บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานโดยทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ควรรู้

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้อย่างกว้าง ๆ ที่เกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานร่วม เพื่อเป็นพื้นฐานของความเข้าใจที่จะช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ

3.1 <u>รูปแบบระบบผลิตพลังงานร่วม</u>

แนวความคิดของระบบผลิตพลังงานร่วมคือ พยายามลดความสูญเสียของพลังงานและนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ วิธีหนึ่งก็คือการนำพลังงานในส่วนที่สูญเสียของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ไอน้ำที่ใช้แล้วในกระบวนการผลิตไปผลิตไฟฟ้า โดยพยายามทำให้อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อจำนวนไอน้ำที่ใช้ อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะให้ผลการประหยัดพลังงานคือ ประสิทธิภาพของระบบมีความเหมาะสมที่สุด (Optimization) กล่าวคือ มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดหรือใช้พลังงานน้อยที่สุดต่อหน่วยผลผลิต ระบบผลิตพลังงานร่วมมี 2 รูปแบบ คือ

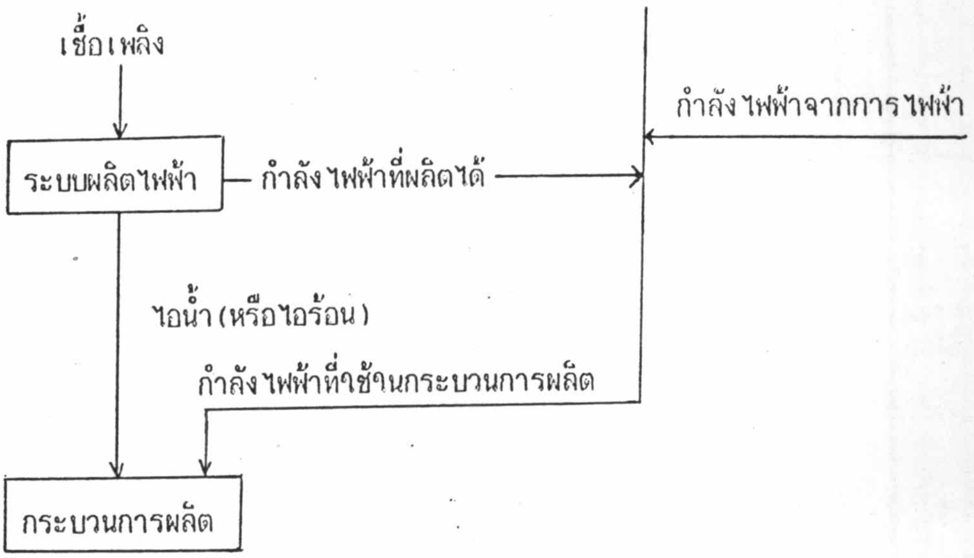
1. การนำความร้อนไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าก่อน หลังจากนั้นจึงนำความร้อนส่วนที่เหลือไปใช้ในกระบวนการผลิต(Product Process)ระบบนี้มีชื่อเรียกว่า"Topping Cycle" (รูปที่ 3.1.1.)

2. การนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตก่อน หลังจากนั้นจึงนำความร้อนส่วนที่เหลือไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า ระบบนี้มีชื่อเรียกว่า "Bottoming Cycle" (รูปที่ 3.1.2)

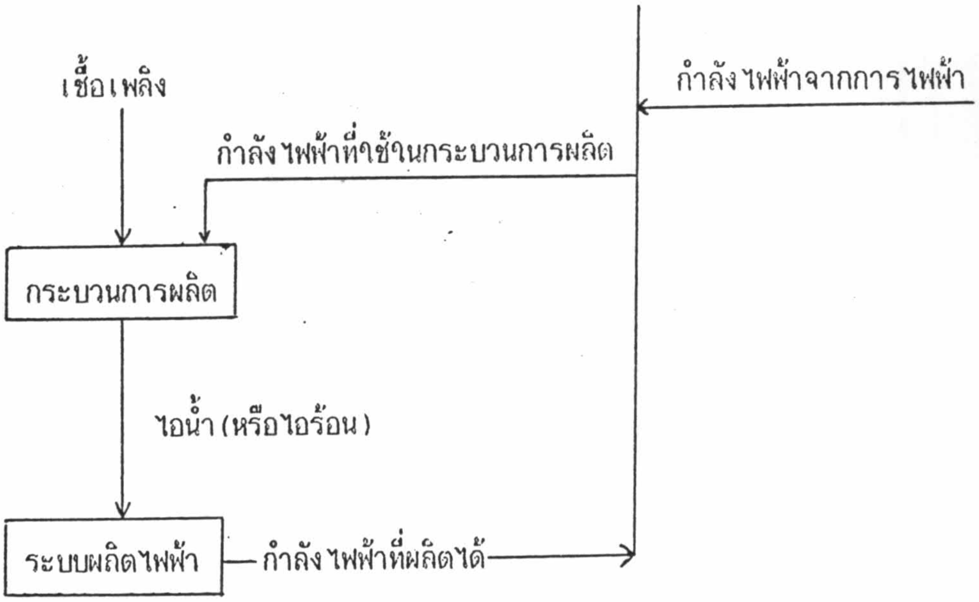
ตัวอย่างระบบผลิตพลังงานร่วม อาทิ

- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า

ระบบนี้จะผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล แล้วไอร้อนที่ได้จากเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 3.1.1 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle



รูปที่ 3.1.2 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle

จะนำไปผลิตไอน้ำโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ได้จากไอร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าต่ำ จึงทำให้ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้จากระบบนี้มีค่าน้อยตาม ดังจะเห็นได้จากอัตราส่วนระหว่างไฟฟ้า/ไอน้ำที่ได้แสดงไว้ และระบบนี้มีบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.1.3

- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-25 MW
- อัตราส่วนระหว่างไฟฟ้า/ไอน้ำ เท่ากับ 400:1
- เชื้อเพลิง ได้แก่ premium liquid, diesel oil, ethanol, methanol

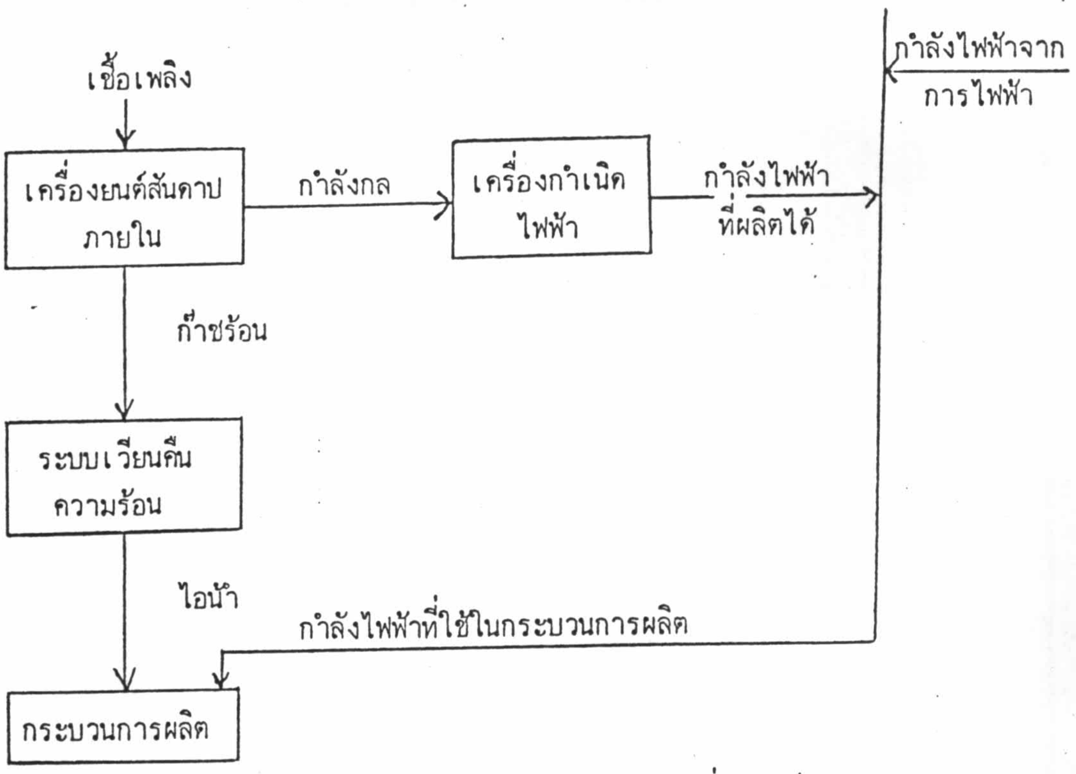
- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้า

ระบบนี้จะมีอุปกรณ์หลักที่จำเป็น คือ compressor, combustor, turbine โดยอากาศถูกอัดโดย compressor ให้มีความดันสูงมากและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นจะถูกผ่านเข้าไปใน combustor เพื่อเผาไหม้กับเชื้อเพลิง จนกลายเป็นก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและความดันสูง แล้วให้ก๊าซร้อนขยายตัวในเทอร์ไบน์เพื่อให้พลังงานกลไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการสร้างพลังงานไฟฟ้า จากนั้นก๊าซร้อนจะถูกนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำซึ่งไอน้ำที่ผลิตได้จะมีปริมาณต่ำเนื่องจากปริมาณความร้อนที่จะได้จากก๊าซร้อนมีค่าต่ำ และระบบนี้มีบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.1.4

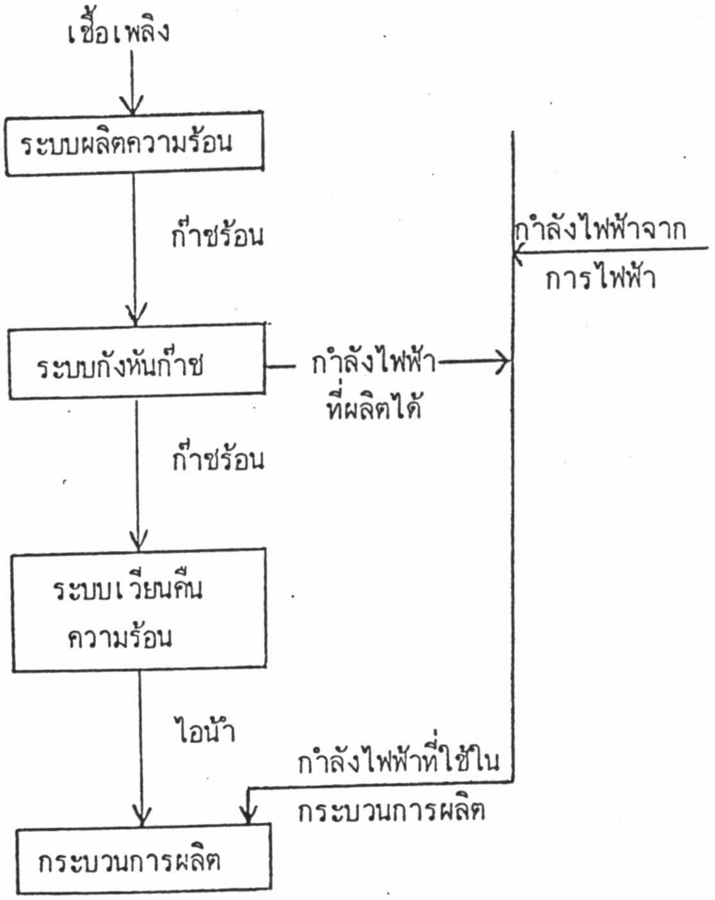
- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-75 MW
- อัตราส่วนระหว่างไฟฟ้า/ไอน้ำ เท่ากับ 200:1
- เชื้อเพลิง ได้แก่ premium fuels, natural gas, low-btu synthetic gas, light distillate oils, ethanol, methanol

- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Combined Cycle

ระบบนี้จะผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ โดยจะกังหันก๊าซผลิตไฟฟ้าก่อนและก๊าซร้อนที่ได้จากกังหันก๊าซจะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำ โดยจะใช้เชื้อเพลิงเพิ่มในส่วนการผลิตไอน้ำเพื่อช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิและความดันให้สูงขึ้น จนมีขนาดพอเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้อีกครั้ง จากนั้นจะนำไอน้ำไปผ่านเข้ากังหันไอน้ำเพื่อก่อให้เกิดพลังงานกลไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะถูกนำไป



รูปที่ 3.1.3 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 3.1.4 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้า

ใช้ในกระบวนการผลิต ระบบนี้มีบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.1.5.

- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 1-150 MW
- อัตราส่วนระหว่างไฟฟ้า/ไอน้ำ เท่ากับ 150:1
- เชื้อเพลิง ได้แก่ solid, liquid, gaseous and synthetic fossil fuels, solid waste, wood, peat

- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ

ระบบนี้จะผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันไอน้ำ จึงทำให้ปริมาณไอน้ำที่ได้จากระบบแบบนี้มีค่าค่อนข้างสูง จึงทำให้ระบบแบบนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้งาน ระบบนี้มีบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.1.6

- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 1-600 MW
- อัตราส่วนระหว่างไฟฟ้า/ไอน้ำ เท่ากับ 45-75:1
- เชื้อเพลิง ได้แก่ solid, liquid, gaseous, synthetic fossil fuels, nuclear, solid waste, wood, peat, geothermal

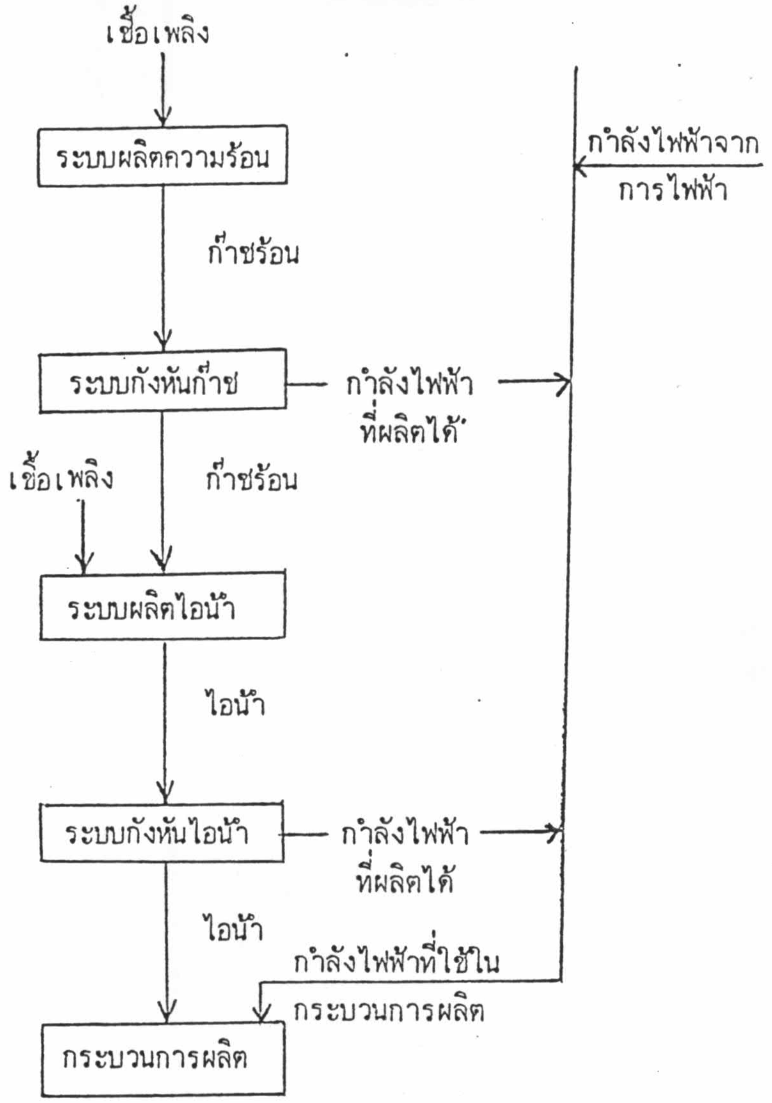
- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าและใช้ความร้อนทิ้ง (Waste Heat) เป็นแหล่งให้ความร้อน

ระบบนี้จะใช้กังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า โดยการผลิตไอน้ำจะใช้ไอร้อน (waste heat) เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ไอน้ำแทนเชื้อเพลิง ระบบนี้มีบล็อคไดอะแกรมแสดงดังในรูปที่ 3.1.7

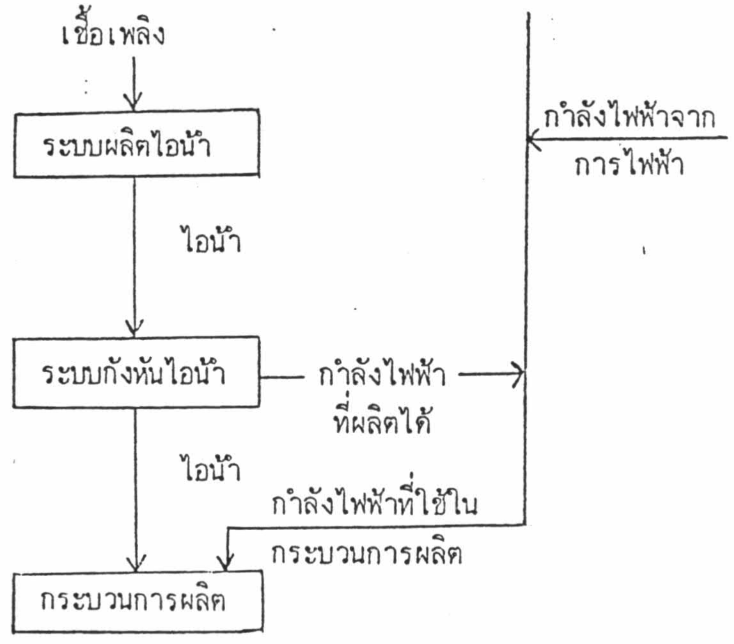
- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-10 MW
- เชื้อเพลิง ได้แก่ ไอร้อนจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงในกระบวนการผลิต อาทิเช่น ซีเมนต์ แก้ว เป็นต้น

- ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้ organic liquidแทนน้ำและใช้ความร้อนทิ้งเป็นแหล่งให้ความร้อน

