บทที่ 2
ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System)

2.1 ลักษณะทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วม [1]

ระบบผลิตพลังงานร่วม เป็นระบบที่มีกระบวนการในการนำความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ สามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้อย่างมาก โดยการใช้แหล่งเชื้อเพลิงเดียวในการผลิตพลังงานใช้ประโยชน์ได้ถึงสองทาง หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบผลิตพลังงานร่วม คือ ระบบที่มีการผลิตทั้งกำลังไฟฟ้า หรือกำลังทางกล ในเวลาเดียวกันก็มีการผลิตความร้อนขึ้นมาใช้ในกระบวนการอื่นๆ ด้วย ความร้อนที่ผ่านกระบวนการหนึ่งมาจะถูกป้อนให้กับกระบวนการต่อไป โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มาจากแหล่งเดียวกัน ระบบผลิตพลังงานร่วมจึงสามารถนำมาใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับความร้อนหรือมีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

นอกจากนั้นในลักษณะของผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Small Power Producer or SPP) หรือผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer or IPP) ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เอง ก็ยังนำหลักการของระบบผลิตพลังงานร่วมไปใช้ด้วย ช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้ขึ้น เป็นการช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมัน หรือก๊าซ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักลงไปอีกด้วย

2.2 การแบ่งประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วม [12]

ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยแบ่งตามลำดับการใช้พลังงานได้เป็นแบบใช้พลังงานความร้อนผลิตพลังงานไฟฟ้าก่อนที่จะใช้ในกระบวนการผลิต (Topping Cycle) และแบบที่มีการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตก่อนที่จะนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า (Bottoming Cycle) นอกจากนี้ระบบผลิตพลังงานร่วมยังสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีกตามชนิดของตัวต้นกำลัง (Prime Mover) ได้แก่ ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) หรือระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) ดังจะได้มีการกล่าวถึงต่อไป

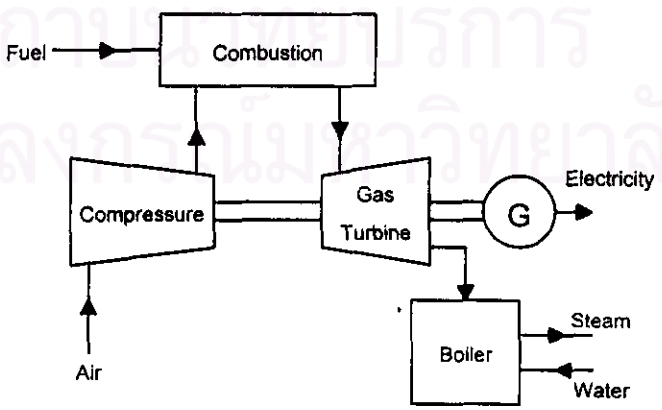
โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่ใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมล้วนแต่มีความต้องการใช้ไอน้ำกับปริมาณไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตมากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ต้องใช้ ระบบที่ใช้ก็จะเป็นระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ส่วนในโรงงานอุตสาหกรรมที่เน้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าก็จะใช้ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และนำก๊าซความร้อนที่ได้ไปผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป แต่สำหรับระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้พลังงานก็คือระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) ที่มีการนำความร้อนที่เป็นการสูญเสียในระบบกังหันก๊าซมาใช้ในการผลิตไอน้ำ เพื่อจ่ายให้ระบบกังหันไอน้ำ และไอน้ำส่วนหนึ่งก็นำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

2.2.1 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยแบ่งตามลำดับการใช้พลังงาน (Sequence of Energy Use)

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลำดับการใช้พลังงานดังนี้

2.2.1.1 Topping Cycle Cogeneration

Topping Cycle Cogeneration คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมที่นำเอาพลังงานความร้อนมาผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกลก่อนที่จะส่งพลังงานความร้อนที่เหลือเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิต พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้เป็นชนิดพลังงานความร้อนเกรดต่ำ คือมีความดันต่ำ (Low Pressure) และอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle ที่ใช้ระบบกังหันก๊าซสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle ที่ใช้กังหันก๊าซ

นอกจากระบบกังหันก๊าซแล้ว ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engines) ยังสามารถใช้เป็นตัวต้นกำลัง (Prime Mover) ให้กับระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle นี้ได้อีกด้วย รูปแบบทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม ได้แก่

- Boiler ⟹ Steam Turbine
- Gas Turbine ⟹ Waste Heat Recovery Boiler (or Heat Exchanger)
- Internal Combustion Engine ⟹ Waste Heat Recovery Boiler
- Gas Turbine ⟹ Waste Heat Recovery Boiler ⟹ Steam Turbine

รูปแบบสุดท้ายนี้โดยทั่วไปจะเรียกว่าระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้มาก เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโรงงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

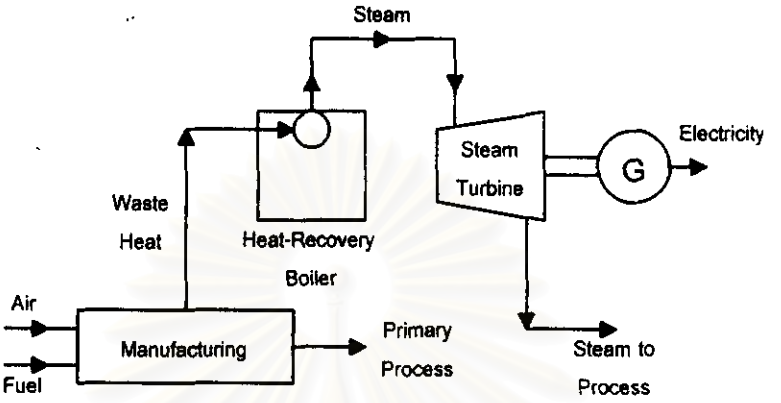
2.2.1.2 Bottoming Cycle Cogeneration

Bottoming Cycle Cogeneration คือ ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ผลิตความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตก่อน หลังจากมีการใช้ความร้อนไปในกระบวนการผลิตแล้ว ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle ซึ่งเป็นระบบที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกลจากพลังงานเกรดต่ำ ที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นพลังงานความร้อนแบบเกรดสูง คือมีความดันสูง (High Pressure) และมีความร้อนสูง (High Temperature) นั่นเอง ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle ที่ใช้ระบบกังหันไอน้ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

รูปแบบทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle Cogeneration ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมได้แก่

- Waste Heat Recovery Boiler ⟹ Steam Turbine
- The Exhaust Heat ⟹ Gas Turbine

โดยในระบบกังหันไอน้ำ ขนาดกำลังผลิตจะใกล้เคียงกับระบบกังหันไอน้ำของระบบพลังงานความร้อนร่วม ส่วนระบบกังหันก๊าซ กำลังผลิตจะขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซร้อนที่ปล่อยผ่านกระบวนการผลิตไอน้ำมานั่นเอง



รูปที่ 2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Bottoming Cycle ที่ใช้กังหันไอน้ำ

2.2.2 ประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วมโดยแบ่งตามชนิดตัวต้นกำลัง (Prime Mover)

ระบบผลิตพลังงานร่วม เมื่อแบ่งแยกตามชนิดของตัวต้นกำลัง (Prime Mover) ที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทหลักๆ ได้แก่ ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) และระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) โดยแต่ละประเภทสามารถอธิบายหลักการได้ดังนี้

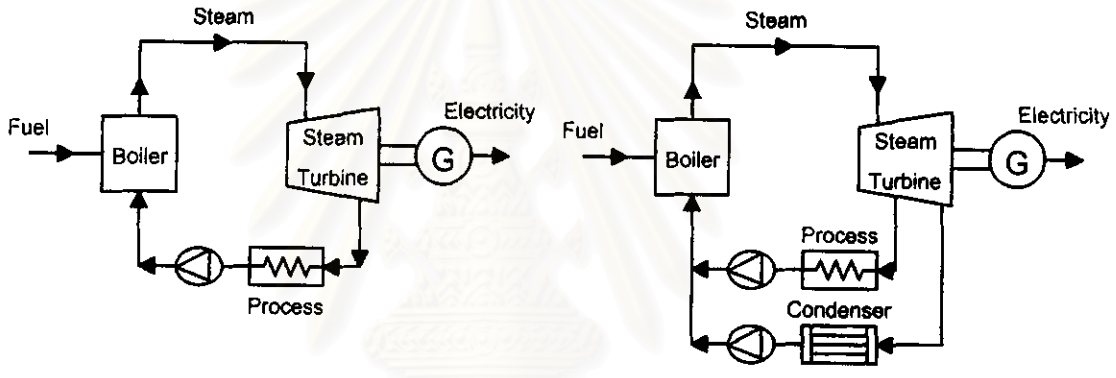
2.2.2.1 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine Cogeneration System)

ระบบผลิตพลังงานร่วมที่เป็นแบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง และนิยมใช้กันทั่วไปทั้งรูปแบบ Topping Cycle และ Bottoming Cycle

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ Topping Cycle ที่ใช้กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ซึ่งเป็นที่นิยม ได้แก่

- Back-Pressure Turbine
- Extraction-Condensing Turbine

ซึ่งได้แสดงไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้หลักการทั้ง 2 แบบข้างต้นไว้ดังในรูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการเลือกใช้งานระบบขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน สำหรับกระบวนการผลิต คุณภาพของพลังงานความร้อน และปัจจัยทางด้านการเงิน สำหรับจำนวนตำแหน่งที่จะนำ (Tap) เอาความร้อนออกมาใช้งาน (Extraction Points) นั้นขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต เช่นกระบวนการผลิตที่ต้องการใช้ระดับอุณหภูมิ 2 ระดับ จะมีการใช้ระบบที่เรียกว่า Extraction-Back Pressure Turbine



(a) Back-Pressure Turbine (b) Extraction-Condensing Turbine

รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบ (a) Back-Pressure Turbine และ (b) Extraction-Condensing Turbine

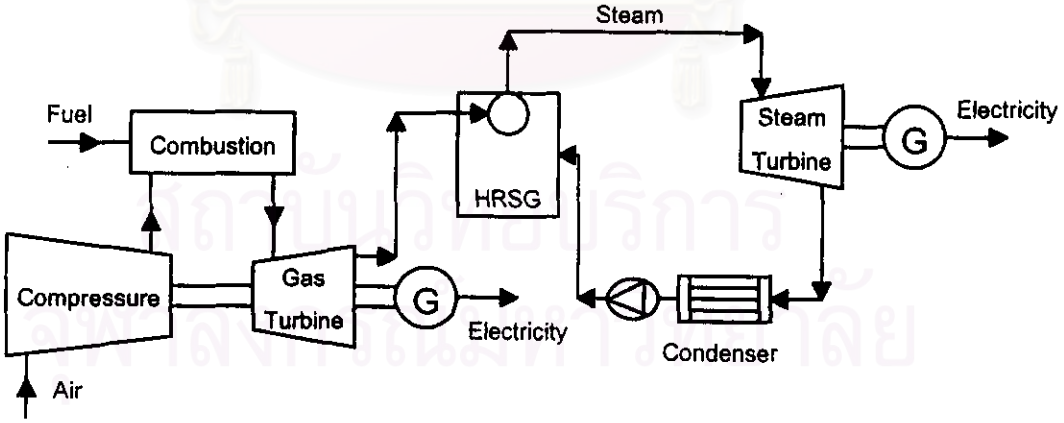
ข้อดีของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) คือ สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และชีวมวล (Biomass) โดยระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้กังหันไอน้ำสามารถให้พลังงานความร้อน (kJ) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW-h) มากกว่าระบบพลังงานร่วมชนิดอื่น ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) นิยมใช้ในกรณีที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงกว่า 1 MW จนถึงไม่กี่ร้อย MW

2.2.2.2 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine Cogeneration System)

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้กังหันก๊าซ (Gas Turbine) ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับกระบวนการผลิต ส่วนพลังงานความร้อนจากปล่องไอเสีย (Exhaust Stack) จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งมีได้หลายรูปแบบ เช่น ไอร้อน (Hot Air) ของเหลวร้อน (Hot Fluid) และไอน้ำ (Steam) ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบกังหันก๊าซเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากมีการใช้ต้นทุนต่ำ และประสิทธิภาพทางด้านสิ่งแวดล้อมดีกว่าระบบอื่น ขนาดกำลังผลิตที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 50 kW ถึง 50 MW

2.2.2.3 ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Cogeneration System)

ระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) นี้ประกอบไปด้วย ระบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และ Heat Recovery Steam Generation (HRSG) ระบบนี้ใช้เมื่อต้องการพลังงานไฟฟ้ามากกว่าพลังงานความร้อน หลักการทำงานทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วมที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle)

จากรูปจะเห็นได้ว่าไอเสียที่ออกจากระบบกังหันก๊าซ จะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำโดยผ่าน Heat Recovery Steam Generation (HRSG) ไอน้ำที่ได้นำไปผ่าน Back-Pressure

Steam Turbine หรือ Extraction-Condensing Steam Turbine เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม ไอน้ำที่ปล่อยมาจากกังหันไอน้ำยังสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย ทำให้ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) มักเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากมีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานความร้อนสูง (High Overall Thermal Efficiency) นั่นเอง

2.2.2.4 ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion (I.C.) Engine Cogeneration System)

ระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน เหมาะสำหรับระบบที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนไม่มากนัก พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกลโดยเพลาหมุน เพื่อนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนพลังงานความร้อนจะได้มาจากความร้อนของน้ำมันหล่อลื่น ระบบหล่อเย็นและไอเสียที่ได้จากเครื่องยนต์ ตัวอย่างของระบบผลิตพลังงานร่วมแบบใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในได้แก่ Otto Engine และ Diesel Engine ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะมีค่าสูงประมาณ 33-40% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวขับ (Prime Mover) ชนิดอื่น ข้อเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ ต้องการการบำรุงรักษาอย่างมาก เนื่องจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ ขนาดกำลังไฟฟ้าที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 50 kW ถึง 50 MW

2.3 การเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า [1,4]

การเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า (Interface) โดยวัตถุประสงค์ทั่วไปแล้วก็เพื่อให้ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบไฟฟ้าได้ หรือให้ระบบไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองให้แก่ระบบผลิตพลังงานร่วมในยามที่ต้องการ โดยการเชื่อมต่อ (Interface) ทำให้ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถขายพลังงานไฟฟ้าที่เกินอยู่นี้ให้แก่ระบบไฟฟ้า หรือซื้อไฟฟ้าที่จำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงการลงทุนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มในขณะที่ทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตลอดเวลาให้แก่กระบวนการผลิตที่ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง

การเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า จะต้องมีการกำหนดข้อตกลงระหว่างกันในเรื่องของจุดเชื่อมต่อ อุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์วัดและควบคุม รวมไปถึงมาตรการใน

การตัดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออกเมื่อจำเป็น (Load-Shedding) [9] การเชื่อมต่อของระบบผลิตพลังงานร่วมซึ่งทำงานเป็นอิสระ เพียงแต่ใช้ระบบไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานสำรอง และไม่มีการขายไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้า รูปแบบจะค่อนข้างง่าย แต่การเชื่อมต่อจะมีความยุ่งยากซับซ้อนขึ้นเมื่อมีการขายพลังงานไฟฟ้าระหว่างกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับเจ้าของกิจการ ข้อตกลงระหว่างกัน และขนาดของระบบผลิตพลังงานร่วม เจ้าของกิจการจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการเข้ามาควบคุมของระบบไฟฟ้าด้วย ระบบผลิตพลังงานร่วมสามารถถูกควบคุมการทำงานได้อย่างเต็มที่ โดยระบบไฟฟ้าผ่านทางข้อตกลงระหว่างทั้งสองฝ่าย

ในส่วนของการเชื่อมต่อและการป้องกันจะแตกต่างจากการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมกับระบบผลิตพลังงานร่วม หรือระบบไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้า เพราะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า ขนาด และระบบไฟฟ้าหลัก ทางเทคนิคแล้วจะไม่มีอุปสรรคในการป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมกับระบบไฟฟ้า แต่เมื่อระบบผลิตพลังงานร่วมถูกรวมเข้าอยู่ในระบบไฟฟ้า ทุกอย่างจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขคุณภาพของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีหัวข้อหลักๆ ดังต่อไปนี้

- ความปลอดภัย และการป้องกันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมไปถึงการต่อกับภาระทางไฟฟ้า
- ความสามารถในการบริการ และคุณภาพของไฟฟ้าตามมาตรฐาน
- ความประหยัดจากการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม ภายในระบบไฟฟ้าหลัก

การเลือกวิธีการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า ได้มีการแสดงออกมาเป็นแบบอย่าง หรือนโยบายที่จำเป็นต่ออุปกรณ์ป้องกัน ในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Voltage Synchronization
- Overcurrent Protection
- System Imbalance Protection
- Ground-Fault Protect
- Over/under Voltage and Frequency Protection
- Reverse Power Relays

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องมีสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ขนาดตั้งแต่ 200 kW ถึง 80 MW ตาม IEEE [1]

Size range from 200 kW to 80 MW	IEEE > 200 kW
Situation identifier	
Network or radial line feed	*
Fused transformer primary	
Customer load greater than generation	
Delta-delta dist, transformer connection	
Wye-grounded wye (dist, primary to generator voltage)	
Grounded wye-delta	
Delta-grounded wye	
Grounding bank may be required	*
Synchronism protection	
Relay to prevent energization of utility dead bus	
Synchro check relay	
Hot-line reclose inhibition	
Auto-synchronizer required	
Overcurrent protection	
Time and/or instantaneous overcurrent	*
Derectional overcurrent (looking into utility)	
Overcurrent with voltage restraint	
Impedance	*
System balance protection	
Phase current balance	
Negative sequence	
Ground-fault protection	
Ground overcurrent	*
Zero-sequence voltage (broken delta connection)	*
Single-phase over/under voltage	
System voltage protection	
Overvoltage	
Undervoltage	*
System frequency protection	
Overfrequency	
Underfrequency	*
Reverse power relay	

<u>หมายเหตุ</u>

* หมายถึง ส่วนของระบบป้องกันที่ IEEE กำหนดเอาไว้ ส่วนอื่นขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า

ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เป็นข้อกำหนดอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องมีสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วม ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 200 kW ถึง 80 MW ตามมาตรฐาน IEEE โดยถ้าระบบไฟฟ้าต้องการให้มีการป้องกันเพิ่มเติมนอกจากนี้ ก็ต้องมีการเจรจาตกลงระหว่างกันก่อน และมีการเสนอเป็นนโยบายในการปฏิบัติงานร่วมกันไปตลอด

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง รวมทั้งการป้องกัน [1-4,8,11] ในส่วนการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วม และระบบไฟฟ้าที่สำคัญ ซึ่งระบบไฟฟ้าเป็นผู้กำหนด ได้แก่

2.3.1 การซิงโครไนซ์ (Synchronization)

แรงดันซิงโครไนซ์ (Voltage Synchronization) เป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงในการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าสองแหล่งขนานเข้าด้วยกัน ระบบไฟฟ้าทุกระบบต้องการให้เป็นอย่างนี้ การซิงโครไนซ์ทำได้โดยการใช้รีเลย์ตรวจจับการซิงโครไนซ์ (Synchro-Check Relays) หรือตัวตรวจจับแรงดัน (Voltage Detectors) ซึ่งใช้ในการปิดวงจรกลับ (Reclosure) หรือที่เรียกว่า รีเลย์ปิดวงจรกลับ (Reclosing Relays) ระบบไฟฟ้าบางระบบมีความต้องการให้ระบบผลิตพลังงานร่วมมีการป้องกัน (Interlock) การจ่ายไฟฟ้าให้แก่บัสที่ไม่ได้ใช้หรืออยู่ในช่วงการซ่อมบำรุงของระบบไฟฟ้าด้วยเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

2.3.2 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

ระบบไฟฟ้าทุกระบบต้องการให้มีส่วนของการป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection) อุปกรณ์สองตัวที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน คือ รีเลย์ทิศทาง (Directional Relays) ซึ่งจะทำการตรวจจับกระแสเกินในด้านของระบบไฟฟ้าเท่านั้น เพื่อสั่งให้มีการทริป (Trip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นห่างจากระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์อีกตัวก็คือ อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance Relays) ซึ่งมีข้อดีในการทำงานแบบทันทีทันใดเมื่อเกิดกระแสเกินขึ้น

2.3.3 การป้องกันความไม่สมดุลของระบบ (System Imbalance Protection)

การป้องกันความไม่สมดุลของระบบ สามารถทำการตรวจจับได้จากเฟสของกระแสสมดุล (Phase Current Balance) หรือจากกระแสลำดับลบ (Negative Sequence Current) ระบบไฟฟ้า

ส่วนใหญ่ มีการแนะนำให้ใช้การป้องกันแบบลำดับลบ (Negative Sequence Protection) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.3.4 การป้องกันความผิดพร่องลงดิน (Ground-Fault Protection)

ระบบไฟฟ้าทุกระบบต้องการให้มีส่วนของการป้องกันการผิดพร่องลงดิน โดยขึ้นอยู่กับวิธีการต่อหม้อแปลงของระบบผลิตพลังงานร่วม และการต่อลงดินของวงจรปฐมภูมิ ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่วงจรปฐมภูมิมักจะไม่ต่อลงดิน ดังนั้นความผิดพร่องลงดินจึงสามารถตรวจจับได้โดยการวัดแรงดันลำดับศูนย์ (Zero Sequence Voltage)

2.3.5 การป้องกันแรงดันเกิน/ตก และการป้องกันความถี่ (Over/Under Voltage and Frequency Protection)

ระบบไฟฟ้าทุกระบบต้องการให้มีส่วนของการป้องกันแรงดันเกิน แรงดันตก และความถี่ที่จุดเชื่อมต่อของระบบผลิตพลังงานร่วมกับระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ระบบไฟฟ้าบางระบบจะสมมติให้การตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วของกังหัน (Turbine Governor Response) ในส่วนของระบบผลิตพลังงานร่วมเพียงพอที่จะควบคุมความเร็วเกิน (Overspeed) ได้ ดังนั้น ระบบไฟฟ้าจึงไม่ต้องการรีเลย์การป้องกันในกรณีที่มีความถี่เกินขนาด (Overfrequency Relays) เกิดขึ้น

2.3.6 รีเลย์ป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Power Relays)

ระบบไฟฟ้าบางระบบต้องการให้มีรีเลย์ป้องกันกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ (Reverse Power Relays) เพื่อตรวจจับสภาวะผิดปกติ ซึ่งมีการย้อนกลับของกำลังไฟฟ้าเกินกว่าระดับที่กำหนด สำหรับรีเลย์ชนิดนี้ โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย รีเลย์แรงดัน และรีเลย์ความถี่ สำหรับจุดเชื่อมต่อกับระบบผลิตพลังงานร่วมซึ่งมีการผลิตกำลังไฟฟ้าออกมา

2.3.7 อุปกรณ์เชื่อมต่อและค่าใช้จ่าย (Interconnection Equiment and Cost)

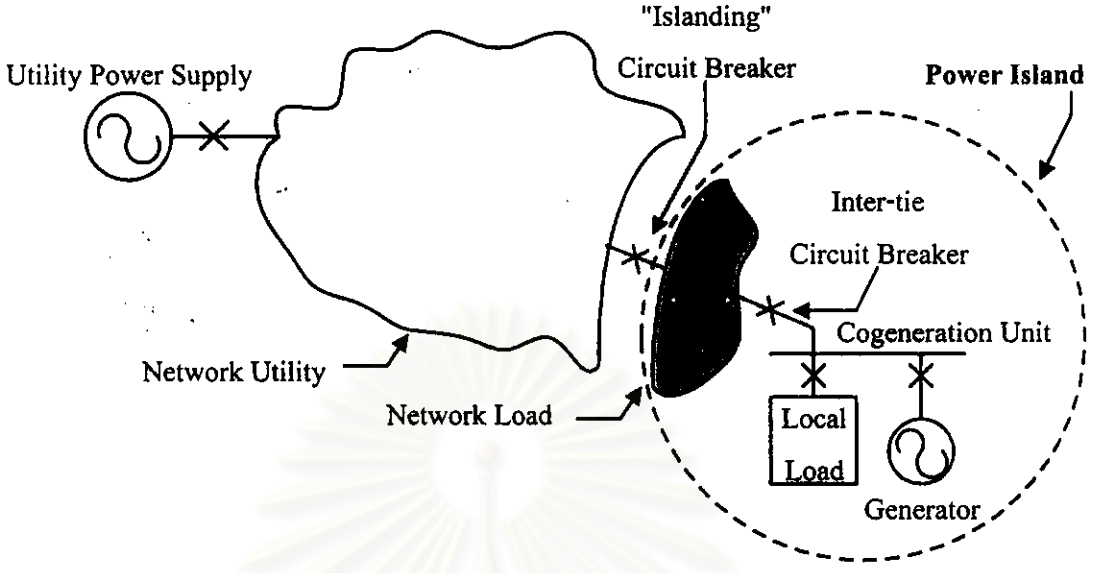
อุปกรณ์ที่ต้องการสำหรับการเชื่อมต่อจะแตกต่างกันออกไปตามระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วมแต่ละระบบ ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่ออุปกรณ์ที่ต้องการ และค่าใช้จ่าย ได้แก่

- ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Size)
- ระดับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อ (Interconnection Voltage Level)
- ความรับผิดชอบของเจ้าของกิจการในการบำรุงรักษา ซึ่งส่งผลต่อมาตรการในการเชื่อมต่อระบบทั้งสอง
- ค่าการติดตั้ง รวมไปถึงค่าจ้างแรงงาน และวิศวกร

จากข้อกำหนดในการเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้า สรุปได้ว่า ข้อตกลงระหว่างระบบไฟฟ้า และเจ้าของกิจการหรือระบบผลิตพลังงานร่วม จะใช้เป็นนโยบายในการปฏิบัติงานไปตลอด นอกจากนั้นยังรวมไปถึงสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบทั้งสองที่มีการเชื่อมต่อกันเป็นสำคัญด้วย จากนี้ไปจะเป็นการแสดงถึงลักษณะของระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการแยกออกมาจากระบบไฟฟ้า (Islanding) เมื่อเกิดความผิดพร่องหรือการรบกวนบางอย่างในระบบไฟฟ้าขึ้น รวมทั้งปัญหาต่างๆ ที่จะตามมา และส่งผลกระทบต่อระบบผลิตพลังงานร่วมนั้นอย่างไร

2.4 การแยกระบบผลิตพลังงานร่วมออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding) [2,5,6,8]

การแยกระบบออกเป็นอิสระ (Islanding) คือ สภาวะที่ระบบไฟฟ้ามีการตัดส่วนของภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าออก อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุการลัดวงจรในระบบของ "Utility" หรือเกิดจากขั้นตอนการตัดภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออก (Shed Load) ของระบบไฟฟ้า หรือไม่ก็เกิดจากการสูญเสียกำลังผลิตของระบบไฟฟ้า โดยเหตุการณ์เหล่านี้ สามารถที่จะทำให้เกิดการแยกภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าออกมาได้ทั้งนั้น ทำให้ภาระทางไฟฟ้าเหล่านี้ เปลี่ยนสภาพไปเป็นภาระทางไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วมแทน ซึ่งจะไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนของอุปกรณ์ตัดตอนที่ทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ เรียกว่า "Islanding Circuit Breaker" หรือ "ตัวตัดวงจรที่ทำให้เกิดการแยกระบบออกเป็นอิสระ" ซึ่งสามารถที่จะแสดงลักษณะการเกิดเหตุการณ์นี้ได้ ดังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการแยกระบบออกเป็นอิสระ (Islanding)

การเกิดการแยกระบบไฟฟ้าออกเป็นระบบอิสระ (Islanding) เป็นสิ่งซึ่งไม่พึงปรารถนาของทั้งระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วมเอง เนื่องจากว่า ภาระทางไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าที่มารวมอยู่เป็น ระบบอิสระกับระบบผลิตพลังงานร่วมมักจะเกินค่ากำลังผลิต (Capacity) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นเหตุให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการหน่วงความเร็วของการทำงานอันเนื่องมาจากสภาวะที่มีภาระทางไฟฟ้าเกินขนาด ในเวลาเดียวกันกับที่ต้องมีการจ่ายภาระทางกระบวนการผลิตของโรงงาน (Industrial Process Load) ด้วย จึงนำไปสู่การเกิดไฟฟ้าดับอย่างสมบูรณ์ (Blackout) ได้

การป้องกันระบบผลิตพลังงานร่วมจากการแยกออกเป็นระบบอิสระจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายในการออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วมเป็นอย่างมาก ถ้าปริมาณภาระทางไฟฟ้าทั้งหมดในระบบอิสระมีค่าเกินกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว จะทำให้แรงดัน และความถี่ จะเกิดการลดฮวบ (Sag) ขึ้นได้ ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณภาระทางไฟฟ้าในระบบอิสระมีค่าน้อยกว่ากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเป็นเหตุให้ขนาดของแรงดัน และความถี่จะสูงขึ้น สามารถทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้เช่นกัน ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการป้องกันเมื่อเกิดสภาวะการแยกระบบออกเป็นอิสระ (Islanding) รองรับเอาไว้ด้วย โดยระบบผลิตพลังงานร่วมต้องสามารถตรวจจับเหตุการณ์เช่นนี้ให้ได้ โดยทั่วไปจะมีการใช้รีเลย์แรงดันเกิน/ตก (Over/Undervoltage Relays) และรีเลย์

ความถี่เกิน/ตก (Over/Underfrequency Relays) ในการตรวจจับ จากนั้นก็เป็นการจัดการกับระบบอิสระ (Island) ให้สามารถปฏิบัติงานต่อไปได้ ในเงื่อนไขของการทำงานอยู่ในขอบเขตของความมีเสถียรภาพของระบบ จนกระทั่งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักของระบบไฟฟ้า (Main Supply of Utility) สามารถกลับมาจ่ายภาระทางไฟฟ้าส่วนนั้นได้เหมือนเดิม

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดได้แสดงให้เห็นแล้วว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมมีลักษณะอย่างไร แบ่งประเภทได้อย่างไรบ้าง มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้าอย่างไร การเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเป็นอย่างไร และท้ายที่สุดก็คือ การเกิดการแยกของระบบผลิตพลังงานร่วมออกมาเป็นระบบอิสระได้ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตพลังงานร่วมอย่างไร ทุกอย่างล้วนแล้วแต่เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมเราจึงควรให้ความสนใจในการวิเคราะห์ หรือศึกษาระบบผลิตพลังงานร่วมให้มากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ปัจจุบันโรงงานอุตสหกรรมส่วนใหญ่จะนำระบบนี้ไปใช้ เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบที่ได้เห็นกันอย่างชัดเจนนั่นเอง และยังช่วยให้ระบบไฟฟ้าโดยรวมมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย