

บทที่ 3

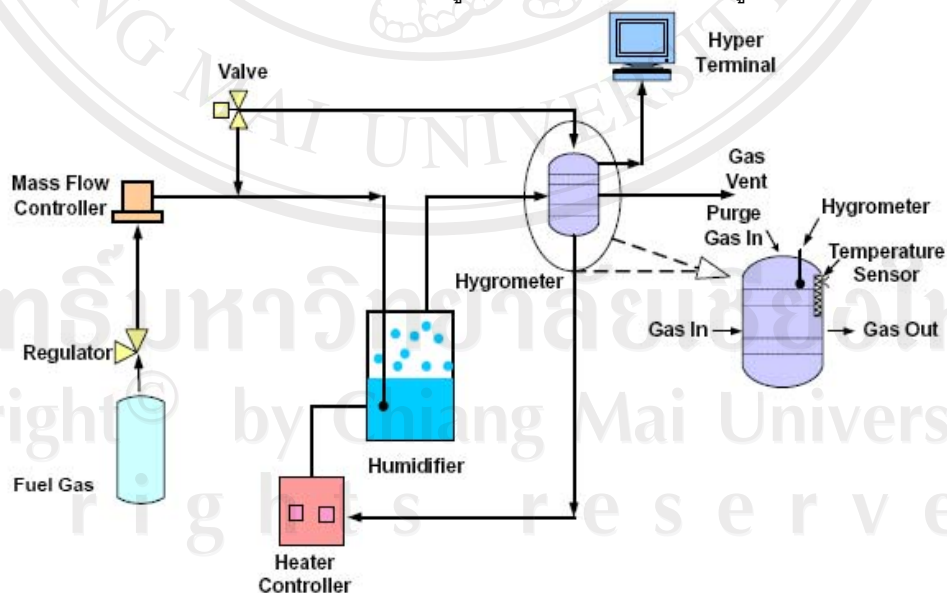
วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเกิดน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน กระบวนการทำความชื้นภายนอกเซลล์ และการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีระบบการควบคุมความชื้น มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย รายละเอียดอุปกรณ์ ประกอบระบบทดสอบ และการออกแบบการทดลอง ดังเสนอในบทนี้

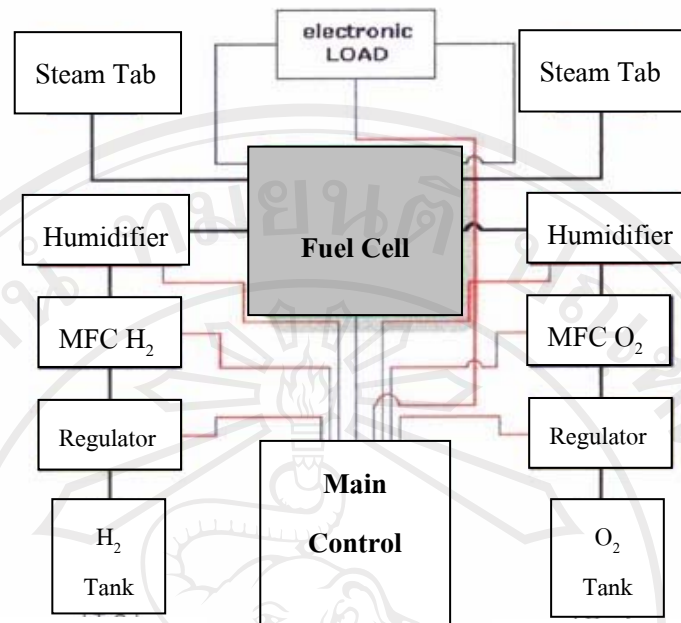
3.1 ระบบทำความชื้นสำหรับชุดทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

ระบบทำความชื้นมีหน้าที่ให้ความชื้นแก่เซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากความชื้นเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ช่วยในการนำโปรตอนให้เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบทำความชื้นของ PEMFC จำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่ การทำความชื้นด้วยตัวเมมเบรน ระบบทำความชื้นภายใน และระบบทำความชื้นภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาระบบทำความชื้นภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง แบบมีถังจ่ายความชื้น (Bottle humidifier) ซึ่งมีแผนภาพอย่างง่ายและรูประบบทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังระบบควบคุมความชื้น



รูปที่ 3.2 ระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

การให้ความชื้นทำได้โดยการผ่านก๊าซเชื้อเพลิงเข้าสู่ถังให้ความชื้น จากนั้นก๊าซชื้น (ออกซิเจน, ไฮโดรเจน หรือไนโตรเจน) จะไหลเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงต่อไป และความชื้นดังกล่าวจะมีผลอย่างมากต่อระดับความชื้นของเมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.1 ถังทำความชื้น

ถังจ่ายความชื้นมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง 150 mm ทำจากสแตนเลสสตีล มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ปิดด้านบนและด้านล่างด้วยหน้าแปลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 mm หนา 10 mm มีการเจาะรูทางเข้าก๊าซทางด้านบน 3 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm และมีขดลวดให้ความร้อน 600 วัตต์ ติดตั้งตรงกลางด้านบนของถัง ดังรูปที่ 3.3

ระบบจ่ายความชื้นแบบนี้สะดวกในการควบคุมความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิงก่อนเข้าทำปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง โดยมีวาล์วปิด-เปิด เพื่อควบคุมความชื้นก๊าซก่อนเข้าเซลล์หากเซลล์เชื้อเพลิงมีความชื้นมากเกินไป

หลักการทำงานของเครื่องทำความชื้นชนิดนี้เป็นการให้ความชื้นแก่ก๊าซเชื้อเพลิงโดยตรง โดยภายในถังทำความชื้นมีหัวฟู ซึ่งทำหน้าที่กระจายน้ำที่อยู่ในถังทำความชื้น

แตกออกเป็นละอองน้ำเล็กๆ เพื่อให้ก๊าซเชื้อเพลิงได้รับความชื้นได้อย่างเต็มที่ และ อุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นถูกควบคุมด้วยเทอร์โมสแตท ซึ่งอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิง จากถังทำความชื้น และก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงจะต่างกันประมาณ 3°C



รูปที่ 3.3 ตัวถังให้ความชื้น

3.1.2 หัววัดความชื้น

หัววัดความชื้นถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดและควบคุมความชื้น ก่อนที่ก๊าซจะถูก ส่งผ่านเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง ภายในหัววัดความชื้นประกอบด้วย

- (1) หัววัดอุณหภูมิ ซึ่งต่อขั้วไฟฟ้าออกมาภายนอกเพื่อวัดสัญญาณไฟฟ้า แล้วแปลค่า ออกมาเป็นอุณหภูมิโดยผ่านระบบคอมพิวเตอร์อินเทอร์เฟส
- (2) หัววัดความชื้นซึ่งวัดออกมาเป็นค่าความจุไฟฟ้าแล้วเทียบกับความชื้น
- (3) กล่องที่ใส่หัววัดความชื้นทำจากพลาสติก โดยฝาด้านบนเจาะรูไว้ 1 รู สำหรับใส่หัววัด อุณหภูมิและความชื้น โดยได้หล่อ Epoxy ปิดรูไว้เหลือเพียงขั้วไฟฟ้าของหัววัด อุณหภูมิและความชื้นโผล่ออกมา
- (4) ฝาด้านล่างเจาะรูไว้ 2 รู สำหรับให้ท่อก๊าซปลายหนึ่งเปิดเข้าสู่ภายในกล่อง สำหรับอีก 1 รูที่เหลือสำหรับให้ก๊าซผ่านออกไปสู่เซลล์เชื้อเพลิง



(a)



(b)

รูปที่ 3.4 ชุดวัดอุณหภูมิและความชื้น (a) หัววัดความชื้น (b) กล่องใส่หัววัดความชื้น

3.2 เครื่องมือวัด

ชุดอุปกรณ์ทดสอบมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และกระแสไฟฟ้า โดยข้อมูลจากการทดลองจะถูกแสดงผลและบันทึกในหน่วยความจำของ Data logger และคอมพิวเตอร์ รายละเอียดของอุปกรณ์วัดแต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

3.2.1 ระบบควบคุมความดัน (Pressure Regulator)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ถูกทดสอบภายใต้ความดันบรรยากาศ ก๊าซที่ใช้ทำปฏิกิริยามี 2 ชนิดคือ ไฮโดรเจนและออกซิเจน และไนโตรเจนช่วยกำจัดก๊าซและไอน้ำที่ยังค้างในระบบทั้งก่อนและหลังการทดสอบ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมความดันก๊าซเข้าคือ Gas Regulator ทำหน้าที่ปรับแรงดันก๊าซจากถังจ่ายก๊าซที่มีความดันสูงคือ ประมาณ 150 บาร์เกจ ให้ลดลงไม่เกิน 10 บาร์เกจ เพื่อจะนำก๊าซเข้าสู่ระบบต่อไป

Gas Regulator เป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเพาะในการใช้งานกับก๊าซแต่ละชนิด บางชนิดสามารถใช้แทนกันได้ เช่น ไนโตรเจนกับออกซิเจน แต่สำหรับก๊าซไฮโดรเจนจะไม่สามารถใช้ Gas Regulator กับก๊าซอื่นได้ เนื่องจากเป็นก๊าซที่อันตรายสามารถติดไฟได้ง่าย โดยเกลียวที่หัวถังก๊าซไฮโดรเจนจะแตกต่างจากก๊าซอื่น ๆ ซึ่งสามารถใช้ได้กับ Gas Regulator ของไฮโดรเจนเท่านั้น



(a)



(b)

รูปที่ 3.5 (a) อุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซเข้าระบบ
(b) อุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซออกเซลล์เชื้อเพลิง

3.2.2 อัตราการไหล (Flow Rate)

ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าหรือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตออกมา ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง (Davis, 2000) โดยอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตออกมา ทางทฤษฎีสามารถคำนวณปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ต้องจ่ายให้กับเซลล์เชื้อเพลิงได้จาก อัตราการใช้ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen Consumption Rate)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซในระบบทดสอบคือ อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Controller) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งมีคุณสมบัติจำเพาะกับการใช้งานกับก๊าซแต่ละชนิดเช่นกัน เนื่องจากขนาดโมเลกุลก๊าซแต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องออกแบบอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมกับก๊าซแต่ละชนิด เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการวัดและการควบคุมการทำงาน Mass Flow Controller ที่เลือกใช้นี้มีช่วงการทำงานคือ 50 - 500 sccm (Standard Cubic Centimeter per minute)



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

3.2.3 Electronic Load

Electronic Load เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง ดังรูปที่ 3.7 ทำหน้าที่สร้างภาระงานให้กับเซลล์เชื้อเพลิง มีลักษณะเหมือนตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อดึงกระแสไฟฟ้าออกจากเซลล์เชื้อเพลิง กระแสที่สามารถตั้งค่าทดสอบได้ในช่วง 0-10 แอมแปร์

การทำงานถูกควบคุมจากคอมพิวเตอร์โดยการป้อนค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการดึงจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อควบคุมปริมาณการดึงกระแสในวงจร ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย ความต่างศักย์คร่อมเซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ถูกดึงออกจากเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งระบบควบคุมของ Electronic Load ช่วยให้เราสามารถบันทึกค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าในคอมพิวเตอร์ได้ และยังสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ในขณะทดสอบ



รูปที่ 3.7 Electronic Load

3.2.4 ส่วนควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิ

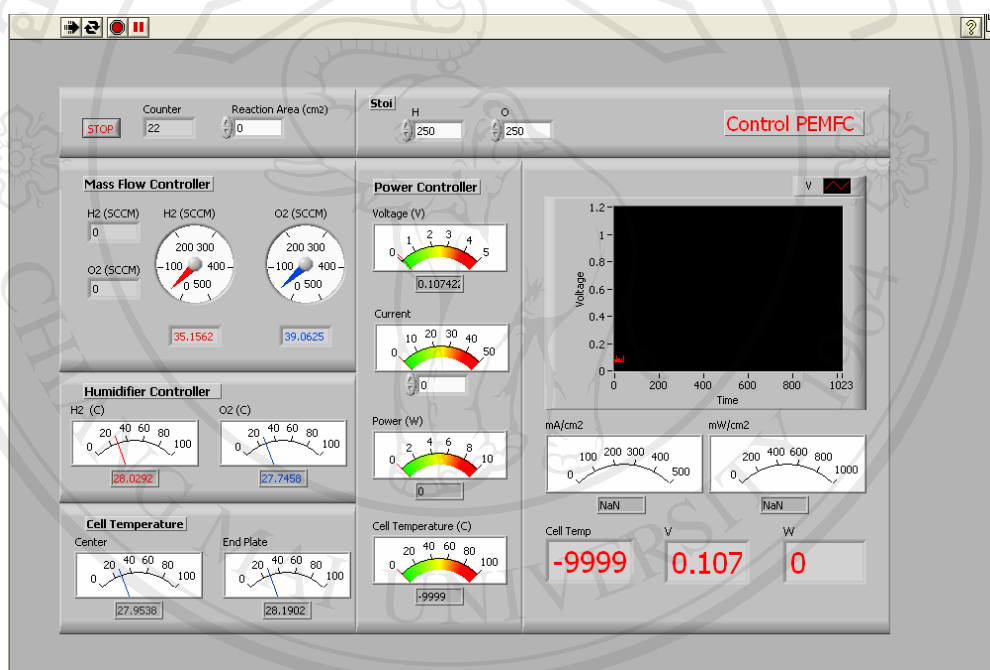
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน มีอุณหภูมิทำงานในช่วง $40-70^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิต้องครอบคลุมช่วงอุณหภูมิดังกล่าว โดยใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อน และการควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยตัวควบคุมอัตโนมัติ คือ ตัวเทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นตัวส่งสัญญาณไปแสดงผลที่เทอร์โมสแตท ซึ่งจะตัดต่อระบบจ่ายไฟฟ้าให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงการทำงานที่ต้องการ



รูปที่ 3.8 ส่วนควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิ

3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

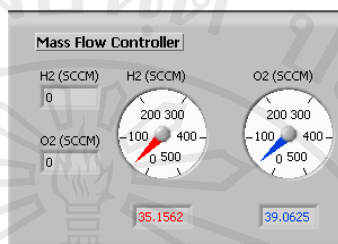
โปรแกรมควบคุมการทำงานเป็นสื่อกลางที่ผู้ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ทั้งหมด ในระหว่างการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง โปรแกรมนี้ได้รับการออกแบบโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเซลล์เชื้อเพลิง ให้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และสวยงาม รวมทั้งมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการแก้ไขในภายหลัง โดยใช้โครงสร้างโปรแกรมชื่อ Lab View ในการสร้างหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้และเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 3.9 โครงสร้างของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามอุปกรณ์ควบคุมดังนี้



รูปที่ 3.9 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง

3.3.1 ส่วนควบคุมและแสดงผลอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

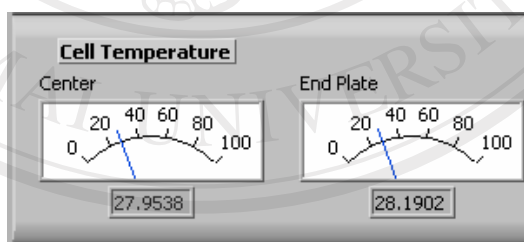
ทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ เพื่อควบคุมและแสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพส่วนควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

3.3.2 ส่วนควบคุมและแสดงผลอุณหภูมิในระบบทดสอบ

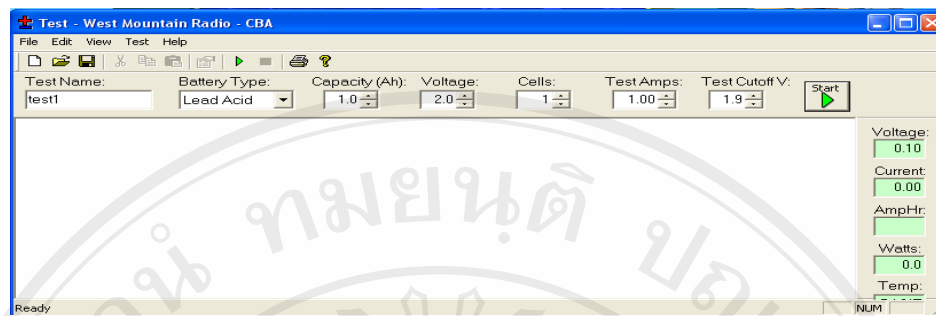
ทำหน้าที่อ่านค่าทางไฟฟ้าจาก หัววัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) แล้วนำมาแปลงเป็นค่าอุณหภูมิที่วัดได้ พร้อมทั้งตรวจสอบและตัดสินใจว่าจะเปิดหรือปิดอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) เพื่อรักษาอุณหภูมิให้ได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ดังรูปที่ 3.11



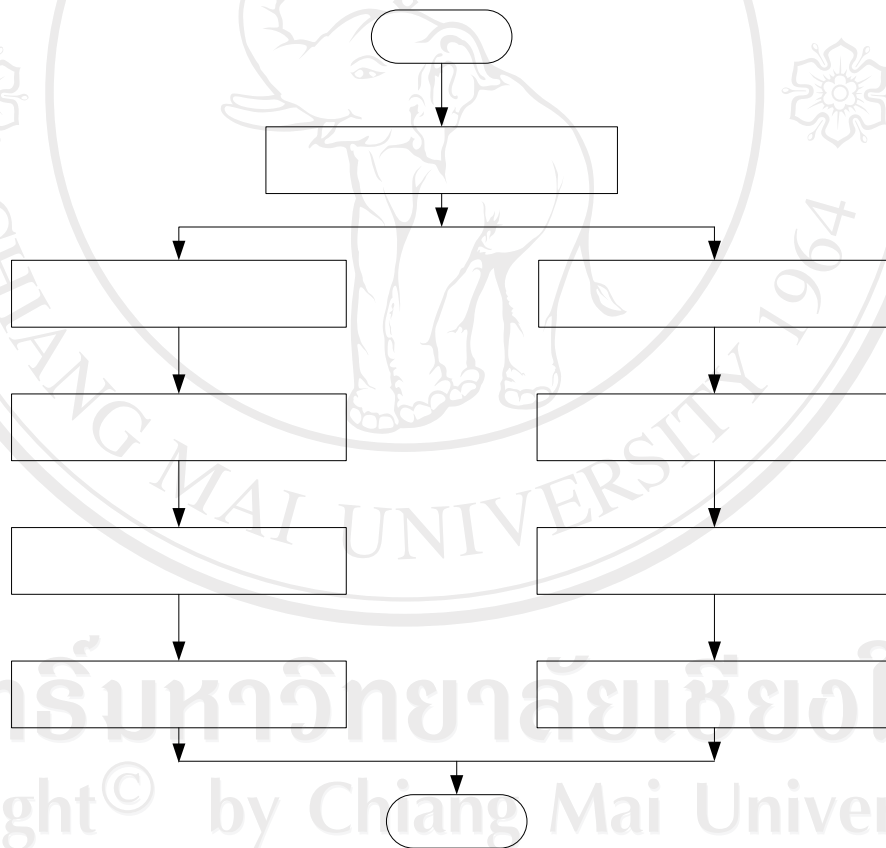
รูปที่ 3.11 แผนภาพส่วนควบคุมอุณหภูมิ

3.3.3 ส่วนควบคุมและแสดงผล Electronic Load

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Electronic load เพื่อกำหนดค่าของ Electronic load ในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง และอ่านค่ากระแสที่ไหลผ่าน Electronic load รวมทั้ง ความต่างศักย์คร่อมเซลล์ด้วย ภาพส่วนควบคุมแสดงดังรูปที่ 3.12 และแผนผังแสดงขั้นตอนการรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมกับอุปกรณ์วัดแสดงดังรูปที่ 3.13



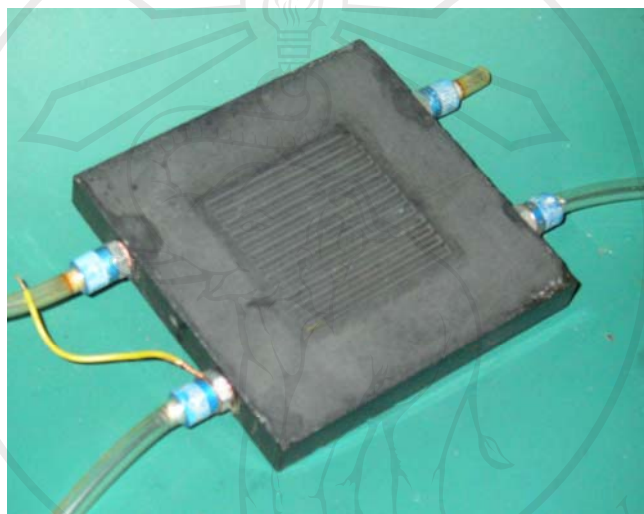
รูปที่ 3.12 ภาพส่วนควบคุม Electronics load



รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรม และอุปกรณ์วัด

3.4 เซลล์เชื้อเพลิงและรูปแบบสนามการไหล

การทดสอบกระทำทั้ง (1) เซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว 1 ชั้นเซลล์ และ (2) ห่อเซลล์จำนวน 5 ชั้นเซลล์ ที่ประกอบขึ้นเองภายในประเทศ ประกอบด้วยเมมเบรน Nafion 117 แผ่นสะสมกระแสจากกราไฟต์ขนาด 10 x10 เซนติเมตรหนา 1.25 เซนติเมตร อิเลคโตรดจาก E-tek ซึ่งมีแพลตินัมในปริมาณ 0.5 Pt/cm² มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 25 cm² และใช้รูปแบบสนามการไหลแบบ Serpentine ช่องทางเดินก๊าซกว้าง 1 มิลลิเมตร ดังรูป 3.14



รูปที่ 3.14 รูปแบบสนามการไหลแบบ Serpentine

3.5 การจัดการน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการทำความชื้น และศึกษาปรากฏการณ์การเกิดน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยการจำลองสมดุลของน้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ทดสอบการรักษาความชื้นภายในเมมเบรนให้เหมาะสม โดยทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีระบบการควบคุมความชื้น ขณะเกิดน้ำท่วมภายในเซลล์เชื้อเพลิง และระบบที่ไม่มีการควบคุมความชื้น เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบ การนำเสนอผลการทดสอบเป็นกราฟโพลาริเซชัน (Polarization Curve) ซึ่งขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.5.1.1 การศึกษาและการออกแบบ

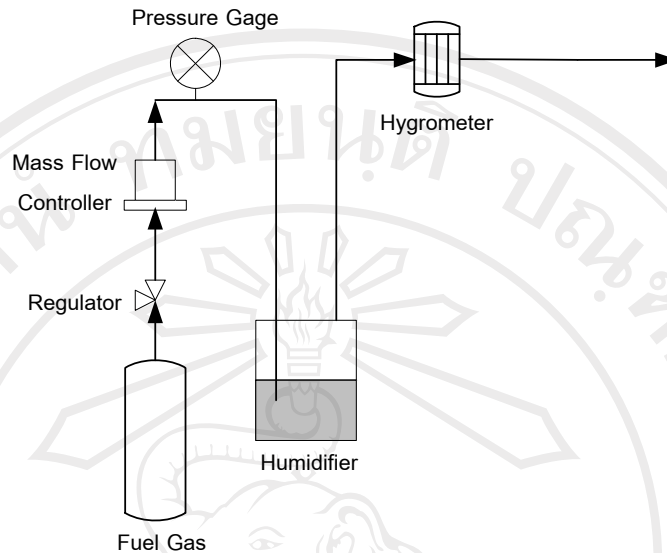
การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมความชื้นของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง เพื่อทราบแนวทางการศึกษา ดังสรุปผลการศึกษาค้นคว้าในบทที่ 1 และ 2

การออกแบบระบบควบคุมความชื้น ส่วนหนึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การวัดความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยใช้ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) และได้ออกแบบระบบควบคุมความชื้นด้านออกซิเจนโดยใช้ระบบวาล์วเปิด - ปิด 3 ทางเพื่อควบคุมการไหลของก๊าซออกซิเจนทางด้านหัวคาโทด และศึกษาสภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.5.1.2 การวัดค่าความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง (Humidity of Fuel Gas)

หัววัดความชื้นที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นหัววัดชนิด Polymer capacitive base sensor มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าคือ ค่าความจุไฟฟ้าแปรเปลี่ยนไปกับความชื้น ซึ่งสามารถวัดค่าความจุออกมาในหน่วยของมิลลิโวลต์ (mV)

การสอบเทียบ (Calibration) ทำในระบบที่ควบคุมความชื้นซึ่งมีเครื่องมือวัดความชื้นภายในระบบ เรียกว่า Thermo hygrometer ซึ่งแสดงค่าความชื้นออกมาเป็นตัวเลขค่าความชื้นสัมพัทธ์ การจัดรูปแบบการทดสอบเทียบหัววัดความชื้นแสดงได้ดังรูป 3.15 โดยออกแบบให้ก๊าซเชื้อเพลิงไหลผ่าน Pressure Regulator Mass Flow Regulator และ Pressure Gage จากนั้นผ่านเครื่องให้ความชื้นที่เรียกว่า Bottle Humidifier ก่อนผ่านเข้าสู่บริเวณวัดความชื้นใน Hygrometer และผ่าน Back Pressure Regulator ออกไปโดยไม่ผ่านเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 3.15 ระบบการสอบเทียบหัววัดความชื้น

ขั้นตอนการหาค่าความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิงโดยใช้หัววัดความชื้น (Hygrometer)

- (1) วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb) และกระเปาะแห้ง (Dry bulb) นำค่าไปคำนวณเพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะทำการทดลอง
- (2) เปิดโปรแกรม Data Tracker ซึ่งควบคุมการทำงานของ Data Logger ที่ใช้เก็บบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของหัววัดความชื้น
- (3) นำหัววัดความชื้นวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และนำมาสอบเทียบ (Calibration) กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่คำนวณได้จากอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง
- (4) นำไฮโกรมิเตอร์ที่บรรจุหัววัดความชื้นมาใส่ในกล่องวัดความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง
- (5) ตรวจสอบข้อต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดการรั่วของก๊าซ
- (6) เปิดโปรแกรมเซลล์เชื้อเพลิง
- (7) ปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็น 200 sccm เพื่อไล่ความชื้นในกล่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซเป็นเวลา 30 นาที
- (8) เปิดชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับควบคุม Heater ของเครื่องทำความชื้นและปรับค่าอุณหภูมิที่ควบคุม Heater ไปที่ 40 °C

- (9) ปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็น 50 sccm
- (10) วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซและบันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
- (11) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 7 ถึง 10 แต่เปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และปรับอัตราการไหลของก๊าซเป็น 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 sccm และปรับค่าอุณหภูมิหรือตารางตามความเหมาะสมของควบคุม Heater ที่ 50 °C และ 60 °C ตามลำดับ
- (12) นำค่าอุณหภูมิและความชื้นที่วัดได้แสดงเป็นกราฟ

3.5.1.3 การทดลองควบคุมการทำความชื้นแก๊สเชื้อเพลิงที่ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดลองควบคุมความชื้นแก๊สเชื้อเพลิงที่ขั้วแอโนดและคาโทด เพื่อศึกษาสภาวะการทำความชื้นที่เหมาะสมสำหรับก๊าซเชื้อเพลิงที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดและคาโทด และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง แบ่งเป็น 4 กรณี คือ

- (1) **กรณีที่ 1** ทำความชื้นให้แก่ก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดอย่างเดียว
- (2) **กรณีที่ 2** ทำความชื้นให้แก่ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วคาโทดอย่างเดียว
- (3) **กรณีที่ 3** ทำความชื้นแก๊สทั้งไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนที่ขั้วคาโทด
- (4) **กรณีที่ 4** ไม่มีการให้ความชื้นแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ขั้วแอโนดและขั้วคาโทด โดยทำการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น 50 °C และอัตราการไหลก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ 250 sccm

กรณีที่ 1 ทำความชื้นให้แก่ก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดอย่างเดียว

- (1) เปิดวาล์วถึงก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจน
- (2) เปิดแหล่งจ่ายไฟสำหรับการควบคุม Heater และปรับอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นที่ 50 °C ทั้งก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน
- (3) เปิดโปรแกรมเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) เมื่อเข้าสู่ตัวโปรแกรมควบคุมหลัก ซึ่งจะแสดงหน้าจอควบคุม Mass flow rate ให้ทำการปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 250 sccm
- (5) จากนั้นจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความชื้นให้ระบบ และทำการสะสมค่าเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที

- (6) ต่อสายก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง ไม่จ่ายก๊าซผ่านเครื่องทำความร้อน แต่ให้ก๊าซไฮโดรเจนผ่านเครื่องทำความร้อน
- (7) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดึงกระแสออกจากหอคเซลล์เชื้อเพลิง
- (8) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (9) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน

กรณีศึกษาที่ 2 ทำความร้อนให้แก่ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วคาโทดอย่างเดียว

- (1) จ่ายก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อไล่น้ำให้ระบบและทำความร้อนอะดเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที
- (2) ต่อสายก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง ไม่จ่ายก๊าซผ่านเครื่องทำความร้อน แต่ให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเครื่องทำความร้อน
- (3) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดึงกระแสออกจากหอคเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน

กรณีศึกษาที่ 3 ทำความร้อนแก่ก๊าซทั้งไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนที่ขั้วคาโทด

- (1) จ่ายก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อไล่น้ำให้ระบบและทำความร้อนอะดเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที
- (2) ต่อสายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนผ่านเครื่องทำความร้อนทั้ง 2 ชุด
- (3) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดึงกระแสออกจากหอคเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน

กรณีที่ 4 ไม่มีการให้ความชื้นแก่อากาศไฮโดรเจนที่ชั่ววาโนดและก๊าซออกซิเจนที่ชั่วคาโทด

- (1) จ่ายก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อไล่น้ำให้ระบบและทำความสะอาดเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที
- (2) ไม่จ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนผ่านเครื่องทำความชื้น
- (3) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดั่งกระแสออกจากห่อเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน

3.5.1.4 การทดลองควบคุมอัตราการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่อัตราการไหลเกินกว่าค่าทางทฤษฎีที่มีมวลสารสัมพันธ์ของออกซิเจน (Oxygen Stoichiometry, λ_0) มีค่าไม่น้อยกว่า 2 เพื่อหาอัตราการไหลของออกซิเจนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองต่อไป โดยทำการทดสอบกับที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน คือ $\lambda_H = 1.5$ และ $\lambda_0 = 2.5$ ตัวอย่างการคำนวณหาค่าอัตราการไหลเกินกว่าทางทฤษฎีที่มีมวลสารสัมพันธ์ของก๊าซ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ขั้นตอนการทดลองควบคุมอัตราการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

- (1) เปิดวาล์วถึงก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจน
- (2) เปิดแหล่งจ่ายไฟสำหรับควบคุม Heater และปรับอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นที่ 50 °C ทั้งก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน
- (3) เปิดโปรแกรมเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) ตรวจสอบข้อต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดการรั่วของก๊าซ
- (5) เมื่อเข้าสู่ตัวโปรแกรมควบคุมหลัก ซึ่งจะแสดงหน้าจอควบคุม Mass flow rate ให้ทำการปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนที่ 250 sccm
- (6) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความชื้นให้ระบบ และทำความสะอาดเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที

- (7) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดึงกระแสออกจากหอคเซลล์เชื้อเพลิง
- (8) ปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนตามสัดส่วน $1.5\text{H}_2:2.5\text{O}_2$ คือ 52.32 ต่อ 43.6 sccm
- (9) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (10) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน

3.5.1.5 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดสอบเซลล์เดี่ยวและหอคเซลล์เชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเซลล์ระหว่างการให้ก๊าซเชื้อเพลิงแห้งจ่ายในช่วงที่เกิดน้ำท่วมในเซลล์ (Flooding) และการปรับความชื้นให้แก่ก๊าซเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่เซลล์

การทดลองจึงทำการทดสอบเซลล์กับก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนกรณีผ่านหรือไม่ผ่าน Humidifier เมื่อเกิด Flooding โดยตรวจวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของก๊าซด้านทางอากาศและคาโทด โดยทำการทดสอบจำนวนชั้นของเซลล์ที่ 1 และ 5 ชั้น อุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ $50\text{--}500\text{ sccm}$

รูปที่ 3.15 แสดงภาพอย่างง่ายระบบควบคุมความชื้นก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่จ่ายเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยติดตั้งหัววัดความชื้นไฮโดรเจน และรูป 3.16 แสดงภาพอย่างง่ายของการประกอบชุดทดสอบกรณีไม่ผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องทำความชื้นก่อนจ่ายเข้าสู่หอคเซลล์เชื้อเพลิง

ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์ที่มีการให้ความชื้นแก่ก๊าซเชื้อเพลิงตลอดการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยไม่มีการควบคุมความชื้น

การทดลองนี้เป็นการหาสภาวะทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นสภาวะในการทดลองต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

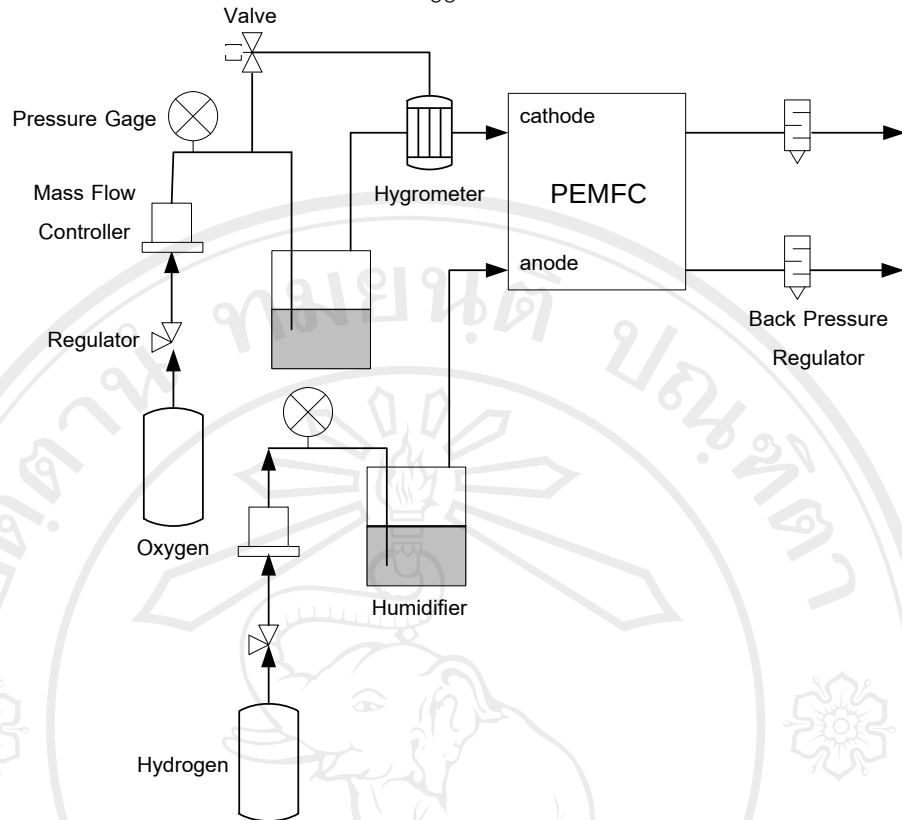
- (1) เปิดวาล์วถึงก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจน
- (2) เปิดแหล่งจ่ายไฟสำหรับควบคุม Heater และปรับอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นที่ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

- (3) เปิดโปรแกรมเซลล์เชื้อเพลิง
- (4) เปิดโปรแกรม Data Tracker เพื่อใช้ในการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของหัววัดความชื้น
- (5) นำไฮโดรเจนมาใส่ในกล่องวัดความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง
- (6) ตรวจสอบข้อต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดการรั่วของก๊าซ
- (7) เมื่อเข้าสู่ตัวโปรแกรมควบคุมหลัก ซึ่งจะแสดงหน้าจอควบคุม Mass flow rate ให้ทำการปรับอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 250 sccm
- (8) จากนั้นจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความชื้นให้ระบบ และทำความสะอาดเมมเบรนเป็นเวลา 30 นาที
- (9) จากนั้นจ่ายก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง และ Open circuit เป็นเวลา 15 นาที จึงเริ่มดึงกระแสออกจากหอคells เชื้อเพลิง
- (10) บันทึกค่าความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์
- (11) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชัน
- (12) ทำซ้ำข้อ 2-11 โดยปรับอุณหภูมิเครื่องทำความชื้นเป็น 50 และ 60 °C ตามลำดับ และเปลี่ยนจำนวนชั้นของหอคells เชื้อเพลิงเป็น 5 ชั้นเซลล์

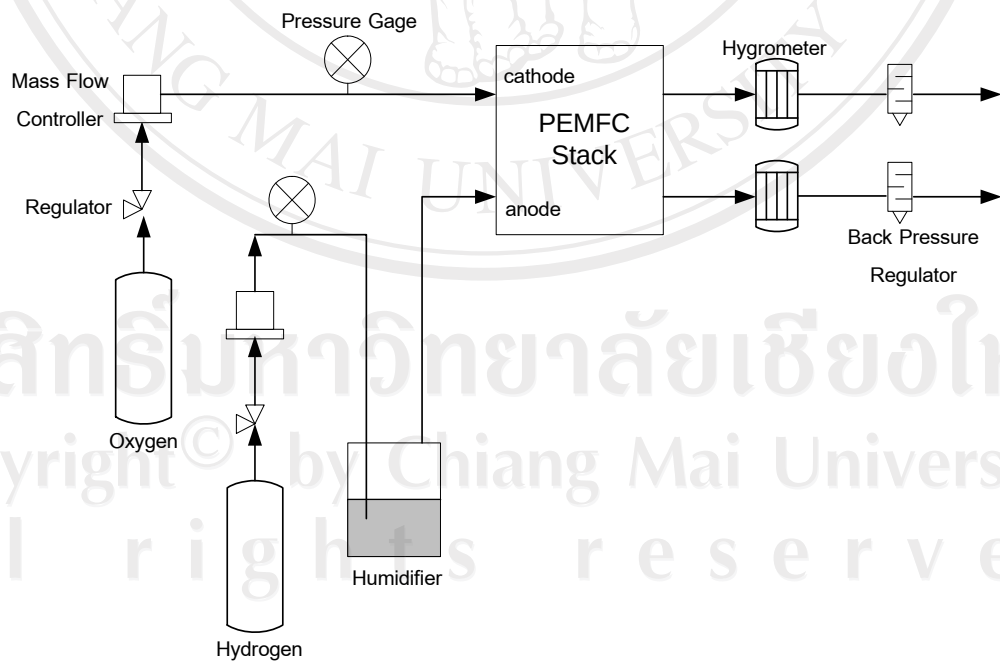
ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงแห้ง (ไม่ผ่าน Humidifier) ในช่วงที่เกิดน้ำท่วมภายในเซลล์

การทดสอบนี้เพื่อหาวิธีที่ทำให้เซลล์ทำงานได้โดยมีความเสถียรมากพอที่จะทำงานได้ในระยะเวลานาน อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

- (1) ทำการทดลองเหมือนกับการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่มีระบบควบคุมความชื้น โดยนำสภาวะที่ได้ประสิทธิภาพที่สูงสุดมาทดสอบ
- (2) สังเกตช่วงที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มตกลง โดยสังเกตจากค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์
- (3) จากนั้นเปิดวาล์ว 3 ทางเพื่อกันไม่ให้ออกซิเจนหรือออกซิเจนผ่านมายังเครื่องทำความชื้น แต่จ่ายก๊าซผ่านมายังเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง
- (4) บันทึกเวลาและอุณหภูมิในการเปิดวาล์ว
- (5) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟโพลาริเซชันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.16 ภาพอย่างง่ายของระบบควบคุมความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 3.17 ภาพอย่างง่ายของระบบที่มีการปรับความชื้นเฉพาะทางด้านไฮโดรเจน

3.5.1.6 การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำภายในหอเซลล์เชื้อเพลิงกรณี ปรับความชื้นทางด้านคาโทด

การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำในหอเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการปรับความชื้นก๊าซออกซิเจนทางด้านคาโทด เป็นแนวทางในการหาวิธีการแก้ไขปัญหการเกิดน้ำท่วมภายในเซลล์เชื้อเพลิง

- (1) ทำการทดลองเหมือนกับการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง
- (2) ตรวจวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้
 - อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซขาออกทั้งด้านอานอดและคาโทด (Q_h และ Q_o)
 - กระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลผ่านเซลล์ และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหอเซลล์ (V)
 - ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซไฮโดรเจน (ϕ_h) ก๊าซออกซิเจน (ϕ_o) และอุณหภูมิของก๊าซขาออก ทั้งด้านอานอดและคาโทด

ผลการทดสอบของชุดการทดสอบทั้งหมด ที่ได้นำมาเสนอขั้นตอนและการออกแบบการทดลองมาแล้วในบทนี้ ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลตามลำดับในบทที่ 4 ถัดไป