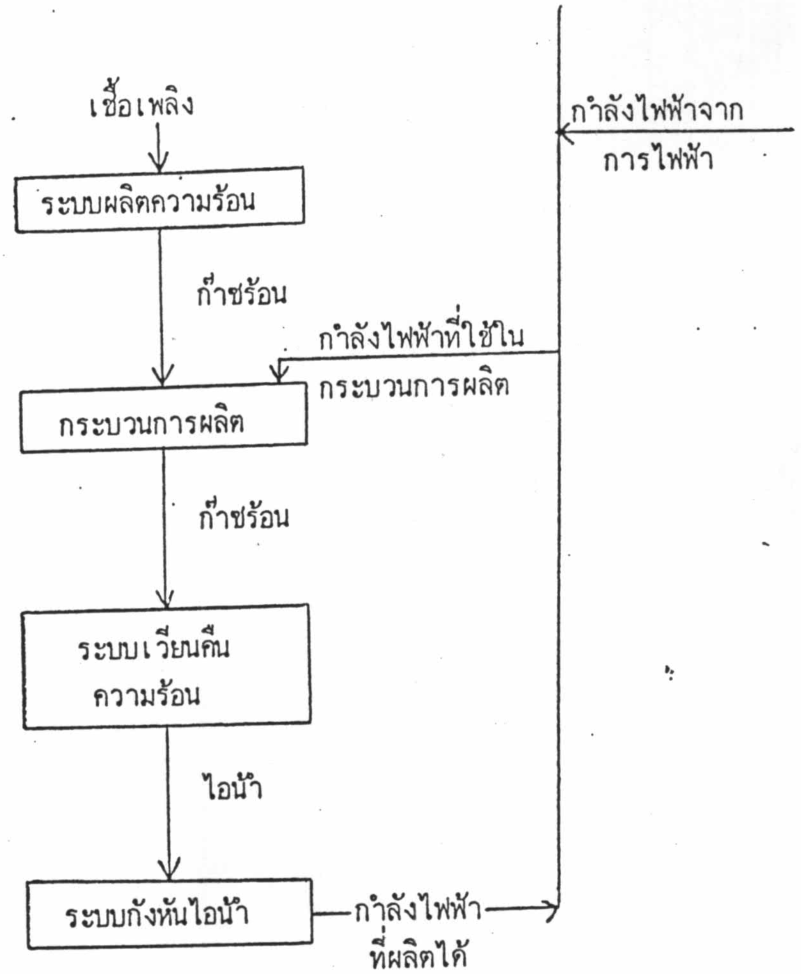
โดย organic liquid มีจุดเดือดต่ำ ความหนาแน่นไอของเหลวสูง จึงทำให้เกิดแรงขยายตัวสูง ระบบแบบนี้จึงมีขนาดเล็กลง และมีบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 3.1.5. บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Combined Cycle



รูปที่ 3.1.6 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 3.1.7 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าและใช้ความร้อนทิ้งเป็นแหล่งให้ความร้อน

3.1.8

- ความสามารถทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-1 MW
- เชื้อเพลิง ได้แก่ ไอร้อนจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงใน กระบวนการผลิต อาทิเช่น ซีเมนต์ แก้ว เป็นต้น

3.2 ขนาดและการทำงานของระบบ

ในส่วนนี้เราจะมาพิจารณาถึงการเลือกขนาดและการทำงานที่เหมาะสมของระบบ ซึ่งเราจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้คือ การใช้เชื้อเพลิง เงินลงทุน ประสิทธิภาพของระบบ อัตราส่วนของไฟฟ้าต่อไอน้ำ ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ปริมาณพลังงานความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิต การสันดาปของเชื้อเพลิง การติดตั้งและปรับปรุงระบบ การทำงานและบำรุงรักษาของระบบ ความสามารถในการทำงานได้อย่างต่อเนื่องของระบบ การซื้อ-ขายพลังงานของระบบ และความเชื่อถือได้ของระบบ เป็นต้น

ในการจัดการเกี่ยวกับพลังงานของระบบ เราอาจแบ่งระบบออกเป็นระบบย่อย ๆ 3 ส่วนด้วยกัน(รูปที่ 3.2.1) คือ

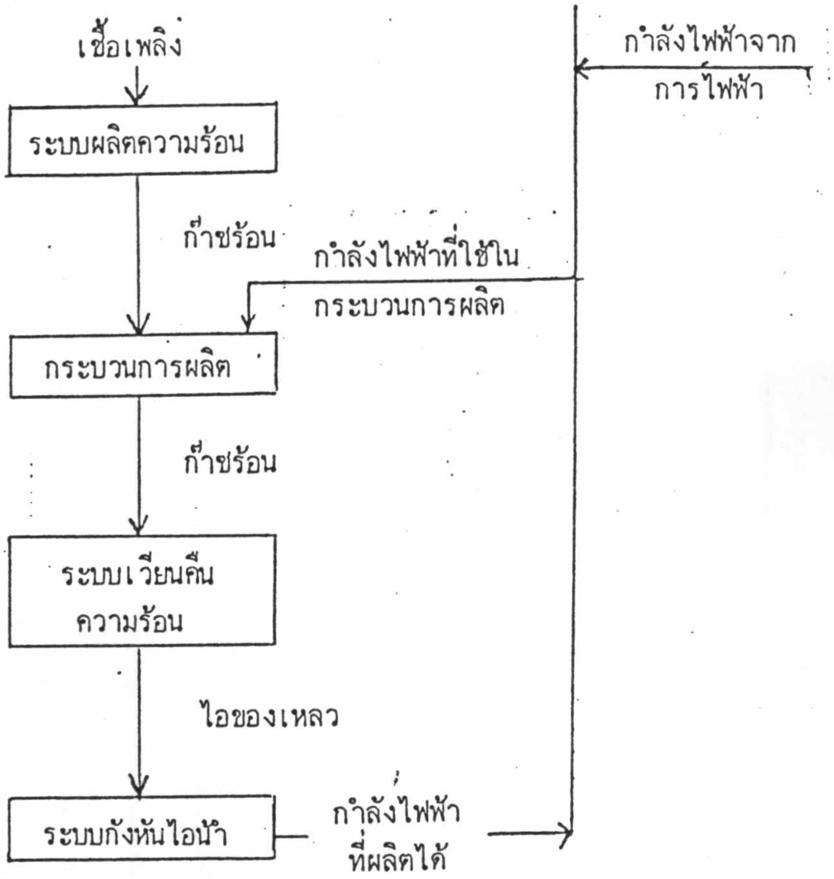
1. การผลิตพลังงาน (Energy generation) ในส่วนนี้ประกอบด้วย ระบบผลิตไอน้ำ ระบบการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2. ระบบการส่งพลังงาน (Energy transmission) ประกอบด้วย อุปกรณ์การส่งพลังงาน เช่น ท่อ ปั๊ม พัดลม เป็นต้น

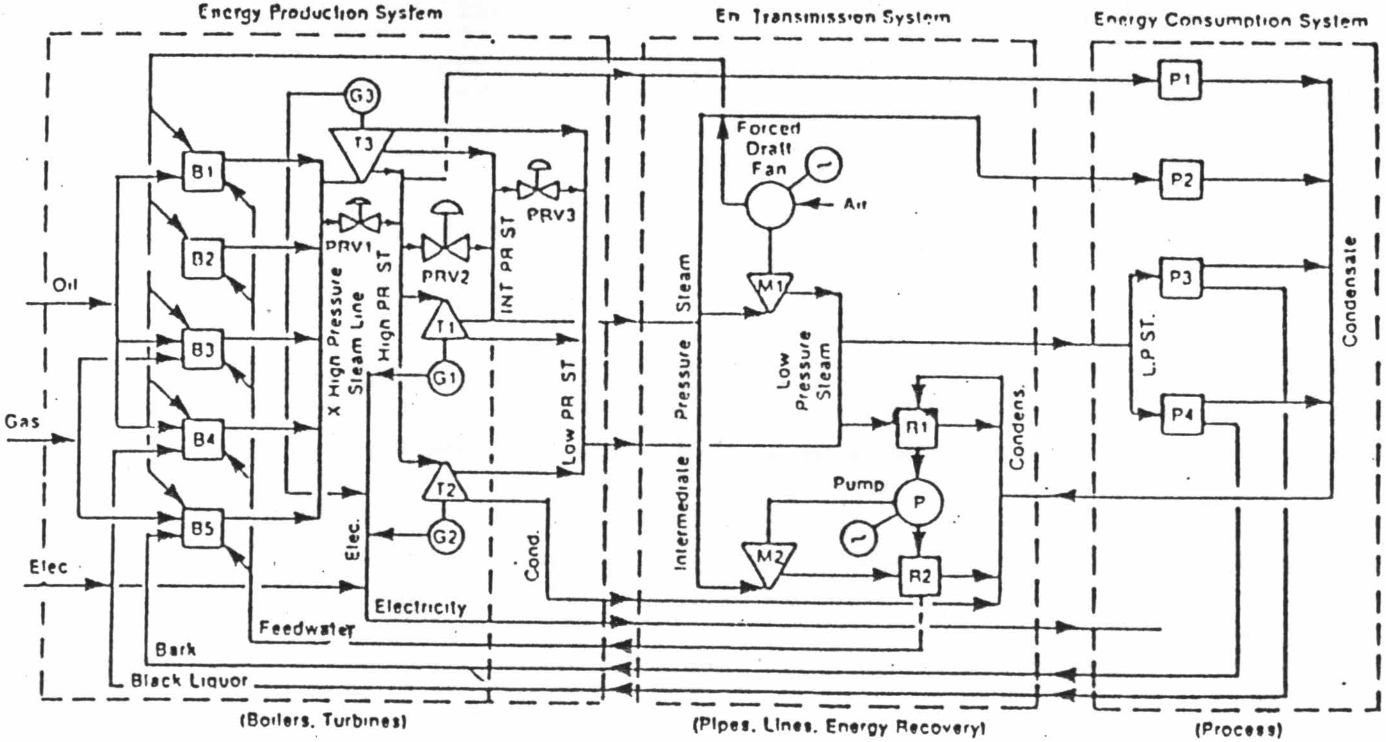
3. การใช้พลังงาน (Energy consumption) ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในกระบวนการผลิต เป็นต้น

ในการหาขนาดของระบบผลิตพลังงานร่วม จำเป็นจะต้องรู้ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เพื่อใช้ในการหาขนาดระบบให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ในการหาขนาดที่เหมาะสมของระบบจำเป็นจะต้องคำนึงถึงการทำงานของระบบ และหาจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ วิธีการหาจุดทำงานที่เหมาะสมจะใช้เทคนิคการออปติไมซ์ ซึ่ง

15592



รูปที่ 3.1.8 บล็อคไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้ organic liquid แทนน้ำและใช้ความร้อนทิ้งเป็นแหล่งให้ความร้อน



B = Boiler
T = Electric Power Generating Turbine
M = Mechanical Power Generating Turbine
R = Energy Recovery Heat Exchanger
P = Process Unit
G = Generator
PRV = Pressure Release Valve

รูปที่ 3.2.1. การจัดการพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วม

เป็นวิธีการที่ทำให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในระบบวิ่งเข้าสู่ค่าที่ทำให้การทำงานของระบบเป็นไปตามเป้าหมายโดยเป้าหมายอาจเป็นฟังก์ชั่นของค่าใช้จ่าย พลังงาน หรืออื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งเราเรียกว่า Objective function และฟังก์ชั่นเป้าหมายอาจจะมีข้อจำกัด (With Constraints) หรือไม่มีข้อจำกัด (Without Constraints) ก็ได้ โดยข้อจำกัดของระบบอาจจะเป็น ความสมดุลย์ของการไหลของมวล ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูปของพลังงาน พิกัดของอุปกรณ์ เป็นต้น และในการหาระบบที่เหมาะสมจะพิจารณาถึงปัญหาและผลลัพธ์บางประการ โดยปัญหาที่จะต้องพิจารณาสำหรับการหาขนาดและการทำงานของระบบได้แก่

1. ราคา และจำนวนไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรม
2. ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของระบบผลิตไอน้ำ
3. กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรม
4. อัตราการไหลของไอน้ำที่จ่ายให้กับกังหันไอน้ำซึ่งมีแกนร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. การกำหนดราคาซื้อ-ขายพลังงานไฟฟ้าระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมกับการไฟฟ้า
6. ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของการสร้างพลังงานกลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
7. จำนวนไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และปริมาณไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

และผลลัพธ์ที่ต้องการ คือ

1. จำนวนไอน้ำที่ต้องใช้ในระบบผลิตพลังงานร่วม
2. ปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากระบบ
3. ปริมาณไฟฟ้าที่จำเป็นต้องซื้อจากภายนอก
4. ปริมาณพลังงานกลที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เมื่อได้เป้าหมายและเงื่อนไขของระบบแล้ว ก็จะนำไปใช้ในการจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์ระบบ แล้วใช้เทคนิคการออปติไมซ์ช่วยในการแก้ไขปัญหา เพื่อหาขนาดและการทำงานที่เหมาะสมของระบบ

3.3 การซื้อ-ขายพลังงานของระบบผลิตพลังงานร่วม

การผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้เองในโรงงานอุตสาหกรรมแทนการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า มีเหตุผลที่สำคัญคือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยถูกกว่าค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยที่ซื้อจากการไฟฟ้ามากพอสมควร จนเป็นเหตุจูงใจให้เจ้าของกิจการยอมลงทุนซื้อเครื่องจักรเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ใช้เองในโรงงาน พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมี 3 ประเภทด้วยกัน คือ

1. พลังงานความร้อน เป็นพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เพื่อการแปรรูปวัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปพลังงานได้มาจากเชื้อเพลิงต่าง ๆ และบางส่วนได้มาจากพลังงานไฟฟ้า

2. พลังงานกล เป็นพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร โดยทั่วไปพลังงานได้มาจาก พลังงานความร้อนแปรรูปไปเป็นพลังงานกล และ/หรือพลังงานไฟฟ้าแปรรูปไปเป็นพลังงานกล

3. พลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานที่ใช้เพื่อ ให้แสงสว่าง การปรับสภาวะอากาศ และใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปพลังงานได้มาจากพลังงานความร้อนแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการผลิตไฟฟ้า และ/หรือได้จากการซื้อจากการไฟฟ้า

พลังงานที่ซื้อ-ขายในอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่คือ พลังงานไฟฟ้า ส่วนพลังงานความร้อนจะใช้หมดไปภายในกระบวนการผลิต มักจะไม่มีการซื้อ-ขายพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณภาพที่ต้องการจากพลังงานความร้อนที่ซื้อ-ขายระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายที่ประกอบอุตสาหกรรมไม่ตรงกัน และโอกาสที่โรงงานจะตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันก็เป็นไปได้น้อย การที่โรงงานจะขายพลังงานความร้อนให้กับประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง มักจะมีปัญหาคือผู้ซื้ออาจจะซื้อเป็นช่วงฤดูกาลและปริมาณการซื้อก็ไม่แน่นอน ในการที่โรงงานจะขายพลังงานความร้อนก็จะต้องมีการออกแบบระบบให้สามารถนำความร้อนเวียนคืนเพื่อการขาย ซึ่งจะทำให้มีการลงทุนที่สูงขึ้นอาจทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ยกเว้นประเทศในเขตหนาวที่สามารถขายพลังงานความร้อนได้ตลอดเวลาและคุ้มค่ากว่าการที่ผู้ซื้อจะผลิตขึ้นใช้เอง ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมจึงผลิตพลังงานความร้อนเพียงพอใช้ภายในโรงงานเท่านั้น และพลังงานความร้อนอาจจะมีการปล่อยทิ้งในบางกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่ำเกินกว่าจะนำไป

ใช้งานได้อีก บางส่วนที่ยังมีอุณหภูมิและความดันสูงอาจนำไปเวียนคืนความร้อนเพื่ออุ่นอากาศ น้ำหรือวัสดุได้เช่นกัน การที่จะขายพลังงานความร้อนออกภายนอกก็ขึ้นอยู่กับผู้ซื้อและเงื่อนไขการซื้อ-ขาย ส่วนการซื้อ-ขายพลังงานไฟฟ้าจะมีได้ก็ต่อเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมมีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เกินความต้องการ ซึ่งจะส่งจ่ายออกให้กับโหลดภายนอกเมื่อเกินความต้องการของโรงงาน จึงทำให้เกิดการซื้อ-ขายพลังงานระหว่างระบบ ดังนั้นพลังงานที่สามารถทำการซื้อ-ขายได้คือ พลังงานความร้อน และ/หรือพลังงานไฟฟ้า โดยที่การซื้อ-ขายจะต้องคำนึงถึง

1. เงื่อนไขของสัญญา ในกรณีที่เป็นการซื้อขายพลังงานเป็นจำนวนมากและก่อให้เกิดผลเสียต่อผู้ซื้อถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ซึ่งเงื่อนไขอาจประกอบไปด้วย

- คุณภาพ ปริมาณ และการส่งจ่ายพลังงานที่จะทำการซื้อ-ขาย
- ความสามารถในการจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง
- การรับประกันและความปลอดภัยจากการใช้พลังงาน
- การสำรองพลังงานฉุกเฉิน
- ระยะเวลาของสัญญาและการยกเลิกของสัญญา

2. ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ เมื่อพิจารณาถึงสัญญาแล้วก็จะพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในทางเศรษฐกิจด้วยว่าจะคุ้มค่ากับการขายหรือไม่ ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจจะเป็นการพิจารณาถึงผลประโยชน์จากการขายพลังงานส่วนเกินว่ามีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งสามารถหาได้คร่าว ๆ ดังนี้

ให้ ต้นทุนการผลิตพลังงาน = b บาท/k.j

อัตราการขายพลังงาน = r บาท/k.j

ผลประโยชน์ที่ได้จากการขายพลังงาน คือ

รายได้ = จำนวนเงินที่ได้จากการขายพลังงาน - ต้นทุนในการผลิตพลังงาน

หรือ $P = r - b$

ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ คือ

$P > 0$

หรือ $r > b$

นั่นคือ อัตราการขายพลังงานจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับต้นทุนการผลิตพลังงาน ถ้าอัตราการขายพลังงานมากกว่าต้นทุนการผลิตพลังงานมากเท่าไรก็ยิ่งมีความเหมาะสมมากเท่านั้น ซึ่งใช้เป็นจุดพิจารณาการขายพลังงานว่าจะขายในอัตราเท่าใด แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงแฟคเตอร์อื่น ๆ ของการลงทุนด้วย

3.4 การเชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมกับการไฟฟ้า

การเชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมกับการไฟฟ้าเรียก Interface โดยการเชื่อมโยงจะยอมให้ระบบผลิตพลังงานร่วมส่งพลังงานให้กับการไฟฟ้า และรับพลังงานจากสายส่งของการไฟฟ้าเมื่อจำเป็น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย