

รายการอ้างอิง

1. How does the fuel cell ? (Online). Available from :
<http://www.celanese.de/ab2002/en/magazine/growth/02>.
2. Appleby, A.J., and Foulkes, F.R. Fuel cell handbook (fifth edition) New York: Van Nostrand Reinhold 2000.
3. Larminie, J., and Dick, A. Fuel cell systems explained Chichester: John Wiley & Sons LTD. 2000.
4. รัฐติกร วาสนาเพียรพงศ์. การจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
5. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มหาวิทยาลัย และ นโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ เอกสารประกอบการประชุมผู้เชี่ยวชาญเซลล์เชื้อเพลิง ครั้งที่ 1, 21 มีนาคม 2543 ณ มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
6. Bard, A.J., and Faulkner, L.R. Electrochemical Methods: Fundamental and Application. New York : John Wiley & Sons. 2000.
7. Mann, R.F., Amphlett, J.C., Hooper, M.A., Jensen, H.M., Peppley, B.A., Roberge, P.R. Development and application of a generalized steady-state electrochemical model for PEM fuel cell, Journal of Power Sources 86 (2000) : 178-180.
8. Pathapati, P.R., Xue, X., Tang, J. A new dynamic model for predicting transient phenomena in a PEM fuel cell system, Renewable Energy 30 (2005) : 1-22.
9. Arriagada J., Olausson P., Selimovic A. Artificial neural network simulator for SOFC performance prediction, Journal of Power Sources 112 (2002) : 54-60.
10. Won-Yong L., Gu-Gon P., Tea-Hyun Y., Young-Gi Y., Chang-Soo K. Empirical modeling of polymer electrolyte membrane fuel cell performance using artificial neural networks, International Journal of Hydrogen Energy 29 (2004) : 961-966.
11. Jemei S., Hissel D., Pera M.C., Kauffmann J.M. On-board fuel cell power supply modeling on the basis of neural network methodology, Journal of Power Sources 124 (2003) : 479-486.

12. Martins F.G. , Manuel A.N. Application of feedforward artificial neural networks to improve process control of PID-based control algorithms, Computers & Chemical Engineering 24 (2000) : 853-858.
13. Yerramalla S., Davari A., Feliachi A., Biswas T. Modeling and simulation of the dynamic behavior of a polymer electrolyte membrane fuel cell, Journal of Power Sources 124 (2003) : 104-113.
14. Tao, S., Guang-yi, C., Xin-jian, Z. Nonlinear modeling of PEMFC based on neural networks identification, Journal of Zhejiang University SCIENCE 5 (2005) : 365-370.
15. Haykin S. Neural Networks – A Comprehensive Foundation. Macmillan Collage Publishing Company 1995.
16. Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Beale Neural Network Design. PWS Publishing Company 1996.
17. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์. พลศาสตร์กระบวนการ : การควบคุมกระบวนการ. กรุงเทพฯ : ท.วัฒนาการพิมพ์. 2543.
18. พัฒนพงษ์ สงวณรักษ์. การออกแบบหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าตัวแปรสำหรับนำไปฝึกในนิรอลเน็ตเวิร์ก

กำหนดสมภาวะที่ใช้สำหรับการจัดทำข้อมูล

อุณหภูมิการทำงานของเซลล์	333.15	องศาเซลเซียส
ความดันย่อยทางด้านขั้วแอโนด	1.8689	บรรยากาศ
ความดันย่อยทางด้านขั้วแคโทด	2.3914	บรรยากาศ
พื้นที่ในการทำปฏิกิริยาของเซลล์	5	ตารางเซนติเมตร
กระแสที่เซลล์ให้ได้สูงสุด	1	แอมแปร์

สามารถคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงได้ดังนี้

1. ศักย์ไฟฟ้าทางเทอร์โมไดนามิกส์

$$E_{Nernst} = 1.229 - 0.85 \times 10^{-3} \cdot (T - 298.15) + 4.31 \times 10^{-5} \cdot T \cdot \left[\ln(p_{H_2}) + \frac{1}{2} \cdot \ln(p_{O_2}) \right]$$

จากสมการจะได้ค่าศักย์ไฟฟ้าทางเทอร์โมไดนามิกส์เท่ากับ 1.2145 โวลต์

2. ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี

$$\eta_{act} = -(\xi_1 + \xi_2 T + \xi_3 T [\ln(C_{O_2})]) + \xi_4 T [\ln(i)]$$

เมื่อ $\xi_1 = -0.948$, $\xi_2 = 0.00248$, $\xi_3 = 0.000076$, $\xi_4 = -0.000193$ และ $C_{O_2} = 1.056 \times 10^{-7}$
 ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเท่ากับ 0.5283 โวลต์

3. ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้า

$$\eta_{ohmic} = \eta_{ohmic}^C + \eta_{ohmic}^M = i(R_C + R_M)$$

เมื่อ $R_C = 0.0003 \Omega$, $R_M = 0.0205 \Omega$

ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 0.0208 โวลต์

4. ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเนื่องจากความเข้มข้น

$$\eta_{conc} = -B \ln\left(1 - \frac{j}{j_{max}}\right)$$

เมื่อ $B = 0.016$ โวลต์, $j = 0.2$ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

$j_{max} = 0.2$ แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

เนื่องจากคำนวณที่กระแสสูงสุดมีค่าความหนาแน่นและความหนาแน่นกระแสสูงสุดเท่ากันดังนั้นจึงไม่นำค่ามารวมในสมการหาค่าศักย์ไฟฟ้าวรวม ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าวรวมทั้งหมดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดเซลล์เดียวจะมีค่าดังสมการ

$$E_{FC} = E_{Nernst} - \eta_{act} - \eta_{ohmic} - \eta_{conc}$$

ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าวรวมจะมีค่าเท่ากับ 0.6654 โวลต์

และให้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.6654 วัตต์

5. อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนขาเข้า

$$\left(\frac{V_a}{RT}\right) \frac{dP_{H_2}}{dt} = k_{up,a} (P_s - P_a) - k_{down,a} (P_a - P_{atm}) - \frac{i}{2F}$$

เมื่อ $k_{up,a} = 0.0017769$ mol/atm.s, $P_s = 2.4$ atm, $P_a = 1.8689$ atm

ดังนั้นอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.000944 โมลต่อวินาที

6. อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนขาเข้า

$$\left(\frac{V_c}{RT}\right) \frac{dP_{O_2}}{dt} = k_{up,c} (P_s - P_c) - k_{down,c} (P_c - P_{atm}) - \frac{i}{4F}$$

เมื่อ $k_{up,c} = 1.13 \times 10^{-2}$ mol/atm.s, $P_s = 2.4$ atm, $P_c = 2.3914$ atm

ดังนั้นอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาเท่ากับ 9.67×10^{-5} โมลต่อวินาที

7. อัตราการเกิดน้ำจากปฏิกิริยา

$$m_{H_2O} = \frac{i \cdot n}{2F}$$

เมื่อกำหนดค่ากระแสสูงสุดที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 1 แอมแปร์ ดังนั้นน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเท่ากับ 5.18×10^{-6} โมลต่อวินาที

ดังนั้นค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณเพื่อนำข้อมูลไปฝึกในนิวรอลเน็ตเวิร์กจะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 1ก

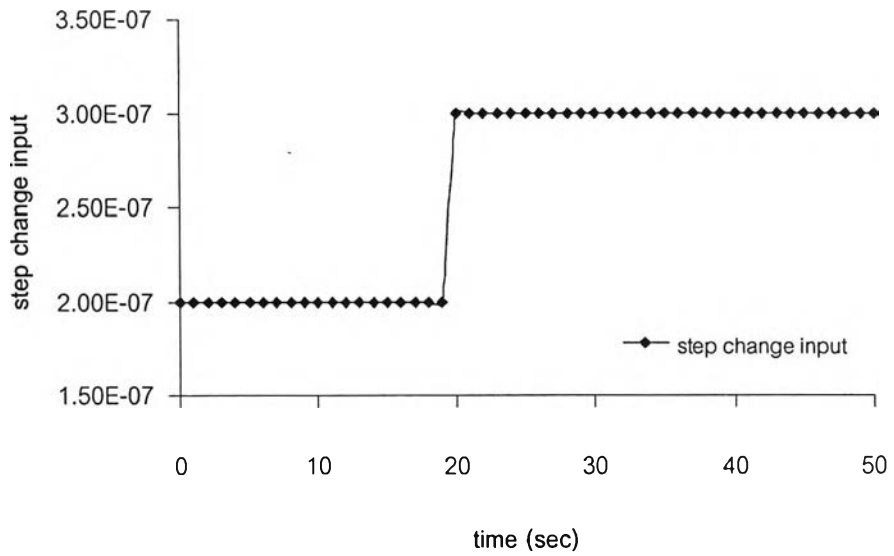
ตารางที่ 1ก ตัวอย่างข้อมูลที่น่าไปฝึกนิรอลเน็ตเวิร์ก

Temperature (K)	Pressure (atm)		current (A)	current density (A/cm ²)	m _{H₂,in} (mole.s ⁻¹)	m _{O₂,in} (mole.s ⁻¹)	water production (mole.s ⁻¹)	E _{Nemst} (V)	V _{act} (V)	V _{ohmic} (V)	V _{conc} (V)	V _{FC} (V)	P _{FC} (watt)
	anode	cathode											
335.92115	0.73649	1.39320	0.00000	0.00000	0.00296	0.01133	0.00000	1.19487	#NUM!	0.00000	0.00000	#NUM!	#NUM!
349.68517	0.55108	1.86187	0.00200	0.00040	0.00329	0.00605	0.00000	1.18090	0.18957	0.00004	0.00003	1.07910	0.00216
326.78856	0.99337	2.28726	0.00400	0.00080	0.00250	0.00127	0.00000	1.21039	0.16109	0.00009	0.00006	0.97295	0.00389
334.59758	1.65723	2.20044	0.00600	0.00120	0.00132	0.00225	0.00000	1.21099	0.21574	0.00013	0.00010	0.92756	0.00557
327.76648	1.28894	1.40820	0.00800	0.00160	0.00197	0.01116	0.00000	1.20983	0.23485	0.00014	0.00013	1.00848	0.00807
327.51499	0.10858	1.21833	0.01000	0.00200	0.00407	0.01329	0.00000	1.17409	0.30199	0.00022	0.00016	0.94899	0.00949
337.59702	1.65525	1.68567	0.01200	0.00240	0.00132	0.00804	0.00000	1.20660	0.22798	0.00021	0.00019	0.83913	0.01007
330.44241	0.32388	0.83868	0.01400	0.00280	0.00369	0.01756	0.00000	1.18424	0.26955	0.00027	0.00023	0.88834	0.01244
332.47706	0.88124	1.40113	0.01600	0.00320	0.00270	0.01124	0.00000	1.20043	0.33388	0.00028	0.00026	0.88336	0.01413
324.68915	1.00162	2.29282	0.01800	0.00360	0.00248	0.00121	0.00000	1.21227	0.29063	0.00036	0.00029	0.89937	0.01619
352.80264	1.01730	0.08960	0.02000	0.00400	0.00246	0.02599	0.00000	1.16447	0.28416	0.00036	0.00032	0.93497	0.01870
340.09023	1.51150	1.54305	0.02200	0.00440	0.00158	0.00964	0.00000	1.20259	0.28950	0.00041	0.00036	0.86941	0.01913
336.52870	0.84231	0.16778	0.02400	0.00480	0.00277	0.02511	0.00000	1.18094	0.28436	0.00049	0.00039	0.89654	0.02152
327.41456	1.11841	1.15600	0.02600	0.00520	0.00228	0.01400	0.00000	1.20673	0.30884	0.00052	0.00042	0.89761	0.02334
345.33396	1.44585	0.43348	0.02800	0.00560	0.00170	0.02212	0.00000	1.18816	0.26607	0.00055	0.00045	0.89955	0.02519
350.55861	0.95174	0.12607	0.03000	0.00600	0.00257	0.02558	0.00000	1.16806	0.29511	0.00051	0.00049	0.81788	0.02454
342.30182	1.70845	1.34754	0.03200	0.00640	0.00123	0.01184	0.00000	1.20157	0.37117	0.00062	0.00052	0.87995	0.02816
348.06554	0.43176	2.30537	0.03400	0.00680	0.00350	0.00106	0.00000	1.18024	0.32989	0.00068	0.00055	0.75660	0.02572

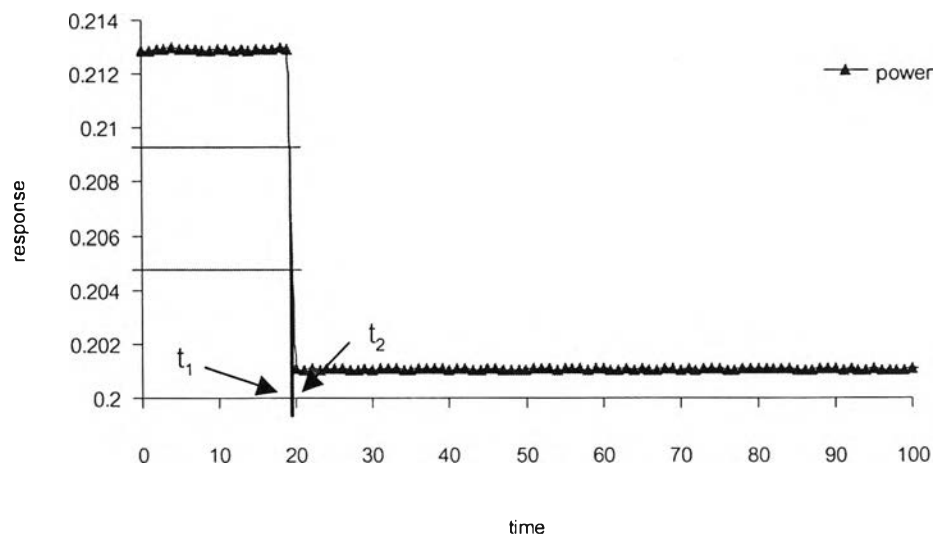


ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องควบคุม



รูปที่ 1x การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรขาเข้า



รูปที่ 2x การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันไดของตัวแปรขาเข้า

เมื่อ t_1 = เวลาที่การตอบสนองเปลี่ยนแปลงไป 28.3 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด
 t_2 = เวลาที่การตอบสนองเปลี่ยนแปลงไป 63.2 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด
 จากรูปที่ 1x การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรขาเข้าเท่ากับ 50
 จากรูปที่ 2x จะได้ $t_1 = 0.3$ และ $t_2 = 0.7$

คำนวณหาค่าอัตราขยายเชิงสถิต $K = \frac{(y_\infty - y_0)}{M}$

เมื่อ y_∞ เป็นค่า y เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัว
 y_0 เป็นค่า y ที่เวลา $t=0$

ค่าอัตราขยายเชิงสถิตเท่ากับ $\frac{(0.5369 - 0.45206)}{0.08484} = 1$

ค่าคงที่ของกระบวนการ $\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) = 0.6$

ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ $t_d = t_2 - \tau = 0.1$

ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการอันดับที่หนึ่งรวมค่าเวลาหน่วง $G_{prc}(s) = \frac{Ke^{-t_d s}}{\tau s + 1}$

ดังนั้นทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการอันดับที่หนึ่งรวมค่าเวลาหน่วง

$$G_{prc}(s) = \frac{1e^{-0.1s}}{0.6s + 1}$$

การปรับแต่งเครื่องควบคุมโดยวิธีวงควบคุมแบบเปิด (Ziegler & Nichols)

เลือกใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งมีทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันดังนี้

$$G(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_D s \right)$$

$$\text{เมื่อ } K_c' = \left(\frac{1.2}{K} \right) \left(\frac{\tau}{t_d} \right), \quad \tau_I' = 2.0t_d, \quad \tau_D' = 0.5t_d$$

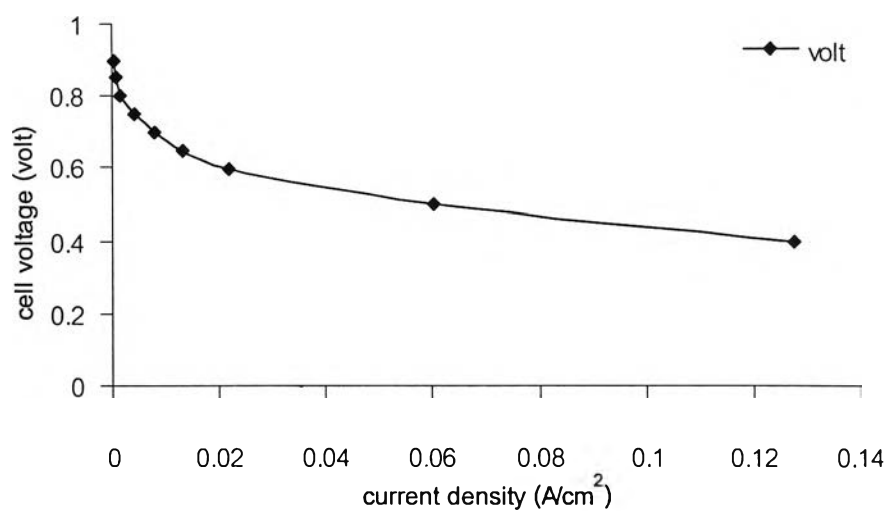
ดังนั้นจะได้ทราวนส์เฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$G(s) = 7.2 \left(1 + \frac{1}{0.2s} + 0.05s \right)$$

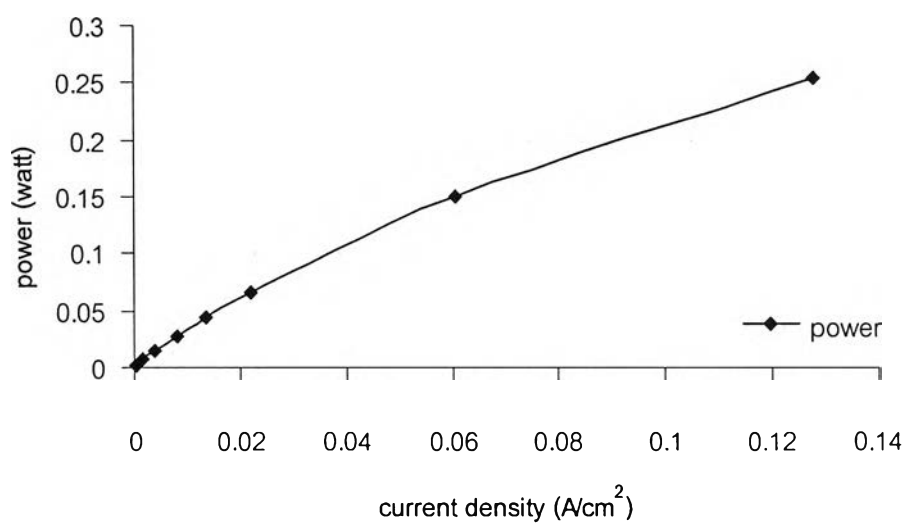
ภาคผนวก ค

ตารางที่ 1 ค ตัวอย่างข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเพื่อนำไปฝึกนิรอลเน็ตเวิร์ก

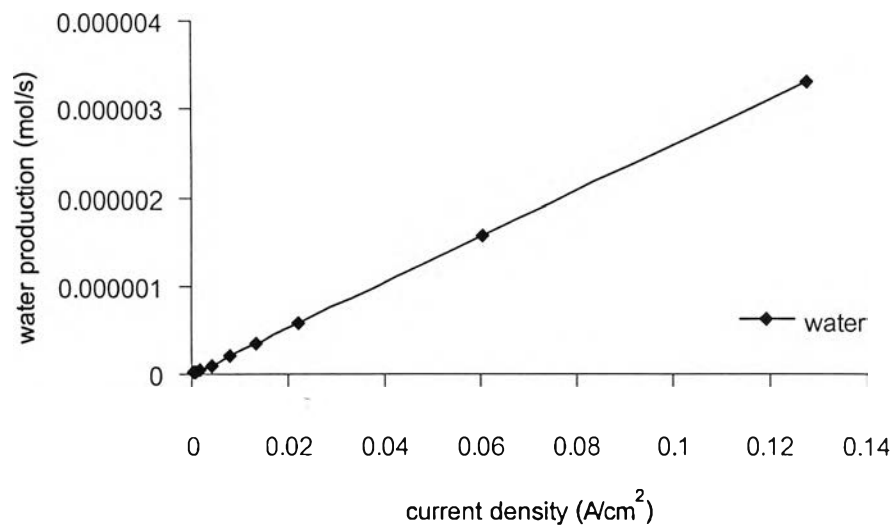
T(°C)	E (V)	abs(i)	j(A/cm ²)	P=IV	H ₂ flow	O ₂ flow	H ₂ O
60	0.8994	0.075900	0.015180	0.068264	112.7197	121.3074	3.93E-07
60	0.8994	0.001709	0.000342	0.001537	154.7424	149.3225	8.86E-09
60	0.8994	0.002106	0.000421	0.001894	162.2681	157.6904	1.09E-08
60	0.8994	0.002228	0.000446	0.002004	164.5020	160.4919	1.15E-08
60	0.8994	0.002228	0.000446	0.002004	166.6992	162.3047	1.15E-08
60	0.8994	0.002228	0.000446	0.002004	169.2261	164.2822	1.15E-08
60	0.8994	0.002197	0.000439	0.001976	171.8262	166.0950	1.14E-08
60	0.8994	0.002197	0.000439	0.001976	172.2107	166.7908	1.14E-08
60	0.8994	0.002167	0.000433	0.001949	172.1008	167.4500	1.12E-08
60	0.8994	0.002106	0.000421	0.001894	170.7642	166.9373	1.09E-08
60	0.8994	0.002075	0.000415	0.001866	169.2444	165.8569	1.08E-08
60	0.8994	0.002045	0.000409	0.001839	171.7896	167.0837	1.06E-08
60	0.8994	0.002014	0.000403	0.001811	176.4404	170.5078	1.04E-08
60	0.8994	0.002014	0.000403	0.001811	174.6826	170.0500	1.04E-08
60	0.8994	0.001984	0.000397	0.001784	176.8250	171.3684	1.03E-08
60	0.8994	0.001923	0.000385	0.00173	174.7925	170.8740	9.96E-09
60	0.8994	0.001892	0.000378	0.001702	172.9248	169.6472	9.8E-09
60	0.8994	0.001862	0.000372	0.001675	174.4995	170.3247	9.65E-09
60	0.8994	0.001831	0.000366	0.001647	176.5137	171.1304	9.49E-09
60	0.8994	0.001831	0.000366	0.001647	177.4109	172.2290	9.49E-09
60	0.8994	0.001831	0.000366	0.001647	175.7996	171.4600	9.49E-09
60	0.8994	0.001801	0.00036	0.00162	174.9573	171.2219	9.33E-09
60	0.8994	0.001770	0.000354	0.001592	173.8770	170.4529	9.17E-09
60	0.8994	0.001770	0.000354	0.001592	177.7039	172.4121	9.17E-09
60	0.8994	0.001740	0.000348	0.001565	177.5940	172.6685	9.02E-09



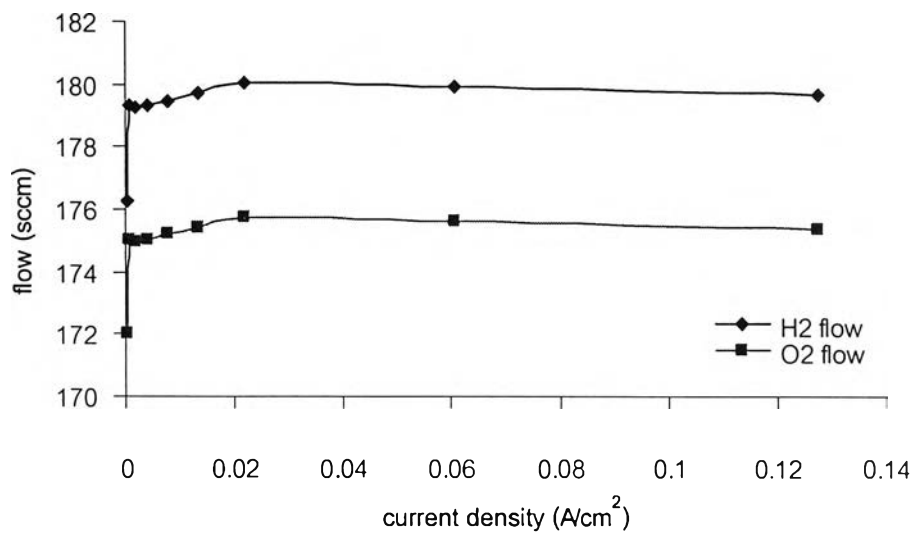
รูปที่ 1ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 2ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง



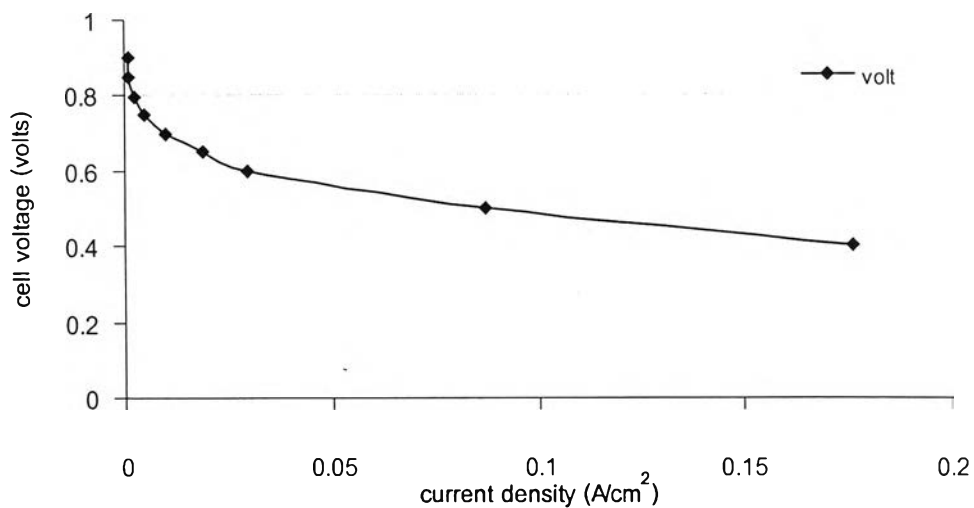
รูปที่ 3ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าอัตราการเกิดน้ำที่ได้จากการทดลอง



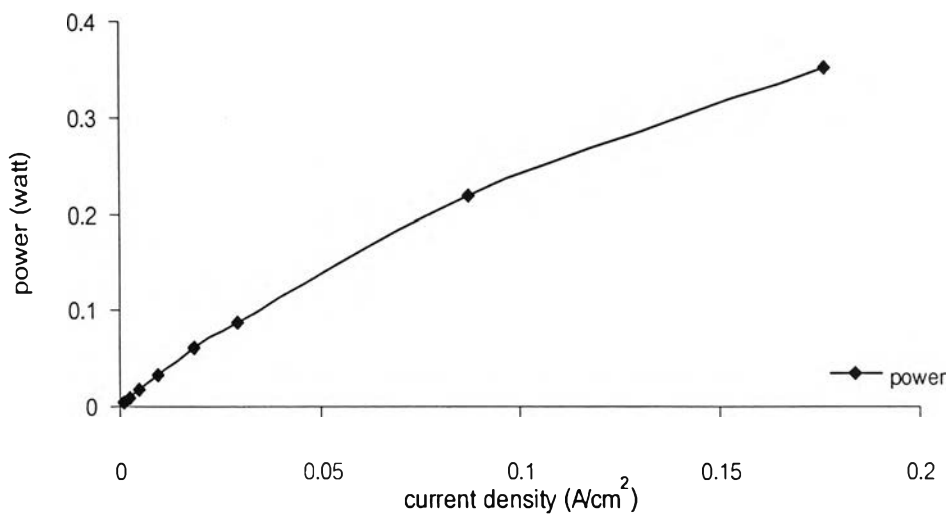
รูปที่ 4ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเพื่อนำไปฝึกนิรอลเน็ตเวิร์กมีเพิ่มค่าความดัน

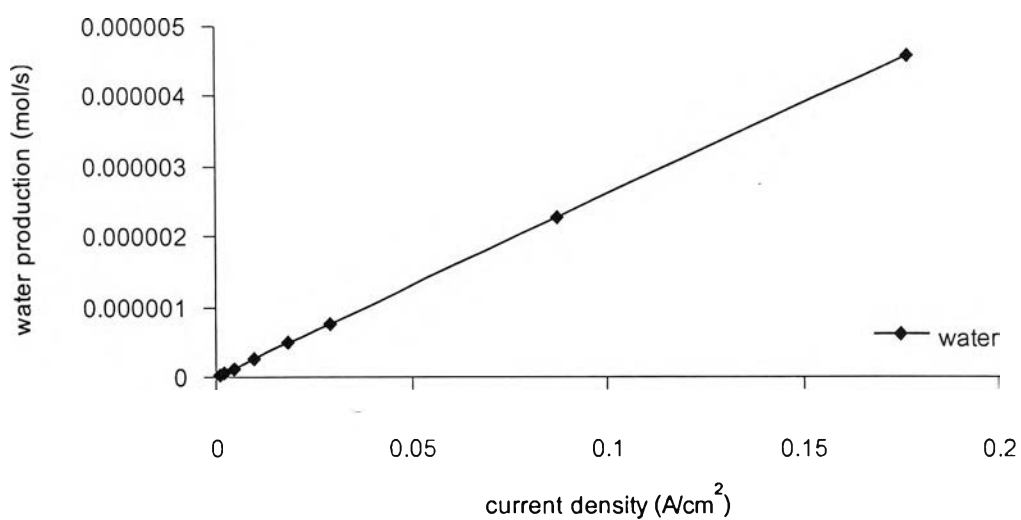
T(°C)	E (V)	Current (A)	j A/cm2)	P=IV	H ₂ flow	O ₂ flow	PO ₂ (psi)	H ₂ O
60	0.8994	0.1515	0.0303	0.136259	93.545	107.56	20.631	7.85E-07
60	0.8994	0.003784	0.000757	0.003403	124.56	121.96	19.473	1.96E-08
60	0.8994	0.00351	0.000702	0.003157	130.41	127.40	19.638	1.82E-08
60	0.8994	0.003204	0.000641	0.002882	133.01	130.15	19.990	1.66E-08
60	0.8994	0.002991	0.000598	0.00269	135.00	132.00	19.389	1.55E-08
60	0.8994	0.002838	0.000568	0.002552	135.91	133.04	19.990	1.47E-08
60	0.8994	0.002716	0.000543	0.002443	135.78	133.18	20.098	1.41E-08
60	0.8994	0.002625	0.000525	0.002361	136.27	133.32	20.341	1.36E-08
60	0.8994	0.002533	0.000507	0.002278	136.52	133.75	19.768	1.31E-08
60	0.8994	0.002441	0.000488	0.002195	137.21	134.30	19.331	1.26E-08
60	0.8994	0.00235	0.00047	0.002114	136.3	133.81	20.857	1.22E-08
60	0.8994	0.002289	0.000458	0.002059	136.46	134.06	20.341	1.19E-08
60	0.8994	0.002258	0.000452	0.002031	135.84	133.78	19.711	1.17E-08
60	0.8994	0.002228	0.000446	0.002004	137.07	134.56	20.341	1.15E-08
60	0.8994	0.002197	0.000439	0.001976	137.59	134.55	19.059	1.13E-08
60	0.8994	0.002136	0.000427	0.001921	137.80	134.79	20.205	1.10E-08
60	0.8994	0.002075	0.000415	0.001866	138.19	135.32	19.672	1.07E-08



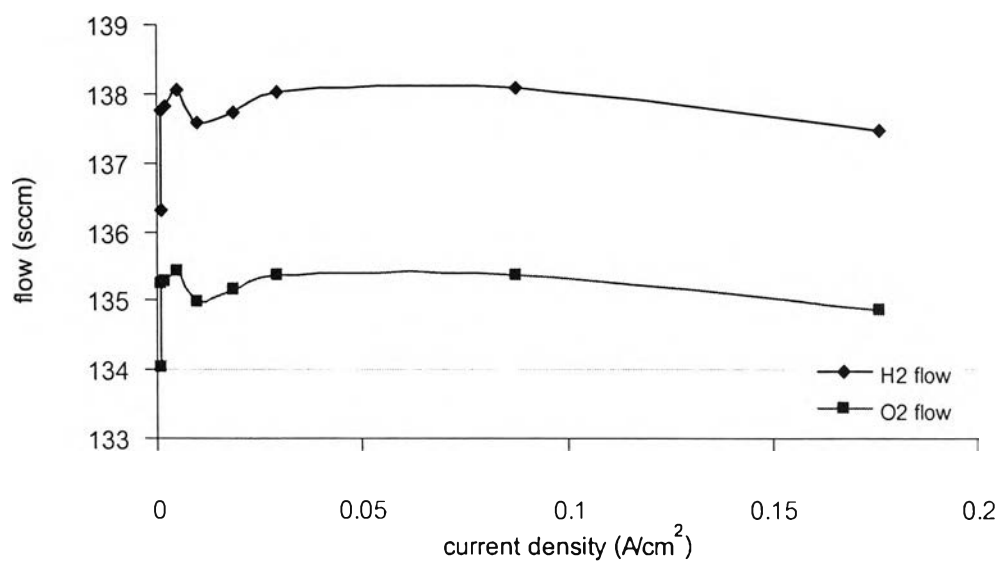
รูปที่ 5ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง



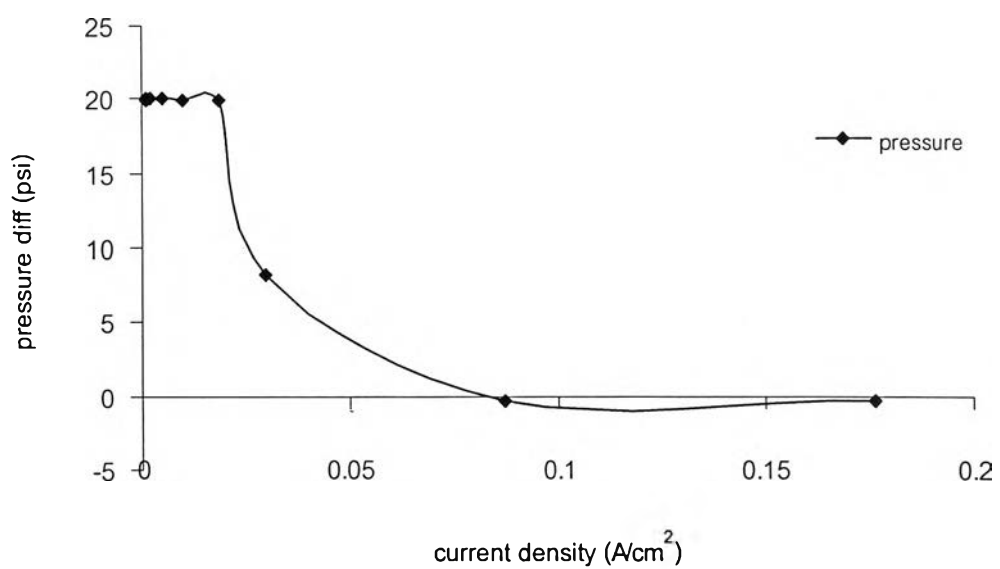
รูปที่ 6ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 7ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าอัตราการเกิดน้ำที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 8ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 9ค ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสและค่าความดันแตกต่างทางด้านแคโทด

ภาคผนวก ง

การทำ Normalization ข้อมูลก่อนการฝึกเน็ตเวิร์ก

Normalization

ใช้คำสั่งของโปรแกรม matlab คือ premnmx

Algorithm

$$x_n = 2 * (x - \min x) / (\max x - \min x) - 1$$

De-normalization

ใช้คำสั่งของโปรแกรม matlab คือ premnmx

Algorithm

$$x = 0.5(x_n + 1) * (\max x - \min x) + \min x$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววราภรณ์ เริงฤทธิ์ เกิดวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545

