ 45-55 ต้นทุนการผลิตสูง เส้นใยที่ได้คุณภาพดี แข็งแรง ใช้งานได้หลายอย่าง เยื่อจากกระบวนการนี้จะมีปริมาณเซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่นๆ ปนอยู่น้อยมาก มีความเหนียวสูง ใช้ผลิตกระดาษที่มีคุณภาพดี การผลิตเยื่อเคมีจึงมีการนำไปใช้งานมากที่สุด เยื่อที่ต้มและมีความสะอาดแล้วมีสีน้ำตาล เรียกว่า เยื่อสีน้ำตาล (Brown stock) ใช้ผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ได้ ถ้านำเยื่อสีน้ำตาลที่ได้มาฟอกด้วยสารเคมีฟอกเยื่อจนมีสีขาวสามารถนำมาผลิตกระดาษพิมพ์เขียนได้ กระบวนการนี้แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. กระบวนการโซดา (Soda Process) เป็นกระบวนการที่ใช้โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นน้ำยาต้มเยื่อ เยื่อที่ได้มีสีคล้ำ ความแข็งแรงต่ำ ข้อดีของกระบวนการนี้คือไม่มีกลิ่น ส่วนใหญ่ใช้ทำ กระดาษพิมพ์เขียน นอกจากนั้นการผลิตกระดาษชนิดพิเศษ เช่นกระดาษสาก็จะใช้โซดาไฟในการต้มเยื่อเช่นกัน

2. กระบวนการซัลไฟต์ (Sulphite Process) น้ำยาต้มเยื่อที่ใช้มีฤทธิ์เป็นกรด โดยใช้กรดกำมะถัน (Sulfulic Acid, H_2SO_2) และสารประกอบไบซัลไฟต์ เยื่อที่ได้มีสมบัติเป็นกรด เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ ใช้ได้กับไม้บางชนิดเท่านั้น ข้อดีคือราคาถูก

3. กระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์ (Sulphate or Kraft Process) ใช้สารเคมีในการต้มเยื่อที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เรียกว่า White Liquor ประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ ($NaOH+Na_2S$) เป็นกระบวนการได้รับความนิยมมากที่สุด อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อประมาณ 150-170 ^{o}C กระบวนการต้มเยื่อมีจุดประสงค์ เพื่อละลายลิกนินออกมาจากเส้นใยแต่ถ้าลิกนินละลายออกมามาก % ผลผลิต (Yield) ที่ได้ยิ่งต่ำ เพราะไม่ใช่ลิกนินเท่านั้นที่ถูกแยกออกมาด้วย ถ้าต้มเยื่อนานเกินไป % ผลผลิต (Yield) จะลดลงอย่างรวดเร็ว ความแข็งแรงเยื่อก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบระดับของการต้มเยื่อ โดยการตรวจวัดปริมาณสารเคมีที่ทำ ปฏิกิริยากับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ แต่ในการผลิตจะมีสารจำพวก Total Reduced Sulfur เป็นสารประกอบระหว่าง ซัลเฟอร์และสารอินทรีย์ในเนื้อไม้เป็นกลิ่นเฉพาะตัวจึงมีปัญหาเรื่อกลิ่นมาก

3.1.1 กระบวนการต้มเยื่อ

กระบวนการซัลเฟตหรือคราฟท์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเยื่อในโรงงานที่ทำการศึกษา ใช้การต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (Continuous digester) มีกรรมวิธีดังนี้ ชิ้นไม้สับและน้ำยาต้มเยื่อจะถูกผสมกันแล้วส่งเข้าด้านบนของหม้อต้มเยื่อ หม้อต้มเยื่อมีลักษณะเป็นท่อในแนวตั้ง ภายในมีความดัน ขณะที่ชิ้นไม้ (Chip) ไหลลงในถังจะมีการให้ความร้อนด้วย เยื่อที่ผ่านการต้มและล้างแล้วจะถูกส่งออกมาทางด้านล่างของหม้อต้มเยื่อ หม้อต้มเยื่อแบบนี้จำนวน 1 ถัง จะมีความสามารถในการผลิตเทียบเท่ากับการต้มเยื่อในหม้อต้มเยื่อแบบทีละถัง (Batch digester) หลายๆ ครั้ง

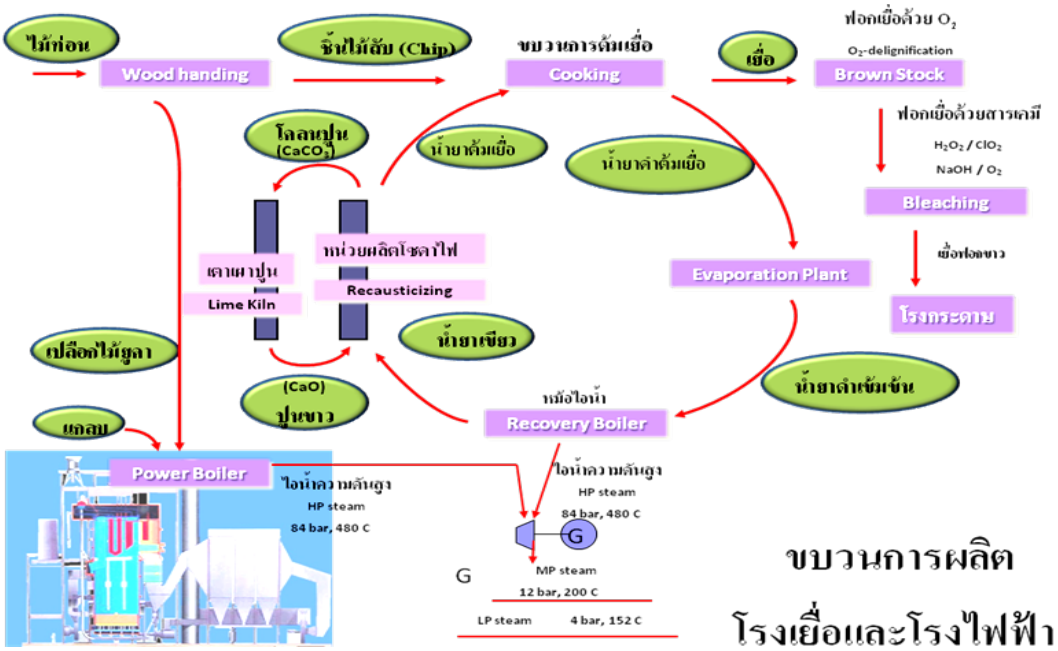
กระบวนการต้มเยื่อแบบทีละถังและแบบต่อเนื่องจะไม่มีความแตกต่างกันในด้านประเด็นทางสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มเยื่อประมาณ 155-180 ^{o}C และใช้ระยะเวลาในการต้มเยื่อประมาณ 2-3 ชั่วโมง กระบวนการต้มเยื่อมีจุดประสงค์ เพื่อละลายลิกนินออกมาจากเส้นใยแต่ถ้าลิกนินละลายออกมามาก % ผลผลิต (Yield) ที่ได้ยิ่งต่ำ เพราะไม่ใช่ลิกนินเท่านั้นที่ถูกแยกออกมาด้วย ถ้าต้มเยื่อนานเกินไป % ผลผลิต (Yield) จะลดลงอย่างรวดเร็ว ความแข็งแรงเยื่อก็จะลดลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบระดับของการต้มเยื่อ โดยการตรวจวัดปริมาณสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ ซึ่งเรียกว่าค่า Kappa number ค่า Kappa Number นี้มีความสัมพันธ์กับ % ลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ และหากค่า Kappa Number จากการต้มเยื่อลดต่ำลง 1 หน่วย จะเท่ากับค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกเยื่อลดลง 2-3 กิโลกรัมต่อตันเยื่อ โดยทั่วไปภายหลังจากการต้มเยื่อค่า Kappa Number จะมีค่าประมาณ 12-15 (ในกรณีที่ใช้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ) เยื่อที่ต้มแล้วจะถูกถ่ายออกจากถังต้มอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90 ^{o}C ซึ่งทำ ให้เกิดการระเหยของ Mercaptans ออกจากเยื่อทำให้มีกลิ่น

3.1.2 กระบวนการล้างเยื่อ (Washing)

เยื่อที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อจะเข้าสู่ขั้นตอนการล้างซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ของเหลวจากการต้มเยื่อจะถูกล้างและแยกออกจากเยื่อ ของเหลวนั้นประกอบด้วย สารเคมี ลิกนิน และส่วนประกอบอื่นของเส้นใย ของเหลวที่ได้นี้เรียกว่า Black Liquor (น้ำมันยางดำ) ซึ่งจุดประสงค์ในการล้างเยื่อ คือ ล้าง Black Liquor ออกจากเยื่อ ลดการใช้สารเคมีในขั้นตอนการผลิตถัดไป และนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการต้มเยื่ออีกครั้ง

3.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน

ในการผลิตเยื่อกระดาษโดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้น มีการใช้สารเคมีในปริมาณมากจึงต้องมีหน่วยงานในการนำสารเคมีกลับคืนเนื่องจากถ้าไม่มีการนำสารเคมีกลับมาใช้อีกก็จะทำ ให้เยื่อกระดาษมีราคาแพงมากขึ้นเพราะสารเคมีมีราคาแพง อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วยวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน คือ เพื่อนำสารเคมีจากการต้มเยื่อกลับมาใช้ใหม่ และการนำพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้สารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ ระบบนำสารเคมีกลับคืนประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ หน่วยทำระเหย (Evaporation Plant) หม้อไอน้ำนำสารกลับคืน (Recovery Boiler) และหน่วยทำด่างและเตาเผาปูน (Causticizing Plant & Lime Kiln) วงจรนำสารเคมีกลับคืนดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรนำสารเคมีกลับคืนจากกระบวนการผลิตเยื่อ

3.2.1 หน่วยทำระเหย (Evaporation Plant)

หน่วยทำระเหยมีหน้าที่ระเหยน้ำออกจาก Weak Black Liquor : WBL (น้ำมันยางดำเจือจาง) ให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น หรือที่เรียกว่า Heavy Black Liquor : HBL (น้ำมันยางดำเข้มข้น) ก่อนที่จะส่งไปเป็นเชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน WBL ที่เกิดจากการล้างเยื่อที่ผ่านการต้มแล้ว มีความเข้มข้นประมาณ 15-18%DSให้ได้ใกล้เคียงกับ 80%DS เพื่อให้สามารถเผาในหม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืนได้ ความร้อนที่ใช้ในการระเหย WBL มาจากไอน้ำความดันต่ำประมาณ 2.5-4 bar ซึ่งเป็นไอน้ำที่เหลือจากการปั่นกระแสไฟฟ้า จะถูกส่งเข้าเครื่องทำระเหย (Evaporator)

ในโรงงานที่ทำการศึกษาใช้เครื่องทำระเหยเป็นแบบ falling - film ชนิด lamellas plate ชุดของ lamellas จะติดตั้งอยู่ตรงกลาง separator เพื่อทำให้ effect มีขนาดเล็กลง liquor จะไหลอยู่ด้านนอกของ lamellas plate และฟองของ vapor จะลอยขึ้นด้านบน ไอน้ำที่เกิดจากการควบแน่นจะไหลอยู่ภายใน lamellas plate ของเหลวจะเข้าทางด้านบนและไหลลงมาทางด้านล่าง มีทั้งหมด 5 effect 8 unit เป็น multiple-effect ภายในเครื่องจะมีสภาพเป็นสูญญากาศเพื่อให้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ลดการใช้พลังงานในการระเหยน้ำเมื่อได้ของเหลวดำเข้มข้นที่มี ของแข็งอยู่ประมาณ 80% จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำนำสารกลับคืน

การระเหย (Evaporation) คือปรากฏการณ์ที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยของเหลวได้รับพลังงานความร้อนแฝง (Latent Heat) จากไอน้ำ ซึ่งจะอาศัยหลักการเดือดที่จุดเดือด (Boiling Point) ซึ่งความดันไอของของเหลวจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอกของของเหลว การระเหยเป็นการแยกตัวทำละลายออกจากตัวถูกละลาย ซึ่งความดันไอของตัวทำละลายต้องมีความแตกต่างกันมากกับตัวถูกละลายจึงจะทำการแยกโดยการระเหยได้ ในหน่วยระเหยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อระเหยน้ำออกจาก WBL ให้กลายเป็น HBL เพื่อเป็นเชื้อเพลิงหลักของหม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Boiler)

3.2.2 หม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Boiler)

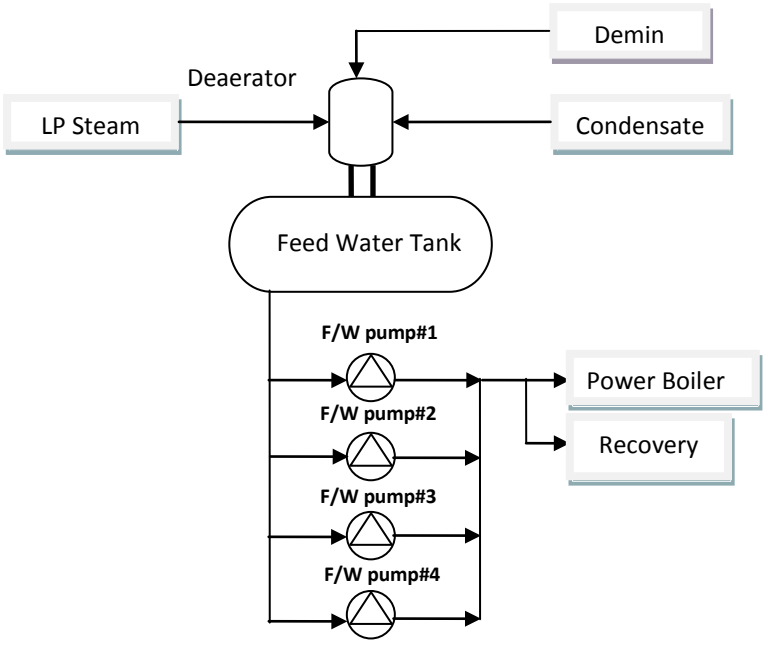
หม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Boiler) ใช้ Black Liquor เป็นเชื้อเพลิงหลักและใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยหม้อไอน้ำของโรงงานที่ศึกษาเป็นแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) ค่าตามที่ออกแบบ รองรับที่ความดันได้สูงสุดที่ 87 bar อัตราการไหลของไอน้ำสูงสุดอยู่ที่ 55 กิโลกรัมต่อวินาที หน้าที่ของหม้อไอน้ำนำสารเคมีกลับคืน คือ การเผา Black Liquor (น้ำมันยางดำ) ที่ส่งมาจากหน่วยทำระเหยเพื่อให้สารเคมีใน Black Liquor เปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่เหมาะสม และทำให้ได้ไอน้ำความดันสูง (HP Steam) ที่ประมาณ 80 บาร์ อุณหภูมิ 450 ^{o}C นำไปขับ Steam Turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อนำไอน้ำความดันสูงไปผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจาก Steam Turbine จะมี

ความดันต่ำลงเป็น MP Steam ที่ประมาณ 12 bar อุณหภูมิ 200 °C และ LP Steam ที่ประมาณ 3.5 - 4 bar อุณหภูมิ 160 °C ตามลำดับ โดยมีกระบวนการทำงานหลักแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

3.2.2.1 กระบวนการทางด้านน้ำและไอน้ำ (Feed water and Steam system) จากน้ำป้อนซึ่งถูกอุ่นโดยไอน้ำให้มีอุณหภูมิประมาณ 115 °C ความดัน 110 bar ถูกส่งเข้าสู่กลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนชุดที่ 1 และ 2 (Economizer I&II) จากนั้นน้ำร้อนจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องควบแน่นอ่อน (Sweet water condenser) เพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนและควบแน่นไอน้ำที่มาจากถังเก็บไอน้ำ (Steam Drum) น้ำควบแน่นที่ได้จะนำไปลดอุณหภูมิของไอน้ำที่อุปกรณ์ลดอุณหภูมิ (Desuperheat) ซึ่งอยู่ระหว่างอุปกรณ์ทำไอดงปฐมภูมิชุดที่ 2 (Primary Super heater II) และ อุปกรณ์ทำไอดงทุติยภูมิ (Secondary Superheated) หลังจากเครื่องควบแน่นน้ำอ่อนแล้วน้ำป้อนจะเข้าสู่ถังเก็บไอน้ำ

ถ้าใช้น้ำมันเตาในการเผาไหม้จำเป็นจะต้องอุ่น น้ำป้อนก่อนที่จะเข้าสู่กลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนชุดที่ 1 ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมจาก 115 °C เป็น 135 °C เพื่อป้องกันกลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Lower Temperature Corrosion) การอุ่นน้ำป้อนทำโดยการใช้ Feed water ejector ดึงน้ำร้อนที่ออกจากกลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนชุดที่ 2 มาผสมกับน้ำป้อนก่อนเข้ากลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนชุดที่ 1

ที่ถังเก็บไอน้ำจะทำหน้าที่แยกไอน้ำออกจากน้ำ น้ำจะสะสมอยู่ส่วนล่างของถังและไหลลงสู่ Down Comer ซึ่งเป็นท่อขนาดใหญ่เพื่อส่งน้ำไหลสู่ส่วนล่างของเตาเผาและมี Down Comer อีกส่วนหนึ่งส่งน้ำจากถังเข้าสู่กลุ่มท่อกำเนิดไอน้ำ (Boiler Bank) ไอน้ำจากผนังเตาและกลุ่มท่อกำเนิดไอน้ำจะไหลเข้าสู่ถังและน้ำเย็นกว่าจาก Down Comer จะไหลเข้าแทนที่เป็นการไหลเวียนแบบธรรมชาติ ไอน้ำในถังจะถูกแยกในไซโคลนโดยแรงหนีศูนย์กลางและกรองโดย Steam Demister เพื่อกำจัดหยดน้ำที่อาจจะไหลปนไปกับไอน้ำบางส่วนจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นน้ำอ่อนไอน้ำส่วนใหญ่จะไหลสู่อุปกรณ์ทำไอดงปฐมภูมิชุดที่ 1 และ 2 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิแล้วจึงผ่านอุปกรณ์ลดอุณหภูมิซึ่งจะทำการพ่นละอองน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิไอน้ำให้ได้ตามที่กำหนด จากนั้นไอน้ำจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ทำไอดงทุติยภูมิเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและส่งไปยังท่อไอน้ำหลักเพื่อส่งเข้า Turbine ต่อไป



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ใน Feed water system

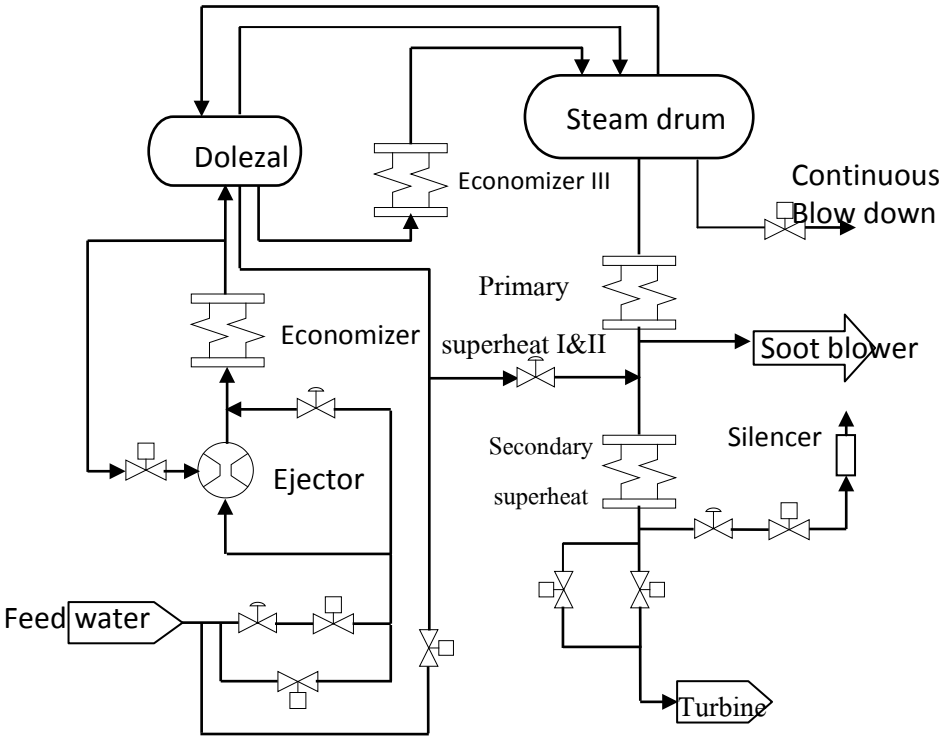
3.2.2.2 กระบวนการด้านอากาศและไอร้อน (Air and Flue gas system) ระบบพัดลมดูดอากาศ ระบบอากาศที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ Black Liquor ถูกจ่ายด้วยพัดลมดูดอากาศ 3 ตัว ซึ่งเรียกว่า พัดลมปฐมภูมิ, พัดลมทุติยภูมิ, พัดลมตติยภูมิ ตามลำดับ อากาศถูกเป่าเข้าไปในเตาเผาผ่านทางช่องอากาศ (Air port) ในผนังเตา ช่องอากาศนี้ติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์ควบคุมอากาศเป็น 3 ระดับที่ต่างกันสำหรับอากาศปฐมภูมิ, ทุติยภูมิ และตติยภูมิตามลำดับ

• พัดลมปฐมภูมิ (Primary air fan) อากาศจากพัดลมปฐมภูมิที่ถูกป้อนเข้าสู่บริเวณด้านล่างสุดของเตาเผาจะทำให้ปฏิกิริยาของกองของแข็งหลอมเหลวเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นเกิดได้สมบูรณ์ โดยลมที่เข้าสามารถปรับได้ด้วยอุปกรณ์หรี่ลม (Damper)

• พัดลมทุติยภูมิ (Secondary air fan) อากาศจากพัดลมส่วนนี้จะช่วยให้ Black Liquor ที่ถูกพ่นเป็นละอองออกมาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบ Pyrolysis ได้อย่างสมบูรณ์โดยช่องอากาศจะติดตั้งอยู่บนผนังเตาทั้ง 4 ด้าน ช่องอากาศที่จ่ายจะมีอุปกรณ์หรี่ลมที่ปรับได้

• พัดลมตติยภูมิ (Tertiary air fan) อากาศจากส่วนนี้จะถูกป้อนเข้าที่บริเวณด้านบนเหนือส่วนที่ต่ำสุดของเตาเผา และเหนืออุปกรณ์พ่น Black Liquor (Black liquor sprayer) โดยอากาศส่วนนี้นอกจากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์แล้วยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำดำถูกพัดออกจากระบบอีกด้วยโดยลมที่ป้อนเข้าสู่เตาจะทำให้เกิดลักษณะของกำแพงลมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ด้วยอย่างหนึ่ง

การควบคุมอากาศสำหรับการเผาไหม้ (Combustion air) อัตราการไหลของอากาศแต่ละส่วนที่จ่ายให้กับอากาศระดับต่างๆมีการตั้งค่ากำหนดไว้เพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยปกติร้อยละ 40 – 45 ของอัตราการไหลของอากาศทั้งหมดจะถูกจ่ายผ่านช่องอากาศปฐมภูมิเพื่อให้ได้บรรยากาศรีดิวซ์ที่ฐานของสารหลอมเหลวสำหรับการเกิดโซเดียมซัลเฟตและให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในส่วนล่างสุดของเตาเผาอีกร้อยละ 40 – 45 ของอัตราการไหลของอากาศทั้งหมดถูกจ่ายผ่านช่องอากาศทุติยภูมิเพื่อให้ได้ความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ที่เหมาะสมและมีการแห้งตัวเกิดขึ้น อากาศสำหรับเผาไหม้ขั้นสุดท้ายจะถูกจ่ายผ่านช่องอากาศตติยภูมิ ปริมาณของอากาศที่ต้องการในส่วนนี้คือประมาณร้อยละ 10 – 15 ของอัตราการไหลทั้งหมด ถ้ามีภาระงานสูง (High Load) และ/หรือมีปริมาณของแข็งแห้งสูงอาจต้องใช้อากาศตติยภูมิเพิ่มขึ้น แก๊สร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ (Flue gas) จะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในผนังเตาและไหลผ่านกลุ่มท่อกำเนิดไอน้ำ (Boiler Bank) ผ่านอุปกรณ์ทำไอดงตติยภูมิ, ทุติยภูมิและ ปฐมภูมิชุดที่ 2 และ 1 เข้าสู่ Second Pass ซึ่งแก๊สร้อนจะไหลลงผ่านกลุ่มท่ออุปกรณ์อุ่นน้ำป้อนชุดที่ 2 และชุดที่ 1 ตามลำดับ โดยแก๊สร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้อุปกรณ์ต่างๆดังกล่าวจนเย็นตัวลงพอสมควร จึงไหลเข้าสู่อุปกรณ์ดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator : ESP) จะดักฝุ่นออกจากไอเสีย ส่วยไอเสียจะถูกดูดออกไปสู่ปล่องควันโดยพัดลมดูดไอเสีย (Induced Draft Fan)



รูปที่ 3.3 แผนผังกระบวนการผลิตไอน้ำของ Power Boiler

3.2.2.3 กระบวนการด้านเชื้อเพลิง (Fuel system) เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในหม้อไอน้ำคือ Black Liquor ซึ่งมีองค์ประกอบคือสารเคมีและสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance) โดยสารที่เผาไหม้ได้นี้จะประกอบไปด้วย ลิกนินที่ถูกสารเคมีชะล้างให้ออกมาจากใยไม้และเศษของใยไม้ที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามาตรฐานที่โรงงานต้องการโดย Black Liquor มีค่าพลังงานความร้อนประมาณ 13,000 เมกะจูล/ตัน และ Black Liquor จะถูกทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นใกล้ 80% แล้วส่งเข้าเตาเผาโดยพ่นให้เป็นละอองอุหภูมิภายในเตาที่สูงโดยหัวพ่น Black Liquor จะทำให้ละอองของ Black Liquor ลุกไหม้ สารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนและนำความร้อนที่ได้ไปต้มน้ำเพื่อนำไอน้ำไปใช้ในการขับ Steam Turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้ในกระบวนการผลิตส่วนสารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ โซเดียมก็จะกลายเป็นของแข็งหลอมเหลว (Smelt) ซึ่งประกอบด้วย โซเดียมซัลไฟด์ (Na2S) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na2CO3) ของแข็งหลอมเหลวจะถูกระบายออกจากทางด้านล่างของเตาลงมาที่ถังทำละลาย (Dissolving tank) ภายในถังทำละลายจะมีน้ำที่มาจาก 3 ส่วน คือ น้ำเจือจางจากหน่วยทำด่าง น้ำที่ได้จากการล้างโคลนปูน (lime mud) และน้ำจากการล้างกากของเหลวเขียว (dreg) เมื่อของแข็งหลอมเหลวผสมกับของเหลวในถังทำละลายจะถูกเปลี่ยนเป็นของเหลวเขียว (green liquor) และ green liquor ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งต่อไปยังหน่วยทำด่างต่อไป

นอกจากจะใช้ Black Liquor เป็นเชื้อเพลิงหลักแล้วยังมีเชื้อเพลิงเหลวคือ น้ำมันเตา เป็นเชื้อเพลิงสำรองในกรณีที่ระบบ Black Liquor มีปัญหา และใช้น้ำมันเตาช่วงเวลาจุดเตาเพื่อเริ่มเดินโดยค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันเตาเกรดที่โรงงานใช้เป็นน้ำมันเตาเกรดซี ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ภายในโรงไฟฟ้าจะถูกส่งไปกำจัดที่เตาเผาปูนที่เป็นส่วนหนึ่งของโรงผลิตเยื่อ

3.2.3 หน่วยทำด่าง (Causticizing plant & Lime Kiln)

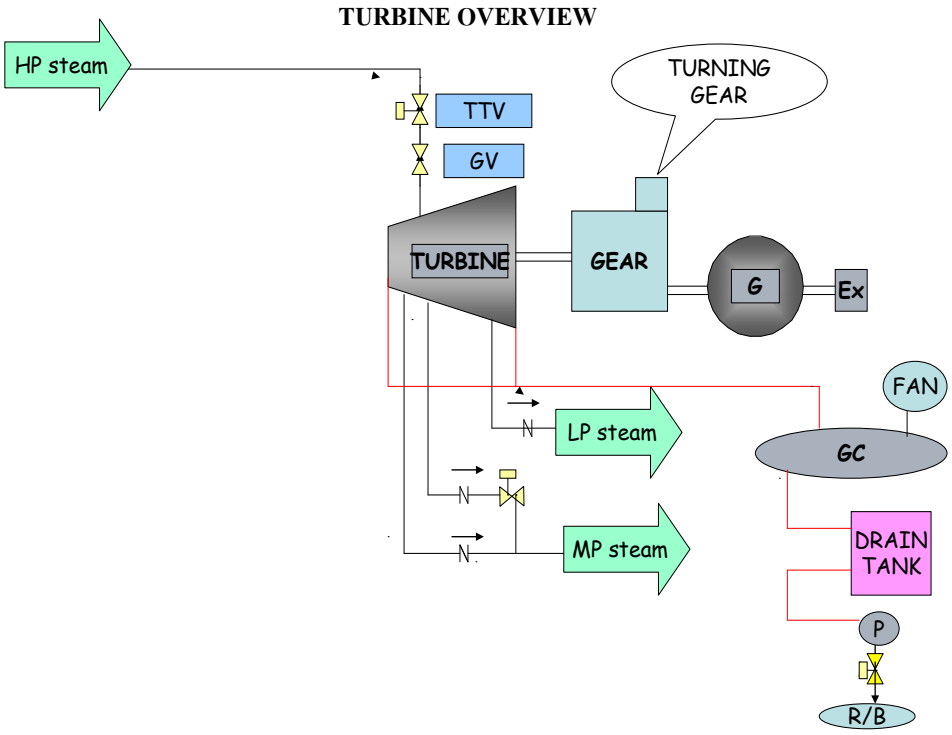
หน่วยทำด่างมีหน้าที่ผลิตของเหลวขาว (White liquor) จากของเหลวเขียว (Green Liquor) โดยในของเหลวเขียว (green liquor) มีส่วนประกอบหลักคือ $NaCO_3$ 70% และ โซเดียมซัลไฟด์ 27% ที่เหลือเป็นสารเคมีอื่นรวมทั้งคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดด้วย ของเหลวเขียว (green liquor) จะถูกส่งต่อไปยังหน่วยทำด่าง (Recausticizing) ในของเหลวเขียว มีสิ่งเจือปนได้แก่ Dreg (คาร์บอนไม่ติดไฟ) ซึ่งต้องมีการกำจัดออกก่อนโดยการตกตะกอน Dreg จะตกตะกอนอยู่ด้านล่างและของเหลวเขียวใส (green liquor) จะล้นออกทางด้านบนเข้าสู่เครื่องแตกตัวปูน (Lime Slaker) Dreg จากถังตกตะกอนจะถูกปั๊มไปยังเครื่องกรองเพื่อล้างของเหลวเขียวที่ติดไปด้วยนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำจากการล้างซึ่งมีของเหลวเขียวปนอยู่ด้วยเรียกว่า ของเหลวเจือจาง (Weak wash liquor) ซึ่งจะถูกส่งไปเก็บและใช้ในถังละลาย ส่วน Dreg จะถูกทิ้งออกนอกระบบ

ปูนขาวหรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่อสัมผัสกับ ของเหลวเขียว (green liquor) จะแตกตัวเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ปูนขาวที่ไม่แตกตัวเรียกว่า Grit จะถูกแยกออกไปทิ้ง ส่วน ($Ca(OH)_2$) และ ของเหลวเขียว (green liquor) จะถูกส่งไปยังถังทำปฏิกิริยา ของเหลวเขียว (green liquor) ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ กลายเป็น ของเหลวขาว (White liquor) โซเดียมคาร์บอเนตกลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังทำปฏิกิริยากลายเป็นหินปูน/แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

3.3 กระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงงานที่ทำการศึกษา

ระบบกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าที่ทำการศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็น Steam Turbine แบบ Back-pressure Turbine มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจริงที่ 32.9 เมกะวัตต์ แต่ทำการผลิตตามสัญญาซื้อขายไฟกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต อยู่ที่ 25 เมกะวัตต์ นอกจากจะทำการผลิตไฟฟ้าโดย HP Steam ที่ส่งมาจาก Recovery Boiler มาพักไว้ ที่ HP Header จากนั้นจะถูกส่งต่อไปที่ Turbine โดย HP Steam มีความดันลดลงก่อนเข้า Turbine ซึ่งภายใน Turbine จะมี Rotor ที่มีความเร็วรอบอยู่ที่ 6222 rpm Turbine ที่ทำการศึกษา มี 9 state HP Steam เมื่อผ่าน Turbine เข้ามาจะทำให้ ความดัน และอุณหภูมิ ลดลงบางส่วน ซึ่งจะกลายเป็น MP Steam (12 บาร์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส) ออกที่ state 4 และ 6 และเป็น LP Steam (ประมาณ 4 บาร์ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส) ออกที่ state 9

HP Steam ที่ผ่านเข้า Turbine มาจะถูกเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ที่อยู่ในไอน้ำ มาเป็นพลังงานกล จากนั้นจะถูกส่งถ่ายพลังงานกลไปสู่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) พลังงานกลที่ได้จาก Turbine จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ Generator โดยใช้หลักของการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดอยู่กับที่ ซึ่ง Generator จะรับกระแสไฟ DC จาก Exciter เพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อผ่าน Generator แล้ว และได้ทำการผลิต MP Steam และ LP Steam มาใช้ในกระบวนการต่างๆ ในโรงงาน แสดงในรูปที่ 3.4 แผนผังการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำจาก steam turbine



รูปที่ 3.4 แผนผังการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำจาก Steam Turbine

จากรูปที่ 3.4 ไอน้ำที่ถูกลดความดันลงเหลือประมาณ 12 บาร์ เรียกว่า MP Steam ถูกนำไปใช้ในการต้มเยื่อกระดาษในหน่วยงานโรงเยื่อกระดาษ ส่วน ไอน้ำที่ถูกลดแรงดันจนเหลือประมาณ 3.5 – 4 บาร์ เรียกว่า LP Steam ถูกนำไปใช้ในหน่วยงานทำระเหยเพื่อระเหย Black Liquor จากความเข้มข้นต่ำที่ประมาณ 15-18% Dry Solid ให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นใกล้เคียง 80% Dry Solid จนสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำได้ ส่วน Condensate ที่ออกจาก Turbine นำกลับมาเป็นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