บทที่ 4
ระบบผลิตพลังงานร่วมและวิธีการประเมินศักยภาพการใช้ระบบ

4.1 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วม

ปัจจุบันระบบผลิตพลังงานร่วมได้รับความสนใจจากอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เพราะเป็นแนวทางหนึ่งในการประหยัดพลังงาน เช่นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถแบ่งประเภทของระบบออกได้เป็น 2 ประเภทตามลำดับการใช้พลังงาน ดังนี้

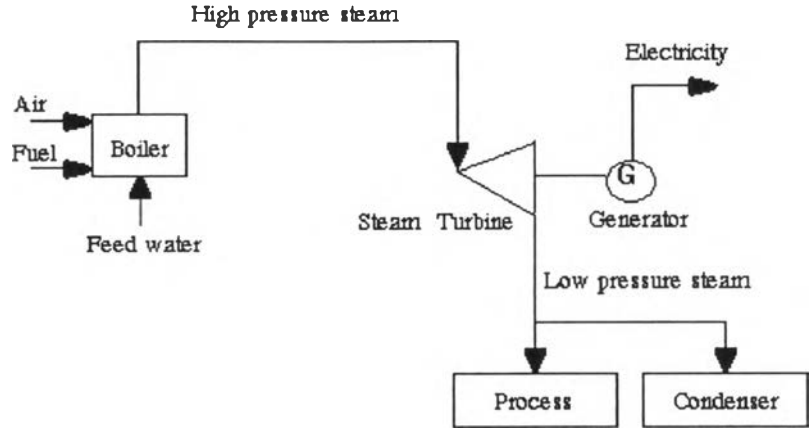
4.1.1 ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภททอปปิงไซเคิล (Topping Cycle)

4.1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภทบ็อททัมมิงไซเคิล (Bottoming Cycle)

4.1.1 ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภททอปปิงไซเคิล

ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภททอปปิงไซเคิล คือ ระบบที่นำพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงมาผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกลก่อน แล้วจึงส่งความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ตัวอย่างของระบบเช่น ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle) และระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) เป็นต้น

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำประเภททอปปิงไซเคิล ซึ่งมีหลักการคือ เริ่มต้นจากไอน้ำอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งผลิตได้จากหม้อไอน้ำ นำมาผ่านกังหันไอน้ำเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำแล้วจะมีอุณหภูมิและความดันต่ำลงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตหรือเครื่องควบแน่นไอน้ำ (condenser) เพื่อเปลี่ยนสภาพจากไอน้ำเป็นน้ำต่อไป



รูปที่ 4.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิดท๊อปปิงไซเคิล

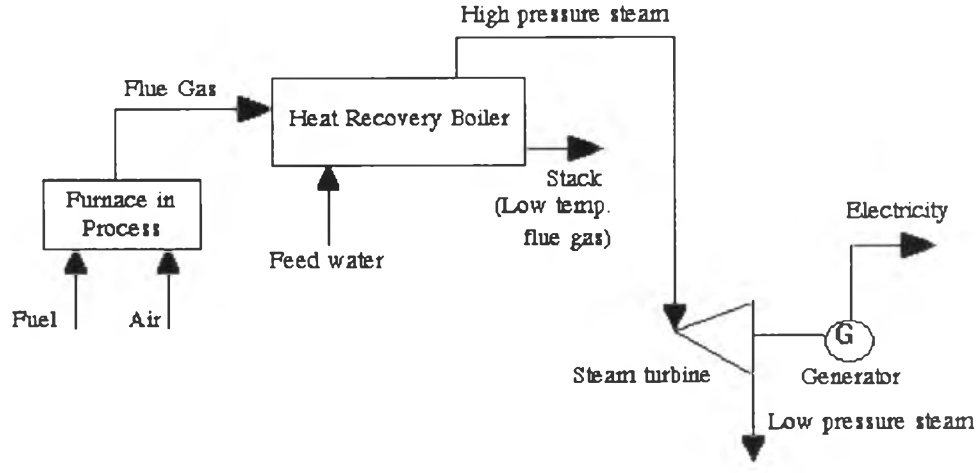
ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทนี้จะมีใช้ในโรงงานกระดาษ โรงงานน้ำตาล โรงงานประเภทสิ่งทอ (ทอผ้า-ฟอกย้อมผ้า) และโรงงานผลิตสารเคมีขนาดใหญ่ เป็นต้น

4.1.2 ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภทบ็อททัมมิงไซเคิล

ระบบผลิตพลังงานร่วม ประเภทบ็อททัมมิงไซเคิล คือ ระบบที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงมาใช้ในกระบวนการผลิตก่อน แล้วความร้อนส่วนที่เหลือ โดยปกติจะทิ้งไป จะถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงานกลหรือไฟฟ้า ตัวอย่างของระบบ เช่น ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ และระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ เป็นต้น

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ประเภท บ็อททัมมิงไซเคิล ซึ่งมีหลักการ คือ นำความร้อนจากก๊าซเสีย (flue gas) ที่ออกจากเตาเผาหรือเตาหลอมมาผ่านหม้อไอน้ำชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ (Heat recovery boiler) เพื่อผลิตไอน้ำ แล้วไอน้ำที่ได้นำไปขับกังหันไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบนี้จะใช้ได้ในโรงงานที่มีเตาเผา หรือเตาหลอม เช่น โรงงานหลอมแก้ว และโรงงานหลอมโลหะ เป็นต้น



รูปที่ 4.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิดบ็อททัมมิงไซเคิล

4.2 เทคโนโลยีของระบบผลิตพลังงานร่วม

ในปัจจุบันนี้ระบบผลิตพลังงานร่วมได้พัฒนาเทคโนโลยีของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งระบบผลิตพลังงานร่วมเหล่านี้สามารถแบ่งออกตามแบบเทคโนโลยีของระบบได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้คือ

4.2.1 ระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine)

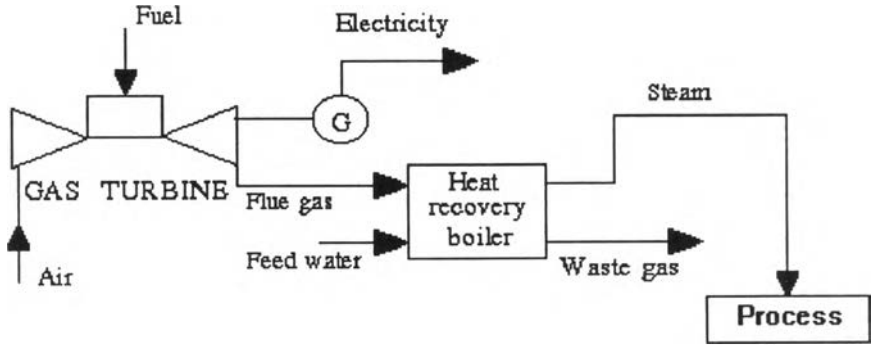
ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้ปริมาณไอน้ำที่ค่อนข้างสูง เช่นอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำนี้ สามารถแบ่งตามรูปแบบการใช้งาน ได้ 2 ประเภท คือประเภทท็อปปิงไซเคิล และบ็อททัมมิงไซเคิล

ในระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำประเภทท็อปปิงไซเคิล จะเริ่มจากไอน้ำที่ผลิตได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ จะส่งไปขับกังหันไอน้ำ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำที่ปล่อยออกจากกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำ จะถูกส่งไปใช้ในกระบวนการผลิตหรือผ่านเข้าเครื่องควบแน่นไอน้ำต่อไป ดังรูปที่ 4.1

ส่วนประเภทบ็อททัมมิงไซเคิล จะใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตเสียก่อน เช่น เตาเผา แล้วไอเสียจากการเผาไหม้ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่จะถูกส่งผ่านชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตไอน้ำแล้วนำไอน้ำที่ได้ไปผ่านกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ดังรูปที่ 4.2

4.2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine)

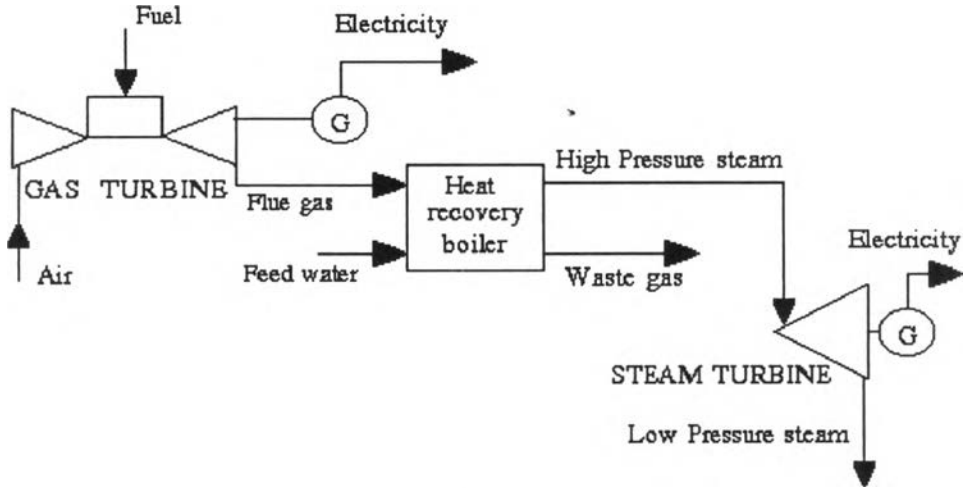
ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ การทำงานของระบบเริ่มจากอากาศถูกดูดเข้าไปยังเครื่องอัดอากาศ ทำให้อากาศมีความดันสูง แล้วอากาศนั้นจะถูกป้อนเข้าไปยังห้องเผาไหม้ ที่ห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้ามาผสมและจุดระเบิดขึ้น ก๊าซร้อนจากห้องเผาไหม้จะขยายตัวไปขับกังหันก๊าซ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก๊าซร้อนที่ผ่านกังหันก๊าซยังคงมีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนในชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันก๊าซ

4.2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle)

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังความร้อนร่วม เป็นระบบที่ประสานการใช้ประโยชน์ของกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำร่วมกันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการทำงานในช่วงแรกจะเป็นการทำงานของกังหันก๊าซ คือก๊าซร้อนความดันสูงจะถูกส่งไปขับกังหันก๊าซ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก๊าซร้อนที่ผ่านกังหันก๊าซยังคงมีอุณหภูมิสูงจะใช้เป็นแหล่งความร้อนในชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตไอน้ำและไอน้ำที่ได้จะถูกส่งไปขับกังหันไอน้ำ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นข้อดีของระบบนี้คือจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าได้สองส่วน ระบบนี้จึงเป็นที่นิยมระบบหนึ่งในการทำเป็นโรงจักรไฟฟ้า

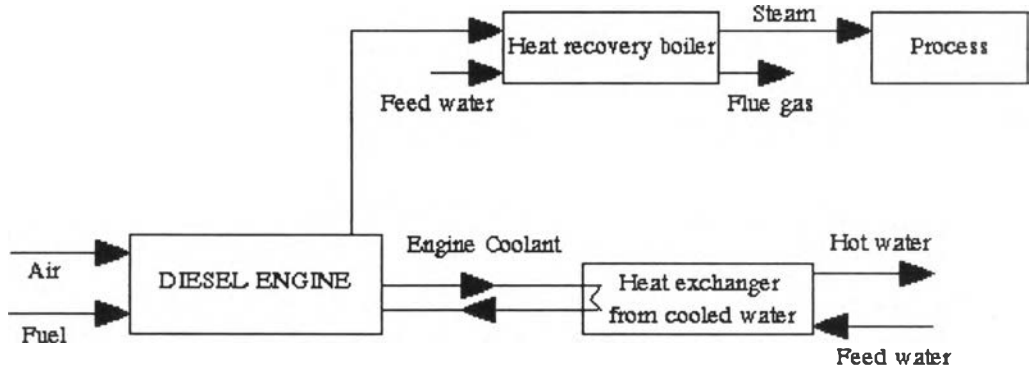


รูปที่ 4.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังความร้อนร่วม

4.2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลและชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ การทำงานของระบบจะเริ่มจากการสันดาปเชื้อเพลิงในกระบอกสูบทำให้เกิดก๊าซร้อนดันลูกสูบไปขับเพลาของเครื่องยนต์ให้หมุน และต่อเพลานั้นไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนไอเสียที่ถูกขับออกจากเครื่องยนต์ซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่จะถูกส่งไปผ่านชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เพื่อผลิตไอน้ำ สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

เครื่องยนต์ดีเซลจะมีระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อป้องกันเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกินไป โดยระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ไปกับน้ำหล่อเย็น ความร้อนที่ได้จากการหล่อเย็นนี้อาจนำมาเป็นแหล่งความร้อนให้กับกระบวนการผลิตอีกแหล่งหนึ่ง



รูปที่ 4.5 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล

4.3 ข้อดี - ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วม

4.3.1 ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วม

ก. การประหยัดพลังงาน การผลิตพลังงานด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม จะให้ประสิทธิภาพรวมสูงขึ้นกว่าระบบธรรมดา เมื่อคิดพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่าเทียมกัน เนื่องจากระบบผลิตพลังงานร่วมจะผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน โดยใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงในแหล่งเดียวกันต่างจากระบบทั่วไป ซึ่งจะผลิตได้เฉพาะพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้าเท่านั้น

ข. การได้เปรียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ เมื่อพิจารณาระบบผลิตพลังงานร่วมกับระบบธรรมดา ซึ่งจะผลิตพลังงานความร้อนใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และรับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า จะพบว่าค่าใช้จ่ายการดำเนินงานจะน้อยกว่าระบบธรรมดา เนื่องจากระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีการผลิตไฟฟ้าขึ้นใช้เอง เป็นการลดรายจ่ายค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าลงได้มาก ใน

ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้มากขึ้นนั้นจะเพิ่มขึ้นจากการใช้ในกรณีที่ผลิตพลังงานความร้อนอย่างเดียวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถือได้ว่าเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปนั้นเป็นการใช้อย่างคุ้มค่า เพราะใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าควบคู่ไปกับการผลิตพลังงานความร้อน

นอกจากนั้นแล้ว หากทางโรงงานอุตสาหกรรม มีการผลิตไฟฟ้าขึ้นใช้เองบางส่วนด้วยระบบผลิตพลังงานร่วม ในกรณีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ เกิดขัดข้องหรือดับลงก็ยังสามารถจ่ายไฟฟ้า เพื่อใช้เองได้ในส่วนที่จำเป็น เป็นการลดค่าเสียหายซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิต

ค. ลดค่าไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายอุปกรณ์รับไฟฟ้า การคิดค่าไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป จะมีการคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) หากใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมผลิตไฟฟ้าใช้เองในช่วงเวลาที่เกิดภาระสูงสุด (Peak Load) จะช่วยลดค่าความต้องการสูงสุดของไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าฯ ได้ ทำให้รายจ่ายค่าไฟฟ้าลดลง

เมื่อพิจารณาทางด้านอุปกรณ์รับไฟฟ้า คือหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว พบว่าจะมีขนาดเล็กลง เมื่อใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายอุปกรณ์รับไฟฟ้าลงด้วย

ง. เพิ่มความเชื่อมั่นของปริมาณไฟฟ้าสำรอง หากมีการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมมากขึ้น กำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความมั่นใจของไฟฟ้าว่าจะมีเพียงพอต่อความต้องการของประเทศ และในภาคอุตสาหกรรมจะเป็นหลักประกันว่าจะมีไฟฟ้าใช้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้กระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมไม่หยุดชะงัก

การติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม เป็นการกระจายแหล่งพลังงานไปตามจุดใช้งานต่างๆ ซึ่งเป็นการช่วยให้การจ่ายไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้น และเป็นหลักประกันของแหล่งไฟฟ้าและความร้อนได้เป็นอย่างดี

4.3.2 ข้อเสียของระบบผลิตพลังงานร่วม

ก. ค่าลงทุนและค่าดูแลบำรุงรักษาค่อนข้างสูง ระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นระบบที่มีราคาค่าใช้จ่ายในด้านเงินลงทุนเริ่มแรกสูง เมื่อเทียบกับระบบการผลิตพลังงานทั่วไปที่มีพิกัดเท่ากัน การออกแบบ ติดตั้งและควบคุมระบบมีความซับซ้อนยุ่งยาก จำเป็นต้องใช้เทคนิคที่ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ทำงานระดับหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งที่ต้องพิจารณา

เนื่องจากระบบผลิตพลังงานร่วมมีอุปกรณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในการดูแลและบำรุงรักษาจึงสูงขึ้นตามไปด้วย

ข. ความยุ่งยากในการจำหน่ายไฟฟ้า ข้อเสียนี้มีผลมาจากนโยบายการขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้า ซึ่งจะต้องปฏิบัติตามข้อตกลงในด้านราคาและลักษณะการจ่ายไฟฟ้า คือต้องมีการจ่ายไฟฟ้าให้อย่างสม่ำเสมอ และเป็นไปตามข้อตกลงด้านปริมาณไฟฟ้าที่จะจ่ายว่าต้องไม่น้อยกว่าปริมาณที่ตกลง มิฉะนั้นจะถูกปรับ นั่นคือ ต้องดูแลการผลิตไฟฟ้า เพื่อจำหน่ายให้เป็นไปตามเกณฑ์บังคับตลอดเวลา

4.4. <u>การวิเคราะห์ทางเทคนิคระบบผลิตไอน้ำของโรงงานฟอกย้อมผ้า</u>

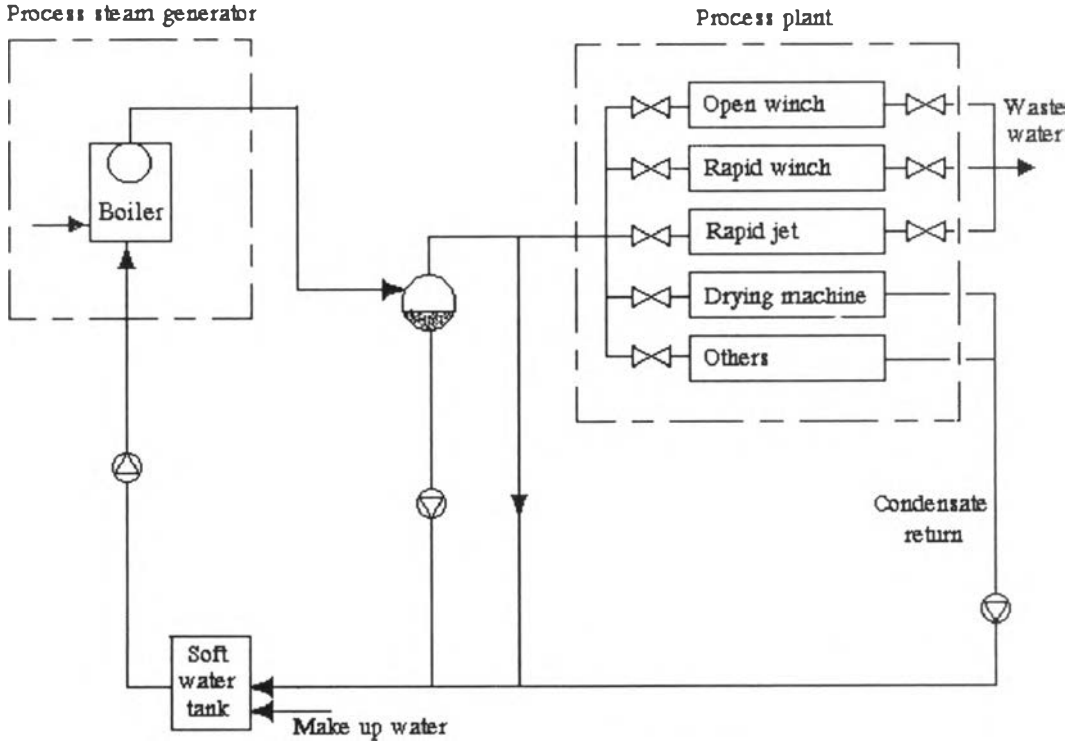
การวิเคราะห์ทางเทคนิคของโรงงานฟอกย้อมผ้า ในการศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่ระบบผลิตไอน้ำของโรงงาน อุปกรณ์ของระบบผลิตไอน้ำที่สำคัญ คือ หม้อไอน้ำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงแบบจำลองของการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อมผ้า ซึ่งหม้อไอน้ำจะผลิตไอน้ำโดยใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงาน เช่น เครื่องย้อมผ้าแบบ Open winch, Rapid winch และ Rapid jet และเครื่องอบแห้ง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีการใช้พลังงานจำนวนมาก ดังนั้นการใช้งานหม้อไอน้ำจึงควรมีการดูแลและควบคุมให้มีการใช้งานที่ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่เสมอ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (ก.2) และ (ก.4) ในภาคผนวก ก ดังนี้

4.5.1 ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ของหม้อไอน้ำ

$$\eta = \frac{m_s (h_s - h_w)}{m_f \times H_g} \times 100 \qquad (4.1)$$

4.5.2 ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ของหม้อไอน้ำ

$$\varepsilon = \frac{m_s (h_s - h_w) - m_s \times T_o (s_s - s_w)}{m_f \times H_g} \times 100 \qquad (4.2)$$



รูปที่ 4.6 แบบจำลองของการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อมผ้า

เมื่อ m_f คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/h)

m_s คือ อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/h)

h_s คือ เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)

h_w คือ เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)

Hg คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

s_s คือ เอนโทรปีของไอน้ำ (kJ/kg-K)

s_w คือ เอนโทรปีของน้ำป้อน (kJ/kg-K)

T_o คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

4.5 การวิเคราะห์ทางเทคนิค ของระบบผลิตพลังงานร่วม

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม จะเป็นสิ่งที่บอกถึงความเหมาะสมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใด เมื่อนำมาใช้แทนระบบเดิม แล้วไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์ทางเทคนิค แบ่งออกตามรูปแบบของระบบผลิตพลังงานร่วมได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซล
2. ระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine

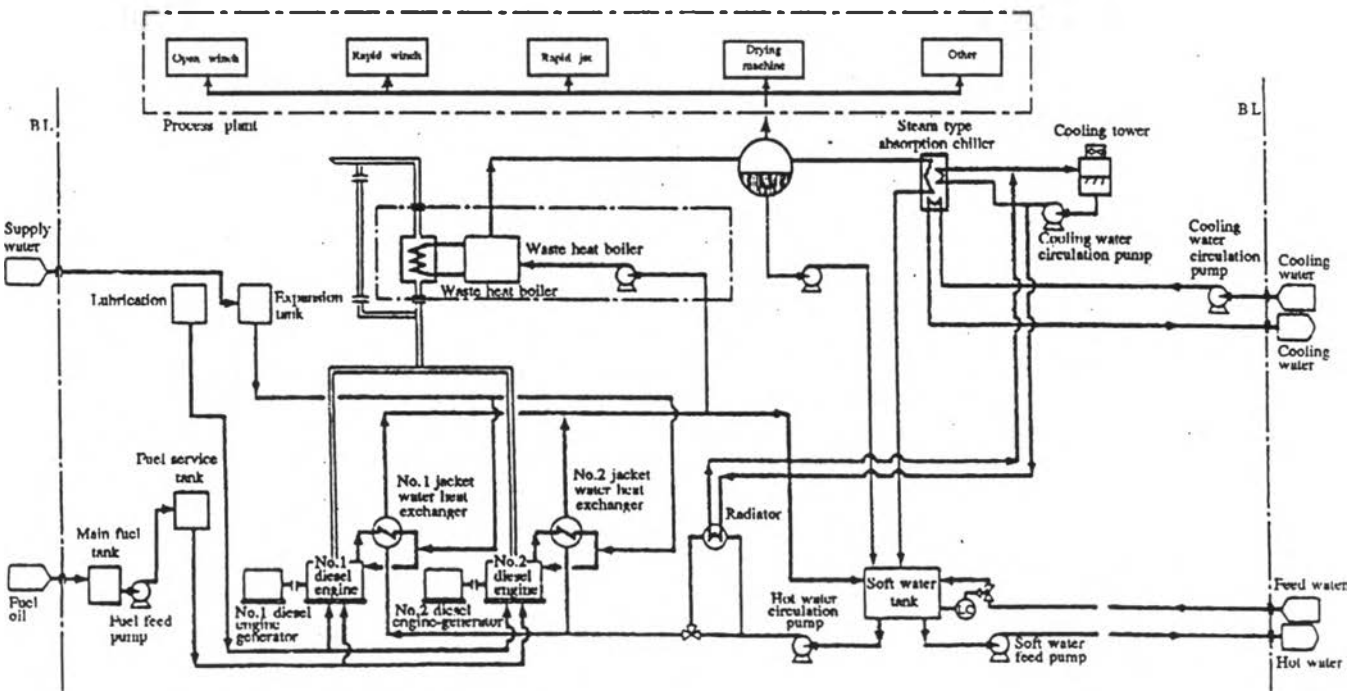
การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซล และแบบกังหันไอน้ำชนิด Back pressure steam turbine อาจจะพิจารณาที่ความต้องการความร้อนเป็นหลัก หรือความต้องการไฟฟ้าของโรงงานเป็นหลัก ฉะนั้นการวิเคราะห์ทางเทคนิค จึงแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

1. Heat match คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมที่มุ่งผลิตไอน้ำให้เพียงพอกับความต้องการในกระบวนการผลิตของโรงงาน กรณีถ้ามีการผลิตไฟฟ้ามากเกินความต้องการ จะนำมาขายให้กับการไฟฟ้า หรือถ้าการผลิตไฟฟ้าไม่พอใช้ในกระบวนการผลิต จะซื้อจากการไฟฟ้า

2. Power match คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมที่มุ่งผลิตไฟฟ้าใช้พอเพียงกับความต้องการในกระบวนการผลิต ในกรณีถ้ามีการผลิตไอน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการในกระบวนการผลิต จะผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม(auxiliary boiler) ให้เพียงพอต่อความต้องการไอน้ำในกระบวนการผลิต

4.5.1 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซล

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ได้ถูกออกแบบและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันมีบริษัทหลายบริษัทที่ทำการผลิตระบบพลังงานร่วมแบบนี้ออกมาเป็นระบบสำเร็จรูป เพื่อทำให้เกิดความสะดวกและมีประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นเท่าที่จะเป็นไปได้ ฉะนั้นเพื่อให้การศึกษาวิจัยนี้สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงได้ติดต่อขอข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต และจำหน่ายระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีรายละเอียดข้อมูลของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ดังภาคผนวกที่ ข จากรูปที่ 4.7 แสดงถึง แบบจำลองของ



รูปที่ 4.7 แบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล การทำงานของระบบเริ่มจากการสันดาปของเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ ทำให้เกิดก๊าซร้อนดันลูกสูบไปขับเพลาของเครื่องยนต์ให้หมุน และต่อเพลานั้นไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนไอร้อนที่ผ่านการทำงานของเครื่องยนต์มาแล้ว ยังคงมีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งไปผ่านหม้อไอน้ำแบบชุดนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตได้นี้จะถูกส่งไปที่ท่อจ่าย (Header) เพื่อแจกจ่ายไอน้ำไปยังกระบวนการผลิต ซึ่งมีอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ ที่ต้องการไอน้ำ เช่น เครื่องย้อมผ้าแบบ Open winch, Rapid winch และ Rapid jet เป็นต้น ส่วนกรณีที่ไอน้ำเหลือใช้จากกระบวนการผลิต หรือไอน้ำที่ผลิตเกินความต้องการของกระบวนการผลิต จะนำไปผ่าน Steam type absorption chiller ไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นซึ่งไหลเวียนไปยัง Cooling tower เพื่อให้ไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่อีก

นอกจากนั้นแล้ว เครื่องยนต์ดีเซลจะมีระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อป้องกันเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกินไป โดยระบายความร้อนจาก Jacket ของเครื่องยนต์ดีเซล และความร้อนจากน้ำมันหล่อลื่นไปกับน้ำหล่อเย็น ความร้อนที่ได้จากการหล่อเย็นนี้จะถูกนำไปใช้เป็นน้ำป้อนให้กับหม้อไอน้ำแบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ เพื่อผลิตไอน้ำหรือนำไปผลิตน้ำร้อนใช้ในกระบวนการผลิตได้ตามต้องการอีกแหล่งหนึ่ง

จากข้อมูลของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลในภาคผนวก ข ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 180 ถึง 2500 kW และกำลังการผลิตไอน้ำตั้งแต่ 160 ถึง 2070 kg/h ที่ ความดันไอน้ำ 7 kg/cm.^{2} และอุณหภูมิน้ำป้อน 85 ^{0}C จากข้อมูลข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาสมการเพื่อคำนวณหาพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล และอัตราการผลิตไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (method of least square) แบบ สมการเส้นตรง (stoecker,1989) ได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล จะได้ว่า

$$P_{diesel} = 1.195\ m_s + 43.012 \qquad (4.3)$$

เมื่อ P_{diesel} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ (kW)

m_s คือ อัตราการจ่ายไอน้ำจากระบบเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (kg/h)

อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล จะได้ว่า

$$m_{f,diesel} = 0.258\ P_{diesel} + 0.417 \qquad (4.4)$$

I16214943

เมื่อ $m_{f,diesel}$ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าระบบ (l/h)

P_{diesel} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ (kW)

จากสมการที่ (4.3) สามารถหาอัตราการผลิตไอน้ำที่ได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ได้ดังนี้

$$m_{s,diesel} = 0.837\ P_{diesel} - 35.981 \qquad (4.5)$$

เมื่อ $m_{s,diesel}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำที่ได้จากระบบ (kg/h)

P_{diesel} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ (kW)

นอกจากการผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากระบบผลิตพลังงานร่วมแล้ว ในกรณีที่ไอน้ำซึ่งผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมไม่เพียงพอกับความต้องการในกระบวนการผลิต จำเป็นที่จะต้องผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม (auxiliary boiler) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ในกรณีของ Power match ของโรงงานที่มีสัดส่วนความต้องการไอน้ำ (ความร้อน) มากกว่าพลังงานไฟฟ้า หรือโรงงานที่มีอัตราส่วนของ Heat/Power สูง จำเป็นที่จะต้องผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม ซึ่งสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ของการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริมได้ดังนี้

อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม สามารถหาได้ดังนี้

$$m_{s,aux} = m_{s,process} - m_{s,diesel} \qquad (4.6)$$

เมื่อ $m_{s,aux}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม (kg/h)

$m_{s,process}$ คือ อัตราการป้อนไอน้ำที่กระบวนการผลิตต้องการ (kg/h)

$m_{s,diesel}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำจากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล (kg/h)

หาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำเสริม (m_f) ได้ดังนี้

$$m_{f,aux} = \frac{m_{s,aux}\ (hs - hw)}{Hg\ (\eta_{b,aux} / 100)} \qquad (4.7)$$

เมื่อ $m_{f,aux}$ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำเสริม (kg/h)

$m_{s,aux}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเสริม (kg/h)

h_s คือ เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg K)

h_w คือ เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg K)

Hg คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

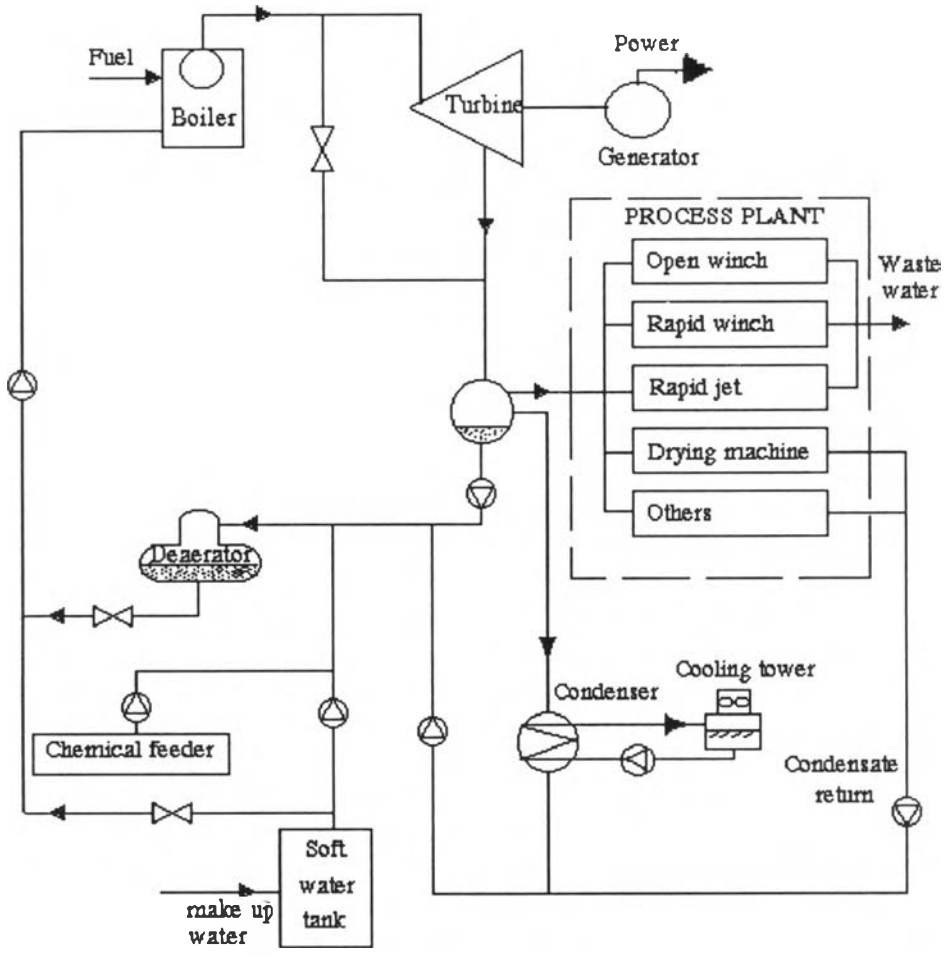
$\eta_{b,aux}$ คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเสริม (%)

4.4.2 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำนี้จะประกอบด้วยหม้อไอน้ำความดันสูง กังหันไอน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นหลัก ส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆ หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงจะมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับระบบบผลิตไอน้ำทั่วไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน รูปที่ 4.8 แสดงถึงแบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine โดยกระบวนการจะเริ่มจากน้ำป้อนซึ่งอาจจะได้จากแหล่งน้ำต่างๆ เช่นน้ำประปา น้ำบาดาล และแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น น้ำป้อนที่ได้มาจากแหล่งน้ำต่างๆ เหล่านี้ จะผ่านการบำบัดให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานในระบบ โดยวิธีการต่างๆ เช่น การกรอง หรือการเติมสารเคมี เป็นต้น จากนั้นน้ำป้อนเหล่านี้ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ จะนำไปผ่านกระบวนการไล่ก๊าซออกซิเจนที่หม้อไล่อากาศ (Deaerator) เพื่อป้องกันการเกิดสนิมในท่อหรืออุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากก๊าซออกซิเจน ไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำขณะนี้จะเป็นไอน้ำความดันสูง อุณหภูมิสูง ซึ่งจะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าที่กังหันไอน้ำ หลังจากที่ไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำมาแล้วจะมีความดันต่ำลง อุณหภูมิต่ำลง แต่ยังคงมีสภาวะซึ่งสามารถจะนำไปใช้งานในกระบวนการผลิต ส่วนไอน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะนำไปผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อนำไอน้ำเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine จะพิจารณาจากสภาพการใช้พลังงานของโรงงาน เช่น อัตราการผลิตความร้อน(ไอน้ำ) และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น โรงงานแต่ละโรงมีความเหมาะสมในการนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาใช้แตกต่างกัน ฉะนั้นการเลือกขนาดของระบบผลิตพลังงานร่วมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากการนำระบบแบบนี้มาใช้

การเลือกขนาดของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำประเภทนี้ จะพิจารณาจากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานเป็นหลัก ได้แก่ อัตราการผลิตไอน้ำของโรงงาน คุณภาพของ



รูปที่ 4.8 แบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ประเภท Back pressure steam turbine

ไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้

ในการวิเคราะห์ทั้งกรณี Heat match และ Power match ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จำเป็นที่จะต้องทราบกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบ ซึ่งไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้สามารถพิจารณาได้จากกำลังงานที่ได้จากกังหันไอน้ำ

กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำ ณ ความดันและอุณหภูมิต่างๆ ในการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาความดันขาเข้าของไอน้ำ 3 ระดับ คือ 18 kg_P/cm^2 (g) (หรือ 250 Psig), 32 kg_P/cm^2 (g) (หรือ 450 Psig) และ 42 kg_P/cm^2 (หรือ

600 Psig) ที่อุณหภูมิ 316 °C (600 °F) ซึ่งสภาวะของไอน้ำขาเข้าจะเป็นไอน้ำยิ่งยวด และความดันขาออกของไอน้ำ 7 kg_P/cm^2 (g) (หรือ 100 Psig) ที่อุณหภูมิ 165 °C (หรือ 329 °F) ฉะนั้นกำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำ 1000 kg/h จะได้ดังตารางที่ 1 (ดูภาคผนวก ค ประกอบ)

ตารางที่ 1 กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำ 1000 kg/h เมื่อสภาวะของไอน้ำขาเข้าเป็นไอน้ำยิ่งยวด อุณหภูมิ 316 °C (600 °F)

ความดันไอน้ำขาออกจากกังหันไอน้ำ : 7 kg_P/cm^2 (100 Psig)

ความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ (kg_P/cm^2)	กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำ (PSR) (kW/1000 kg/h)
18	60.65
32	89.16
42	102.16

ในการวิเคราะห์ทางเทคนิคในกรณี Heat match จะพิจารณาจากความต้องการความร้อนของโรงงานเป็นหลัก ซึ่งระบบจะผลิตไอน้ำให้เพียงพอกับความต้องการของกระบวนการผลิต ส่วนปริมาณไฟฟ้าถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม ฉะนั้นถ้าปริมาณไฟฟ้าผลิตเกินความต้องการของกระบวนการผลิตจะขายให้กับการไฟฟ้า และถ้าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไม่พอใช้ จะซื้อจากการไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ สามารถหาได้ดังนี้

$$P_{turbine} = PSR \times (m_s/1000) \times (\eta_{tur}/100) \times (\eta_{gen}/100) \quad (4.8)$$

เมื่อ $P_{turbine}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วม (kW)

PSR คือ อัตราส่วนของกำลังงานจากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำ สำหรับกังหันไอน้ำไอเซนทรอปิก (kW/1000 kg/h)

m_s คือ อัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำ (kg/h)

η_{tur} คือ ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ (%)

η_{gen} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

ส่วนการวิเคราะห์ทางเทคนิคในกรณี Power match จะพิจารณาจากความต้องการไฟฟ้าของโรงงานเป็นหลัก ซึ่งระบบผลิตพลังงานร่วมจะผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ ส่วนพลังงานความร้อนจะถือว่าเป็นผลพลอยได้จากระบบ ฉะนั้นถ้าไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบไม่เพียงพอกับความต้องการจะผลิตเพิ่มจากหม้อไอน้ำเสริม และถ้าผลิตเกินความต้องการจะนำไอน้ำเหล่านี้มาผ่านอุปกรณ์ Condenser เพื่อนำไอน้ำเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่อีก ดังนั้น การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบสามารถหาได้ ดังนี้

$$m_{s,turbine} = (P_{turbine} \times 1000) / (PSR \times (\eta_{tur}/100) \times (\eta_{gen}/100)) \qquad (4.9)$$

เมื่อ $m_{s,turbine}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ (kg/h)

PSR คือ อัตราส่วนของกำลังงานจากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำ สำหรับกังหันไอน้ำไอเซนทรอปิก (kW/1000 kg/h)

$P_{turbine}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วม (kW)

η_{tur} คือ ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ (%)

η_{gen} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

จากกรณีทั้งสองสามารถคำนวณหา อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำของระบบผลิตพลังงานร่วม คือปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำของระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อผลิตไอน้ำ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตไอน้ำ ความดันและอุณหภูมิของไอน้ำเป็นหลัก ดังนั้น การคำนวณหาอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำ หาได้ดังนี้

อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำ สามารถหาได้ดังนี้

$$m_f = \frac{m_s (h_s - h_w)}{Hg \ (\eta_b / 100)} \qquad (4.10)$$

เมื่อ m_f คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำ (kg/h)

m_s คือ อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ (kg/h)

h_s คือ เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg K)

h_w คือ เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg K)

Hg คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

η_b คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

ในกรณีที่ไอน้ำที่ได้จากระบบไม่เพียงพอกับความต้องการ และจำเป็นที่จะต้องผลิตจากหม้อไอน้ำเสริม การคำนวณหาอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแก่หม้อไอน้ำเสริม สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (4.7)

4.6 <u>การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม</u>

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของการลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วม จะพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบเดิมที่ไม่ใช่ระบบผลิตพลังงานร่วม ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนเพียงอย่างเดียว และซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตพลังงานร่วม จำเป็นที่จะต้องอาศัยผลจากการศึกษาทางด้านเทคนิคจากหัวข้อที่แล้ว เพื่อใช้ประเมินหาเงินลงทุนระบบ ผลตอบแทนที่ได้รับ ระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากผลจากการวิเคราะห์ด้านเทคนิคแล้ว ยังต้องอาศัยข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เหล่านี้ ได้แก่

4.6.1 ค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม

การพิจารณาค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของระบบผลิตพลังงานร่วม ซึ่งระบบที่พิจารณาในการศึกษานี้ ได้แก่ ระบบผลิตพลังงานร่วม แบบเครื่องยนต์ดีเซลและกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine

4.6.1.1 ค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล

ราคาค่าติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นสิ่งที่กำหนดยาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและอุปกรณ์พ่วงต่อต่างๆ ของระบบ ตลอดจนระบบควบคุมต่างๆ ความแตกต่างกันในแต่ละโรงงานขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนในกระบวนการผลิตนั้นๆ ฉะนั้นการกำหนดราคาระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นสิ่งที่ยาก ซึ่งราคาระบบจะเป็นไปตามข้อตกลงกันของแต่ละโรงงาน อย่างไรก็ดีจากงานวิจัยของจรวย บุญยุบล (1992) ได้ประมาณราคาระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลกรณีของอุตสาหกรรมสิ่งทอ(Textile industry) ไว้ ประมาณ 15.6 ล้านบาทต่อเมกกะวัตต์ และจากการสอบถามราคาจากบริษัท ผู้ผลิตระบบรายหนึ่ง สามารถนำมาวิเคราะห์หาสมการการคำนวณค่าลงทุนระบบ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of least square) แบบ สมการเส้นตรง ได้ดังนี้ คำนวณหาค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ได้ดังนี้

$$IC_{diesel} = 0.01275\ P_{diesel} + 6.99269 \times 10^{-5}; \quad 180 < P < 2500\ kW \qquad (4.11a)$$

เมื่อ IC_{diesel} คือ ค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล (ล้านบาท)

P_{diesel} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล (kW)

4.6.1.2 ค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine

ราคาค่าติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine จะขึ้นอยู่กับขนาดและกำลังการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าของระบบ จากงานวิจัยของ จรวย บุญยุบล(1992) ได้ศึกษาค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วมแบบนี้ไว้ ซึ่งมีราคาค่าติดตั้งระหว่าง 17.8 - 30 ล้านบาทต่อเมกกะวัตต์ และจากการสอบถามบริษัทที่เป็นตัวแทนจำหน่ายระบบผลิตพลังงานร่วมแบบนี้ ได้ให้ข้อมูลว่า ราคาระบบแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตไอน้ำ ความดันที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำและความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ จากข้อมูลราคาที่ได้จากบริษัทซึ่งนำมาวิเคราะห์หาค่าลงทุนของระบบ โดยวิธี Function of two variables แบบสมการโพลีโนเมียล ระดับขั้นที่ 2 (Stoecker,1989) ได้ดังนี้

คำนวณหาค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ได้ดังนี้

$$IC_{trubine} = 52.6863 - 2.08168m_{s,trubine} + 0.00280164m_{s,trubine}^{2} + (-2.8721 + 0.205914m_{s,trubine} - 0.000159866m_{s,trubine}^{2})Pg + (0.0580673 - 0.00342682m_{s,trubine} + 0.00000218865m_{s,trubine}^{2})Pg^{2} \quad (4.11b)$$

เมื่อ $IC_{turbine}$ คือ ค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วม (ล้านบาท)

$m_{s,turbine}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/h)

Pg คือ ความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ (kg_F/cm^2 (g))

สมการข้างต้นนี้พิจารณาความดันไอน้ำขาออกจากกังหันไอน้ำเท่ากับ 7 kg_F/cm^2 (g) ซึ่งเป็นระดับความดันไอน้ำที่เพียงพอต่อการใช้งานในโรงงานฟอกย้อมผ้า

ในกรณีที่ต้องนำระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล หรือกังหันไอน้ำเข้าประเทศ จำเป็นที่จะต้องมีการเสียภาษีนำเข้า ซึ่งสามารถคำณวนหาราคาของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ ได้ดังนี้

$$TIC = IC \times (1 + (tax/100)) \quad (4.12)$$

เมื่อ TIC คือ ค่าลงทุนสุทธิของระบบผลิตพลังงานร่วม (ล้านบาท)

tax คือ ภาษีนำเข้า (%)

4.6.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของระบบผลิตพลังงานร่วม

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของระบบผลิตพลังงานร่วม ประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้าสำรอง ค่าดูแลและบำรุงรักษาระบบ

4.6.2.1 ค่าเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม

ค่าเชื้อเพลิง คือ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วม และเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการดำเนินการ ฉะนั้นในการเลือกใช้เชื้อเพลิงควรเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูก จัดหาง่าย จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการทำงานของระบบได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ชนิดของเชื้อเพลิงจะใช้น้ำมันเตา เกรด C ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ทั้งระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซลและกังหันไอน้ำ ใช้งานง่าย ราคาถูกและสะดวกในการจัดหาซื้อ อีกทั้งโรงงานฟอกย้อมผ้าโดยทั่วไปมีความคุ้นเคยกับน้ำมันชนิดนี้อยู่แล้ว

ค่าเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วม สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$C_{f,cg} = m_{f,cg} \times FP \qquad (4.13)$$

เมื่อ $C_{f,cg}$ คือ ค่าเชื้อเพลิงของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อปี (บาท/ปี)

$m_{f,cg}$ คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วม (ลิตร/ปี)

FP คือ ราคาเชื้อเพลิง (บาท/ลิตร)

4.6.2.2 ค่าไฟฟ้าสำรอง

ค่าไฟฟ้าสำรอง คือ ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียให้กับการไฟฟ้าในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนระบบเกิดเหตุขัดข้องหรือหยุดซ่อม และบำรุงรักษา และมีความประสงค์ขอใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า โดยค่าไฟฟ้านี้จะต้องเสียทุกเดือน โดยพิจารณาจากความต้องการพลังไฟฟ้าของโรงงาน ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$C_{SC} = 12 * P_{SC} * SR \qquad (4.14)$$

เมื่อ C_{SC} คือ ค่าไฟฟ้าสำรอง (บาท/ปี)

P_{SC} คือ พลังไฟฟ้าสำรอง (kW)

SR คือ อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสำรอง (บาท/kW)

4.6.2.3 ค่าใช้จ่ายในการดูแลและบำรุงรักษาระบบผลิตพลังงานร่วม

ค่าใช้จ่ายในการดูแลและบำรุงรักษาระบบผลิตพลังงานร่วม คือ ค่าใช้จ่ายประจำปีในการดูแลและบำรุงรักษาระบบผลิตพลังงานร่วม ค่าใช้จ่ายเหล่านี้ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์กรณีชำรุดหรือหมดอายุ เป็นต้น

4.6.3 ผลตอบแทนที่ได้รับ

ผลตอบแทนที่ได้รับจากการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมแทนระบบเดิม ได้แก่ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากระบบผลิตความร้อนเดิม ค่าใช้จ่ายในการดูแลและบำรุงรักษาระบบเดิม ค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า (เฉพาะส่วนที่ผลิตไฟฟ้าใช้เอง) รายได้จากการขายไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินความต้องการ กรณีที่สามารถขายไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้า หรือโรงงานอื่นๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

4.6.3.1 ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้

ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ คือค่าเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำเดิม ซึ่งนำมาใช้ผลิตความร้อนใช้งานในกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากการนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาทดแทน ค่าเชื้อเพลิงที่ต้องเสียให้กับหม้อไอน้ำเดิมจึงหมดลง และจัดได้ว่าค่าเชื้อเพลิงเหล่านี้ไม่ได้ใช้หรือประหยัดได้จากการนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาใช้

คำนวณหาค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ ดังนี้

$$C_{f,old} = \text{ค่าเชื้อเพลิงตามระบบเดิม}$$

$$= m_{f,old} \times FP \qquad (4.15)$$

เมื่อ $C_{f,old}$ คือ ค่าเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำเดิม (บาท/ปี)

$m_{f,old}$ คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำเดิม (ลิตร/ปี)

FP คือ ราคาเชื้อเพลิง (บาท/ลิตร)

4.6.3.2 ค่าดูแลและบำรุงรักษาที่ประหยัดได้

เมื่อนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาทดแทนระบบเดิมของโรงงาน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดูแลและบำรุงรักษาของระบบเดิมไม่ได้ถูกนำมาใช้ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์

กรณีชำรุด หรือหมดอายุ เป็นต้น ดังนั้นค่าใช้จ่ายดังกล่าว จึงถือได้ว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

4.6.3.3 ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ คือ ค่าไฟฟ้าที่ต้องซื้อจากการไฟฟ้าของระบบเดิม เมื่อนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาทดแทน ซึ่งเป็นระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าและนำมาใช้ในกระบวนการผลิตได้ ทำให้ลดการซื้อไฟฟ้าหรือไม่ต้องซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นค่าไฟฟ้าที่ต้องซื้อมาใช้ในกระบวนการผลิตของระบบเดิมเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ เนื่องจากสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เอง

การคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การคิดค่าไฟฟ้าจากพลังไฟฟ้าสูงสุด จากพลังงานไฟฟ้า และจากการปรับปรุงต้นทุนการผลิต

ค่าไฟฟ้าจากการปรับปรุงต้นทุนการผลิต เป็นค่าไฟฟ้าที่แปรผันตรงกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในสองส่วนข้างต้น เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะไม่นำมาพิจารณา

การคิดค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เนื่องจากพลังไฟฟ้าและจากพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณหาได้ ดังนี้

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = ค่าไฟฟ้าตามระบบเดิม

= ค่าไฟฟ้าจากพลังไฟฟ้า + ค่าไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้า

$$R_{E,grid\text{-}process} = ((P_{grid\text{-}process} \times DE_{grid\text{-}process} \times 12) + (EE_{grid\text{-}process} \times EC_{grid\text{-}process})) \quad (4.16)$$

เมื่อ $R_{E,grid\text{-}process}$ คือ ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)

$P_{grid\text{-}process}$ คือ พลังไฟฟ้าสูงสุดที่การไฟฟ้าจ่ายให้ (kW)

$DC_{grid\text{-}process}$ คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า(Demand charge)ที่การไฟฟ้าขาย (บาท/kW)

$EE_{grid\text{-}process}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าจ่ายให้ (kWh/ปี)

$EC_{grid\text{-}process}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) ที่การไฟฟ้าขาย (บาท/kWh)

4.6.3.4 รายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกิน

กรณีที่มีการผลิตไฟฟ้าเกินความต้องการใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าส่วนเกินนี้ สามารถขายคืนให้กับการไฟฟ้า หรือโรงงานใกล้เคียง ในการศึกษาวิจัยนี้ จะพิจารณาขายคืนให้การไฟฟ้า รายได้จากการขายคืนให้การไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จาก พลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า

รายได้จากพลังไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า คือ พลังไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า จะพิจารณาจากพลังไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า อันเนื่องมาจากไฟฟ้าเหลือใช้จากกิจการหรือกระบวนการผลิต

รายได้พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้การไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้การไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมและเหลือจากการใช้ในกระบวนการผลิต

จากรายได้ทั้งสองจะสามารถหารายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกิน ได้ดังนี้

รายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกิน = รายได้จากพลังไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า
+ รายได้พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้การไฟฟ้า

$$R_{E,cg\text{-}grid} = (P_{cg\text{-}grid} \times DC_{cg\text{-}grid} \times 12) + (EE_{cg\text{-}grid} \times Ec_{cg\text{-}grid}) \qquad (4.17)$$

เมื่อ $R_{E,cg\text{-}grid}$ คือ รายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกิน (บาท/ปี)

$P_{cg\text{-}grid}$ คือ พลังไฟฟ้าที่จ่ายให้การไฟฟ้า (kW)

$DC_{cg\text{-}grid}$ คือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับซื้อ (บาท/kW)

$EE_{cg\text{-}grid}$ คือ พลังงานไฟฟ้าจ่ายให้การไฟฟ้า (kWh/ปี)

$EC_{cg\text{-}grid}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับซื้อ (บาท/kWh)

4.7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินศักยภาพในการนำระบบผลิตพลังงานร่วมมาทดแทนระบบเดิม จะใช้การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินเป็นตัวประเมินว่ามีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งวิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ระยะเวลาการคืนทุน (Pay Back Period; PBP) และผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return; IRR)

4.7.1 ระยะเวลาการคืนทุน

ระยะเวลาการคืนทุน คือระยะเวลาที่จะได้รับผลตอบแทน เท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน ในการศึกษาวิจัยนี้ การหาระยะเวลาการคืนทุนจะใช้วิธีการปรับเทียบจากเงินต้นเท่ากันรายปีเทียบเท่าเป็นปีปัจจุบัน และจะพิจารณาค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นระยะเวลาการคืนทุน สามารถหาได้ดังนี้

$$TIC = R_{net} \times (SPWF, i\ \%, n) \qquad (4.18)$$

เมื่อ TIC คือ เงินลงทุนเริ่มต้นหรือค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วม (บาท)

R_{net} คือ รายได้สุทธิประจำปี (บาท/ปี)

$$(SPWF, i\ \%, n) = ((i/100 + 1)^{n} - 1) / (i/100\ (I/100 + 1)^{n}) \quad (4.19)$$

เมื่อ I คือ Discount rate (%)

n คือ ระยะเวลาการคืนทุน (ปี)

4.7.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน

อัตราผลตอบแทนการลงทุน คือ ผลที่ได้จากการลงทุนเป็นอัตราร้อยละ เมื่อเทียบต่อเวลาหนึ่งปีที่ลงทุนไป หรืออีกนัยหนึ่ง คือ อัตราดอกเบี้ย การหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนในการศึกษาวิจัยนี้ จะใช้แบบปรับเทียบจากเงินเท่ากันรายปีเทียบเท่าปีปัจจุบันเช่นเดียวกับการหาระยะเวลาการคืนทุน ดังนั้นอัตราผลตอบแทนการลงทุน สามารถหาได้ดังนี้

$$TIC = R_{net} \times (SPWF, IRR\ \%, k) \quad (4.20)$$

เมื่อ TIC คือ เงินลงทุนเริ่มต้นหรือค่าลงทุนระบบผลิตพลังงานร่วม (บาท)

R_{net} คือ รายได้สุทธิประจำปี (บาท/ปี)

$$(SPWF, IRR\ \%, k) = ((IRR/100 + 1)^{k} - 1) / (IRR/100\ (IRR/100 + 1)^{k}) \quad (4.21)$$

เมื่อ IRRคือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate of return) (%)

k คือ ระยะเวลาของโครงงาน หรือ จำนวนปีของอายุการใช้งาน (ปี)

4.8 <u>วิธีการดำเนินงานวิจัย</u>

วิธีการดำเนินงานวิจัย มีรายละเอียดโดยสรุป ดังนี้

4.8.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษาค้นคว้า เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานที่ได้มีการดำเนินงานวิจัยไปแล้วในอดีต รายชื่อและที่อยู่โรงงานฟอกย้อมผ้าและค่าลงทุนของระบบผลิตพลังงานร่วม ตลอดจนการศึกษาเทคโนโลยีของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบต่างๆ จากเอกสาร ห้างร้าน บริษัท โรงงานและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กรม

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม กระทรวงอุตสาหกรรม และกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น

4.8.2 จัดส่งแบบสอบถามการใช้พลังงานไปยังโรงงานฟอกย้อมผ้า

จากการศึกษา พบว่า ในปี พ.ศ. 2537 โรงงานที่มีกิจการฟอกย้อมผ้าอยู่ในโรงงานมีโรงงานทั้งสิ้น 220 โรงงาน เป็นโรงงานที่มีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม 1 โรงงาน ซึ่งทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ ชนิด Back pressure steam turbine โดยมีขนาดกำลังการผลิต 0.4 MW

เมื่อได้รายชื่อและที่อยู่โรงงาน จะทำการส่งแบบสอบถามซึ่งรายละเอียดของแบบสอบถามจะมุ่งหมายไปที่ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าเป็นหลัก (ดูแบบฟอร์มของแบบสอบถามในภาคผนวก ฉ) การส่งแบบสอบถามนี้ ในเบื้องต้นจะพิจารณาโรงงานที่มีศักยภาพในการที่จะติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วม โดยพิจารณาจากเงินทุนจดทะเบียน ตั้งแต่ 10 ล้านบาทขึ้นไป หรือมีจำนวนคนงานจดทะเบียน ตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป ทั้งนี้เนื่องจาก ระบบผลิตพลังงานร่วมมีค่าลงทุนที่สูง การติดตั้งระบบควรเป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่พอสมควร มีการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าค่อนข้างมาก เมื่อได้โรงงานที่คัดเลือกไว้ข้างต้นแล้ว จะเริ่มส่งแบบสอบถามส่งไปยังโรงงานต่างๆ โดยให้เวลาทางโรงงานตอบกลับแบบสอบถาม ประมาณ 1 เดือน

4.8.3 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานที่ได้จากแบบสอบถาม

เมื่อแบบสอบถามจากหัวข้อที่ 4.8.2 ถูกส่งคืนมา ก็ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ไว้ นำมาศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านการใช้พลังงานว่า มีโรงงานฟอกย้อมผ้าโรงงานใดบ้างมีความเหมาะสมกับการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม

4.8.4 สำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียดกับโรงงานตัวอย่าง

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานในหัวข้อที่ 4.8.3 ทำการคัดเลือกโรงงานที่มีการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้ามากพอที่จะติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมดังกล่าว และให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน

4.8.5 ประเมินหาศักยภาพการใช้พลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วมกับโรงงานตัวอย่าง

เมื่อได้สำรวจและเก็บข้อมูลในโรงงานตัวอย่างแล้ว นำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ว่ามีความเหมาะสมในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมหรือไม่ ตลอดจนวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความไม่เหมาะสมในการติดตั้งระบบดังกล่าว

4.8.6 หาอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อไฟฟ้าของโรงงาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานในหัวข้อที่ 4.8.3 แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาหาอัตราส่วนการใช้พลังงานความร้อนต่อไฟฟ้า (Heat/Power ratio;H/P ratio) ของโรงงานแต่ละโรงงาน หลังจากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้มาแยกตามจำนวนกิจการที่ดำเนินงานของโรงงาน

4.8.7 หาอัตราส่วนพลังไฟฟ้าต่อแรงม้าติดตั้งรวมของโรงงาน

นำข้อมูลการใช้พลังไฟฟ้าที่ได้จากหัวข้อที่ 4.8.3 มาหาอัตราส่วนพลังไฟฟ้าต่อแรงม้าติดตั้งรวม (Power/Horse power ratio:P/Hp ratio) ของโรงงาน ซึ่งแรงม้าติดตั้งรวมเหล่านี้คือข้อมูลที่ได้จากแบบฟอร์มการขออนุญาตประกอบกิจการของโรงงาน โดยผู้ประกอบการจะต้องมาขอต่อในอนุญาต ทุก 3 ปี ซึ่งถ้ามีการขยายกำลังการผลิต ก็จำเป็นจะต้องแจ้งรายละเอียดของเครื่องจักรต่างๆ เพิ่มเติมให้ทราบ ข้อมูลเหล่านี้ทางกองควบคุมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรมเป็นผู้จัดเก็บไว้

4.8.8 การประเมินหาศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า

การประเมินหาศักยภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมในอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า จำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนพลังงานไฟฟ้าและความร้อน (เชื้อเพลิง) ที่โรงงานใช้ แต่เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมผ้ามีเป็นจำนวนมาก ไม่สามารถจะออกไปเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด สาเหตุจากข้อจำกัดในเรื่องของเวลา และเงินทุน ประกอบกับบางโรงงานไม่ยินดีที่จะให้ข้อมูลหล่านี้มา เนื่องจากโรงงานเหล่านี้ถือว่าข้อมูลบางข้อมูลเป็นความลับของทางโรงงาน ฉะนั้น การศึกษาจึงจะเป็นที่จะต้องประมาณการการใช้พลังงานจากแรงม้าติดตั้งรวมของโรงงาน ซึ่งการคำนวณหาจำนวนพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ สามารถคำนวณหาได้ ดังนี้

คำนวณหาพลังไฟฟ้าของโรงงานที่ต้องการ ได้ดังนี้

$$P_{process} = P/Hp \times Hp_{process} \qquad (4.22)$$

เมื่อ $P_{process}$ คือ พลังไฟฟ้าของโรงงาน (kW)

P/Hp คือ อัตราส่วนพลังไฟฟ้าต่อแรงม้าติดตั้งรวม (kW/Hp)

$Hp_{process}$ คือ แรงม้าติดตั้งรวมของโรงงาน (Hp)

คำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของโรงงานที่ใช้ ได้ดังนี้

$$EE_{process} = P_{process} \times (LF/100) \times WH \quad (4.23)$$

เมื่อ $EE_{process}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของโรงงาน (kWh/Y)

$P_{process}$ คือ พลังไฟฟ้าของโรงงาน (kW)

Load factor คือ โหลดแฟกเตอร์ของโรงงาน (%)

WH คือ ชั่วโมงทำงานต่อปี (h/Y)

คำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงาน ได้ดังนี้

$$m_{f,process} = H/P \times EE_{process} \times 3600 / (Hg \times \rho \times \eta_b/100) \quad (4.24)$$

เมื่อ $m_{f,process}$ คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงาน (l/Y)

H/P คือ อัตราส่วนพลังงานความร้อนต่อไฟฟ้า

$EE_{process}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของโรงงาน (kWh/Y)

Hg คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน (kg/L)

η_b คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

จากข้อมูลจำนวนเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ได้ข้างต้น นำมาวิเคราะห์หาศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานร่วมกับโรงงานฟอกย้อมผ้าว่ามีโรงงานทั้งสิ้นกี่โรงงานที่สามารถจะติดตั้งได้ และประเมินความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงาน และความสามารถในการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากอุตสาหกรรมประเภทนี้

4.9 ข้อกำหนดในการศึกษาวิจัย

ข้อกำหนดในการศึกษาวิจัย แบ่งออกได้เป็น 2 หัวข้อตามการศึกษา ดังนี้

1.ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กับโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถามและตัวอย่าง

2. ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า

4.9.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กับโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถามและตัวอย่าง

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมกับโรงงานฟอกย้อมผ้าที่ได้จากแบบสอบถามและตัวอย่าง แบ่งออกตามแหล่งที่มา ได้เป็น 3 ประเภท คือ ข้อกำหนดจากข้อมูลจริง ข้อกำหนดจากแหล่งอ้างอิง และข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นตามความเหมาะสม

ก. ข้อกำหนดจากข้อมูลจริง เป็นข้อกำหนดที่ได้มาจากการประเมินสภาวะการทำงานและจากข้อมูลของโรงงานตามความเป็นจริง ข้อกำหนดเหล่านี้ได้แก่

1. ชั่วโมงการทำงานในรอบปีของระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นไปดังระยะเวลาการทำงานจริงของโรงงาน

2. เชื้อเพลิงที่ใช้พิจารณาของระบบเดิมเป็นเชื้อเพลิงที่โรงงานใช้จริง

3. สภาวะการทำงานของหม้อไอน้ำของระบบเดิมเป็นไปตามการใช้งานจริงของโรงงาน เช่นสภาวะของน้ำป้อน และไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ เป็นต้น

ข. ข้อกำหนดจากแหล่งอ้างอิง เป็นข้อสมมุติที่ได้มาโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ ที่ได้ศึกษาหรือกำหนดไว้ ข้อกำหนดเหล่านี้ได้แก่

1. อายุการใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์ดีเซล และกังหันไอน้ำ มีอายุการทำงาน 20 ปี (HU,Daved,1985)

2. เชื้อเพลิงที่พิจารณาใช้กับระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นน้ำมันเตา มีค่าความร้อนเท่ากับ 41580 kJ/kg (หรือ 41164 kJ/l) และค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.990

3. ค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า คือราคาไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ตามประกาศเรื่องอัตราค่าไฟฟ้า (เริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2534 เป็นต้นไป) ซึ่งกำหนดอัตราไว้ดังนี้

3.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 355,000 หน่วยต่อเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) : กิโลวัตต์ละ 210 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) : หน่วยละ 1.07 บาท

3.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เกิน 355,000 หน่วยต่อเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) : กิโลวัตต์ละ 305 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) : หน่วยละ 1.07 บาท

4. ค่าไฟฟ้าที่ขายให้การไฟฟ้า คือ ราคาไฟฟ้าที่การไฟฟ้ารับซื้อจากเอกชน หรือผู้ผลิตรายเล็ก ซึ่งกำหนดราคาไฟฟ้าที่รับซื้อไว้ ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก เรื่อง อัตราการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก (ประกาศ ณ วันที่ 30 มีนาคม 2535) ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

พลังไฟฟ้า กิโลวัตต์ละ 227 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า หน่วยละ 0.85 บาท

5. อัตราค่าไฟฟ้าสำรอง คือ อัตราที่การไฟฟ้ากำหนดไว้ ในกรณีที่โรงงานนั้นมีความประสงค์ต้องการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขอบระบบมีเหตุขัดข้องหยุดเพื่อซ่อมแซมและบำรุงรักษา ซึ่งการไฟฟ้าได้กำหนดไว้ในเรื่องอัตราค่าไฟฟ้าสำรองไว้ (เริ่มใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2535 เป็นต้นไป) ดังนี้

5.1 <u>ความต้องการพลังไฟฟ้าสำรอง ตั้งแต่ 30 แต่ไม่ถึง 2000 กิโลวัตต์</u>

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสำรองกิโลวัตต์ละ 31.50 บาท

5.2 <u>ความต้องการพลังไฟฟ้าสำรองตั้งแต่ 2000 กิโลวัตต์ ขึ้นไป</u>

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสำรอง 1 กิโลวัตต์ ละ 45.75 บาท

6. ราคาน้ำมันเตา ราคาลิตรละ 3.50 บาท

7. สภาวะไอน้ำที่ออกจากระบบผลิตพลังงานร่วม ซึ่งจะจ่ายให้กับกระบวนการผลิต เป็นไอน้ำอิ่มตัว ที่ความดัน 7 kg/cm^2

8. สภาวะไอน้ำขณะออกจากหม้อไอน้ำของระบบผลิตพลังงานร่วม แบบกังหันไอน้ำ ถือว่าเป็นสภาวะเดียวกันกับสภาวะขณะเข้ากังหันไอน้ำ

9. ภาษีนำเข้าของระบบผลิตพลังงานร่วม 5 %

ค. <u>ข้อกำหนดที่กำหนดขึ้นตามความเหมาะสม</u> เป็นข้อกำหนดที่กำหนดขึ้นให้สอดคล้องกับการศึกษาวิจัย โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์และใกล้เคียงกับความเป็นจริง ข้อกำหนดเหล่านี้ได้แก่

1. ค่าดูแลและบำรุงรักษาประจำปีของหม้อไอน้ำระบบเดิม เท่ากับ 5 เปอร์เซนต์ของค่าเชื้อเพลิงประจำปี

2. ค่าดูแลและบำรุงรักษาประจำปีของระบบผลิตพลังงานร่วม เท่ากับ 5 เปอร์เซนต์ของค่าเชื้อเพลิงประจำปี

4. ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ เท่ากับ 85 เปอร์เซนต์

5. ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ เท่ากับ 65 เปอร์เซนต์

6. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เท่ากับ 90 เปอร์เซนต์

4.9.2 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วมกับอุตสาหกรรมฟอกย้อมผ้า

ข้อกำหนดนี้เป็นการกำหนดเพิ่มเติมจากหัวข้อที่ 4.9.1 เนื่องจากการศึกษาวิจัยนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน ได้ทุกโรงงาน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดค่าบางค่าขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ข้อกำหนดเหล่านี้ได้แก่

1. โรงงานเปิดดำเนินการ 300 วัน/ปี และ 24 ชั่วโมง/วัน (หรือ 7,200 ชั่วโมง/ปี)

2. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการบวนการผลิต คือ น้ำมันเตา

3. สภาวะการใช้ไฟฟ้าโรงงานฟอกย้อมผ้ามีโหลดแฟกเตอร์ 70 %

4. น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำของโรงงาน มีอุณหภูมิ 30 $^{\circ}C$

5. สภาวะไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำเท่ากับ 7 kg_f/cm^2 เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต