

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

บทนี้นำเสนอผลการทดสอบ การวิจารณ์และวิเคราะห์ผลโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรก แสดงการวิเคราะห์ค่าการสอบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยใช้ไฮโกรมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซเข้าที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ส่วนที่ 2 แสดงการวิเคราะห์สภาวะการทำงานของเครื่องทำความชื้นที่เหมาะสม โดยแสดงผลการทำความชื้นของขั้วไฟฟ้าด้านแอโนดและคาโทดต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ส่วนที่ 3 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่มีระบบการให้ความชื้นแก่ก๊าซเชื้อเพลิงจากเครื่องทำความชื้นก่อนก๊าซเข้าสู่เซลล์ รวมถึงผลทดสอบระบบการจ่ายก๊าซเชื้อเพลิงแห้งโดยตรงกับเซลล์ เพื่อแก้ปัญหาการเกิดน้ำท่วมเซลล์ในเซลล์เดี่ยวและห่อเซลล์เชื้อเพลิง

4.1 ผลการทดสอบ

4.1.1 การหาค่าความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง (Humidity of Fuel Gas)

ปริมาณความชื้นในเมมเบรนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เพื่อรักษาความสามารถในการนำไอออนของเมมเบรน โดยทั่วไปความชื้นจากเมมเบรนจะสูญเสียไปเรื่อย ๆ เนื่องจากปรากฏการณ์ Electro-osmotic drag หรือการที่โปรตอนถ่ายเทจากขั้วแอโนดไปยังขั้วคาโทด ได้พาเอาโมเลกุลของน้ำติดตัวมาด้วย ขนาดของแรง Electro-osmotic drag จะแปรผันตามขนาดความหนาแน่นกระแส (คือปริมาณโปรตอนที่ไหลผ่านเมมเบรน) ดังนั้นที่ระดับความหนาแน่นกระแสสูง ๆ จึงมีการลากดึงน้ำจากเมมเบรนฝั่งแอโนดมายังคาโทดมากเป็นผลให้เมมเบรนฝั่งแอโนดอาจเกิดการแห้งและสูญเสียความสามารถในการนำโปรตอน

การหาค่าความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิงโดยใช้หัววัดความชื้นชนิด Polymer Capacitive Base Sensor (ดังรูปที่ 3.4) เพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน ก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง เป็นการทดสอบปัญหาการแห้งของเมมเบรน การปรับความชื้นให้แก่ก๊าซเชื้อเพลิงภายนอกก่อนที่จะป้อนก๊าซเข้าสู่เซลล์ จะต้องมีการควบคุมให้เหมาะสม

การปรับความชื้นจากภายนอกโดยไม่จำเป็นจะรบกวนการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์ อาจทำให้เกิดการท่วมของน้ำ (Flooding) ในตัวอิเล็กทรอนิกส์เช่นกัน และทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงในที่สุด

การสอบเทียบหัววัดกำหนดอุณหภูมิเครื่องทำความชื้นไว้ที่ 40°C 50°C และ 60°C อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน อยู่ระหว่าง 50-500 sccm ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะทำการทดสอบอยู่ในช่วง 58.12% - 62.76 % และอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30°C ผลของการสอบเทียบได้แสดงในตารางที่ 4.1- 4.3 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น และอัตราการไหลของก๊าซ เมื่อเครื่องทำความชื้นได้รับอุณหภูมิสูง น้ำที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อนและระเหยกลายเป็นไอน้ำได้มากขึ้นในปริมาตรจำกัด และเมื่อปรับอัตราการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณและความเร็วก๊าซเชื้อเพลิงที่ไหลผ่านเครื่องทำความชื้นมากขึ้น ส่งผลให้ก๊าซเชื้อเพลิงรับปริมาณไอน้ำได้เพิ่มขึ้น

ความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซแทบไม่เปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นคงที่ แต่ช่วงอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นของไฮโดรเจน 40°C อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 50, 100 และ 500 sccm ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกันเพียง 0.27 % และ 1.11% ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในช่วง 50 - 500 sccm ไม่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น

นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ที่สภาวะการทำงานเดียวกันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ คืออุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น 50°C อัตราการไหล 250 sccm ความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจน ต่างกันประมาณ 2% แสดงว่าที่อุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นเดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ของก๊าซเชื้อเพลิงต่างชนิดกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นและอัตราการไหลต่างกัน

อัตราการไหล (sccm)	ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซออกซิเจน (%)						
	40 °C	42 °C	44 °C	46 °C	48 °C	50 °C	60 °C
50	75.20	78.2	80.71	82.31	85.71	89.66	91.66
100	75.47	78.78	81.81	83.72	86.11	90.69	92.69
150	75.63	79.03	82.94	84.83	86.84	91.20	93.20
200	75.68	79.38	83.57	85.47	87.37	91.83	93.83
250	75.70	80.21	83.84	85.73	87.74	92.33	94.33
300	75.75	80.65	84.11	86.31	88.31	92.63	94.63
350	75.8	81.11	84.81	87.15	88.81	92.82	94.82
400	75.82	81.33	85.31	87.43	89.51	93.4	95.40
450	76.09	82.1	86.01	88.39	89.71	93.88	95.88
500	76.31	82.31	86.23	88.66	90.13	94.18	96.18

ตารางที่ 4.2 ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นและอัตราการไหลต่างกัน

อัตราการไหล (sccm)	ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซไฮโดรเจน (%)						
	40 °C	42 °C	44 °C	46 °C	48 °C	50 °C	60 °C
50	77.20	78.30	80.80	82.80	85.80	91.66	93.66
100	77.48	79.49	82.39	84.99	87.49	92.70	94.70
150	77.63	80.86	84.06	86.86	88.92	93.21	95.21
200	77.68	81.25	84.65	87.65	90.16	93.84	95.84
250	77.71	82.60	86.30	89.55	91.55	94.33	96.33
300	77.75	82.76	87.06	90.06	92.86	94.64	96.64
350	77.81	83.27	87.77	91.07	93.87	94.82	96.82
400	77.83	83.42	88.14	92.04	94.64	95.40	97.40
450	78.93	84.84	88.84	93.04	95.04	95.88	97.88
500	78.96	84.94	89.44	93.94	95.92	96.18	98.40

ตารางที่ 4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นและ อัตราการไหลต่างกัน

อัตราการไหล (sccm)	ความชื้นสัมพัทธ์ไนโตรเจน (%)		
	40 °C	50 °C	60 °C
50	72.13	73.13	74.59
100	73.32	74.40	75.05
150	73.40	74.69	75.50
200	73.81	74.93	75.51
250	73.98	75.05	75.61
300	74.97	75.21	75.84
350	74.98	76.05	76.07
400	75.43	76.10	76.27
450	75.51	76.11	76.39
500	75.70	76.13	76.80

4.1.2 สภาพะการทำงานของเครื่องทำความชื้น

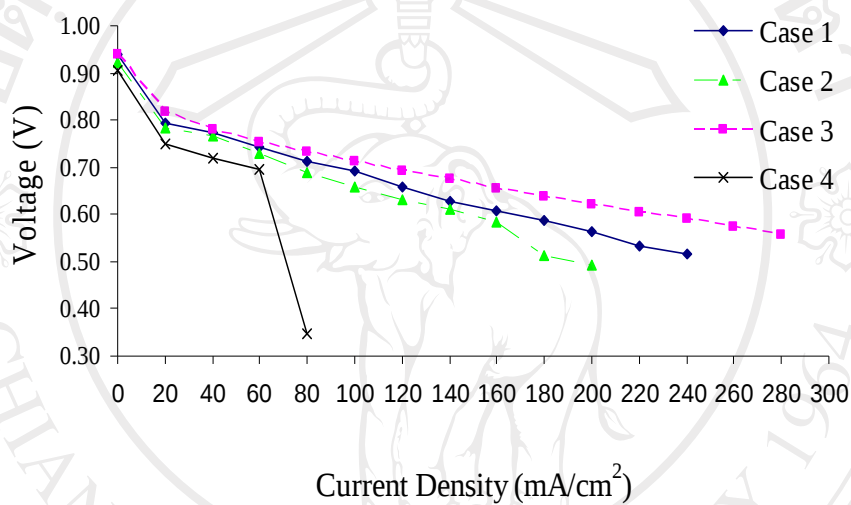
การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด จำเป็นต้องทราบสภาพะการทำงานที่เหมาะสมของการทำความชื้นด้านขั้วไฟฟ้าทั้งสองของเซลล์เชื้อเพลิง เครื่องทำความชื้นทำให้ก๊าซแห้งจากถังจ่ายก๊าซ กลายเป็นก๊าซเปียก (Liquified gas) ในขณะที่ก๊าซเปียกเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อเกิดปฏิกิริยา จะทำให้มีการสะสมความชื้นภายในเซลล์ และปฏิกิริยาเคมีจะทำให้เกิดน้ำขึ้นที่ขั้วคาโทดเช่นกัน จึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้นที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดหรือคาโทด หรือทั้งสองขั้วให้เหมาะสมต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดสอบการทำความชื้นแก่ก๊าซเชื้อเพลิงที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดและคาโทด สำหรับก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ที่ได้รับความชื้นจากเครื่องทำความชื้นก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 4 กรณีดังนำเสนอขั้นตอนการทดสอบไว้ในบทที่ 3 คือ

- (1) **กรณีที่ 1** ทำความชื้นให้แก่ก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดอย่างเดียว
- (2) **กรณีที่ 2** ทำความชื้นให้แก่ก๊าซออกซิเจนที่ขั้วคาโทดอย่างเดียว
- (3) **กรณีที่ 3** ทำความชื้นแก่ก๊าซทั้งไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนที่ขั้วคาโทด

- (4) **กรณีที่ 4** ไม่มีการทำความชื้นแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่แอโนด และแก๊สออกซิเจนที่คาโทดเท่ากัน คือ 250 sccm และอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นที่ 50 °C

เปรียบเทียบการทำงานโดยกราฟโพลาริเซชัน (รูปที่ 4.1) ที่แสดงประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เดี่ยว พบว่ากรณีที่ 3 (ทำความชื้นแก๊สทั้งไฮโดรเจนที่แอโนดและออกซิเจนที่คาโทด) มีการลดลงของความต่างศักย์ตามความหนาแน่นกระแสช้าที่สุดตามด้วยกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และกรณีที่ลดลงเร็วที่สุดคือกรณีที่ 4



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแสที่สภาวะต่างๆ

กรณีที่ 3 เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นกระแสเทียบกับความต่างศักย์ จะเห็นว่าการทำความชื้นแก๊สทั้งไฮโดรเจนที่แอโนด และแก๊สออกซิเจนที่คาโทด จะให้ความหนาแน่นกระแสสูงสุด 280 mA/cm² ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ 0.56 Volt แสดงว่าภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีความชื้นที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกรณีนี้ 3 นี้ จึงให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงสุด เมื่อตั้งกระแสเพิ่มขึ้นจากนี้ไป ประสิทธิภาพจะตกลงอย่างมาก เนื่องจากเกิดน้ำท่วมภายในเซลล์ โดยน้ำได้เข้าไปขัดขวางพื้นที่การทำปฏิกิริยาของแก๊สเชื้อเพลิง

กรณีที่ 4 ไม่มีการทำความชื้นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนที่แอโนดและคาโทด จะให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด คือให้ความหนาแน่นกระแสสูงสุด 80 mA/cm² ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ 0.35 Volt เนื่องจากความชื้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงต่ำกว่าระดับที่เซลล์เดี่ยวจะสามารถทำงานได้

กรณีที่ 1 การทำความร้อนให้ก๊าซไฮโดรเจนที่ชั่ววาโนดอย่างเดียว และกรณีที่ 2 ทำความร้อนให้ก๊าซออกซิเจนที่ชั่วคาโทดอย่างเดียว ให้ความหนาแน่นกระแส 240 mA/cm^2 และ 200 mA/cm^2 ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ 0.51 Volt และ 0.49 Volt ตามลำดับ ผลของการให้ความร้อนแก่ก๊าซไฮโดรเจนที่ชั่ววาโนดเพียงอย่างเดียว เมื่อตั้งกระแสเพิ่มขึ้นในระยะหนึ่ง ประสิทธิภาพเริ่มตกลง เนื่องจากความชื้นภายในเซลล์ เชื้อเพลิงเดี่ยวลดลงจนไม่สมดุลต่อการเกิดปฏิกิริยา การตั้งกระแสเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความร้อนภายในเซลล์ จนกระทั่งเมมเบรนสูญเสียความชื้น (Dehydration)

การให้ความร้อนแก่ก๊าซเชื้อเพลิงด้านวาโนดเมื่อเปรียบเทียบกับด้านคาโทด พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงดีกว่า เนื่องจากความสามารถในการนำโปรตอนของเมมเบรนจะขึ้นอยู่กับความชื้นของก๊าซไฮโดรเจนในด้านวาโนด เมื่อมีการเพิ่มภาระงาน (Load) ทำให้เกิดความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิง และทำให้ความชื้นด้านไฮโดรเจนถูกขับออกจากเซลล์เชื้อเพลิงได้บางส่วน แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากความชื้นไม่พอต่อการนำโปรตอนของเมมเบรนในช่วงสุดท้ายของการทำปฏิกิริยา

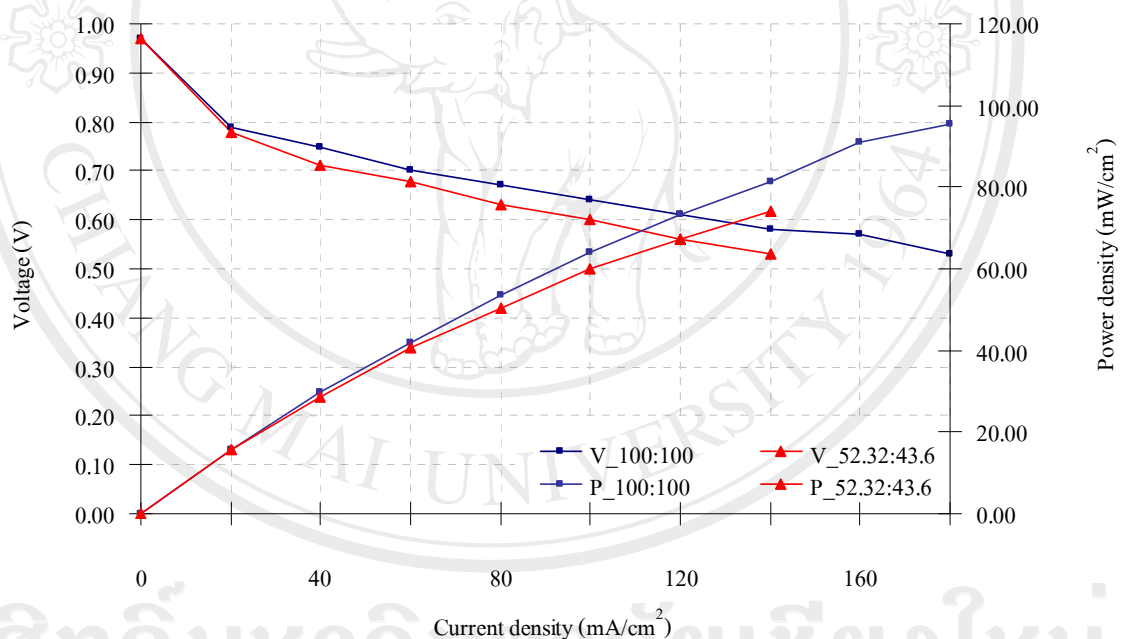
การให้ความร้อนกับออกซิเจนในด้านคาโทดนั้น เป็นการให้ความร้อนในช่วงสุดท้ายของการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง สังเกตว่าการให้ความร้อนแก่ก๊าซออกซิเจนด้านเดียวอย่างต่อเนื่องในระยะหนึ่ง จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากความชื้นที่ให้นั้นเข้าไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาในช่องทางเดินก๊าซ

4.1.3 ผลของอัตราการไหล

โดยปกติแล้วออกซิเจนหรือ อากาศ จะต้องถูกป้อนเข้าสู่เซลล์ด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตรมากเกินกว่าที่เซลล์ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ออกซิเจนส่วนเกินซึ่งไม่ได้ทำปฏิกิริยาเป็นตัวช่วยพาเอาน้ำผลิตภัณฑ์ออกไปจากเซลล์ และเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดการสูญเสียเนื่องจากความเข้มข้น (Concentration Over voltage) เนื่องจากหากออกซิเจนถูกป้อนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับค่าอัตราทางทฤษฎีมวลสารสัมพันธ์ (Stoichiometry rate, λ_0) ปลายทางออกของเซลล์ก็จะเหลือปริมาณออกซิเจนอยู่น้อยเพราะถูกใช้ไปมาก ในขณะที่สัดส่วนของน้ำผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีที่ชั่วคาโทดบริเวณใกล้ทางออกของเซลล์ก็จะเกิดขึ้นได้ยาก อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ได้มีข้อเสนอแนะให้ใช้อัตราการป้อนออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ให้มีค่าเกินกว่าทางทฤษฎีมวลสารสัมพันธ์อย่างน้อยเท่ากับ 2 (Larminie, 2000)

การทดสอบเซลล์เดี่ยวที่อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนคือ $\lambda_H = 1.5$ และ $\lambda_O = 2.5$ โดยปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนตามสัดส่วน 52.32 ต่อ 43.6 sccm เปรียบเทียบกับสัดส่วน 100:100 sccm เพื่อพิจารณาผลของอัตราการป้อนต่อสมรรถนะของเซลล์ และเป็นการเลือกสัดส่วนระหว่างอัตราการป้อนก๊าซในการทดสอบเซลล์ในลำดับต่อไป

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เดี่ยวที่วัดได้ในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง เท่ากัน พบว่าเซลล์ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าออกมาในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้งสองกรณี และแรงดันไฟฟ้าแกว่งไม่มาก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนแบบ Stoichiometry และแบบอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากันก็ไม่ให้ผลที่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบเซลล์เดี่ยวทำงานด้วยอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ต่างกัน
สภาวะทำงาน $I = 4.5 \text{ A}$, $T_{\text{humid}} = 50^\circ \text{C}$, Flow rate $\text{H}_2:\text{O}_2 = 52.32:43.6$ และ 100:100 sccm

เหตุผลประการหนึ่งที่อัตราส่วนการป้อนก๊าซที่ต่างกัน 2 กรณีข้างต้น ให้ผลการทำงานไม่แตกต่างกันคือ ก๊าซปฏิกิริยาที่ป้อนให้แก่เซลล์คือ ออกซิเจนบริสุทธิ์ไม่ใช่อากาศ ในกรณีอากาศจะมีส่วนผสมของไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ และมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเพียง 21% ทำให้เกิดความเฉื่อยขึ้นในบริเวณคาโทดมากกว่าการใช้

ออกซิเจนบริสุทธิ์ ดังนั้นการป้อนออกซิเจนบริสุทธิ์ในอัตรา 2.5 เท่าของทางทฤษฎีจึงยังให้ผลการทำงานเท่ากับการป้อนก๊าซในอัตราที่ต่ำกว่านี้ได้ ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้อัตราส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากันจึงใช้แทนอัตราการป้อนก๊าซเชื้อเพลิงตามทางทฤษฎีมวลสารสัมพันธ์เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ และกำหนดค่าอัตราการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ $H_2:O_2$ เท่ากับ 100:100 sccm

4.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ที่ประกอบขึ้นเองภายในประเทศ ขนาด 1 ชั้น และ 5 ชั้น ควบคุมสถานะความดันขาเข้าไม่เกิน 0.5 บาร์ อุณหภูมิของอุปกรณ์ทำความร้อน 40-60 °C อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 50 - 350 sccm ทำการทดสอบหา Polarization curves โดยการเปลี่ยนค่าภาระไฟฟ้าที่ Electronic Load (ดังรูป 3.7) แล้วทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง และคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตได้ ดังสมการ

$$P = IV \quad (4.1)$$

P	คือ	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (mW/cm ²)
I	คือ	ความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)
V	คือ	ความต่างศักย์ (V)

ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จากสมการข้างต้น ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าแปรผันตรงกับความหนาแน่นกระแสและค่าความต่างศักย์ ซึ่งค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสามารถบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ดีที่สุด ณ ตำแหน่งของความหนาแน่นกระแสและความต่างศักย์จุดใดจุดหนึ่ง

การทดสอบปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจน สำหรับเซลล์เดี่ยวและห่อเซลล์ ดังนี้

(1) กรณีที่มีจำนวนชั้น 1 เซลล์ อัตราการไหลไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจน (sccm: sccm)

ทดสอบ 6 กรณี ได้แก่ 50:50, 100:100, 150:150, 200:200, 250:250, และ 300:300 เท่ากัน

(2) กรณีที่มีจำนวนชั้น 5 เซลล์ อัตราการไหลไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจน ทดสอบ 2 กรณี

ได้แก่ 250:250 และ 500:500 sccm

สภาวะการทำงานที่ดีที่สุดที่เซลล์สำหรับแต่ละชั้นเซลล์เดี่ยวและห่อเซลล์จะได้จากกราฟโพลาร์ไรเซชัน จากนั้นทดสอบถึงกระแสคงที่ที่ตำแหน่งที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุด (หรือสภาวะการทำงานที่ดีที่สุด) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์และกำลังผลิตไฟฟ้าตามเวลา ในกรณีที่ไม่มีและไม่มีระบบการป้อนก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนโดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องทำความชื้น (Humidifier) ให้กับขั้วไฟฟ้าทางด้านแอโนดและคาโทด หรือที่เรียกว่า By Pass System

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อหาสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดในแต่ละชั้นเซลล์จะนำเสนอในหัวข้อที่ 4.2

4.2 ผลการทดสอบเซลล์เดี่ยวและห่อเซลล์เชื้อเพลิง

4.2.1 กรณีทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ชั้น

จากการทดสอบสภาวะการทำงานของเครื่องทำความชื้นในหัวข้อ 4.1.2 ทำให้ทราบว่า การให้ความชื้นแก่ก๊าซทั้งไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดและออกซิเจนที่ขั้วคาโทด จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้นของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ 40 - 60 °C และควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 50-300 sccm ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่เซลล์สามารถผลิตได้สูงสุดในแต่ละอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น และอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.4 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดและความต่างศักย์ของเซลล์ขนาด 1 ชั้น

อุณหภูมิอุปกรณ์ทำความร้อน (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW/cm^2) ที่ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (sccm)					
	50	100	150	200	250	300
40	58.13	59.27	60.20	60.80	60.27	62.53
50	65.60	66.67	72.00	72.53	83.33	73.20
60	70.40	95.4	74.13	74.67	70.40	51.33
อุณหภูมิอุปกรณ์ทำความร้อน (องศาเซลเซียส)	ความต่างศักย์ (V) ที่อัตราการไหลก๊าซ (sccm)					
	50	100	150	200	250	300
40	0.36	0.42	0.45	0.38	0.38	0.45
50	0.41	0.42	0.45	0.45	0.42	0.41
60	0.44	0.53	0.46	0.47	0.44	0.51

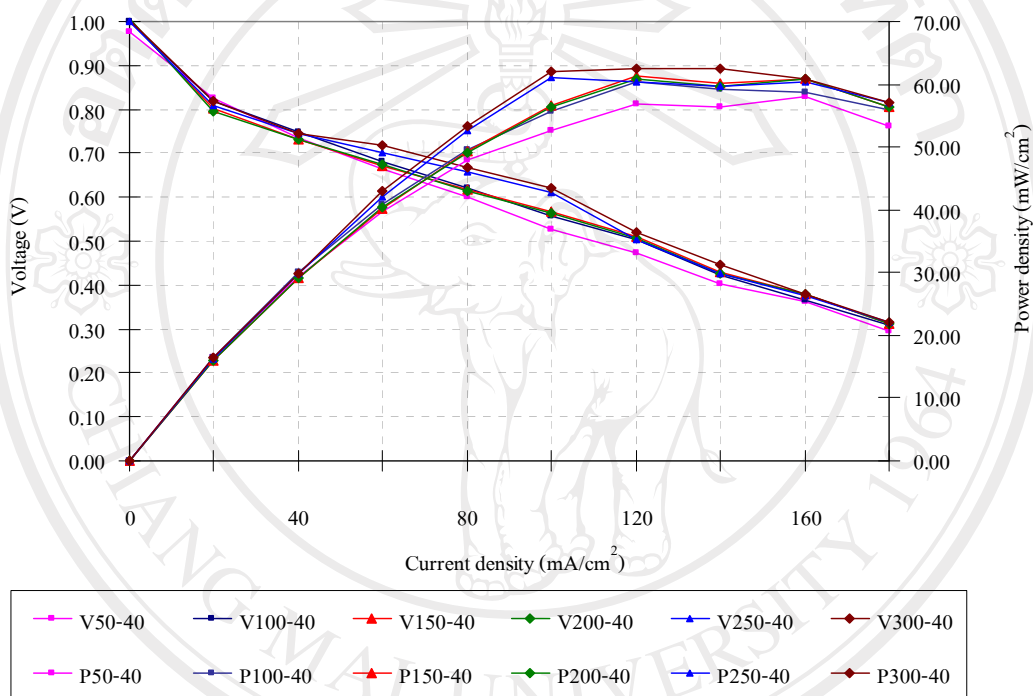
สังเกตว่าที่อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนเดียวกัน กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละอัตราการไหลจะมีค่าสูงสุด เมื่ออุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนประมาณ $50-60^{\circ}\text{C}$ ซึ่งข้อมูลในการทดสอบเซลล์ขนาด 1 ชั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

รูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความต่างศักย์และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสต่างกัน เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหล กรณีอุณหภูมิเครื่องทำความร้อนที่ 40°C และกราฟรูปที่ 4.4 และ 4.5 สำหรับกรณีอุณหภูมิเครื่องทำความร้อนเปลี่ยนแปลงเป็น 50°C และ 60°C ตามลำดับ

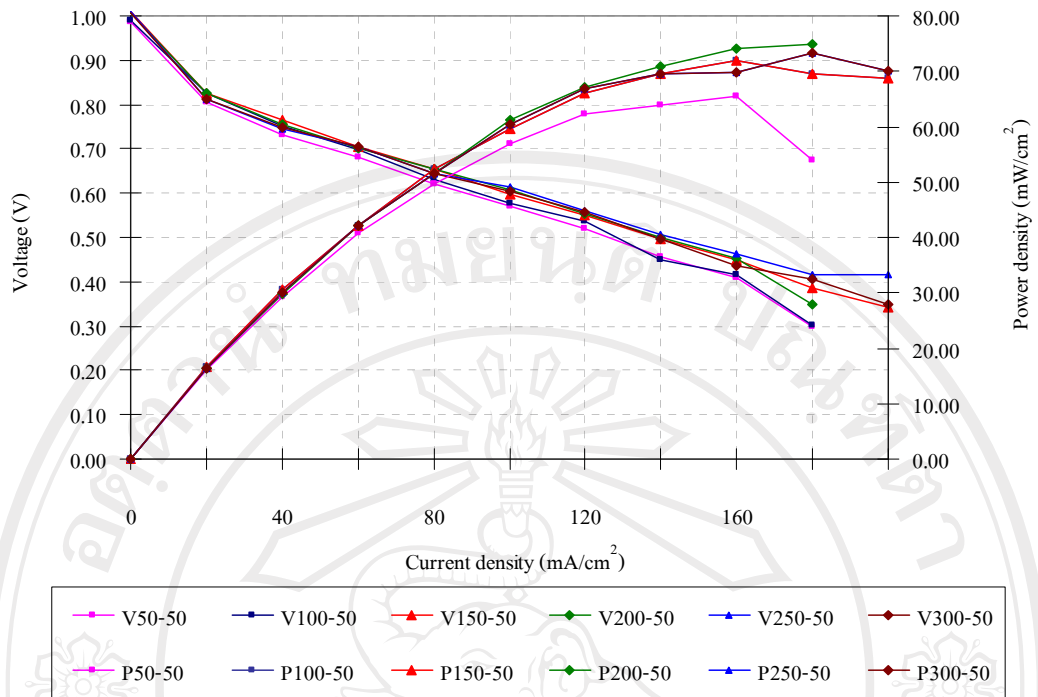
ผลการทดสอบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า ที่สัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นกระแส พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิเครื่องทำความร้อน 60°C อัตราการไหล 100 sccm สามารถให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า $95.4 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 0.53 volt จะเห็นว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ดีพบได้ในเงื่อนไขของอัตราการไหลที่ไม่สูง เนื่องจากอัตราการไหลที่ 100 sccm ก๊าซสัมผัสกับอิเล็กโทรดได้มากกว่าที่อัตราการไหลอัตราการไหลค่าอื่น เพราะใช้เวลานานกว่าของก๊าซในการเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรด และก๊าซมีเวลาที่อยู่ในช่องทางเดินก๊าซเหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ดีกว่าอัตราการไหลสูงๆ ซึ่งค่าความ

หนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ อุณหภูมิเครื่องทำความร้อนที่ 40°C , 50°C และ 60°C ต่างกันประมาณ 0.37% และ 0.30% ตามลำดับ

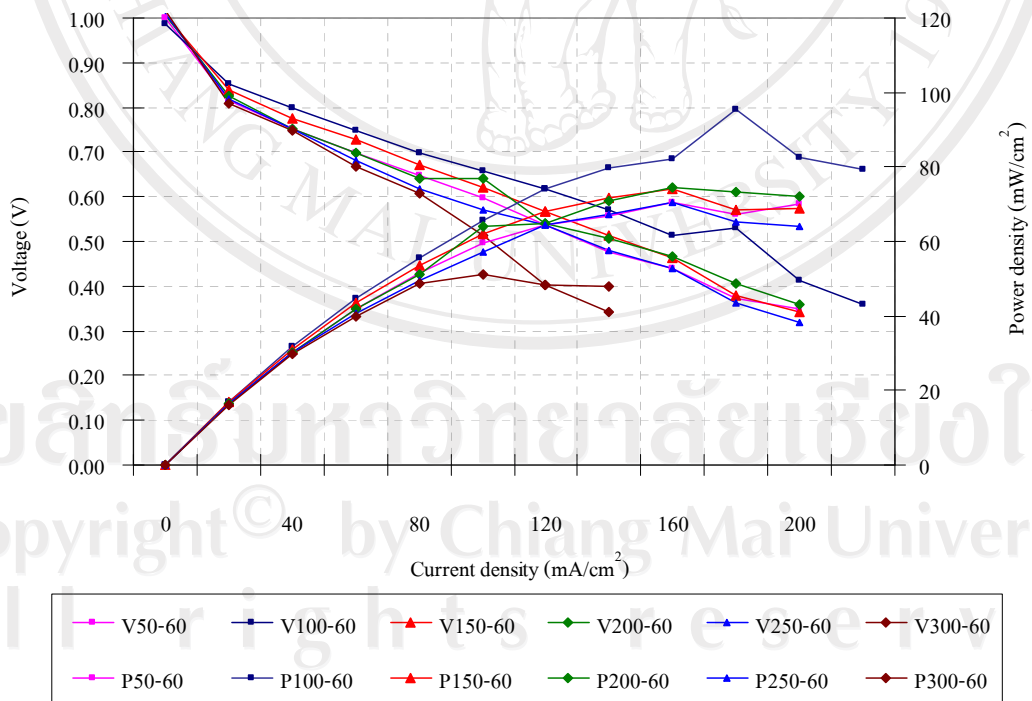
เมื่อพิจารณาในส่วนของคุณสมบัติเครื่องทำความร้อน จะให้ประสิทธิภาพที่ดีในช่วงที่มีการให้อุณหภูมิเครื่องทำความร้อนประมาณ 60°C ทั้งนี้เนื่องจากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง ขนาด 1 เซลล์ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าชั้นเซลล์ค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีความชื้นที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า เทียบกับ ความหนาแน่นกระแส ที่อุณหภูมิเครื่องทำความร้อน 40°C



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า เทียบกับ
ความหนาแน่นกระแส ที่อุณหภูมิเครื่องทำความร้อน 50 °C



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า เทียบกับ
ความหนาแน่นกระแส ที่อุณหภูมิเครื่องทำความร้อน 60 °C

4.2.2 กรณีทดสอบหอคาร์บอนเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้น

จากการทดสอบประสิทธิภาพหอคาร์บอนเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 เซลล์ ควบคุมอุณหภูมิอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ $40-60^{\circ}\text{C}$ และควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง 2 ค่า ได้แก่ 250 sccm และ 500 sccm ซึ่งในแต่ละชั้นเซลล์เชื้อเพลิงจะมีอัตราการไหลของก๊าซโดยเฉลี่ยประมาณ 50 sccm และ 100 sccm ตามลำดับ หากสมมติว่าก๊าซที่จ่ายเข้ากระจายดีแต่ละเซลล์ด้วยปริมาณที่เท่ากัน ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งเปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่เซลล์สามารถผลิตได้สูงสุด ในแต่ละอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนและอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง

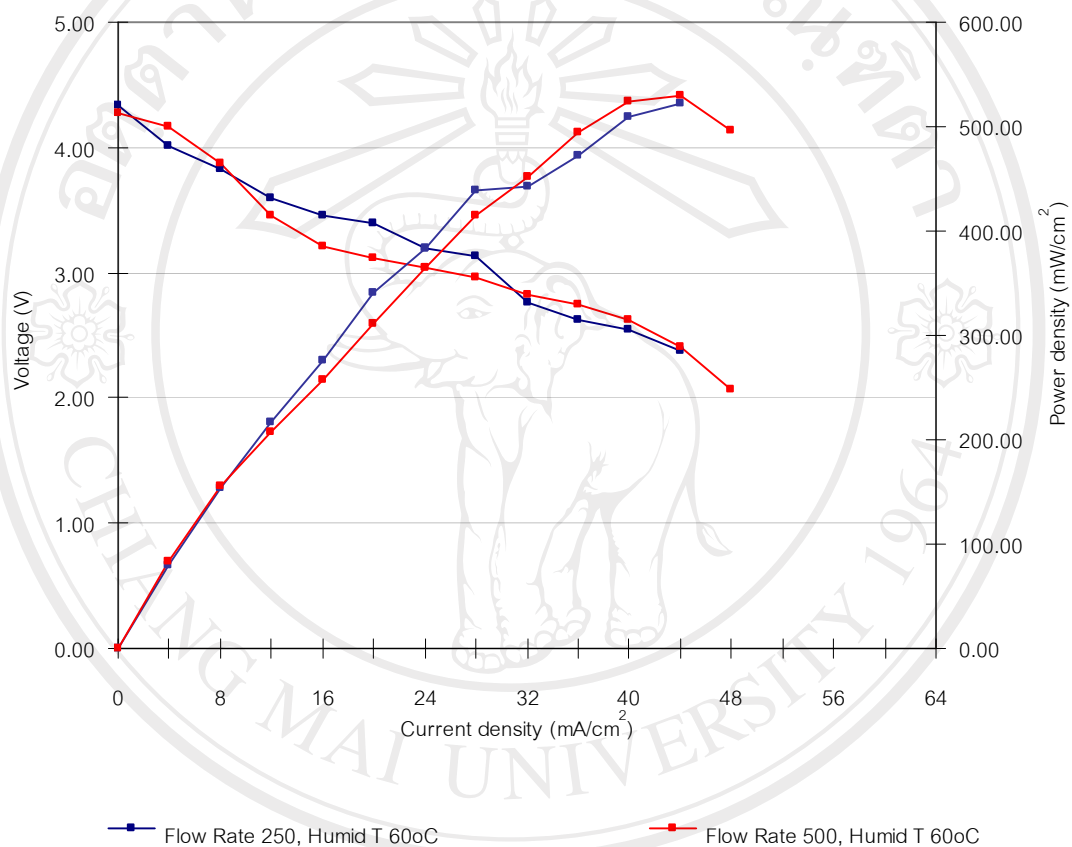
ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดและความต่างศักย์ของหอคาร์บอนเซลล์ขนาด 5 ชั้น

อุณหภูมิอุปกรณ์ทำความร้อน (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (mW/cm^2) ที่ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง (sccm)	
	250	500
40	514.80	523.60
50	519.20	525.80
60	521.40	530.20
อุณหภูมิอุปกรณ์ทำความร้อน (องศาเซลเซียส)	ความต่างศักย์ (V) ที่อัตราการไหลก๊าซ (sccm)	
	250	500
40	2.34	2.38
50	2.36	2.39
60	2.37	2.41

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่เซลล์สามารถผลิตได้สูงสุด ในแต่ละสภาวะทดสอบ จะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มตามอุณหภูมิของอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วย ซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าในแต่ละอัตราการไหลจะมีค่าสูงสุด ในช่วงอุณหภูมิให้ความร้อนประมาณ 60°C โดยข้อมูลในการทดสอบเซลล์ขนาด 5 ชั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง กราฟประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ที่แสดง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า เทียบกับความหนาแน่นกระแสที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตได้สูงสุดในแต่ละอัตราการไหล แสดงได้ดังรูปที่ 4.6

ห่อเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้นเซลล์ สามารถให้ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 530.20 mW/cm^2 ณ ตำแหน่งความต่างศักย์ที่ 2.41 V และความหนาแน่นกระแส 220 mA/cm^2 (ที่กระแสไฟฟ้า 5.5 Amp)



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบในสภาวะที่เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้นให้ประสิทธิภาพสูงสุด

ผลการทดสอบจากตารางที่ 4.5 แสดงว่าที่อัตราการไหล 250 sccm จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่อัตราการไหลที่ 500 sccm เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซเชื้อเพลิงต่อเซลล์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาในกรณีแรกไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปในแต่ละชั้นเซลล์มีค่าเพียง 50 sccm/cell เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงต่ำกว่าการให้อัตราการไหลที่ 500 sccm ซึ่งจะมีก๊าซเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าต่อเซลล์คือ 100 sccm/cell พบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหล 250 sccm และ 500 sccm ต่างกันประมาณ 0.012%

พิจารณาอุณหภูมิของเครื่องทำความชื้น เห็นว่าที่อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นที่ 60°C จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า อุณหภูมิเครื่องทำความชื้นที่ 40°C และ 50°C เนื่องจากอุณหภูมิเครื่องทำความชื้นที่ 40°C และ 50°C ให้ความชื้นไม่เพียงพอให้เกิดมีความชื้นสมดุลระหว่างการทำปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิง นอกจากนี้ขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานจะเกิดความร้อนขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงทำให้สูญเสียความชื้นภายในเซลล์ออกไปบางส่วน (Dehydration) ด้วย

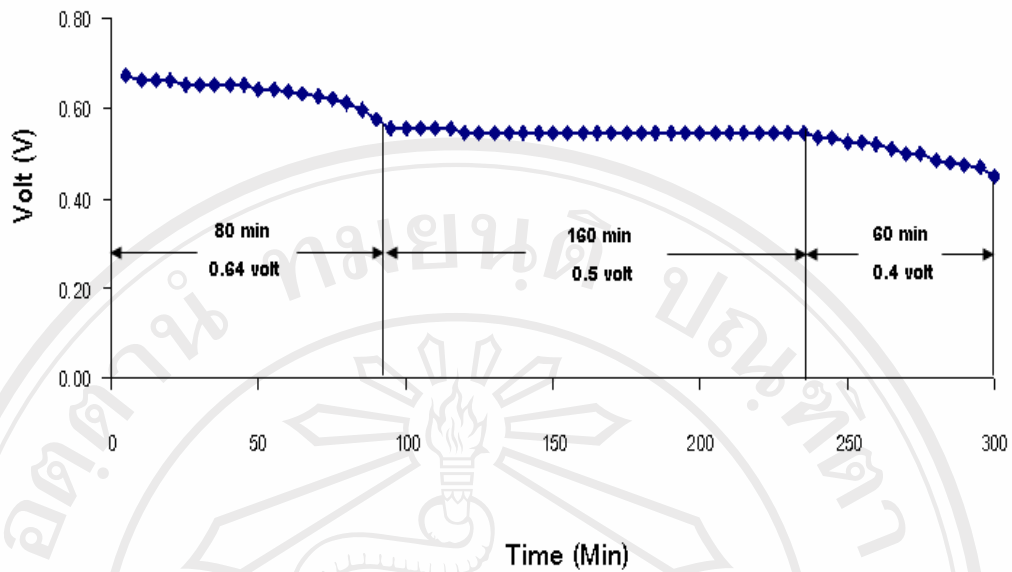
4.2.3 สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

4.2.3.1 ผลของการให้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนโดยตรงแก่เซลล์เชื้อเพลิง (By Pass System from Humidifier)

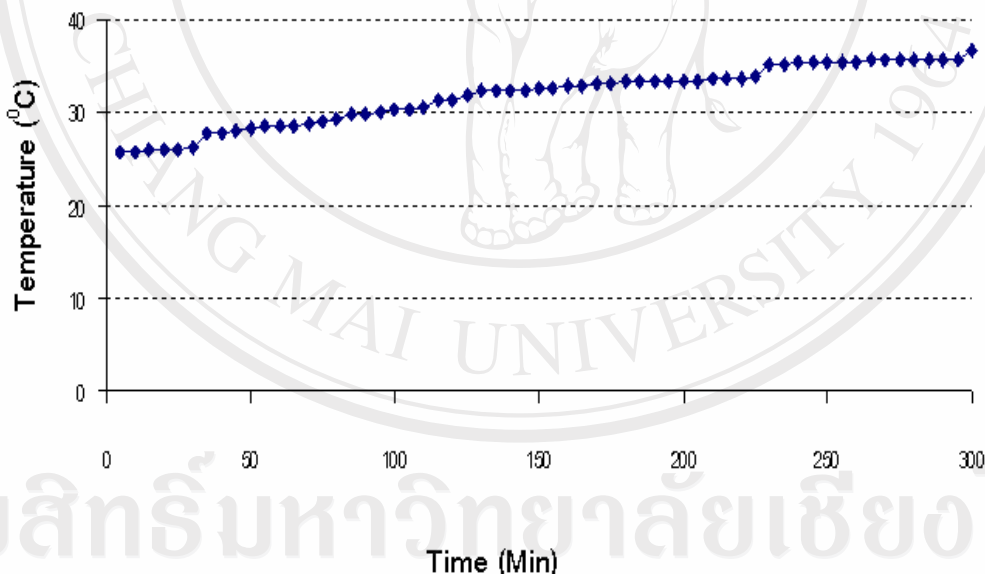
การทดลองนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีระบบ By Pass ก๊าซเชื้อเพลิงจากเครื่องทำความชื้น เพื่อแก้ปัญหาน้ำท่วม (Flooding) ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนสำหรับเซลล์เดี่ยว 1 ชั้น และห่อเซลล์ขนาด 5 ชั้น

การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว กำหนดอุณหภูมิทำงานของเครื่องทำความชื้น (Humidifier) ที่ 60°C อัตราการไหลของไฮโดรเจนต่อออกซิเจน คือ 100:100 sccm ในช่วงของการทดสอบปกติ (Normal condition) และตั้งกระแสที่ 4.5 Amp ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ได้ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ตามเวลาดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งการทดลองนี้ได้ศึกษา 3 กรณี ดังนี้คือ ผลการทดลองแสดงดังกราฟรูป 4.9 ถึง 4.11 แสดงการเปลี่ยนความต่างศักย์ตามเวลาก่อน ขณะ และหลังการ By Pass (จ่ายก๊าซแห้งตรงสู่เซลล์เชื้อเพลิง)

- (1) **กรณีที่ 1** ทำการ By pass ก๊าซไฮโดรเจนทางด้านอากาศ
- (2) **กรณีที่ 2** ทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนทางด้านคาโทด
- (3) **กรณีที่ 3** ทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนทางด้านคาโทด โดยเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า



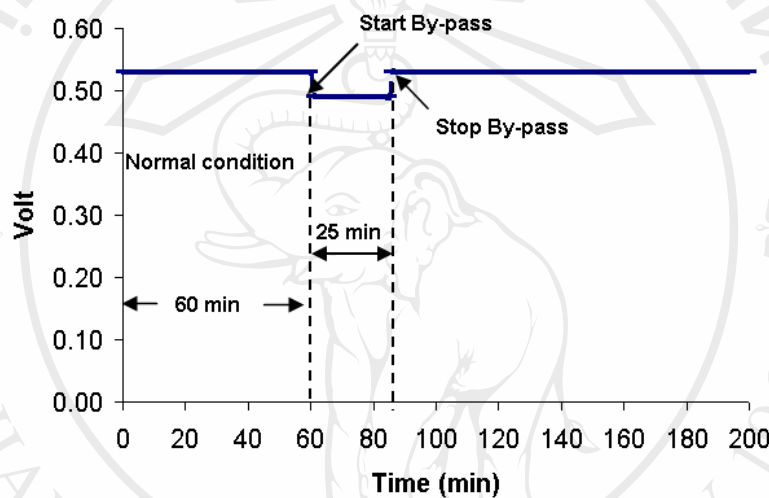
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลากรณีตั้งกระแสคงที่ที่ 4.5 Amp



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลากรณีตั้งกระแสคงที่ที่ 4.5 Amp

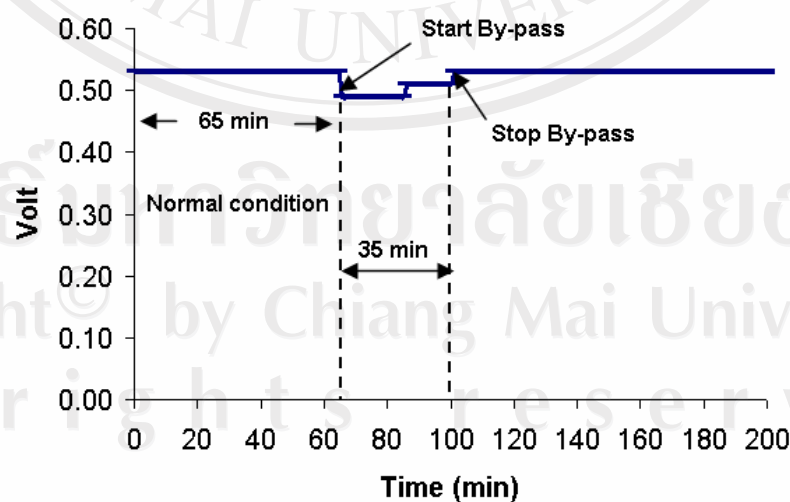
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ตามเวลา เมื่อตั้งกระแสคงที่ 4.5 Amp ค่าความต่างศักย์เริ่มต้นที่ประมาณ 0.64 volt เมื่อเวลาผ่านไป 80 นาที ค่าความต่างศักย์ลดลงที่ประมาณ 0.5 volt และลดลงเรื่อยๆ จนเหลือ 0.4 volt เมื่อครบ 300 นาที เกิดจากปฏิกิริยาเคมีและความชื้นที่ให้แก่ก๊าซเซลล์เชื้อเพลิง จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำภายใน?

MEA และแผ่นสะสมกระแส ส่งผลให้ความต่างศักย์ลดลง และจากกราฟที่ 4.8 จะเห็นว่าอุณหภูมิสูงขึ้นตามเวลาและความหนาแน่นกระแสที่เพิ่มขึ้นซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นของเซลล์เชื้อเพลิงอยู่ที่ 25.74°C และเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงประมาณ 40°C ในเวลาทำการทดสอบ 5 ชั่วโมง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีและความร้อนเกิดขึ้นภายในเซลล์จึงส่งผลให้อุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น จากนั้นได้ทำการทดสอบการให้ก๊าซไฮโดรเจน หรือออกซิเจนโดยตรงแก่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ให้เพิ่มขึ้นเท่าเดิม และดูการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 - 4.11



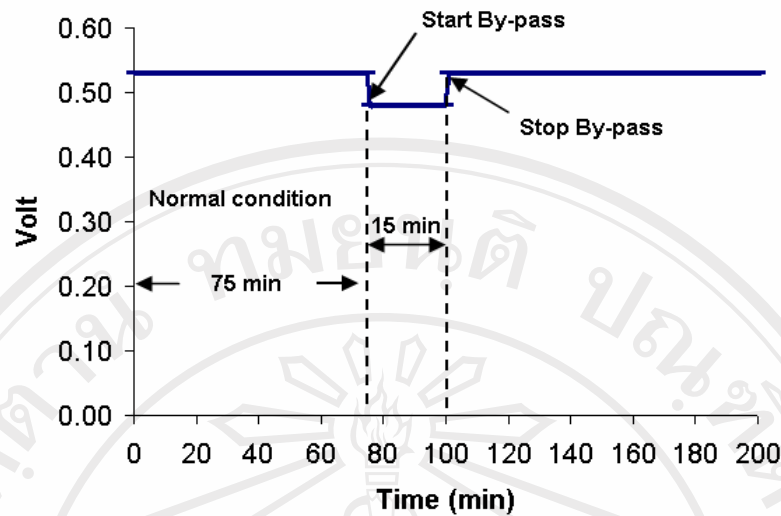
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลา กรณี By pass ก๊าซไฮโดรเจน

จาก Humidifier สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง 1 ชั้น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลา กรณี By pass ก๊าซออกซิเจน

จากเครื่องทำความชื้น สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง 1 ชั้น



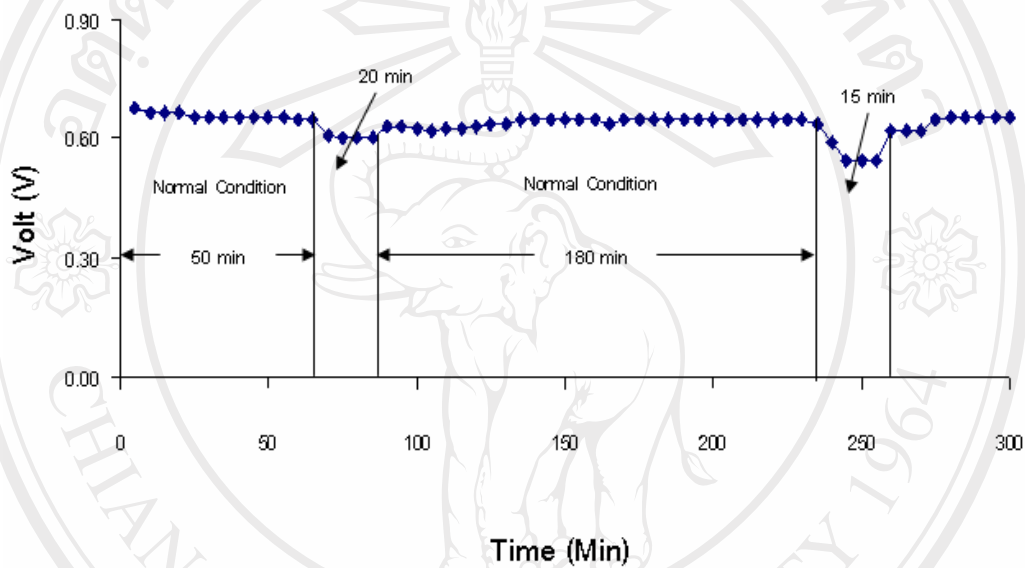
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลา กรณี By pass ก๊าซออกซิเจนจากเครื่อง ทำความชื้น โดยเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง 1 ชั้น

รูปที่ 4.9-4.11 แสดงผลการทดสอบเมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ตามเวลา และทำการ By pass เมื่อความต่างศักย์ลดลง และหยุดการ By pass เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น อีกครั้งหนึ่ง สรุปว่ากรณีที่ 3 (รูปที่ 4.11) คือ เพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า ให้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาน้ำท่วมในเซลล์เชื้อเพลิงได้ดีที่สุด โดยตั้งแต่เริ่มจ่ายกระแสเข้าสู่ภาระงานที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) ความต่างศักย์คงที่ที่ 0.53 volt เป็นเวลา 75 นาที จากนั้นเมื่อค่าความต่างศักย์ลดลงเป็น 0.49 volt ทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนเป็นเวลา 15 นาที และความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 0.53 volt ตามเดิม แสดงว่าการเพิ่มอัตราการไหลก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า ช่วยลดการปิดกั้นทางเดินของก๊าซเชื้อเพลิงทางด้านคาโทดเนื่องจากการสะสมของหยดน้ำภายในเซลล์ลดลง เพราะน้ำบางส่วนถูกออกซิเจนขับออกไป จึงทำให้ก๊าซมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น และทำให้เซลล์กลับมาทำงานได้ตามปกติอีกครั้ง และจะเห็นว่า การทดสอบโดยเพิ่มอัตราการไหลของออกซิเจนเป็น 2 เท่า จะใช้เวลาน้อยที่สุดที่จะทำให้ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นตามปกติ และระบบทำงานโดยมีค่าความต่างศักย์คงที่ต่อไปอีกเป็นเวลาน้อยกว่า 3 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 (รูปที่ 4.9) ซึ่งใช้เวลา By pass 25 นาที ความต่างศักย์จึงเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากน้ำบางส่วนเกิดปรากฏการณ์ Reverse-osmosis กลับมาทางขั้วแอโนดที่ขาดน้ำไป และกรณีที่ 2 (รูปที่ 4.10) ใช้เวลา By pass 35 นาที จะเห็นว่าเมื่อทำ By pass ได้ประมาณ 20 นาที ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 0.51 volt เนื่องจากในช่วงแรกปริมาณก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะขับน้ำออกจากช่องทางเดินก๊าซได้หมด จากนั้นทำการ By pass ต่อไปอีกเป็นเวลา

15 นาที ความต่างศักย์จึงเพิ่มขึ้นเป็น 0.53 volt เป็นเพราะน้ำในช่องทางเดินก๊าซได้ถูกขับออกไปบางส่วนแล้ว เมื่อให้เวลา By pass เพิ่มขึ้น จึงทำให้ก๊าซมีพื้นที่ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความต่างศักย์ปกติอีกครั้ง

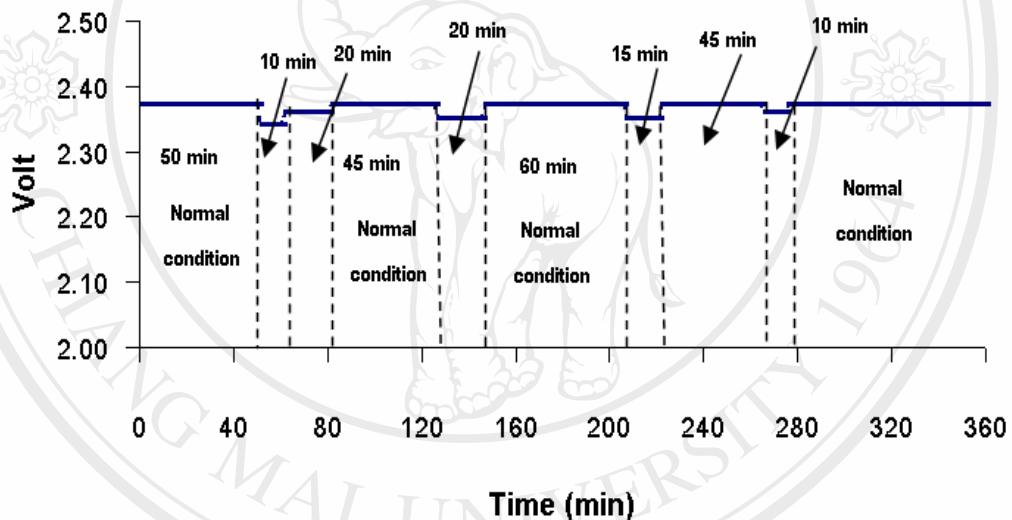
จากผลที่ดีที่สุดในการนี้ที่ 3 จึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยเพิ่มระยะเวลาทำงานของเซลล์เป็น 300 นาที หรือ 5 ชั่วโมง โดยอนุญาตให้มีการ By pass ก๊าซออกซิเจนโดยเพิ่มอัตราการไหลเป็น 2 เท่าได้มากกว่าหนึ่งครั้ง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลากรณี By pass ก๊าซออกซิเจน เป็น 2 เท่า ในเวลา 5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.12 เป็นการทำ By pass ก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ ณ เวลาที่ค่าความต่างศักย์ลดลง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที ค่าความต่างศักย์ลดลงอยู่ที่ประมาณ 0.60 volt จากนั้นทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนเป็นเวลาประมาณ 20 นาที ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 0.62 volt และค่าความต่างศักย์จะตกลงอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 240 นาที จากนั้นทำการ By pass อีกครั้ง เพื่อให้ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ซึ่งใช้เวลาในการ By pass ประมาณ 15 นาที จะเห็นว่าใช้เวลาในการ By pass น้อยกว่าครั้งแรก เนื่องจากความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีผลทำให้น้ำที่เข้าไปขัดขวางพื้นที่ทำปฏิกิริยาระเหยออกมาได้บางส่วน จึงทำให้ใช้เวลาในการ By pass น้อยกว่าครั้งแรก

การทดสอบหอคอยเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้น โดยปกติแล้วเงื่อนไขที่ทำให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดอยู่ที่อัตราการไหลของไฮโดรเจนต่อออกซิเจน คือ 500:500 sccm อุณหภูมิการทำงาน of เครื่องทำความชื้น (Humidifier) ที่ 60°C ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดของระบบที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง (Test Station) แต่กรณีนี้ไม่สามารถทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่าได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเงื่อนไขอัตราการไหลของไฮโดรเจนต่อออกซิเจน คือ 250:250 sccm ในช่วงของการทดสอบปกติ (Normal condition) และตั้งกระแสคงที่ 5.5 Amp ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ได้ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของอัตราการไหลที่ 250 sccm ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 ผลการทดสอบค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ก่อน, ขณะ และหลังการ By Pass ด้วยอัตราการไหลของออกซิเจน 2 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์กับเวลา กรณี By pass ก๊าซออกซิเจนจากเครื่องทำความชื้น โดยเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า สำหรับหอคอยเซลล์เชื้อเพลิง 5 ชั้น

รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำการ By pass เมื่อความต่างศักย์ลดลง และหยุดการ By pass เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ช่วงแรกพบว่าเมื่อทำการตั้งกระแสคงที่ 5.5 Amp ที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) ความต่างศักย์คงที่ 2.37 volt เป็นเวลา 50 นาที จากนั้นความต่างศักย์ลดลงเป็น 2.34 volt ทำการ By pass ก๊าซออกซิเจนเป็นเวลา 10 นาที ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.36 volt และ By pass ต่อเป็นเวลา 20 นาที ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.37 volt จะเห็นว่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการ By pass เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากมีปริมาณน้ำภายในเซลล์มากเกินไป จึงทำให้ใช้เวลาในการผลักน้ำออกจากเซลล์

เพื่อลดการปิดกั้นทางเดินก๊าซเชื้อเพลิงทางด้านคาโทดระยะหนึ่ง และคาดว่าอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงยังไม่สูง จึงทำให้น้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงไม่เกิดการระเหยออกจากเซลล์ (Dehydration) ได้โดยง่าย

ช่วงที่ 2 เมื่อถึงกระแสต่อไปอีกเป็นเวลา 45 นาที ความต่างศักย์ลดลงเป็น 2.35 volt จากนั้นทำการ By pass เป็นเวลา 20 นาที ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.37 volt จากนั้น ช่วงที่ 3 ถึงกระแสต่อไปอีก 60 นาที ความต่างศักย์ลดลงเป็น 2.35 volt จากนั้นทำการ By pass เป็นเวลา 15 นาที ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 2.37 volt จากนั้น ช่วงที่ 4 ถึงกระแสต่อไปเป็นเวลา 45 นาที ความต่างศักย์ลดลงเป็น 2.35 volt และทำการ By pass อีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที

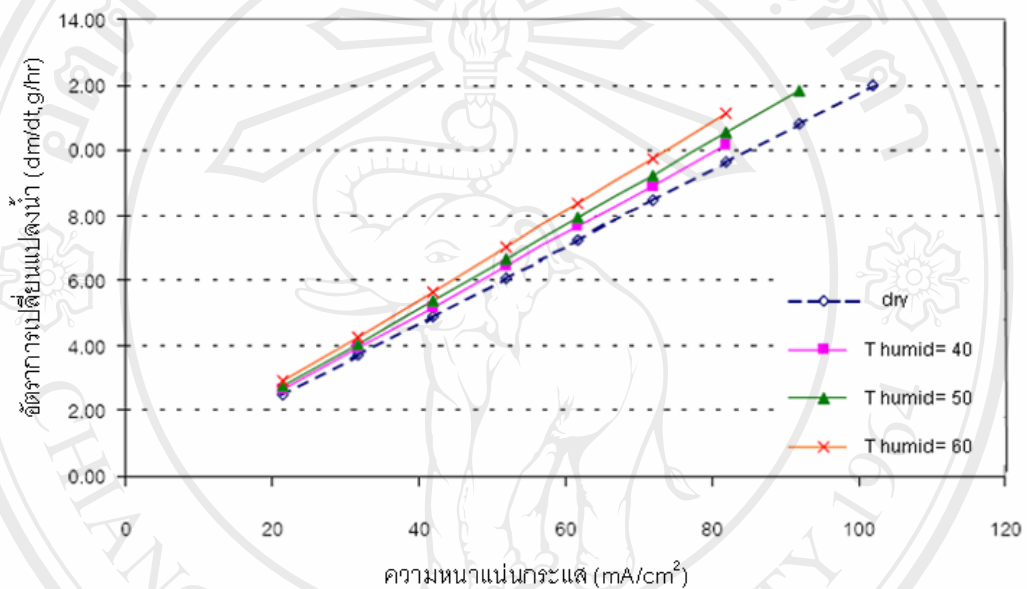
สังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการ By pass ลดลงเรื่อยๆ จนเหลือเพียงแค่ 10 นาที แสดงว่าการเพิ่มอัตราการไหลให้แก่ก๊าซออกซิเจนเป็น 2 เท่า ช่วยลดการปิดกั้นทางเดินของก๊าซเชื้อเพลิงทางด้านคาโทด เนื่องจากการสะสมของหยดน้ำภายในเซลล์ลดลง เพราะน้ำบางส่วนถูกออกซิเจนขับออกไป จึงทำให้ออกซิเจนมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น และทำให้ห่อเซลล์กลับมาทำงานได้ตามปกติอีกครั้ง และอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ใช้เวลาในการ By pass ลดลง เพราะเกิดการ dehydration ภายในเซลล์เชื้อเพลิงได้ดีขึ้นในสภาพอุณหภูมิสูง

4.3 ผลการคำนวณอัตราการระเหยน้ำในห่อเซลล์เชื้อเพลิง

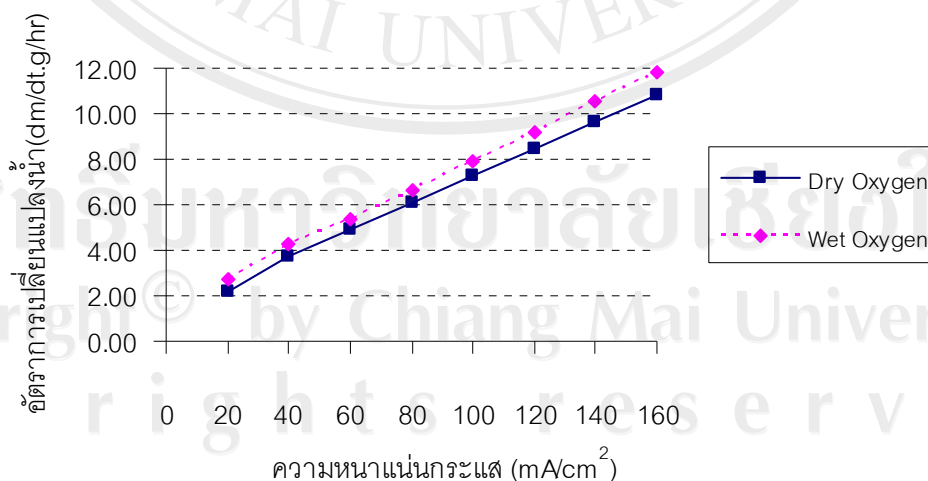
การคำนวณหาเป็นปริมาณน้ำที่เข้าและออกจากเซลล์เชื้อเพลิง อาศัยค่าความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหล อุณหภูมิของก๊าซ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่เซลล์ผลิตได้จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีก็จะได้เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในห่อเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้น (วิธีการคำนวณนำเสนอในภาคผนวก ก)

ผลการคำนวณแสดงว่าเซลล์มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำที่ เป็นค่าบวก หมายถึง เซลล์มีการระเหยน้ำเอาไว้นั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ที่ใช้ก๊าซแห้ง กับเซลล์ที่ใช้ก๊าซชื้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าเซลล์ที่ใช้ก๊าซแห้งจะมีอัตราการระเหยน้ำต่ำกว่า และมีอัตราสูงขึ้นเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่มีความชื้นมากขึ้น โดยเพิ่มอุณหภูมิควบคุมที่เครื่องทำความชื้นเป็น 40 °C 50 °C และ 60 °C ปริมาณน้ำที่เซลล์สะสมที่ความหนาแน่นกระแส 80 mA/cm² จะอยู่ในช่วงระหว่าง 9.64 - 11.12 กรัม/ ชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สูงนัก

อย่างไรก็ตามหากปล่อยให้เซลล์ทำงานที่ระดับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน โดยไม่มีการจัดการดึงน้ำที่สะสมอยู่ออกไปน้ำที่สะสมก็จะรบกวนการทำปฏิกิริยาที่อิเล็กโทรด โดยเฉพาะที่ด้านคาโทดเนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ถูกผลิตขึ้นที่คาโทด อัตราสะสมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นกระแสที่ดึงได้ โดยเพิ่มมากขึ้นเมื่อควบคุมอุณหภูมิที่เครื่องทำความชื้นให้สูงขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสเดียวกัน โดยกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงอัตราการสะสมค่อนข้างคงที่และเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 4.14 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในหอเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 4.15 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในหอเซลล์เชื้อเพลิงด้านคาโทดในกรณีที่มีการให้ความชื้นและไม่ให้ความชื้นแก่ออกซิเจน

รูปที่ 4.15 เป็นการแสดงผลการคำนวณหาเป็นปริมาณน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงด้านคาโทดที่มีการให้ความชื้นแก่เซลล์เชื้อเพลิง โดยผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าเครื่องทำความชื้นก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับกรณี By pass ก๊าซออกซิเจนจากเครื่องทำความชื้น

ในช่วงแรกที่มีการให้ความชื้นแก่ก๊าซออกซิเจนในช่วงการทดสอบปกติของเซลล์เชื้อเพลิง (Normal Condition) พบว่าปริมาณน้ำที่สะสมในเซลล์เชื้อเพลิงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความหนาแน่นกระแส แต่เมื่อจ่ายก๊าซแห้งโดยตรงแก่เซลล์เชื้อเพลิง จะพบว่าสามารถทำให้ปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในเซลล์นั้นลดลงได้ถึง 9.45% แสดงว่าการ By pass จะสามารถลดความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมภายในห่อเซลล์ได้ และเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการความชื้นภายนอกห่อเซลล์เชื้อเพลิง