

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างสูง จึงมีความจำเป็นที่ต้องขยายระบบและเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเพียงพอ การเชื่อมต่อกันของระบบไฟฟ้ากำลังนั้นนอกจากช่วยปรับปรุงความน่าเชื่อถือได้ของระบบ แล้วยังทำให้ลดต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งได้อีกด้วย [1-5] อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลังนี้อาจก่อให้เกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ (Inter-area oscillation) และส่งผลเสียต่อเสถียรภาพของระบบ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างทันทีทันใด หรือเกิดความผิดปกติ (Fault) อาจทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพ และส่งผลให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างได้

นอกจากนี้ยังมีปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงานในการนำมาผลิตไฟฟ้า ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม หรือการลงทุนติดตั้งระบบจำหน่ายไปยังหมู่เกาะ หรือชุมชนที่อยู่ห่างไกล เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed generation, DG) [6] เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจสูงในปัจจุบัน เนื่องจาก DG สามารถลดปริมาณการสูญเสียกำลังไฟฟ้าโดยสามารถติดตั้ง DG อยู่ใกล้กับแหล่งที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้า นอกจากนั้นยังสามารถลดขนาดและจำนวนของการสร้างสายส่งไฟฟ้าได้อีกด้วย ตัวอย่างของ DG ได้แก่ กังหันลม (Wind turbine) กังหันก๊าซ (Gas turbine) กังหันขนาดเล็ก (Micro-turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel generator) การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic) และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถติดตั้ง DG เพื่อช่วยจ่ายโหลดในระบบขนาดเล็กที่ไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึงได้ ซึ่งก็คือระบบไมโครกริด [7-10] ในปัจจุบันมีโครงการที่เกี่ยวกับระบบไมโครกริดมากมายทั่วโลก เช่น โครงการ consortium for electric reliability technology solutions (CERTS) ในสหรัฐอเมริกา [11], โครงการ aichi, kyotango และ hachinohe ในญี่ปุ่น [12], โครงการ MG ในเซเนกัล [13], โครงการ kythnos island ในกรีซ [7], โครงการ labein ในสเปน [14] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โดยธรรมชาติของลมและแสงอาทิตย์นั้นมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อระบบไมโครกริดและระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงในด้านต่างๆ เช่น เสถียรภาพ ความถี่ แรงดัน คุณภาพกำลังไฟฟ้า เป็นต้น

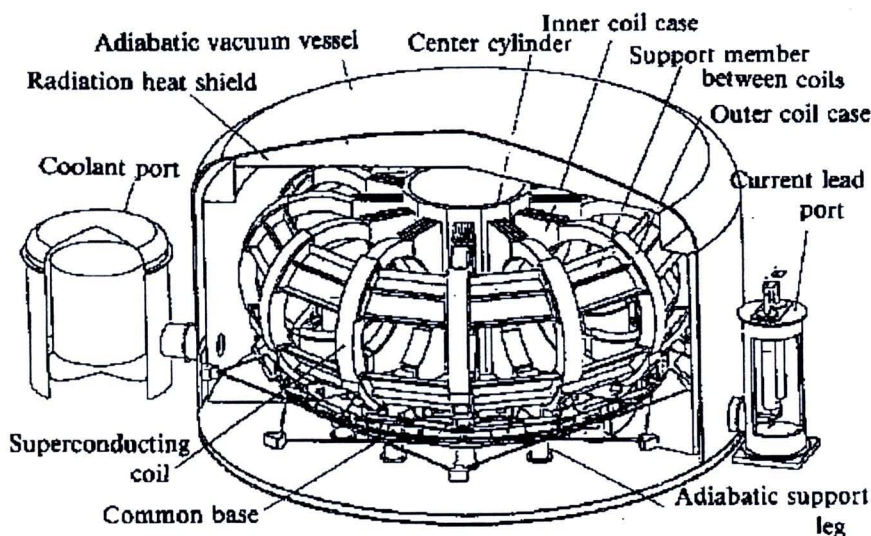
งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมได้ (Controllable Distributed Generations, CDG) เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น

1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมได้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมได้ หมายถึงแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Real power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power) เอาท์พุทได้ คุณสมบัติการควบคุมกำลังไฟฟ้าได้นี้ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ไปเพื่อควบคุมความถี่ แรงดัน เสถียรภาพของระบบ ตลอดจนปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นประยุกต์ใช้ CDG สองชนิดคือ ตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กโดยใช้ตัวนำยิ่งยวด (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) และ อิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyser) ซึ่งอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1.2.1 ตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กโดยใช้ตัวนำยิ่งยวด

ตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กโดยใช้ตัวนำยิ่งยวด (SMES) [15-19] เป็นอุปกรณ์สำหรับสะสมและจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว โดยจะสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลของไฟฟ้ากระแสตรงในขดลวดตัวนำยิ่งยวดที่ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าความต้านทานมีค่าเป็นศูนย์ ระบบเหล่านี้ได้มีการนำมาใช้เมื่อหลายปีที่ผ่านมา เพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของไฟฟ้ากำลังในอุตสาหกรรม และเพิ่มเสถียรภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดย SMES สามารถรับหรือส่งกำลังไฟฟ้าได้ในเวลาอันสั้น และยังสามารถทำซ้ำได้หลายพันครั้งโดยไม่ทำให้แม่เหล็กเกิดการเสื่อมสภาพ



รูปที่ 1.1 ลักษณะโครงสร้างของ SMES

โครงสร้างของระบบ SMES ได้แสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 1.1 โดยพลังงานไฟฟ้าสะสมในรูปของสนามแม่เหล็กของ SMES เกิดมาจากไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านขดลวดที่พันไว้ ถ้าขดลวดที่ใช้นั้นเป็นลวดแบบทั่วไป เช่น ลวดทองแดง พลังงานแม่เหล็กจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากความร้อน โดยความร้อนนี้เป็นผลมาจากความต้านทานของขดลวดต่อการไหลของกระแส

อย่างไรก็ตาม ถ้าขดลวดที่ใช้นั้นมีคุณสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวด (ความต้านทานเป็นศูนย์) จะทำให้พลังงานที่สะสมนั้นคงสภาพอยู่ในขดลวดจนกระทั่งจ่ายออกไป ตัวนำยิ่งยวดที่มีความต้านทานเป็นศูนย์นี้ ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีความร้อนต่ำ เพื่อให้ความร้อนลดหายไป จึงต้องติดตั้งตัวทำความเย็นจึงในระบบการทำงานของ SMES เพื่อทำความเย็นให้กับขดลวดตลอดเวลา ส่วนทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับนั้นยังมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าอยู่ แต่ก็สามารถที่จะลดมาให้ต่ำที่สุดด้วยการออกแบบอุปกรณ์และโครงสร้างให้มีความเหมาะสม โดยทั่วไปการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ที่ประมาณ 50–77 องศาเซลวิน พลังงานสะสม (E) ภายในขดลวดสามารถหาได้จาก

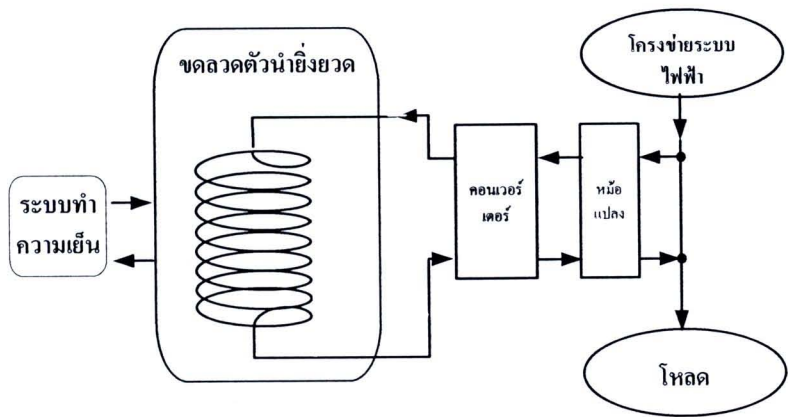
$$E=\frac{1}{2}LI^2 \tag{1.1}$$

เมื่อ

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

I คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวด

ขดลวดที่นำมาใช้เพื่อตัวนำยิ่งยวดเป็นแบบโลหะผสมไนโอเบียม-ไทเทเนียม (Niobium-Titanium) ซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิฮีเลียม (Helium) เหลวเพื่อที่จะทำให้ขดลวดเป็นตัวนำยิ่งยวด



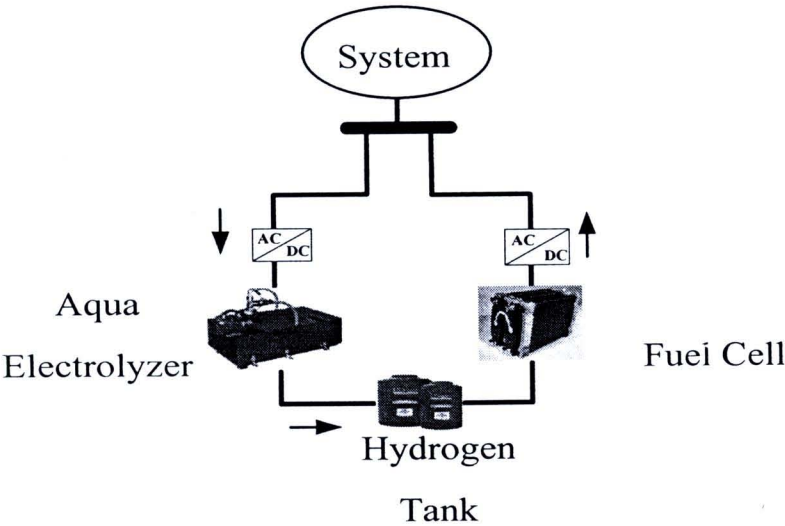
รูปที่ 1.2 ลักษณะการทำงานของระบบการสะสมพลังงานแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด

ลักษณะการทำงานของระบบ SMES ในระบบไฟฟ้ากำลังได้ไว้แสดงในรูปที่ 1.2 แรงดันจะถูกลดระดับลงด้วยหม้อแปลงแบบแปลงลง (Step-down transformer) แล้วผ่านคอนเวอร์เตอร์ (Converter) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงเพื่อที่จะป้อนให้กับขดลวดตัวนำยิ่งยวด ดังนั้น เมื่อกำลังไฟฟ้าไหลจากระบบไปยังขดลวด กระแสจะทำการชาร์จขดลวดและจะทำให้พลังงานสะสมในขดลวด การสะสมพลังงานสูงสุดจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบของอุปกรณ์ เมื่อระบบไฟฟ้ากำลังมีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เช่น แรงดันตก หรือการเปลี่ยนแปลงของความถี่เป็นต้น ขดลวดจะทำการจ่ายพลังงานออกมาเสมือนกับแหล่งจ่ายพลังงาน แล้วทำการเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ตัวคอนเวอร์เตอร์

SMES เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่จะสะสมพลังงานไฟฟ้า และสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนได้พร้อมๆกันและอย่างรวดเร็ว [20, 21] ด้วยคุณลักษณะพิเศษนี้ ได้มีการนำ SMES มาประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น การปรับปรุงพลวัตของระบบไฟฟ้ากำลัง [22, 23] การควบคุมความถี่ในระบบที่มีการเชื่อมโยงกัน [24, 25] ปรับปรุงคุณภาพระบบกำลังไฟฟ้า [26] เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณา SMES เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทได้ จึงสามารถนำไปใช้เพื่อควบคุมความถี่ ลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า ตลอดจนปรับปรุงเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้

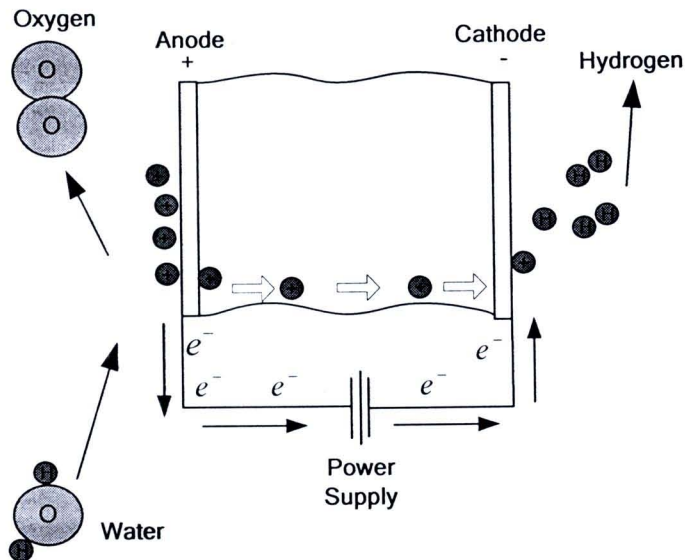
1.2.2 อิเล็กโทรไลเซอร์



รูปที่ 1.3 อิเล็กโทรไลเซอร์และเซลล์เชื้อเพลิง

อิเล็กโทรไลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 โดยอิเล็กโทรไลเซอร์จะรับกำลังไฟฟ้าจากระบบมาเพื่อสร้างไฮโดรเจนเพื่อเป็นอินพุทให้กับเซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบ รายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. อิเล็กโทรไลเซอร์



รูปที่ 1.4 ลักษณะการทำงานของอิเล็กโทรไลเซอร์

อิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) [27-29] เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไฮโดรเจน และออกซิเจนที่บริสุทธิ์ เพื่อจ่ายไปยังอุปกรณ์เครื่องใช้ ระบบพลังงานทดแทน สถานีเดิมเชื้อเพลิง และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม อิเล็กโทรไลเซอร์แบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane (PEM) electrolyzer) เป็นอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ใช้พื้นที่น้อย หรืออัดแน่นมากที่สุด และง่ายต่อการสร้าง นอกจากนี้ ยังสามารถที่จะผลิตไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีประสิทธิภาพที่ระดับความหนาแน่นกระแสสูงได้อีกด้วย ในอิเล็กโทรไลเซอร์แบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน พันธะระหว่างไฮโดรเจน และออกซิเจนของน้ำ (H_2O) จะแยกออกจากกันด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) และตัวเร่งปฏิกิริยาของแพลตินัม (Platinum) ในขณะที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายไปที่ขั้วแอโนด เยื่อเซลล์จะทำการแยกไฮโดรเจน (H_2) ออกจากโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) โปรตอนไฮโดรเจน (H^+) จะเคลื่อนย้ายผ่านเยื่อเซลล์ และกลับมารวมกันที่แคโทดร่วมกับอิเล็กตรอนที่ไหลกลับ (e^-) แล้วอยู่ในรูปแบบของไฮโดรเจน (H_2) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 การประยุกต์ในด้านอื่นๆ ของระบบอิเล็กโทรไลต์ คือ สามารถที่จะใช้เป็นเสมือนกับเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อที่จะผลิตไฟฟ้าจากไฮโดรเจน และออกซิเจนด้วยการแปลงรูปเพียงเล็กน้อย

ส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลเซอร์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ปั๊มน้ำ เครื่องแยกน้ำ-ก๊าซ ถึงแม้ว่า อิเล็กโทรไลเซอร์จะสามารถผลิตได้ทั้ง H_2 และ O_2 ด้วยการแยกไฟฟ้าเคมีของน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วอิเล็กโทรไลเซอร์จะได้รับการพิจารณาเสมือนเครื่องผลิตไฮโดรเจน และได้จำแนกตามระบบการป้อนที่แอโนด หรือระบบการป้อนที่แคโทดโดยจะขึ้นอยู่กับว่าทางเข้าของน้ำอยู่ที่ไหน เมื่ออิเล็กโทรไลเซอร์ใช้สำหรับเป็นเครื่องผลิตไฮโดรเจน ระบบการป้อนที่แคโทดจึงเป็นตัวเลือกที่ดี เนื่องจากตัวแยกซึ่งแยกน้ำ และออกซิเจนได้รับการจัดออกที่แอโนด พร้อมกับออกซิเจนได้รับการระบายอากาศร่วมกับน้ำ แต่ข้อเสียในกรณีนี้คือจะมี

ข้อจำกัดในการโอนถ่ายปริมาณมาก และความหนาแน่นของกระแสต่ำ ในการศึกษาครั้งนี้แบบจำลองอิเล็กโตรไลเซอร์แบบการป้อนที่แอโนดได้ประยุกต์ใช้ในการศึกษา เนื่องจากส่วนใหญ่อิเล็กโตรไลเซอร์ในด้านธุรกิจ และในหน่วยทางการทหารเป็นอิเล็กโตรไลเซอร์แบบการป้อนที่แอโนด

การประยุกต์ใช้อิเล็กโตรไลเซอร์ประกอบไปด้วย การใช้ผลิต O_2 สำหรับเครื่องช่วยหายใจของคนป่วย การใช้ผลิต H_2 เพื่อเป็นเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิง การใช้ผลิต H_2 เพื่อเป็นระบบพลังงานสำรอง การผลิต H_2 สำหรับควบคุมการกักตร้อนของสารเคมี ตัวตรวจจับโครมาโทกราฟี (Chromatograph) ของแก๊ส การขึ้นรูปเหล็ก และการเชื่อม อิเล็กโตรไลเซอร์ที่ศึกษาในปัจจุบัน งานวิจัยส่วนมากมาจากภาคอุตสาหกรรม โดยจะเป็นการศึกษาการจำลองอิเล็กโตรไลเซอร์และระบบพลังงานทดแทน อย่างเช่น Onda [30] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 มิติ เพื่อที่จะวิเคราะห์อิเล็กโตรไลเซอร์แบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน Ulleberg [31] ได้แสดงแบบจำลองสำหรับอิเล็กโตรไลเซอร์แอลคาไลน์บนพื้นฐานของทฤษฎีอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และการโอนถ่ายความร้อน (Heat transfer) เมื่อไม่นานมานี้ ระบบพลังงานทดแทนโดย Kelouwani et al. [32] ได้พิสูจน์ระบบพลังงานทดแทนที่ทำงานตามลำพังร่วมกับการสะสมของไฮโดรเจน และ Khan et al. [33] ได้นำเสนอแบบจำลองของระบบพลังงานที่มีการทำงานร่วมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเซลล์เชื้อเพลิง

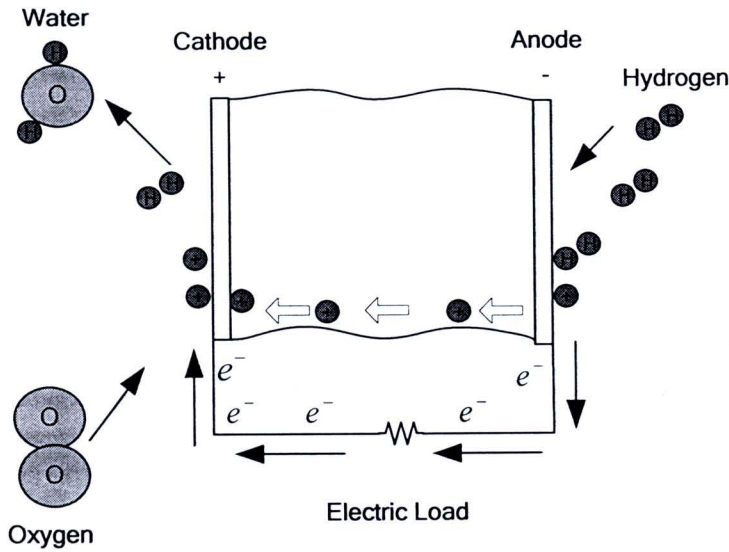
ข. เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง [34-40] เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างหนึ่งคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างกันที่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นออกแบบมาให้มีการเติมสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบตลอดเวลา นั่นคือการเติมไฮโดรเจน และออกซิเจนตลอดเวลาซึ่งช่วยขจัดปัญหาความจุที่จำกัดของแบตเตอรี่ออกไป นอกจากนี้ที่ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเข้าทำปฏิกิริยาเมื่ออัดประจุ หรือคายประจุ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และค่อนข้างเสถียร สารตั้งต้นที่ใช้โดยทั่วไปในเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนที่ด้านแอโนด และก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (เซลล์ไฮโดรเจน) โดยปกติแล้วเมื่อมีสารตั้งต้นไหลเข้าสู่ระบบ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็จะไหลออกจากระบบไปด้วย ดังนั้นการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ หลักการของเซลล์เชื้อเพลิงได้ค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวิส Christian Friedrich Schönbein ในปี ค.ศ. 1838 และตีพิมพ์ในเดือนมกราคมปีถัดมาใน "Philosophical Magazine" จากบทความชิ้นนี้ เซลล์เชื้อเพลิงได้สร้างขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเวลส์ Sir William Grove โดยต้นแบบได้ตีพิมพ์ในปี 1843 จนกระทั่งในปี 1959 F.T. Bacon วิศวกรชาวอังกฤษ ได้สร้างเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 kW ได้สำเร็จ ในปีเดียวกันนี้เองกลุ่มที่นำโดย Harry Ihrig ได้ผลิตแทรกเตอร์ขนาด 15 kW ให้กับ Allis-Chalmers ซึ่งได้นำไปแสดงที่สหรัฐอเมริกา ระบบนี้ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นอิเล็กโทรไลต์ ไฮโดรเจนอัด และก๊าซออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น ในปีเดียวกันนี้เองที่ Bacon และทีมงานได้สร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาด 5 kW ที่ใช้งานได้จริงสำหรับเครื่องเชื่อม ซึ่งนำไปสู่

การจดสิทธิบัตรของ Bacon ในช่วงยุค 1960 หลักการเดียวกันนี้ก็ได้นำไปใช้ในโครงการอวกาศของสหรัฐด้วยเพื่อผลิตน้ำดื่ม และพลังงาน ต้นทุนของเซลล์เชื้อเพลิงในช่วงต้นนี้ยังสูงอยู่มาก เพราะค่าวัสดุที่แพง นอกจากนี้ยังทำงานในอุณหภูมิที่สูงมากจนเป็นปัญหาในการนำไปประยุกต์ใช้ อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงยังดูเป็นตัวเลือกที่ดีเนื่องจากเชื้อเพลิงนั้นสามารถหาได้ง่าย (ไฮโดรเจน และออกซิเจน) และการใช้งานที่สะอาด

การพัฒนาต่อมาในช่วงยุค 1980 และ 1990 โดย G. Ballard เจ้าของบริษัทเซลล์เชื้อเพลิงในแคนาดาที่โด่งดัง Ballard Power Systems Inc. ได้ใช้แนฟฟิออน(Nafion) ซึ่งเป็นวัสดุที่ราคาถูกและทนทานเป็นอิเล็กโทรไลต์ และลดการใช้แพลทินัม ทำให้อนาคตการใช้เซลล์เชื้อเพลิงสำหรับผู้บริโภค เช่น ในรถยนต์มีความเป็นไปได้มากขึ้น เซลล์เชื้อเพลิงมักจะได้รับการมองว่าเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และปราศจากมลพิษ เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ เช่น ก๊าซมีเทน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ผลผลิตที่เกิดขึ้นอย่างเดียวที่เกิดจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงคือน้ำ อย่างไรก็ตามยังมีความกังวลอยู่ในขั้นตอนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซึ่งใช้พลังงานมาก การผลิตไฮโดรเจนจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบที่มีไฮโดรเจน เช่น น้ำ หรือ เชื้อเพลิงอื่นๆ นอกจากนั้นยังต้องใช้ไฟฟ้าซึ่งก็ผลิตมาจากแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิม ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน หรือแม้แต่พลังงานนิวเคลียร์ ในขณะที่พลังงานทางเลือกอื่น เช่น พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ก็สามารถใช้ได้ แต่ราคายังสูงมากในปัจจุบัน ดังนั้นจึงไม่สามารถกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอิสระจากเชื้อเพลิงแบบทั่วไป จนกว่าจะสามารถหาวิธีการผลิตไฮโดรเจนปริมาณมากด้วยพลังงานทดแทน หรือพลังงานนิวเคลียร์

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane fuel cells) หรือ PEMFC ดังแสดงในรูปที่ 1.5 พอลิเมอร์ที่ให้โปรตอนผ่านได้จะแยกฝั่งแอโนด และแคโทดออกจากกัน แต่ละด้านจะมีขั้วไฟฟ้าของตัวเอง ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแผ่นคาร์บอนเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม ในด้านของแอโนด ไฮโดรเจนจะแพร่เข้าสู่ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนด ทำให้แตกตัวออกเป็นโปรตอน และอิเล็กตรอน โปรตอนจะวิ่งผ่านเยื่อขึ้นไปแคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนจะได้รับการบังคับให้วิ่งเข้าสู่วงจรไฟฟ้าภายนอก (ให้พลังงานออกมา) เพราะว่าเยื่อกันนั้นไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ในด้านของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แคโทด โมเลกุลของออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่มาจากแอโนดผ่านวงจรภายนอก และมารวมกับออกซิเจนและโปรตอนที่ด้านนี้กลายเป็นน้ำ



รูปที่ 1.5 ลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เป็นหนึ่งในชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า หรือเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่ยานพาหนะ หรือตามสถานที่ต่าง ๆ โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีจุดเด่นที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิ และความดันต่ำ อีกทั้งยังมีความพิเศษในส่วนของเยื่อพอลิเมอร์ที่สามารถใช้ในการแลกเปลี่ยนโปรตอน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี ตามปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยที่ขั้วอิเล็กโทรด ของเซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมและขั้วอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้พอลิเมอร์แข็ง คือ แนนฟิออนเป็นเยื่อเคลื่อนผ่านประจุ สารตั้งต้นของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ใช้ ก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน(หรืออากาศ) โดยก๊าซไฮโดรเจนจะแตกตัวบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนด ให้ผลออกมาคือ โปรตอน และอิเล็กตรอน ตามปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ในเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนนฟิออนเป็นเยื่อผ่านนี้ อีออนที่มีประจุบวกเท่านั้นจึงจะผ่านได้ ดังนั้นโปรตอนจึงเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วแคโทด ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีไปยังขั้วแคโทด โดยผ่านโหลดและเป็นที่รู้กันดีว่าไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ดังนั้นจะได้แสงสว่างจากไฟฟ้าที่ผลิตได้หากโหลดชนิดนั้นคือหลอดไฟฟ้า เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดถือว่าครบวงจร จากนั้นอิเล็กตรอน โปรตอน และก๊าซออกซิเจน ตามปฏิกิริยารีดักชันก็จะรวมตัวกันกลายเป็นน้ำ ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากผลตอบสนองของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นค่อนข้างช้า ในงานวิจัยนี้จึงให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากเซลล์เชื้อเพลิงคงที่ แต่จะพิจารณาอิเล็กทรอนิกส์เซอร์เป็นโหลดที่สามารถควบคุมการรับกำลังไฟฟ้าจากระบบได้ จึงสามารถนำไปประสานการควบคุมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ที่

สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้ เพื่อควบคุมความถี่ ลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าตลอดจนปรับปรุงเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อนำเสนอแนวคิดใหม่ในการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมได้สองชนิดคือตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดและอิเล็กทรอนิกส์เซอร์ไปทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงและระบบไมโครกริดที่ติดตั้งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ ได้แก่ พลังลมและแสงอาทิตย์
2. เพื่อนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบคงทนต่อความไม่แน่นอนในระบบของตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดเพื่อทำลดการกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยงที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าด้วยฟาร์มลมและในระบบไมโครกริดอิสระไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและพลังลม
3. เพื่อนำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมคงทนแบบประสานระหว่างอิเล็กทรอนิกส์เซอร์และไม่โครเทอร์บายน์ในระบบไมโครกริดอิสระและต่อกริด

1.4 การประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ควบคุมได้ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ CDG ที่พิจารณาคือ SMES และ อิเล็กทรอนิกส์เซอร์ไปแก้ปัญหาผลกระทบต่อระบบเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอที่ผลิตจากแหล่งจ่ายพลังลมและแสงอาทิตย์ ในแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 2 การลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเชื่อมโยงในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยพลังงานลมด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวด

ในบทนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ SMES ซึ่งสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและเสมือนเอาท์พุทได้อย่างรวดเร็ว โดยเน้นการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบใหม่ของ SMES นอกจากเพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งของระบบไฟฟ้ากำลังเชื่อมโยง ยังเพิ่มคุณสมบัติความคงทน (Robustness) ของตัวควบคุมต่อความไม่แน่นอนในระบบ (System Uncertainties) เช่น ความไม่แน่นอนในค่าของพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดสิ่งรบกวนระบบต่างๆ ความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ เป็นต้น โดยจะประยุกต์ใช้แบบจำลองความไม่แน่นอนระบบชนิด Inverse Additive Perturbation เพิ่มเข้ามาในการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังแล้วจึงทำการตั้งปัญหาการทำให้เหมาะสม (Optimization Problem) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อปรับปรุงค่าขอบเขตของเสถียรภาพความคงทน (Robust Stability Margin) ต่อความไม่แน่นอนในระบบให้มีค่าสูงขึ้น หลังจากนั้นทำการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมโดยวิธี Particle Swarm Optimization แล้วจึงทำการทดสอบตัวควบคุมที่

ออกแบบทั้งในด้านความคงทนและสมรรถนะในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าในสายส่งโดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่

บทที่ 3 การทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริดอิสระที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยพลังงานลมด้วยตัวสะสมพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวด

ในบทนี้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมความถี่คงทนของ SMES แบบใหม่ในระบบกำเนิดไฟฟ้าไฮบริดพลังงานลมและดีเซล เพื่อที่จะพิจารณาความไม่แน่นอนในระบบมาพิจารณาในการออกแบบ วิธีตัวประกอบเฉพาะร่วมนอร์มัลไลซ์ (normalized coprime factorization) ได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อแทนความไม่แน่นอนในระบบต่างๆ ที่ไม่มีโครงสร้าง นอกจากนี้ โครงสร้างของตัวควบคุมความถี่ของ SMES นั้นเป็นตัวชดเชยเฟส/ตามอันดับที่หนึ่งซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อปรับตัวแปรของตัวควบคุมให้เหมาะสม เงื่อนไขทางสมรรถนะและเสถียรภาพในการจัดสัญญาณได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างปัญหาการทำให้เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาวิธีทางพันธุกรรม (Genetic algorithm, GA) ได้นำมาใช้เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุม ผลการจำลองศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม SMES ที่นำเสนอมีความคงทนต่อความไม่แน่นอนในระบบเหนือกว่าตัวควบคุม SMES ในบทความที่ผ่านมา

บทที่ 4 การทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริดด้วยการควบคุมประสานระหว่างอิลเลคโตรไลเซอร์และไมโครเทอร์บายน์

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบแบบร่วมกันระหว่างตัวควบคุมแบบคงทนของอิลเลคโตรไลเซอร์และไมโครเทอร์บายน์ ด้วยวิธีการจัดสัญญาณวงรอบ H_∞ แบบโครงสร้างเฉพาะเจาะจง (Specified-structure H_∞ loop shaping control method) สำหรับทำเสถียรภาพระบบไมโครกริด โครงสร้างของตัวควบคุมแบบคงทนของอิลเลคโตรไลเซอร์และไมโครเทอร์บายน์คือ แบบพีไอ (Proportional Integral, PI) ส่วนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอิลเลคโตรไลเซอร์และไมโครเทอร์บายน์ ในส่วนการทำงานแบบแยกอิสระและแบบเชื่อมโยงกับกริดการไฟฟ้า หาค่าอย่างเหมาะสมพร้อมกันด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (particle swarm optimization: PSO) ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในการทำเสถียรภาพของความถี่ระบบและกำลังไฟฟ้าได้แล้วยังมีความคงทนสูงต่อความไม่แน่นอนต่างๆ ในระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่มีการนำเสนอมาในงานวิจัยที่ผ่านมา

บทที่ 5 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่โลจิก-พีไอดีสำหรับอิลเลคโตรไลเซอร์โดยวิธีฝูงผึ้ง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครกริดอิสระ

ในบทนี้นำเสนอการควบคุมการรับกำลังไฟฟ้าของตัวสำหรับอิลเลคโตรไลเซอร์ด้วยตัวควบคุมฟัซซี่โลจิก-พีไอดี (Fuzzy logic PID controller) ที่ออกแบบพารามิเตอร์ให้เหมาะสมด้วยวิธีฝูงผึ้ง (Bee colony optimization) เพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากสำหรับอิลเลคโตรไลเซอร์มีสมรรถนะในการรับกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วในการผลิตไฮโดรเจน การจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้แสดงให้เห็นว่า การควบคุมการรับ

กำลังไฟฟ้าของ สำหรับอิเล็กทรอนิกส์ในการผลิตไฮโดรเจนด้วยตัวควบคุมพัลส์ซีโลจิก-พีไอดี ที่ออกแบบให้เหมาะสมดังที่นำเสนอ นั้น ไม่เพียงแต่สามารถที่จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครกริดเท่านั้น แต่ยังสามารถที่จะผลิตไฮโดรเจนได้มากกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ภายใต้การจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน อีกด้วย

สุดท้ายนำผลการศึกษามาสรุปในบทที่ 6

1.5 เอกสารอ้างอิง

- [1] Steven W. Blume, *Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007.
- [2] G. Liu, Z. Xu, Y. Huang, W. Pan, "Analysis of Inter-Area Oscillations in the South China Interconnected Power System," *Electric Power Systems Research*, Vol.70, pp.38-45, 2004.
- [3] J. Rasmussen and P.Jørgensen, "Synchronized Phasor Measurements of a Power System Event in Eastern Denmark," *IEEE Transactions on Power System*, Vol.21, 2006.
- [4] M. Ishimaru, R. Yokoyama, O. M. Neto, K. Y. Lee, "Allocation and Design of Power System Stabilizers for Mitigating Low-Frequency Oscillations in the Eastern Interconnected Power System in Japan," *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 26, pp.607-618, 2004.
- [5] R. Castellanos B. et al, "Use of Power System Stabilizers for Damping Inter-Area Oscillations in the South Systems of the Mexican Electrical Grid," *Electric Power Systems Research*, Vol.76, pp. 169–179, 2006.
- [6] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, *Microgrids and Active Distribution Networks*, Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2009.
- [7] N. Hatziaargyriou, H. Asono, R. Iravani, C. Marnay, *Microgrids*, *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 6, pp. 78-94, 2008.
- [8] Lasseter, R. et al, *Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS MicroGrid Concept*, Office of Power Technologies, the US Department of Energy, April 2002.
- [9] H. Nikkhajoei, R. H. Lasseter, "Distributed Generation Interface to the CERTS Microgrid," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 24, 2009.

- [10] H. Jiayi, J. Chuanwen and X. Rong, "A Review on Distributed Energy Resources and Microgrid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.12, pp. 2472–2483, 2008.
- [11] R.H. Lasseter, "CERTS Microgrid," *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, pp.1-5, 2007.
- [12] S. Morozumi, "Micro-Grid Demonstration Projects in Japan," *IEEE Power Conversion Conference*, pp.635-642, 2007.
- [13] H. Camblong, J. Sarr, A.T. Niang, O. Curea, J.A. Alzola, E.H. Sylla and M. Santos, "Micro-Grids Project, Part 1: Analysis of Rural Electrification with High Content of Renewable Energy Sources in Senegal," *Renewable Energy*, Vol. 34, pp.2141-2150, 2009.
- [14] M. Barnes, G. Ventakaramanan, J. Kondoh, R. Lasseter, H. Asano, N. Hatziaargyriou, J. Oyarzabal and T. Green, "Real-World Microgrids- an Overview," *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, pp.1-8, 2007.
- [15] Byung M. Han, George G. Karady, "A New Power-Conditioning System for Superconducting Magnetic Energy Storage," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 8, No. 2, 1993.
- [16] W. Hassenzahl, "Superconducting Magnetic Energy Storage," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 25, No. 2, 1989.
- [17] Buckles, W.; Hassenzahl, W.V. "Superconducting Magnetic Energy Storage," *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 22, pp.16 – 20, 2000.
- [18] Chung-Shih Hsu, Wei-Jen Lee, "Superconducting Magnetic Energy Storage for Power System Applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 29, No. 5, 1992.
- [19] L. Chen et al, "Detailed Modeling of Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) System," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 2, 2006.
- [20] R.W. Boom and H. Perterson, "A Superconducting Energy Storage for Power Systems," *IEEE Transactions on Magnetics*, pp. 701–703, 1972.
- [21] H..J Boenig, J.F. Hauer, "Commissioning Tests of the Bonneville Power Administration 30 MJ Superconducting Magnetic Energy Storage Unit," *IEEE Trans on Power Application Systems*, vol.10, pp. 302–309, 1985.
- [22] M.G. Rabbani, J.B.X. Devotta, S. Elangovan, "An Adaptive Fuzzy Controlled Superconducting Magnetic Energy Storage Unit for Power Systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 39, pp.931-942. 1998.

- [23] J.B.X. Devotta, M.G. Rabbani, "Application of Superconducting Magnetic Energy Storage Unit in Multi-Machine Power Systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 41, pp. 493-504, 2000.
- [24] S.C. Tripathy, "Dynamic Simulation of Hybrid Wind-Diesel Power Generation System with Superconducting Magnetic Energy Storage," *Energy Conversion and Management*, vol.38, pp.919-930, 1997.
- [25] I. Ngamroo, "An Optimization Technique of Robust Load Frequency Stabilizers for Superconducting Magnetic Energy Storage," *Energy Conversion and Management*, vol.46, pp.3060-3090, 2005.
- [26] X. Chu, X. Jiang, Y. Lai, X. Wu, W. Liu, "SMES Control Algorithms for Improving Customer Power Quality," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 11, pp.1769-1772, 2001.
- [27] H.Gorgun, "Dynamic Modeling of a Proton Exchange Membrane (PEM) Electrolyzer," *International Journal of Hydrogen Energy*, No.33, pp 29 – 38, 2006.
- [28] A. Marshall, et al. "Hydrogen Production by Advanced Proton Exchange Membrane (PEM) Water Electrolysers—Reduced Energy Consumption by Improved Electrocatalysis," *International Journal of Energy*, Vol.32, pp. 431-436, 2007.
- [29] F.Barbir. "PEM Electrolysis for Production of Hydrogen from Renewable Energy Sources," *International Journal of Solar Energy*, Vol.78, pp.661-669, 2005.
- [30] Onda K, Murakami T, Hikosaka T, Kobayashi M, Notu R, Ito K. "Performance Analysis of Polymer–Electrolyte Water Electrolysis Cell at a Small-Unit Test Cell and Performance Prediction of Large Stacked Cell," *J Electrochemical Soc*, Vol. 149, pp. 1069–1078, 2002.
- [31] Ulleberg, "Modeling of Advanced Alkaline Electrolyzers: A System Simulation Approach," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 28, pp. 21-33, 2003.
- [32] Kelouwani S, Agbossou K, Chahine R. "Model for Energy Conversion in Renewable Energy System with Hydrogen Storage," *International Journal of Power Sources*, Vol.140, pp.392–399, 2005.
- [33] M.J. Khan and M.T. Iqbal. "Dynamic Modeling and Simulation of a Small Wind–Fuel Cell Hybrid Energy System," *Renewable Energy*, Vol.30, pp. 421-439, 2005.
- [34] Bei Gou, Woon Ki Na and Bill Diong, "*Fuel Cells: Modeling, Control, and Applications*," Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009.
- [35] J.J. Baschuk, Xianguo Li, "A General Formulation for a Mathematical PEM Fuel Cell Model," *International Journal of Power Sources*, Vol.142, pp. 134-153, 2004.

- [36] C. Marr á, X. Li. "An Engineering Model of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance," *An International Journal for Physical and Engineering Sciences*, Vol. 50, pp.190-200, 1998.
- [37] J.Jia, et al, "Modeling and Dynamic Characteristic Simulation of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell," *IEEE Transactions on Energy Conversation*, Vol. 24, 2009.
- [38] S.Yerramalla, A. Davari, A. Feliachi, T. Biswas, "Modeling and Simulation of the Dynamic Behavior of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell," *International Journal of Power Sources*, Vol. 124, pp.104-113, 2003.
- [39] J.J. Baschuk, Xianguo Li. "Modelling of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells with Variable Degrees of Water Flooding," *International Journal of Power Sources*, Vol. 86, pp.181-196, 2000.
- [40] J. Wee, K.Lee, S.Kim. "Sodium Borohydride as the Hydrogen Supplier for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Systems," *Fuel Processing Technology*, Vol. 87, pp.811-819, 2006.



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่... 02 ... 02 ... 2555	
เลขทะเบียน.....	249861
เลขเรียกหนังสือ.....	