

รายการอ้างอิง

- พัฒนพงษ์ สงวนวัชร, การออกแบบหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยน
โปรตอน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2545.
- พิษณุ เจริญสมศักดิ์, เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน, วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ, เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2542.
- วิทยา เรืองพรวิสุทธิ, คະຕະໂລซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส – หลักทฤษฎีและการประยุกต์,
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- สุภาภรณ์ เทอดเทียนวงษ์ และคณะ. เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์ของแข็ง. การประชุม
ผู้เชี่ยวชาญเซลล์เชื้อเพลิง ครั้งที่ 1 สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- Antolini, E., Giorgi, L., Pozio, A., and Passalacqua, E. Influence of Nafion loading
in the catalyst layer of gas-diffusion electrode for PEFC, Journal of Power
Sources 77(1999): 136 – 142.
- Appleby, A.J., and Foulkes, F.R. Fuel cell handbook. New York: Van Nostrand
Reinhold, 1989.
- Bard, Allen J., and Faulkner, Larry R. Electrochemical methods fundamentals and
applications. New York: John Willey & Sons, 1980.
- Bevers, D., Rogers, R., and Bradke, M. von. Examination of the influence of PTFE
coating on the properties of carbon paper in polymer electrolyte fuel cells,
Journal of Power Sources, 63 (1996): 193 – 201.
- Byron, Bird R., Stewart, Warren E., Lightfoot Edwin N. Transport phenomena,
New York: John Willey & Sons, 1960.
- Cha, S.Y., Song, J.M., and Lee, W.M. Optimal composition of polymer electrolyte fuel
cell electrodes determined by the AC impedance method, Journal of Power
Sources 94 (2001): 78 – 84.

- Choi, K.H., Kim, H.S., and Lee, T.H. Electrode fabrication for proton exchange membrane fuel cells by pulse electrodeposition, Journal of Power Sources, 75 (1998): 230 – 235.
- Giorgi, L., Antolini, E., Pozio, A., and Passalacqua, E. Influence of the PTFE content in the diffusion layer of low – Pt loading electrodes for polymer electrolyte fuel cells, Electrochimica Acta 43(1998): 3675 – 3680.
- Kinoshita, K. Electrochemical Oxygen Technology. New York: John Willey & Sons, 1992
- Lam Yam Choi, Liu Zhaolim. Study of the factors influencing catalytic activity in methanol oxidation.
- Larminie, J., and Simader, G. Fuel cell systems explained. Chichester: John Willey & Sons, 2000.
- Lipkowski, J., and Ross, P.N. Electrocatalysis. New York: John Willey & Sons, 1998
- Loffler, M.S., Natter, H., Hempelmann, R., Cudina, B., Hinsberger, M., and Wippermann, K. Electrochemical Deposition and Characterization of Nanocrystalline catalyst Particles in Membrane-Electrode-Assemblies for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, Proceedings of the 1st European PEFC Forum, (2001): 255 – 265.
- McDougall, A. Fuel cells 1st ed. London: The Macmillan Press, 1976.
- Pozio, A., Giorgi, L., Antolini, E., and Passalacqua, E. Electrooxidation of H₂ on Pt/C Pt-Ru/C and Pt-Mo/C anode for polymer electrolyte fuel cell, Electrochimica Acta, 46 (2000): 555 – 561.
- Schmidt, V.M. et al. Proceeding of the First International Symposium on Proton Conducting Membrane Fuel Cells I. New Jersey: The Electrochemical Society, 1995.
- Srinivasan, S. and et al. Fuel cell system. New York: Plenum Press, 1993.
- Stoychev, D., Papoutsis, A., Kelaidopoulou, A., kokkinidis, G., and Milchev, A. Electrodeposition of platinum on metallic and nonmetallic substrates

selection of experimental conditions, Materials Chemistry and Physics, 72 (2001): 360 – 365.

Thompson, S.D., Jordan, L.R., and Forsyth, M. Platinum electrodeposition for polymer electrolyte membrane fuel cells, Electrochimica Acta, 46 (2001): 1657 – 1663.

Wilson, M.S., and Gottesfeld, S. Thin – film catalyst layers for polymer electrolyte fuel cell electrodes, Journal of Applied Electrochemistry, 22 (1992): 1 – 7.

Wolf Vielstich, Hubert A. Gasteiger, Arnold Lamm. Handbook of fuel cells – Fundamentals, Technology and Applications, Vol. 1: Fundamentals and survey of systems, New York: John Willey & Sons, 2003.

Wolf Vielstich, Hubert A. Gasteiger, Arnold Lamm. Handbook of fuel cells – Fundamentals, Technology and Applications, Vol. 2: Electrocatalysis, New York: John Willey & Sons, 2003.

Wolf Vielstich, Hubert A. Gasteiger, Arnold Lamm. Handbook of fuel cells – Fundamentals, Technology and Applications, Vol. 4: Fuel cell technology and applications, New York: John Willey & Sons, 2003.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ก-1 การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้า

การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้าทำได้ 2 วิธี คือ การคำนวณจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX และการคำนวณดุลมวล จากการคำนวณพบว่าทั้งสองวิธีให้ค่าใกล้เคียงกันโดยมีหลักการคำนวณดังนี้

การคำนวณจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX

$$Pt \text{ loading} = \frac{(\%Pt)(CL)_{actual}}{(A)(100)}$$

ข้อมูลจากการทดลอง

ร้อยละของแพลทินัมจาก EDX; (%Pt)	14.97	
น้ำหนักของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา; $(CL)_{actual}$	66.2	มิลลิกรัม
พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า; (A)	14.72	ตารางเซนติเมตร

$$Pt \text{ loading} = \frac{(14.97)(66.2)}{(14.72)(100)} = 0.67 \text{ mg/cm}^2$$

∴ ปริมาณแพลทินัมบนขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 0.67 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การคำนวณจากการดุลมวล

ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการพิมพ์นอกจากตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วยังมีแอลกอฮอล์ เนฟิออนและเทฟลอนเป็นส่วนผสม ดังนั้นน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าจึงเป็นน้ำหนักรวมขององค์ประกอบต่างๆ การคำนวณทำได้ดังนี้

สมมติฐาน คือ แอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นสารละลายจะระเหยในกระบวนการทำให้ขั้วไฟฟ้าแห้งและน้ำหนักของสารที่เหลือทั้งหมดอยู่บนขั้วไฟฟ้า

ข้อมูลจากการทดลอง

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (Pt/C) 20%wt. ที่ใส่เท่ากับ; $(Pt/C)_{input}$	89.20	มิลลิกรัม
ปริมาณเนฟิออนที่ใส่เท่ากับ; $Nafion_{input}$	15.17	มิลลิกรัม

ปริมาณเทฟลอนที่ใส่เท่ากับ; $PTFE_{input}$	9.0	มิลลิกรัม
น้ำหนักของกระดาษคาร์บอนหลังเตรียมขี้ว ;(after print)	188.1	มิลลิกรัม
น้ำหนักของกระดาษคาร์บอนก่อนเตรียมขี้ว;(after pretreated)	254.3	มิลลิกรัม
พื้นที่ผิวของขี้วไฟฟ้า;(A)	14.72	cm^2
หาน้ำหนักของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาตามทฤษฎี		

$$(CL)_{theory} = PTFE_{input} + Nafion_{input} + Pt / C_{input}$$

$$(CL)_{theory} = 15.17 + 9.0 + 89.20 = 113.37 \quad mg$$

น้ำหนักของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้

$$(CL)_{actual} = wt. of carbon paper_{after print} - wt. of carbon paper_{after pretreat}$$

$$(CL)_{actual} = 254.3 - 188.1 = 66.2 \quad mg$$

การคำนวณหาปริมาณแพลทินัมบนขี้วไฟฟ้าคำนวณจาก

$$Pt_{actual} = \frac{(CL)_{actual}}{(CL)_{theory}} \times Pt_{input}$$

โดยที่

$$Pt_{input} = \frac{(89.2)(20)}{120} = 14.87 \quad mg$$

ดังนั้นแพลทินัมที่อยู่บนขี้วไฟฟ้าเท่ากับ

$$Pt_{actual} = \frac{66.2}{113.37} \times 14.87 = 8.68 \quad mg$$

การหาปริมาณแพลทินัมบนขี้วไฟฟ้าใช้สูตร

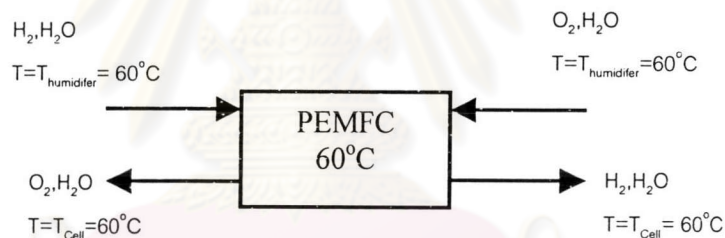
$$Pt \text{ loading} = \frac{Pt_{actual}}{A}$$

$$Pt \text{ loading} = \frac{8.68}{14.72} = 0.59 \text{ mg/cm}^2$$

∴ ปริมาณแพลทินัมบนขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 0.59 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ก-2 การคำนวณดุลมวลน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

เนื่องจากสมดุลของน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ ดังนั้นการดุลมวลของน้ำภายในเซลล์จะสามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของน้ำและนำมาอธิบายประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยการคำนวณจะใช้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



ดุลน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

$$H_2O_{accumulation} = H_2O_{gas \ input} + H_2O_{reaction} - H_2O_{gas \ output}$$

สมมติฐาน

แก๊สขาเข้าและขาออกจากเซลล์เป็นแก๊สที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ (%Relative Humidity = 100)

จากข้อมูลการทดลองที่ภาวะ

ความดัน	1	บรรยากาศ
อุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง	60	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของระบบให้ความชื้น	60	องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน	0.0004	โมลต่ออนาที
อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน	0.0036	โมลต่ออนาที
เซลล์เชื้อเพลิงมีพื้นที่การทำปฏิกิริยา	5	ตารางเซนติเมตร
ความหนาแน่นกระแสที่ได้	100	มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร
หลักอ้างอิงในระยะเวลา	1	นาที

ปริมาณน้ำในแก๊สขาเข้า

สมมติฐานคือ แก๊สขาเข้ามีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิในระบบให้ความชื้นและอิ่มตัวด้วยไอน้ำดังนั้น

$$P_{H_2O} = P_{H_2O, 60^\circ C}^* = 0.1974 \text{ atm}$$

จากกฎความดันย่อยของดาลตัน

$$P_T = P_{H_2} + P_{H_2O}$$

$$P_{H_2} = 1 - 0.1974 = 0.8026 \text{ atm}$$

∴ ความดันย่อยของไฮโดรเจนและออกซิเจนขาเข้าเท่ากับ 0.8026 atm

จาก

$$\frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} = \frac{n_{H_2}}{n_{H_2O}}$$

กรณีแก๊สไฮโดรเจน

$$n_{H_2O} = \frac{(0.0004)(0.1974)}{0.8026}$$

$$= 9.84 \times 10^{-5} \text{ mole/min}$$

∴ จำนวนโมลของน้ำภายในแก๊สไฮโดรเจนขาเข้าเท่ากับ 9.84×10^{-5} โมลต่อนาที
กรณีแก๊สออกซิเจน

$$n_{H_2O} = \frac{(0.0036)(0.1974)}{0.8026}$$

$$= 8.85 \times 10^{-4} \quad \text{mole / min}$$

∴ จำนวนโมลของน้ำภายในแก๊สออกซิเจนขาเข้าเท่ากับ 8.85×10^{-4} โมลต่อนาที
ปริมาณน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยา
ปริมาณน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ตามกฎของฟาราเดย์ คือ

$$n_{H_2O} = \frac{It}{n_e F}$$

โดยที่ I = ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
 t = เวลา (นาที)
 n_e = จำนวนอิเล็กตรอน (equivalent/mole)
 F = ค่าคงที่ฟาราเดย์ (Faraday's constant) มีค่า 96,489 A.s/mole

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 100 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

$$n_{H_2O} = \frac{(100)(60)(5)}{(2)(96489)(1000)}$$

$$= 1.55 \times 10^{-4} \quad \text{mole / min}$$

∴ จำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้นเท่ากับ	1.55×10^{-4}	โมลต่อนาที
จากปฏิกิริยาใช้ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยาเท่ากับ	1.55×10^{-4}	โมลต่อนาที
จะเหลือไฮโดรเจนขาออกเท่ากับ	$4.00 \times 10^{-4} - 1.55 \times 10^{-4} = 2.45 \times 10^{-4}$	โมลต่อนาที
จากปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาเท่ากับ	0.78×10^{-4}	โมลต่อนาที
จะเหลือออกซิเจนขาออกเท่ากับ	$3.60 \times 10^{-3} - 0.78 \times 10^{-4} = 3.52 \times 10^{-3}$	โมลต่อนาที

ปริมาณน้ำในแก๊สขาออก

สมมุติฐานคือ แก๊สขาออกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสและอิ่มตัวด้วยไอน้ำ

$$P_{H_2O} = P_{H_2O,60^\circ C}^* = 0.1974 \text{ atm}$$

$$P_{H_2} \text{ or } P_{O_2} = 1 - 0.1974 = 0.8026 \text{ atm}$$

คำนวณหาจำนวนโมลของน้ำในแก๊สไฮโดรเจนขาออก

$$n_{H_2O} = \frac{(0.1974)(2.45 \times 10^{-4})}{0.8026}$$

$$= 6.03 \times 10^{-5} \text{ mole / min}$$

∴ จำนวนโมลของน้ำภายในแก๊สไฮโดรเจนขาออกเท่ากับ 6.03×10^{-5} โมลต่อนาที

คำนวณหาจำนวนโมลของน้ำในแก๊สออกซิเจนขาออก

$$n_{H_2O} = \frac{(0.1974)(3.52 \times 10^{-3})}{0.8026}$$

$$= 8.66 \times 10^{-4} \text{ mole / min}$$

∴ จำนวนโมลของน้ำภายในแก๊สออกซิเจนขาออกเท่ากับ 8.66×10^{-4} โมลต่อนาที

∴ ปริมาณน้ำที่สะสม

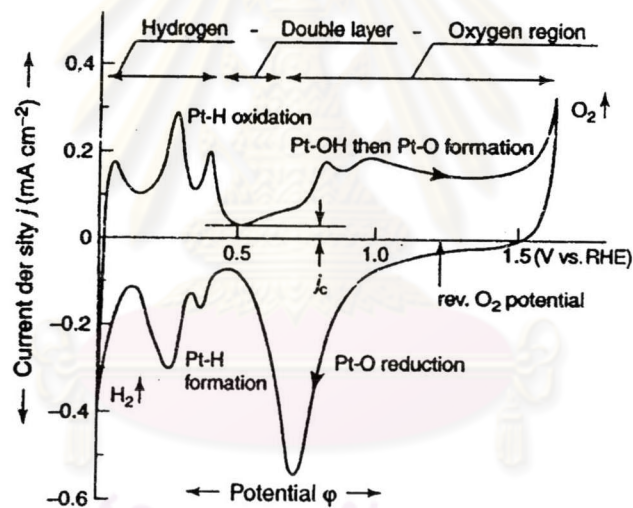
$$= 9.84 \times 10^{-5} + 8.85 \times 10^{-4} + 1.55 \times 10^{-4} - 6.03 \times 10^{-5} - 8.66 \times 10^{-4}$$

$$= 2.12 \times 10^{-4} \text{ mole / min}$$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

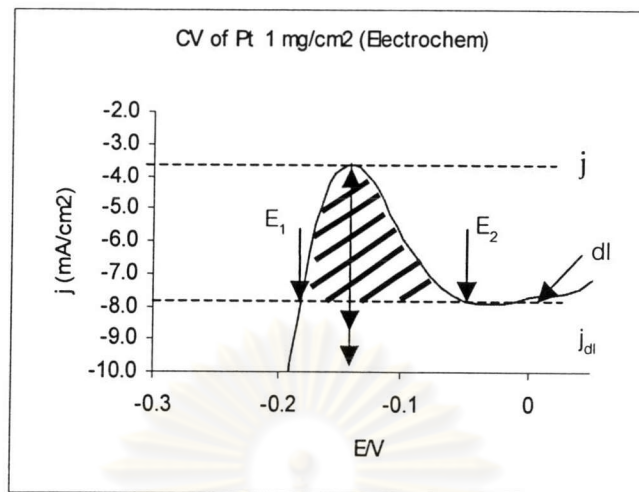
ก-3 การคำนวณจำนวนประจุ (Q_H) จากการวิเคราะห์ Cyclic Voltammetry

การวิเคราะห์ Cyclic Voltammetry เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้า เช่น การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ ก-1 พบว่าที่ความต่างศักย์มีค่าระหว่าง 0.45 – 0.55 V กระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านมีค่าเท่ากับจำนวนประจุที่ double layer เมื่อความต่างศักย์มีค่ามากกว่า 0.55 V ออกซิเจนจะเข้าไปจับกับแพลทินัม (Pt-O formation) และเมื่อความต่างศักย์มีค่ามากกว่า 1.6 V ออกซิเจนจะหลุดออกจากผิวหน้าของแพลทินัมเป็นแก๊สออกซิเจน เมื่อป้อนความต่างศักย์ย้อนกลับโมเลกุลของออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Pt-O reduction) จนกระทั่งค่าความต่างศักย์เท่ากับความต่างศักย์ที่ double layer เมื่อความต่างศักย์ลดลงจาก 0.45 V ไฮโดรเจนจะเข้าไปจับกับแพลทินัม (Pt-H formation) จนถึงความต่างศักย์เท่ากับศูนย์โวลต์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจน (Pt-H oxidation) ทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกจากผิวหน้าของแพลทินัม



รูปที่ ก-1 Cyclic voltammogram ของแพลทินัมในสารละลาย KOH ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ที่ 20 °C และอัตราการป้อนความต่างศักย์ 100 mV/s [Hamann, 1998]

การศึกษากการออกซิเดชันของไฮโดรเจนในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร สามารถนำมาคำนวณจำนวนประจุที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนโดยพิจารณาที่พีคที่เกิดการออกซิเดชันเท่านั้น ในการคำนวณกำหนดตัวแปรตามรูป ก-2 นำค่าที่อ่านได้จากกราฟแทนในสมการ



รูปที่ ก-2 การออกซิเดชันของไฮโดรเจนในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

$$Q_H = \frac{1}{\nu} \int_{E_1}^{E_2} (j - j_{dl}) dE$$

โดยที่

Q_H = จำนวนประจุไฟฟ้า (C/cm^2)

E_1, E_2 = ความต่างศักย์ที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (V)

j = ความหนาแน่นกระแส (mA/cm^2)

j_{dl} = ความหนาแน่นกระแสที่ double layer (mA/cm^2)

ν = อัตราการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ (mV/s)

จากรูป ก-1 พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นพาราโบลาว่าการคิดพื้นที่จากการอินทิเกรตในช่วง E_1 ถึง E_2 จะเกิดความผิดพลาดสูงจึงต้องทำการอินทิเกรตในช่วงความต่างศักย์แคบๆ แต่เพื่อความสะดวกและความถูกต้องจึงใช้ Simpson's 1/3 rule ในการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

$$I \approx (b-a) \frac{f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)}{6}$$

ข้อมูลการวิเคราะห์ Cyclic voltammetry ของขั้วไฟฟ้าจากบริษัท Electrochem 1 mg/cm^2

$$\text{ความหนาแน่นกระแสที่ double layer} = -7.94 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$$

$$\text{อัตราการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์} = 5 \times 10^{-2} \text{ V/s}$$

i	x = E (V)	j	f(x) = j - j _{dl} (mA/cm ²)	b-a	I
0	-0.181	-7.935	0.000	0.022	0.019976
1	-0.179	-7.490	0.445		
2	-0.159	-4.242	3.693	0.040	0.162473
3	-0.139	-3.632	4.304		
4	-0.119	-4.410	3.525	0.040	0.083854
5	-0.099	-5.905	2.030		
6	-0.079	-7.005	0.930	0.040	0.013257
7	-0.059	-7.675	0.260		
8	-0.039	-7.915	0.020		
9	-0.019	-7.935	0.000		

ตัวอย่างการคำนวณใช้ข้อมูลชุดที่ 1

$$I_1 = ((-0.159) - (-0.181)) \frac{(0 + 4(0.445 \times 10^{-3}) + 3.693 \times 10^{-3})}{6}$$

$$= 0.0199 \times 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{A/cm}^2$$

พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดเท่ากับ

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$= (0.0199 + 0.1625 + 0.0838 + 0.0133) \times 10^{-3}$$

$$= 0.2795 \times 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{A/cm}^2$$

ดังนั้น

$$Q_H = \frac{I}{v}$$

$$= \frac{0.2795 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}} = 5.59 \times 10^{-3} \text{ C/cm}^2$$

∴ ขั้วไฟฟ้าจากบริษัท Electrochem มีจำนวนประจุ 0.006 C/cm^2

ก-4 การคำนวณการนำไฟฟ้าจากการศึกษาการออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจน

การคำนวณจากความสัมพันธ์

$$Q = CV$$

$$\frac{dQ}{dt} = V \frac{dC}{dt} + C \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt} = i$$

$$C = \frac{i}{dV/dt} \quad ; F$$

$$C = \frac{j}{dV/dt} \quad ; F / cm^2$$

ข้อมูลการทดลอง

ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วย H_2 ที่ $250^\circ C$ 4 ชั่วโมงและที่ $350^\circ C$ 1 ชั่วโมง

Scan rate (dV/dt)	5×10^{-3}	V/s
ความหนาแน่นกระแส; j	1.3×10^{-5}	A/cm ²
อัตราการไหลของไฮโดรเจน	30	sccm
อัตราการไหลของไนโตรเจน	30	sccm

แทนค่าลงในสมการ

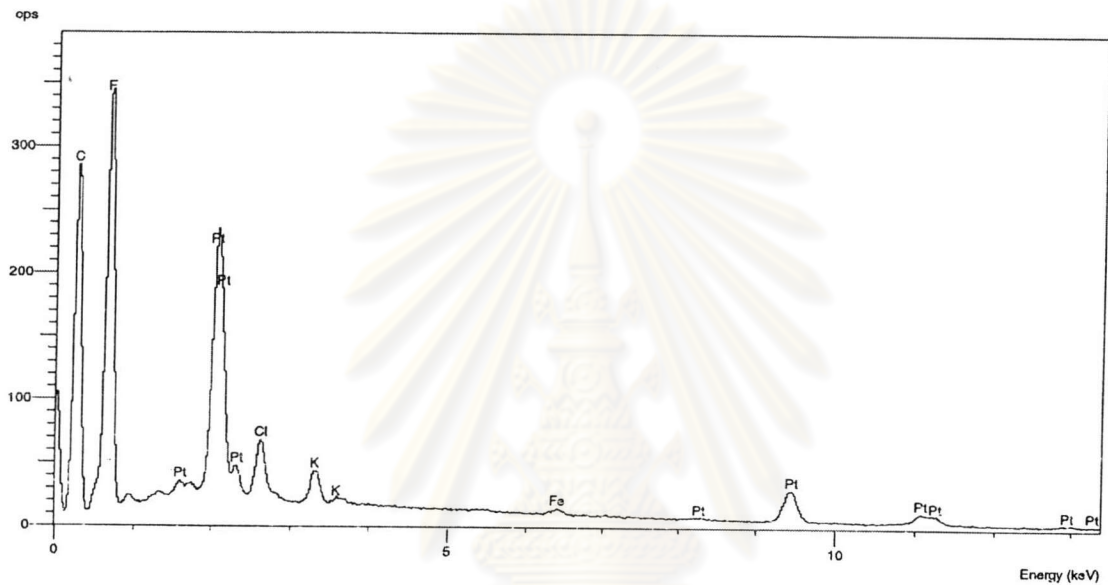
$$\begin{aligned} C &= \frac{1.3 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2}{5 \times 10^{-3} \text{ V/s}} \\ &= 2.6 \times 10^{-3} \text{ F/cm}^2 \\ &= 260 \text{ } \mu\text{F/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{จำนวนโปรตอนที่เคลื่อน} \quad 260 \text{ } \mu\text{F/cm}^2$$

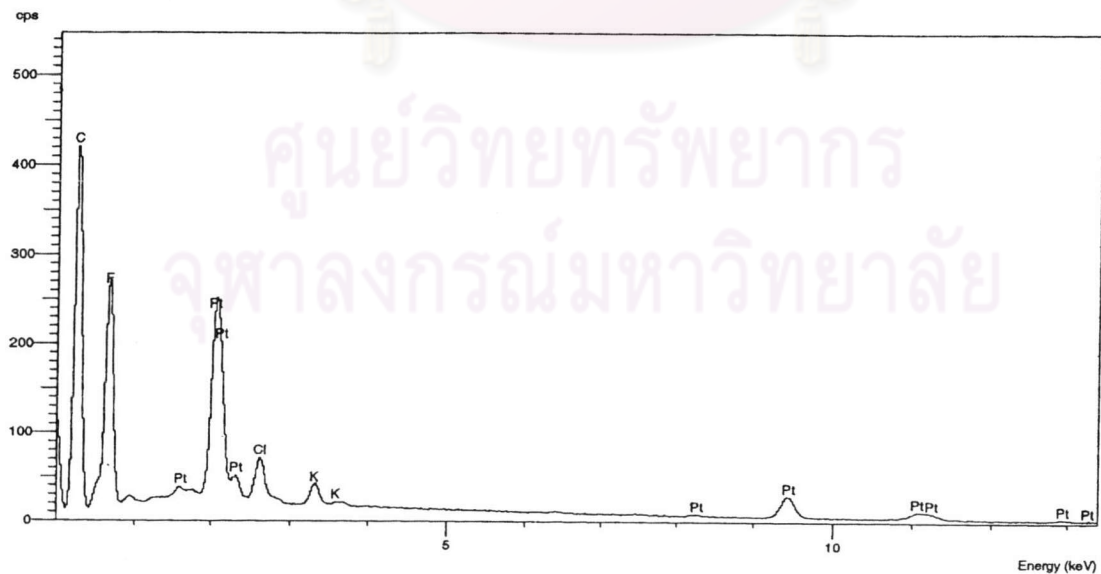
ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

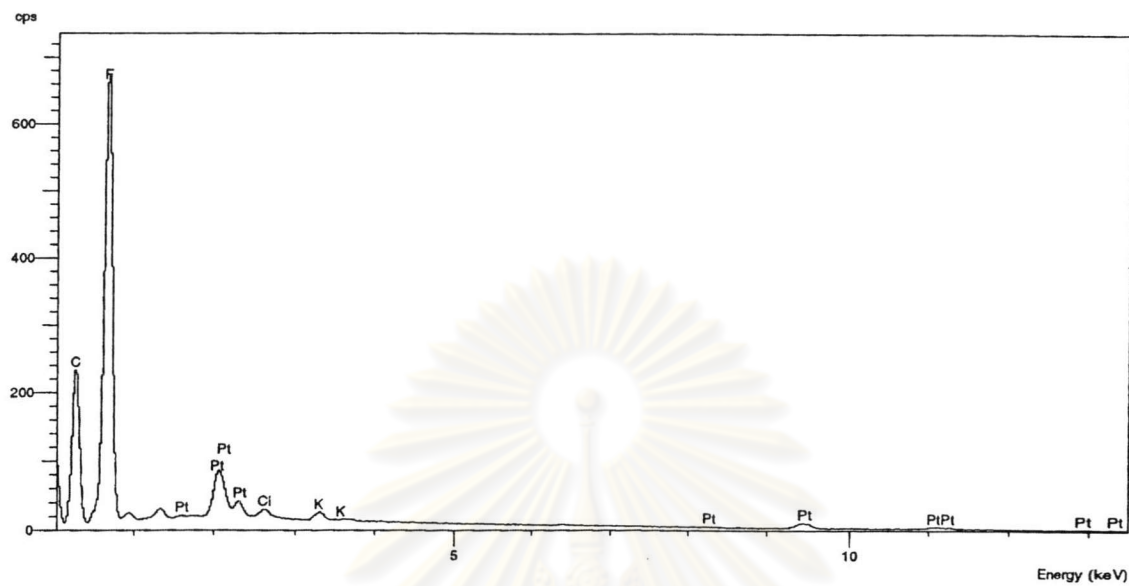
ผลการวิเคราะห์ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง EDX



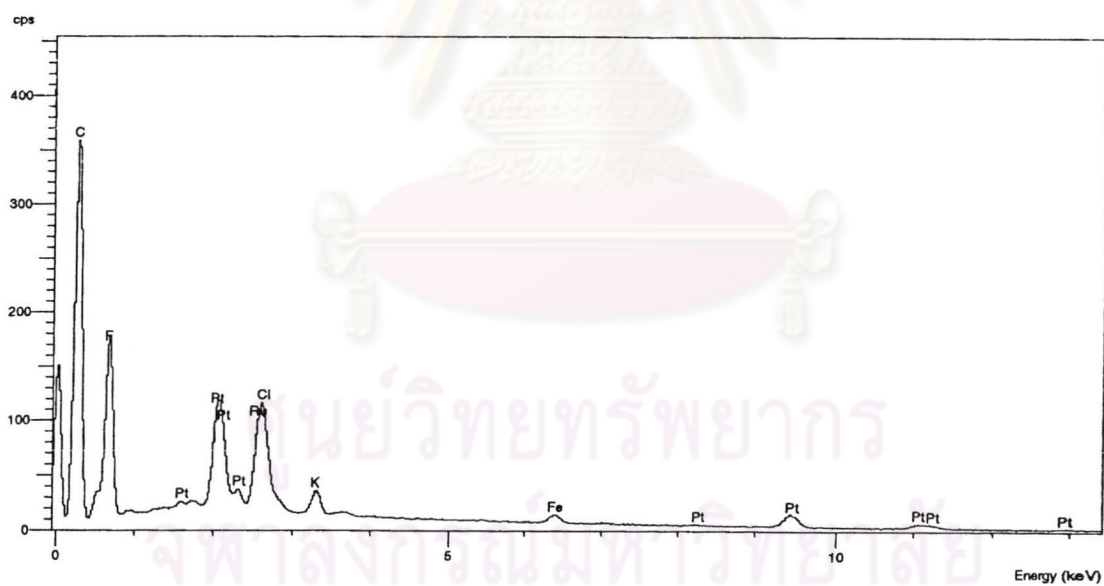
รูปที่ ข1 EDX ของขั้วไฟฟ้า PVC แบบการระบายที่ปริมาณ 0.59 mg/cm^2



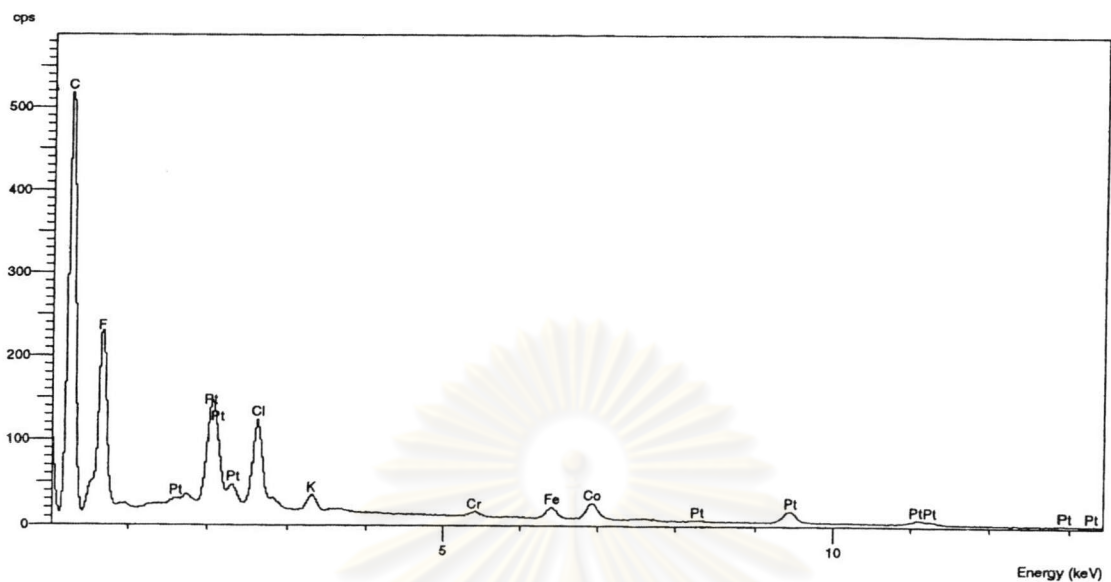
รูปที่ ข2 EDX ของขั้วไฟฟ้า Pt/C แบบการระบายที่ปริมาณ 0.33 mg/cm^2



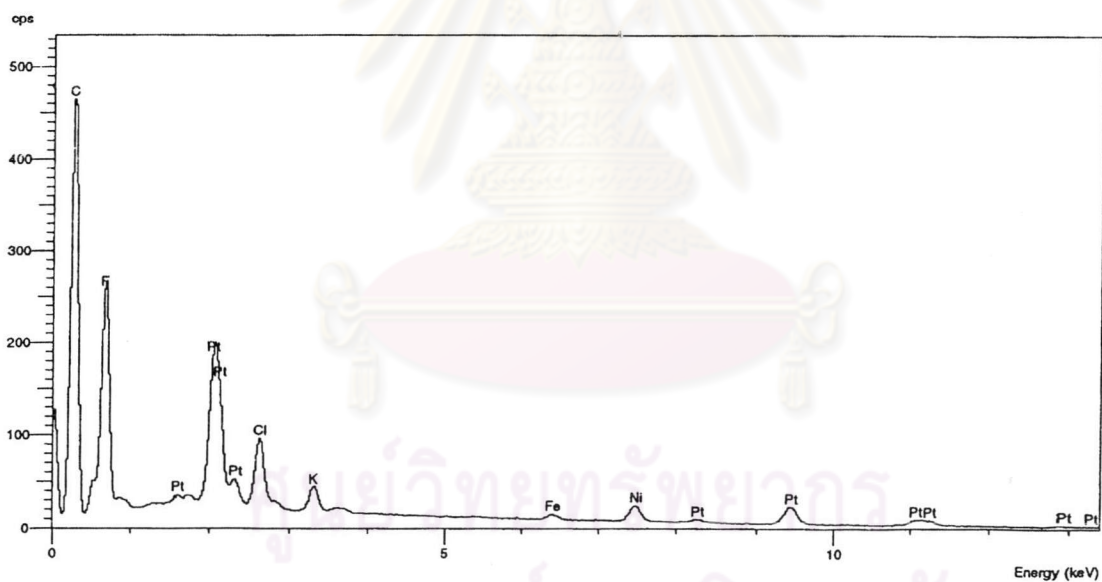
รูปที่ ข3 EDX ของขั้วไฟฟ้า Pt/C แบบการระบายที่ปริมาณ 0.21 mg/cm^2



รูปที่ ข4 EDX ของขั้วไฟฟ้า Pt-Ru/C แบบการระบายที่ปริมาณ 0.59 mg/cm^2



รูปที่ ข5 EDX ของขั้วไฟฟ้า Pt-Co/C แบบการระบายที่ปริมาณ 0.51 mg/cm²



รูปที่ ข6 EDX ของขั้วไฟฟ้า Pt-Ni/C แบบการระบายที่ปริมาณ 0.60 mg/cm²

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค1 ผลการศึกษาชนิดของคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวรองรับในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Cumulative Volume (ml/g STP)	Metal Dispersion (%)	Metallic Surface Area		Active Particle Diameter
			(m ² /g sample)	(m ² /g metal)	
Pt/C (graphite)	0.21	0.89	0.44	2.21	126.59
Pt/C (TPI)	0.14	0.71	0.29	1.76	158.59
Pt/C (gigantic)	0.56	2.93	1.20	7.24	38.63
Pt/C (graphite)-H ₂	2.38	9.21	4.87	24.65	10.02
Pt/C (TPI)-H ₂	1.65	8.66	3.55	21.40	13.07
Pt/C (gigantic)-H ₂	5.73	24.92	12.31	61.46	4.54
Pt-Ru/C	8.08	12.00	14.69	36.74	10.56
Pt-Co/C	6.02	6.06	11.07	27.66	18.38
Pt-Ni/C	1.14	1.15	2.12	5.30	95.88

ตารางที่ ค2 ผลของระยะเวลาในการผ่านแก๊สไฮโดรเจนในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

Catalyst	Cumulative Volume (ml/g STP)	Metal Dispersion (%)	Metallic Surface Area		Active Particle Diameter
			(m ² /g sample)	(m ² /g metal)	
1	5.7263	24.9206	12.3100	61.5498	4.5446
3	11.0905	48.2654	23.8415	119.2074	2.3465
4	13.0903	56.9685	28.1405	140.7027	1.988
Pt/C (electrochem)	12.2667	53.3844	26.3701	131.8506	2.1215

ตารางที่ ค3 ผลของเนฟิออนต่อค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้า

Effect of Nafion	Replicate 1			Replicate 2		
Volume of Nafion input (ml)	1	0.5	0.2	1	0.5	0.2
Weight of Nafion input (mg)	867	433.5	173.4	867	433.5	173.4
Weight of carbon paper _{after pretreat} (mg)	70.5	69	78.9	72.9	70.5	72
Weight of carbon paper _{after pretreat} + weight of Nafion (mg)	84.3	74.9	79.7	94.4	82	75
weight of Nafion (mg)	13.8	5.9	0.8	21.5	11.5	3
weight of Nafion (mg/cm ²)	2.76	1.18	0.16	4.3	2.3	0.6
Resistance (ohm/cm ²) ครั้งที่ 1	0.212	0.299	0.378	0.376	0.205	0.296
Resistance (ohm/cm ²) ครั้งที่ 2	0.198	0.295	0.382	0.373	0.218	0.305
Resistance (ohm/cm ²) เฉลี่ย	0.205	0.297	0.380	0.375	0.211	0.300
SD resistance	0.0095	0.0031	0.0026	0.0022	0.0096	0.0066

หมายเหตุ สารละลาย Nafion 5%wt.

ตารางที่ ค4 ผลของเนฟิออนต่อค่าความหนาของขั้วไฟฟ้า

Nafion loading	Thickness (mm)						SD	Thickness (μm)
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.4	Rep.5	average		
0.16	192.0	187.0	189.0	191.0	187.0	189.2	2.28	2.40
0.60	195.0	193.0	191.0	194.0	192.0	193.0	1.58	6.20
1.18	198.0	193.0	196.0	194.0	197.0	195.6	2.07	8.80
2.30	198.0	195.0	197.0	194.0	204.0	197.6	3.91	10.80
2.76	203.0	197.0	197.0	202.0	199.0	199.6	2.79	12.80
4.30	213.0	218.0	208.0	205.0	204.0	209.6	5.86	22.80
carbon paper	186.0	193.0	179.0	184.0	192.0	186.8	5.81	

ตารางที่ ค5 ผลของเทฟลอนต่อค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้า

Volume of PTFE (ml)	0.08		0.05		0.03	
	Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
Wt. of carbon paper _{after pretreat} (mg)	70.6	67.2	69.9	65.9	63.5	78.6
Wt. of carbon paper _{after pretreat} + wt. of PTFE (mg)	92.3	89.5	80.7	80.6	71.8	87.5
Wt. of PTFE (mg)	21.7	22.3	10.8	14.7	8.3	8.9
Wt. of PTFE (mg/cm ²)	4.34	4.46	2.16	2.94	1.66	1.78
Resistance (ohm/cm ²) ครั้งที่ 1	1.791	3.515	0.236	0.265	0.131	0.233
Resistance (ohm/cm ²) ครั้งที่ 2	1.762	3.590	0.234	0.263	0.131	0.231
Resistance (ohm/cm ²) เฉลี่ย	3.553	1.777	0.235	0.264	0.131	0.232
SD resistance	0.053	0.021	0.001	0.002	0.000	0.002
SD preparation	0.4243		2.7577		0.4243	

หมายเหตุ สารละลายเทฟลอน (polytetrafluoroethylene) 60%wt.

ตารางที่ ค6 ผลของเทฟลอนต่อค่าความหนาของขั้วไฟฟ้า

PTFE loading (mg/cm ²)	Thickness (µm)						SD	Thickness (µm)
	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.4	Rep.5	average		
1.66	201.0	202.0	210.0	201.0	203.0	203.4	3.78	16.60
1.78	208.0	207.0	206.0	204.0	205.0	206.0	1.58	19.20
2.16	210.0	204.0	209.0	206.0	213.0	208.4	3.51	21.60
2.94	213.0	205.0	213.0	203.0	211.0	209.0	4.69	22.20
4.34	206.0	230.0	225.0	218.0	223.0	209.0	9.13	22.20
4.46	211.0	214.0	227.0	219.0	232.0	220.6	8.79	33.80
carbon paper	186.0	193.0	179.0	184.0	192.0	186.8	5.81	

ตารางที่ ค7 ผลการเปรียบเทียบการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

Pt loading (mg/cm ²)			
Prepared	EDX	mass balance	Δ_{cal}
1	0.67	0.59	0.06
0.5	0.40	0.33	0.05
0.2	0.12	0.21	0.06
1	0.41	0.46	0.04
0.5	0.41	0.35	0.04
0.2	0.17	0.17	0.00

ตารางที่ ค8 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานของขั้วไฟฟ้าที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

พื้นที่ผิวของแผ่นทองแดง 1.6129 cm²

ขั้วไฟฟ้า	Resistance (ohm)		Resistance (ohm/cm ²)			Loading (mg/cm ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
Pt 1 mg/cm ² [H4]	0.734	0.414	0.46	0.26	0.36	0.59
Pt 0.5 mg/cm ² [H4]	1.511	1.75	0.94	1.09	1.01	0.33
Pt 0.2 mg/cm ² [H4]	3.42	2.923	2.12	1.81	1.97	0.21
Pt-Ru 1 mg/cm ² [H4]	0.923	0.824	0.57	0.51	0.54	0.59
Pt-Co 1 mg/cm ² [H4]	2.217	1.763	1.37	1.09	1.23	0.51
Pt-Ni 1 mg/cm ² [H4]	3.47	1.102	2.15	0.68	1.42	0.60

ตารางที่ ค9 ผลการวิเคราะห์ Cyclic voltammetry ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัม

อัตราการไหลของไนโตรเจน	=	100	sccm
อัตราการไหลของไฮโดรเจน	=	30	sccm
ระยะเวลาในการป้อนแก๊สไนโตรเจน	=	30	นาที
Scan rate	=	60	mV/s

Pt loading (mg/cm ²)	Corresponding voltage (V)	E ₁ (Volt)	E ₂ (Volt)	Q _H (C/cm ²)
1	-0.14	-0.18	-0.04	0.006
(***)0.74	-0.15	-0.23	0.18	0.034
0.59	-0.14	-0.16	0.02	0.028
0.33	-0.11	-0.22	0.15	0.034
0.21	-0.098	-0.19	0.016	0.002

ตารางที่ ค10 สมบัติของขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าจากบริษัท Electrochem

Characteristic	Electroc	My work
Pt loading (mg/cm ²)	1	0.74
Pt distribution	Good	Good
Thickness (μm)	240	261.6
Resistance (mΩ/cm ²)	11.53	23
Q _H (μC/cm ²)	0.006	0.034
Current density (mA/cm ²) at 0.5 V	117.5	74.02

ตารางที่ ค11 ผลการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีดุลมวล

กำหนดให้องค์ประกอบอื่นๆ มีค่าคงที่

สารละลาย Nafion 0.35 มิลลิลิตร เท่ากับ 15.17 มิลลิกรัม

เท่ากับ 9 มิลลิกรัม

สารละลาย EGDME 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 876 มิลลิกรัม

เท่ากับ 14.72 ตารางเซนติเมตร

สารละลาย PTFE 0.01 มิลลิลิตร

พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า

	Pt loading used Pt/C reduced H ₂ 4 hr		Pt loading used Pt/C reduced H ₂ 1 hr		Pt-M/C reduced H ₂ 4 hr		
	1 mg/cm ²	0.5 mg/cm ²	1 mg/cm ²	0.5 mg/cm ²	Pt-Ru	Pt-Co	Pt-Ni
wf. of Pt/C (mg)	89.20	46.80	88.20	45.40	88.10	88.80	88.20
wf. of Pt _{input} (mg)	14.87	7.80	14.70	7.57	14.68	14.80	14.70
wf. carbon paper _{after pretreat} (mg)	188.1	177.7	180.70	213.30	186.20	186.60	198.70
wf. carbon paper _{after printing} (mg)	254.3	222.2	231.90	261.30	252.30	243.40	266.60
wf. of catalyst layer _{actual}	66.20	44.50	51.20	48.00	66.10	56.80	67.90
wf. of catalyst layer _{theory}	95.36	52.96	94.36	51.56	94.26	94.96	94.36
wf. of Pt _{actual} (mg)	10.32	6.55	7.98	7.04	10.30	8.85	10.58
Metal loading (mg/cm ²)	0.70	0.45	0.54	0.48	0.70	0.60	0.72
metal loading (mg/cm ²) from EDX	0.67	0.40	0.41	0.41	0.65	0.38	0.63
Δ_{cal} for metal loading	0.03	0.11	0.24	0.15	0.08	0.38	0.12

ตารางที่ ค12 แสดงการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการวิเคราะห์ EDX

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (mg)	พื้นที่ (cm ²)	ปริมาณโลหะ (%) จาก EDX				ปริมาณโลหะ (mg/cm ²)	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		SD
Electrode from EC	58.3	2.64	19.15	20.69	20.18	20.01	0.78	1.00
Pt 1 mg/cm ² [H4]	65.9	14.72	15.17	16.39	13.36	14.97	1.52	0.67
Pt 0.5 mg/cm ² [H4]	44.5	14.72	14.67	15.32	9.55	13.18	3.16	0.40
Pt 0.2 mg/cm ² [H4]	42.7	14.72	5.15	3.38	3.71	4.08	0.94	0.12
Pt 1 mg/cm ² [H1]	51.2	14.72	8.93	14.3	12.31	11.85	2.71	0.41
Pt 0.5 mg/cm ² [H1]	48	14.72	12.23	12.99	12.42	12.55	0.40	0.41
Pt 0.2 mg/cm ² [H1]	33.2	14.72	7.7	7.13	7.7	7.51	0.33	0.17
Pt-Ru 1 mg/cm ² [H4]	66.1	14.72	12.85	17.01	13.24	14.37	2.30	0.65
Pt-Co 1 mg/cm ² [H4]	56.8	14.72	9.29	9.08	10.82	9.73	0.95	0.38
Pt-Ni 1 mg/cm ² [H4]	67.9	14.72	12.66	14.13	14.34	13.71	0.92	0.63

ตารางที่ ค13 ผลการวิเคราะห์ความหนาของขั้วไฟฟ้าเมื่อเตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

ขั้วไฟฟ้า	ความหนาของขั้วไฟฟ้า (μm)								loading (ng/cm^2)	ความหนาของ เส้นลวดเรงมิกิริยา (μm)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน			
PVC $1\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	268	264	246	266	264	261.6	8.88	0.59	74.8	
PVC $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	231	231	233	233	225	230.6	3.29	0.33	43.8	
PVC $0.2\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	215	220	224	222	216	219.4	3.85	0.21	32.6	
PVC $1\text{mg}/\text{cm}^2$ [H1]	248	232	237	238	247	240.4	6.88	0.46	53.6	
PVC $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$ [H1]	231	231	233	233	225	230.6	3.29	0.35	43.8	
PVC $0.2\text{mg}/\text{cm}^2$ [H1]	220	217	204	207	206	210.8	7.19	0.17	24	
Pt-Ru/C $1\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	233	230	228	234	232	231.4	2.41	0.59	44.6	
Pt-Co/C $1\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	230	234	234	226	233	231.4	3.44	0.51	44.6	
Pt-Ni/C $1\text{mg}/\text{cm}^2$ [H4]	263	266	267	267	273	267.2	3.63	0.60	80.4	
carbon paper	186.00	193.00	179.00	184.00	192.00	186.8	5.81			

ตารางที่ ค14 แสดงปริมาณความหนาแน่นกระแสแสงกับความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัมที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

อัตราการไหลของไฮโดรเจน = 10 sccm
 อัตราการไหลของออกซิเจน = 80 sccm
 อุณหภูมิของระบบให้ความร้อน = 60 °C
 อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง = 60 °C
 ความดัน = 1 บรรยากาศ

EV	Current density (mA/cm ²)												EC-PV/C
	0.59 mg/cm ²			0.33 mg/cm ²			0.21 mg/cm ²			*** 0.74 mg/cm ³			
	Run 1	Run 2	average	Run 1	Run 2	average	Run 1	Run 2	average	Run 3	Run 4	average	
0.9	0.31	0.30	0.31	1.16	0.04	0.60	0.07	0.00	0.04	4.17	1.73	2.95	0.53
0.85	1.28	2.66	1.97	0.07	0.46	0.26	0.05	0.02	0.03	11.15	4.04	7.59	1.06
0.8	3.56	4.74	4.15	0.16	1.09	0.63	0.01	0.05	0.03	19.62	9.51	14.57	2.07
0.75	7.83	7.15	7.49	0.83	2.78	1.81	0.09	0.18	0.14	29.36	29.29	29.32	3.25
0.7	13.74	11.33	12.53	2.48	7.39	4.94	0.32	0.48	0.40	39.72	38.37	39.04	5.40
0.6	27.78	24.30	26.04	8.18	17.70	12.94	1.22	1.53	1.38	62.65	62.65	62.65	34.24
0.5	39.36	35.59	37.48	15.37	29.23	22.30	2.55	2.96	2.76	84.68	88.04	86.36	78.78
0.4	53.43	46.01	49.72	23.68	41.42	32.55	4.09	4.40	4.24	106.90	113.34	110.12	141.06
0.3	67.74	54.28	61.01	32.82	53.50	43.16	5.25	5.87	5.56	125.77	136.64	131.21	193.53
0.2	79.84	65.33	72.58	44.73	66.66	55.69	6.93	7.86	7.40	143.96	158.48	151.22	
0.1	84.90	65.81	75.35	55.36	73.68	64.52	7.84	9.48	8.66	154.64	171.78	163.21	
0.05	90.20	69.62	79.91	61.73	79.88	70.80	8.45	10.36	9.40				

หมายเหตุ *** คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา PVC ที่ผ่านการทำรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนที่ 250 °C 4 ชั่วโมง และ 350 °C 1 ชั่วโมง

ตารางที่ ค16 แสดงปริมาณความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัมอัลลอยด์ที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

อัตราการไหลของไฮโดรเจน = 10 sccm อัตราการไหลของออกซิเจน = 80 sccm
อุณหภูมิของระบบให้ความร้อน = 60 °C อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง = 60 °C
ความดัน = 1 บรรยากาศ

EV	Current density (mA/cm ²)														
	Pt 0.59 mg/cm ²			Pt-Ru 0.59 mg/cm ²			Pt-Ni 0.60 mg/cm ²			Pt-Co 0.51 mg/cm ³					
	Run 1	Run 2	average	EV	Run 1	Run 2	average	EV	Run 1	Run 2	average	EV	Run 1	Run 2	average
0.9	0.31	0.30	0.31	0.8	0.30	0.26	0.28	0.8	-	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00
0.85	1.28	2.66	1.97	0.75	0.22	1.43	0.83	0.75	-	0.55	0.55	0.8	0.08	0.83	0.45
0.8	3.56	4.74	4.15	0.7	1.27	3.54	2.40	0.7	0.06	1.26	0.66	0.75	0.40	1.81	1.10
0.75	7.83	7.15	7.49	0.65	3.60	6.99	5.29	0.65	0.26	2.20	1.23	0.7	1.30	3.58	2.44
0.7	13.74	11.33	12.53	0.6	7.62	11.68	9.65	0.6	0.69	3.59	2.14	0.65	2.80	5.93	4.37
0.6	27.78	24.30	26.04	0.5	19.31	23.89	21.60	0.5	3.04	8.01	5.53	0.6	5.36	8.89	7.13
0.5	39.36	35.59	37.48	0.4	34.52	42.34	38.43	0.4	8.45	14.56	11.51	0.5	13.82	17.43	15.62
0.4	53.43	46.01	49.72	0.3	52.32	52.40	52.36	0.3	17.23	23.68	20.45	0.4	25.17	28.79	26.98
0.3	67.74	54.28	61.01	0.2	72.08	78.84	75.46	0.2	28.73	38.98	33.85	0.3	38.37	43.60	40.99
0.2	79.84	65.33	72.58	0.1	93.26	102.10	97.68	0.1	42.32	52.29	47.30	0.2	52.20	59.82	56.01
0.1	84.90	65.81	75.35	0.05	97.30	113.35	105.33	0.05	49.27	61.29	55.28	0.1	66.88	74.00	70.44
0.05	90.20	69.62	79.91									0.05	72.96	81.52	77.24

ตารางที่ ค17 แสดงปริมาณความหนาแน่นกระแสกับกำลังไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าแพลทินัมอัลลอยด์ที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

EV	Power (W)																		
	Pt 0.59 mg/cm ²			Pt-Ru 0.59 mg/cm ²			EV			Pt-Ni 0.60 mg/cm ²			EV			Pt-Co 0.51 mg/cm ³			
	average			average			average			average			average			average			
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	average
0.9	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.8	0.0012	0.0010	0.0011	0.8	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.85	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.85	0.0055	0.0113	0.0084	0.0084	0.75	0.0008	0.0054	0.0031	0.75	-	0.0021	0.0021	0.0021	0.8	0.0003	0.0033	0.0033	0.0018	0.0018
0.8	0.0142	0.0190	0.0166	0.0166	0.7	0.0045	0.0124	0.0084	0.7	0.0002	0.0044	0.0023	0.0023	0.75	0.0015	0.0068	0.0068	0.0041	0.0041
0.75	0.0293	0.0268	0.0281	0.0281	0.65	0.0117	0.0227	0.0172	0.65	0.0009	0.0072	0.0040	0.0040	0.7	0.0046	0.0125	0.0125	0.0085	0.0085
0.7	0.0481	0.0396	0.0439	0.0439	0.6	0.0229	0.0350	0.0289	0.6	0.0021	0.0108	0.0064	0.0064	0.65	0.0091	0.0193	0.0193	0.0142	0.0142
0.6	0.0833	0.0729	0.0781	0.0781	0.5	0.0483	0.0597	0.0540	0.5	0.0076	0.0200	0.0138	0.0138	0.6	0.0161	0.0267	0.0267	0.0214	0.0214
0.5	0.0984	0.0890	0.0937	0.0937	0.4	0.0690	0.0847	0.0769	0.4	0.0169	0.0291	0.0230	0.0230	0.5	0.0346	0.0436	0.0436	0.0391	0.0391
0.4	0.1069	0.0920	0.0994	0.0994	0.3	0.0785	0.0786	0.0785	0.3	0.0258	0.0355	0.0307	0.0307	0.4	0.0503	0.0576	0.0576	0.0540	0.0540
0.3	0.1016	0.0814	0.0915	0.0915	0.2	0.0721	0.0788	0.0755	0.2	0.0287	0.0390	0.0339	0.0339	0.3	0.0576	0.0654	0.0654	0.0615	0.0615
0.2	0.0798	0.0653	0.0726	0.0726	0.1	0.0466	0.0510	0.0488	0.1	0.0212	0.0261	0.0237	0.0237	0.2	0.0522	0.0598	0.0598	0.0560	0.0560
0.1	0.0424	0.0329	0.0377	0.0377	0.05	0.0243	0.0283	0.0263	0.05	0.0123	0.0153	0.0138	0.0138	0.1	0.0334	0.0370	0.0370	0.0352	0.0352
0.05	0.0226	0.0174	0.0200	0.0200										0.05	0.0182	0.0204	0.0204	0.0193	0.0193

ตารางที่ ค18 แสดงปริมาณความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าแพลทินัมที่เตรียมโดยการพอกพูนด้วยไฟฟ้า

อัตราการไหลของไฮโดรเจน	=	10	sccm
อัตราการไหลของออกซิเจน	=	80	sccm
อุณหภูมิของระบบให้ความร้อน	=	60	°C
อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง	=	60	°C
ความดัน	=	1	บรรยากาศ

E/V	current density (mA/cm ²)				Power(W)		
	Pt 0.54 mg/cm ²	Pt 0.37 mg/cm ²	Pt 0.20 mg/cm ²	Pt 0.54 mg/cm ³	Pt 0.37 mg/cm ³	Pt 0.20 mg/cm ³	
0.65	0.038	0.063	0.007	0.0245	0.0411	0.0042	
0.6	0.085	0.109	0.013	0.0513	0.0653	0.0077	
0.55	0.140	0.172	0.022	0.0770	0.0943	0.0121	
0.5	0.227	0.245	0.034	0.1135	0.1226	0.0170	
0.45	0.341	0.337	0.050	0.1533	0.1515	0.0224	
0.4	0.493	0.365	0.072	0.1971	0.1462	0.0288	
0.35	0.705	0.341	0.098	0.2466	0.1193	0.0344	
0.3	0.915	0.316	0.126	0.2746	0.0947	0.0379	
0.2	1.061	0.279	0.178	0.2122	0.0557	0.0355	
0.1	1.255	0.221	0.221	0.1255	0.0221	0.0221	

ตารางที่ ค19 แสดงปริมาณการสะสมน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยใช้ตัวไฟฟ้าแพลทินัมที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์

time min	Potentail (Volt)	Pt/C 0.7 mg/cm ² with catalyst by Electrochem						Pt/C 0.74 mg/cm ² with catalyst reduced H ₂ 250°C 4 hr, 350°C 1 hr					
		current density (mA/cm ²)			water accumulation (ml/min)			current density (mA/cm ²)			water accumulation (mole/min)		
		Run 1	Run2	average	Run 1	Run2	average	Run 1	Run 2	average	Run 1	Run 2	average
5	0.9	0.70	0.15	0.42	0.00005	0.00005	0.00005	2.07	2.07	2.07	0.00005	0.00005	0.00005
10	0.85	1.12	0.29	0.71	0.00008	0.00008	0.00008	4.55	5.17	4.86	0.00009	0.00009	0.00009
15	0.8	1.96	1.04	1.50	0.00011	0.00010	0.00011	9.54	9.60	9.57	0.00013	0.00014	0.00014
20	0.75	9.38	2.92	6.15	0.00015	0.00013	0.00014	22.19	14.90	18.55	0.00020	0.00018	0.00019
25	0.7	19.35	7.29	13.32	0.00020	0.00015	0.00017	29.83	21.21	25.52	0.00027	0.00024	0.00025
30	0.65	43.75	14.78	29.26	0.00029	0.00019	0.00024	48.50	36.26	42.38	0.00038	0.00032	0.00035
35	0.6	71.96	27.22	49.59	0.00045	0.00025	0.00035	66.82	50.71	58.76	0.00052	0.00043	0.00047
40	0.5	113.41	58.77	86.09	0.00069	0.00037	0.00053	85.88	62.16	74.02	0.00070	0.00056	0.00063
45	0.4	166.37	114.68	140.53	0.00104	0.00062	0.00083	122.43	102.25	112.34	0.00097	0.00078	0.00087
50	0.3	193.90	158.12	176.01	0.00146	0.00096	0.00121	151.22	126.99	139.11	0.00129	0.00105	0.00117
55	0.2	-	197.19	197.19	-	0.00138	0.00138	163.21	136.14	149.67	0.00164	0.00134	0.00149

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุกัญญา ทองคำ เกิดวันที่ 10 สิงหาคม 2520 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2544



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย