บทที่ 1
บทนำทั่วไป

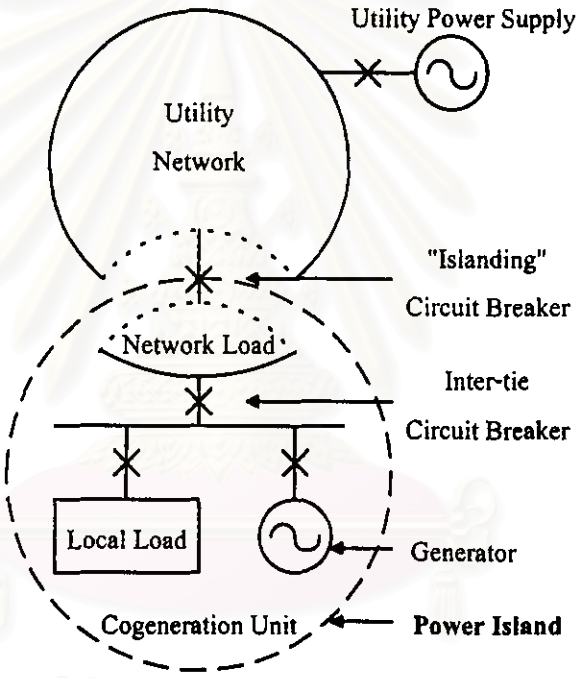
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) [1] คือ ระบบผลิตพลังงานที่มีการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานความร้อน และไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความร้อนที่ผลิตได้มักจะใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะใช้กับภาระทางไฟฟ้าของโรงงาน ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีไม่พอ หรือผลิตได้มากกว่าที่ต้องการใช้กับภาระทางไฟฟ้าของโรงงาน ก็อาจจำเป็นจะต้องมีการทำสัญญาซื้อขายพลังงานไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าหลัก โดยระบบผลิตพลังงานร่วมจะมีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านทางสายส่ง (Tie-Line) ซึ่งจะมีระบบป้องกันสายส่งที่เชื่อมต่อระบบทั้งสองนี้ด้วย หากเกิดความผิดปกติขึ้นที่ระบบผลิตพลังงานร่วม หรือระบบไฟฟ้า ก็จะเป็นเหตุให้ระบบป้องกันทำการตัดสายส่งออก เป็นการแยกระบบทั้งสองออกจากกัน ก่อนที่จะก่อเกิดความเสียหายแก่ทั้งระบบได้

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน การผลิตพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งเอกชนจะได้รับสัมปทานจากทางรัฐบาลให้สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อการจำหน่ายได้ โดยจะอยู่ในลักษณะของผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Small Power Producer or SPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer or IPP) หรืออุตสาหกรรมที่ใช้ระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) การศึกษาในส่วนของระบบผลิตพลังงานร่วมจึงน่าที่จะให้ความสนใจมากขึ้น เมื่อระบบเหล่านี้มีมากขึ้นในระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบอย่างไรบ้างต่อระบบไฟฟ้า ความเหมาะสมของการนำระบบนี้มาใช้เป็นอย่างไร รวมไปถึงมาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม และการป้องกันการทำงานที่อาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ควรจะเป็นอย่างไร สิ่งเหล่านี้จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ต้องมีการศึกษาระบบผลิตพลังงานร่วมอย่างละเอียดนั่นเอง

ในส่วนของระบบผลิตพลังงานร่วม ได้มีการศึกษาและพัฒนาในหลายๆ ด้าน [2-6] ในด้านของระบบป้องกัน Powell[2] แสดงให้เห็นถึงระบบป้องกันต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมในมุมมองของระบบไฟฟ้า เช่น การวางแผนงานของวิศวกร รวมทั้งเงื่อนไขในการป้องกันที่

ระบบไฟฟ้ามีต่อผู้ผลิต จากนั้น Clark[3] ก็ได้ศึกษาการจำลองระบบป้องกันขึ้นมา ซึ่งมีทั้งการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ การทดสอบผลของความผิดพร่องต่างๆ ต่อการป้องกันระบบผลิตพลังงานร่วม ต่อมาก็ได้เริ่มมีการศึกษาด้านการป้องกันระบบเชื่อมต่อระหว่างระบบผลิตพลังงานร่วมและระบบไฟฟ้าขึ้น โดยได้แสดงออกมาเป็น IEEE Special Report[4] แสดงให้เห็นถึงหลักการในการป้องกันสายส่งนอกเหนือจากการป้องกันเสิร์จ อธิบายถึงหลักการใช้อุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม ในการตรวจจับความผิดพร่องของระบบ จนมาถึง Redfern[5,6] ได้สนใจศึกษาถึงการป้องกันระบบผลิตพลังงานร่วม จากการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า แล้วเป็นเหตุให้ระบบผลิตพลังงานร่วมต้องมีการแยกออกมาเป็นระบบอิสระ (Islanding) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะการเกิดระบบไฟฟ้าอิสระ

ระบบไฟฟ้าอิสระ (Islanding) [2,5-8] คือ สภาวะที่ระบบไฟฟ้ามีการตัดส่วนของภาระทางไฟฟ้าบางส่วนออก อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่

1) เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้า

2) เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบผลิตพลังงานร่วม

3) เกิดการลัดวงจรขึ้นในสายส่ง (Tie Line)

4) เกิดจากขั้นตอนการตัดภาระทางไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าบางส่วนออก (Load Shedding)

5) เกิดการสูญเสียกำลังผลิต (Outage) ของระบบไฟฟ้า เป็นต้น

ทำให้ภาระทางไฟฟ้าเหล่านี้เปลี่ยนไปเป็นภาระทางไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วมแทน ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนของอุปกรณ์ตัดตอนที่ทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ เรียกว่า อุปกรณ์ตัดตอนระบบไฟฟ้าอิสระ (Islanding Circuit Breaker) [5,6] ระบบไฟฟ้าอิสระ (Islanding) เป็นสิ่งซึ่งไม่พึงปรารถนาของทั้งระบบไฟฟ้า และระบบผลิตพลังงานร่วมเอง เนื่องจากภาระทางไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าที่มารวมเป็นระบบไฟฟ้าอิสระกับระบบผลิตพลังงานร่วม มักจะเกินค่ากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตพลังงานร่วม เป็นเหตุให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องทำงานเกินพิกัด ในเวลาเดียวกันกับที่ต้องมีการจ่ายพลังงานความร้อนให้กระบวนการผลิตด้วย นำไปสู่การสูญเสียกำลังผลิต (Outage) ของระบบผลิตพลังงานร่วมอย่างสมบูรณ์ได้

สภาพปัญหาและแนวทางการศึกษา

งานศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า ได้มีการพัฒนาในด้านการตรวจจับการเกิดระบบไฟฟ้าอิสระไว้หลายหลักการ การศึกษาด้านการตอบสนองของแรงดัน ความถี่ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของระบบ การไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งสามารถที่จะใช้ในการตรวจจับการเกิดระบบไฟฟ้าอิสระได้ทั้งนั้น หรือแม้แต่กระทั่งหลักการใหม่โดยใช้การตรวจจับอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [5,6] ก็ยังสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ แต่ประสิทธิภาพในการตรวจจับไม่ใช่หัวใจของการป้องกันไปเสียทั้งหมด การป้องกันที่ครบถ้วน คือ เมื่อสามารถตรวจจับความผิดปกติและทำการแก้ไขไปแล้ว ระบบที่ได้รับการป้องกันนั้นยังคงทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพหรือไม่

ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกที่จะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า มีการสร้างแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างละเอียด [9] การคิดผลของระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter) ระบบควบคุมความเร็ว (Governor) และแบบจำลองภาระทางไฟฟ้าที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ทำให้การสังเกตผลตอบสนองของระบบผลิตพลังงานร่วมในช่วงเสถียรภาพชั่วครู่ (Transient Stability) มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และสามารถบอกได้ว่าหลังจากเกิดการแยกออกจากระบบไฟฟ้าแล้ว ระบบผลิตพลังงานร่วมยังคงสามารถทำงานอยู่ได้อย่างมีเสถียรภาพต่อไปหรือไม่

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) ศึกษาผลตอบสนองทางด้านเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม ต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า [4-7]

2) พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม โดยมีการใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าอย่างละเอียด [7,9]

3) เก็บผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไว้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อไป [7]

ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วม เมื่อทำงานเป็นระบบอิสระ แยกออกจากระบบไฟฟ้า โดยค้นคว้าข้อมูลจากหนังสือ และวารสารต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงหลักการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย

3) ศึกษาการเขียนโปรแกรม MATLAB [10] รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องจักรหลายตัว

4) ทำการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า

5) ทำการทดสอบเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม โดยจำลองสถานการณ์ความผิดพร่อง ปริมาณภาระทางไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วม และการแก้ไขความผิดพร่องในลักษณะต่างๆ เข้าไป

6) วิเคราะห์ และสรุปผลงานวิจัย

7) ทำการเรียบเรียงผลงานวิจัย พิมพ์ผลงานวิจัย และจัดเข้ารูปเล่มเพื่อทำการเสนอต่อคณะกรรมการต่อไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบเขตเบื้องต้นในการวิเคราะห์ระบบ ได้แก่

1) ระบบที่พิจารณาจะเป็นระบบ 3 เฟสแบบสมดุล

2) การป้องกันจะใช้หลักการของรีเลย์ความถี่ต่ำหรือเกิน (Under/Overfrequency Relay) โดยกำหนดการทำงานที่ 1% ของความถี่ที่เปลี่ยนไป เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่บั่นทอนอายุการใช้งานของส่วนประกอบระบบผลิตไฟฟ้า [8]

3) ไม่คิดขั้นตอนของการปิดวงจรกลับอัตโนมัติ (Auto-Reclosure) ของระบบไฟฟ้า เนื่องจากระบบที่พิจารณาเป็นระบบส่ง ซึ่งการทำการปิดวงจรกลับจะต้องมีการควบคุมอย่างดี ไม่เช่นนั้นอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบส่งมากขึ้นก็ได้

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งสิ้น 8 บท โดยมีการกล่าวถึงเรื่องต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของระบบผลิตพลังงานร่วม หลักการทำงานต่างๆ การแบ่งประเภทของระบบผลิตพลังงานร่วม การเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า [1] และการเกิดการแยกออกจากระบบไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานร่วม (Islanding)

บทที่ 3 กล่าวถึงผลกระทบของความถี่ผิดปกติต่อระบบไฟฟ้า และแนวทางป้องกัน โดยจะแสดงรายละเอียดของการทำงานในสภาวะความถี่ผิดปกติ ผลของความถี่ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลของความถี่ต่อกังหัน (Turbine) และการป้องกันระบบไฟฟ้าจากความถี่ที่ผิดปกติ [8,11]

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองระบบไฟฟ้า [1,7,9,12-17] ซึ่งประกอบไปด้วย

-แบบจำลองเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Machine Model)

-แบบจำลองระบบควบคุมการกระตุ้นสนาม (Exciter Model)

-แบบจำลองระบบควบคุมความเร็ว (Governor Model)

-แบบจำลองภาระทางไฟฟ้า (Load Model)

-แบบจำลองของระบบผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System Model)

บทที่ 5 กล่าวถึงหลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าและระบบผลิตพลังงานร่วม สมการการแกว่ง (Swing Equation) สมการพฤติกรรมของวงจรเครือข่าย (Network Performance Equation) และการคำนวณสมการอนุพันธ์ (Differential Equation Calculation) [13,18]

บทที่ 6 กล่าวถึงหลักการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการทำงานแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding) แสดงทั้งหลักการออกแบบโปรแกรม ขั้นตอนการวิเคราะห์ และแผนผัง (Flowchart) การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังได้แสดงระบบที่ใช้ในการทดสอบ (Islanding Case Study) [14] โดยมีการแบ่งออกเป็นสองแบบ ได้แก่ ระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และระบบผลิตพลังงานร่วมประเภทที่ใช้ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle) [1]

บทที่ 7 กล่าวถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อการแยกออกจากระบบไฟฟ้า และการแสดงผลที่ได้จากการทดสอบเสถียรภาพในกรณีต่างๆ

บทที่ 8 กล่าวถึงการสรุปผล และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1) ทำให้สามารถวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมได้สะดวกขึ้น เมื่อเกิดการแยกออกจากระบบไฟฟ้า (Islanding)โดยให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2) ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนงานป้องกันภายในระบบผลิตพลังงานร่วม ช่วยจำลองผลของการออกแบบ หรือติดตั้งระบบป้องกันที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานร่วมได้

3) ทำให้มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าอย่างละเอียด และผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อให้เหมาะสมกับการศึกษาในกรณีอื่นๆ ต่อไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย