

เอกสารอ้างอิง

อัทน เพ็ญโรจน์. ฉนวนพลาสมาสเตรเคมี. เคมีทั่วไป (รูปภาพ บุณยะรัตเวช)
พิมพ์ครั้งที่ 1 เล่ม 1 หน้า 463 - 468, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2522.

The ASM Committee on Finishing of Stainless Steel. in Metal Handbook (Lyman, T. ed.) 8th ed., Vol. 2, pp. 599 - 607.
American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1954.

Austin, L.G. in Handbook of Fuel Cell Technology. (Berger, C. ed.) pp. 17 - 51, Prentice-Hall, INC./Englewood Cliffs, N.J., 1968.

Bates, R.G. in Electrometric pH Determinations. pp. 166 - 169, wiley, New York, 1954.

Cairns, E.J. and Liebhafsky, H.A. "The Thermodynamics of the Complete Fuel Cell" Technical Information series 63 - RL-3399 C, General Electric Research Laboratory, Schenectady, New York, 1963.

Cairns, E.J., Douglas, D.L. and Niedrach, L.W. "Performance of Fractional Watt Ion Exchange Membrane Fuel Cell" A.I. Ch. E. Journal 7 (4), (1941):551 - 558.

Eisenberg, M. in Fuel Cells (Mitchell, Jr, W. ed.) pp. 18 - 56, Acedemic Press Inc, New York, 1963.

Gregor, H.P. and Gregor, C.D. "Synthetic - Membrane Technology" Scientific American. 239(1), (1978):88 - 101.

- Grubb, W.T. and Niedrach, L.W. "Batteries with Solid Ion - Exchange Membrane Electrolytes II. Low - Temperature Hydrogen - Oxygen Fuel Cells" J. Electrochem. Soc. 107(2), (1960):131 - 135.
- Heath, C.E. and Sweeney, W.J. in Fuel Cells (Mitchell, Jr., W. ed.) pp. 99 - 115, Academic Press Inc., New York, 1963.
- Helfferich, F. Ion Exchange, pp. 1 - 80, pp. 95 - 242, pp. 339-417, McGraw - Hill, New York, 1962.
- Hills, G.J. and Ives, D.J.G. in Reference Electrode (Ives, D.J.G. and Jansz, G.J. eds.) pp. 71 - 121, Academic Press., N.Y., 1961.
- Hodgman, C.D., (ed) Handbook of Chemistry and Physics 40th ed., pp. 1839 - 1851, Chemical rubber publishing Co., Cleveland, Ohio, 1958.
- Juda, W., Rosenberg, Marinsky, J.A. and Kasper, A.A. "Electrochemical Properties of Ion Exchange Resins. I. Donan Equilibria, Membrane Potentials and Conductivities" J. Am. Chem. Soc. 74(1952):3736.
- Kordesch, K.V. "25 Years of Fuel Cell Development (1951 - 1976)" J. Electrochem. Soc. 125(3), (1978):77C - 91C.
- Lurie, R.M., Berger, C. and Viklund, H. "Ion Exchange Membrane Properties - Their Effect on the Development of the Dual Membrane Fuel Cells" J. Electrochem. Soc. 110(12), (1963):1173 - 1176.

- Maget, H.J.R. in Handbook of Fuel Cell Technology (Berger, C. ed.) pp. 425 - 491, Prentice - Hall, INC., Englewood Cliffs, N.J. 1968.
- Mitchell, W., Jr. in Fuel Cells (Mitchell, W., Jr. ed.) pp. 1 - 15 Academic Press Inc., New York, 1963.
- Niedrach, L.W. "The Performance of Hydrocarbons in Ion Exchange Membrane Fuel Cells" J. Electrochem. Soc. 109(11), (1962): 1092 - 1096.
- Niedrach, L.W. and Grubb, W.T. in Fuel Cells (Mitchell, W., Jr. ed.) pp. 253 - 298, Academic Press Inc., New York, 1963.
- Reilly, J. and Rae, W.R. in Physico - Chemical Methods Vol. 1. pp. 383, D. Van Nostrand Co. Inc., New York, 1953.
- Williams, K.R. in An Introduction to Fuel Cells. pp. 15 - 26 Elsevier Publ., Amsterdam, 1966.
- Williams, K.R. in An Introduction to Fuel Cells. pp. 34 - 37 Elsevier Publ., Amsterdam, 1966.
- Williams, K.R. in An Introduction to Fuel Cells. p. 57 - 63 Elsevier Publ., Amsterdam, 1966.

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดของแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบวกจากบริษัทผู้ผลิต

ชนิดของแผ่น แลกเปลี่ยนไอออน	ความหนา (cm)	น้ำหนัก ต่อพื้นที่ (gm/cm ²)	ความจุไอออน (มิลลิสมมูลต่อ กรัมของเรซินแห้ง)	ความนำไฟฟ้า จำเพาะ (mho/cm)
CR61 AZL 389	0.12	0.051	2.6	4×10^{-3}
CR61 AZL 386	0.06	0.014	2.7	5×10^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงผลของอุณหภูมิต่อพลังงานเสรีของกิ๊บส์ (T, เคลวิน) ที่มีต่อพลังงานเสรีของกิ๊บส์ (ΔG , kJ/K.mole); เอนทาลปี (ΔH , kJ/K-mole); ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_T); และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งมีปฏิกิริยาเป็น

$$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} (l)$$

อุณหภูมิ K	พลังงานเสรี ของกิ๊บส์ (ΔG) kJ/K-mole	เอนทาลปี (ΔH) kJ/K-mole	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (η_T)	แรงเคลื่อน ไฟฟ้า
273	-241.3303	-286.6512	0.8419	1.2506
278	-240.5022	-286.4905	0.8395	1.2463
283	-239.6769	-286.3301	0.8371	1.2420
288	-238.8546	-286.1698	0.8347	1.2378
293	-238.0349	-286.0097	0.8323	1.2335
298	-237.2181	-285.8499	0.8299	1.2293
303	-236.4039	-285.6902	0.8275	1.2251
308	-235.5923	-285.5307	0.8251	1.2209
313	-234.7833	-285.3714	0.8227	1.2167
318	-233.9769	-285.2123	0.8204	1.2125
323	-233.1730	-285.0534	0.8180	1.2083
328	-232.3715	-284.8947	0.8156	1.2042
333	-231.5724	-284.7362	0.8133	1.2000
338	-230.7757	-284.5778	0.8109	1.1959
343	-229.9814	-284.4196	0.8086	1.1918

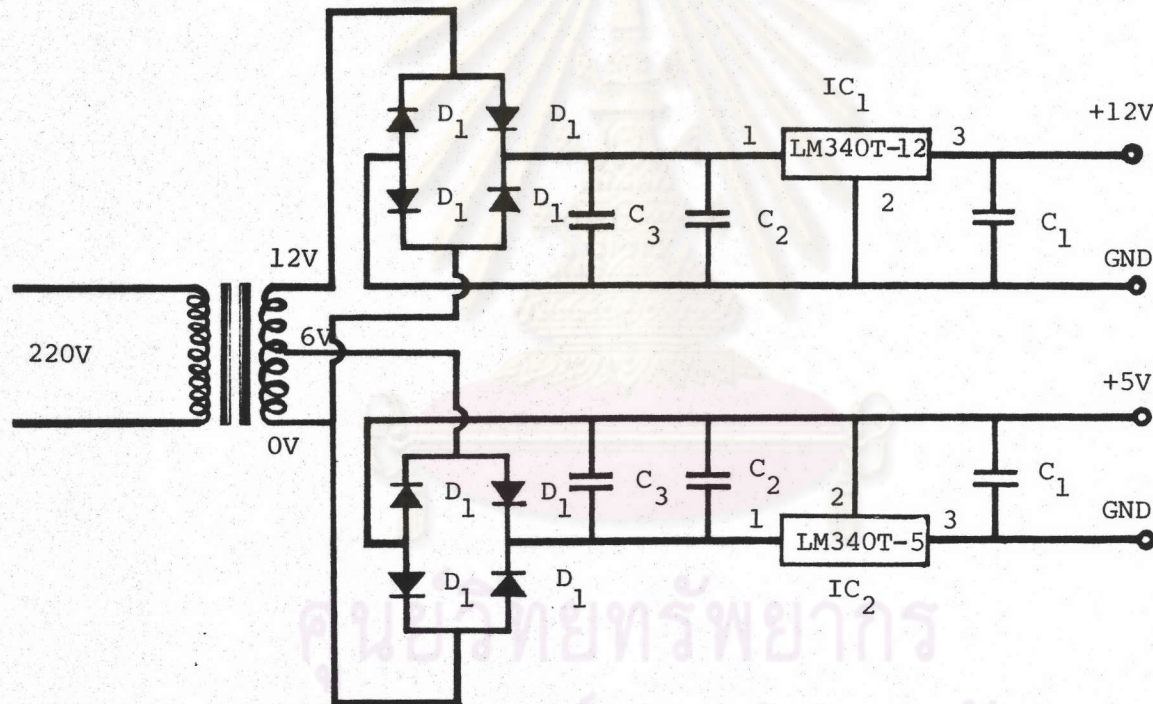
ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้า (มิลลิโวลต์) ของเทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมล - อลูเมล ที่อุณหภูมิต่าง ๆ
(องศาเซลเซียส) โดยเทียบกับอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (reference junction at 0 °C)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
10	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76
20	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16
30	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.40	1.44	1.49	1.53	1.57
40	1.61	1.65	1.69	1.73	1.77	1.81	1.85	1.90	1.94	1.98
50	2.02	2.06	2.10	2.14	2.18	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39

ภาคผนวก ง .

ภาพแสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V และ 5V สำหรับวงจรควบคุมการเก็บข้อมูล

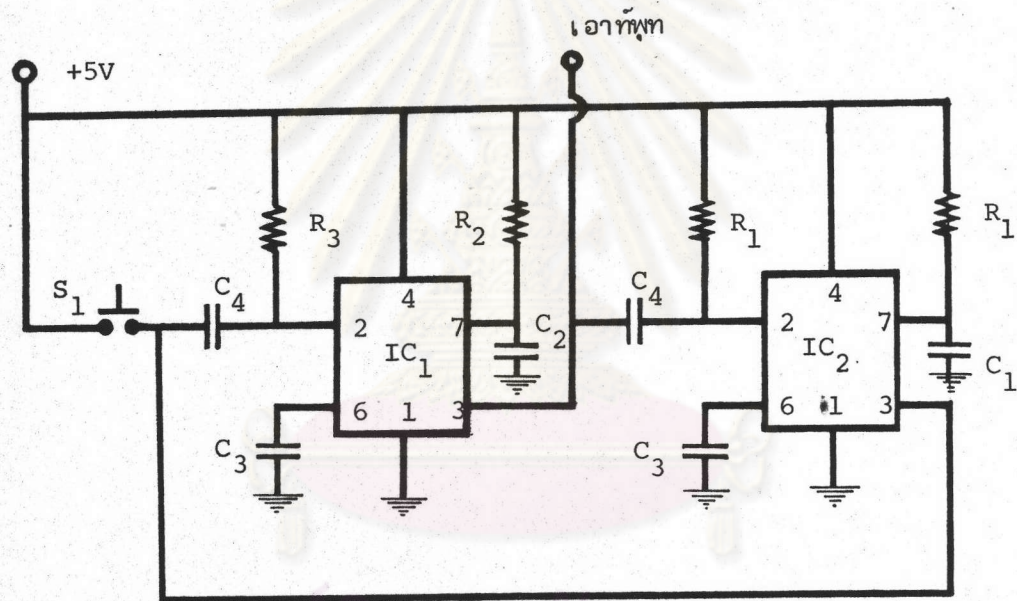


$C_1 = 0.1 \mu\text{f}$
 $C_2 = 0.22 \mu\text{f}$
 $C_3 = 2200 \mu\text{f}$

$D_1 = 1\text{N}4001$
 $IC_1 = \text{LM}340\text{T}-12$
 $IC_2 = \text{LM}340\text{T}-5$

ภาคผนวก จ.

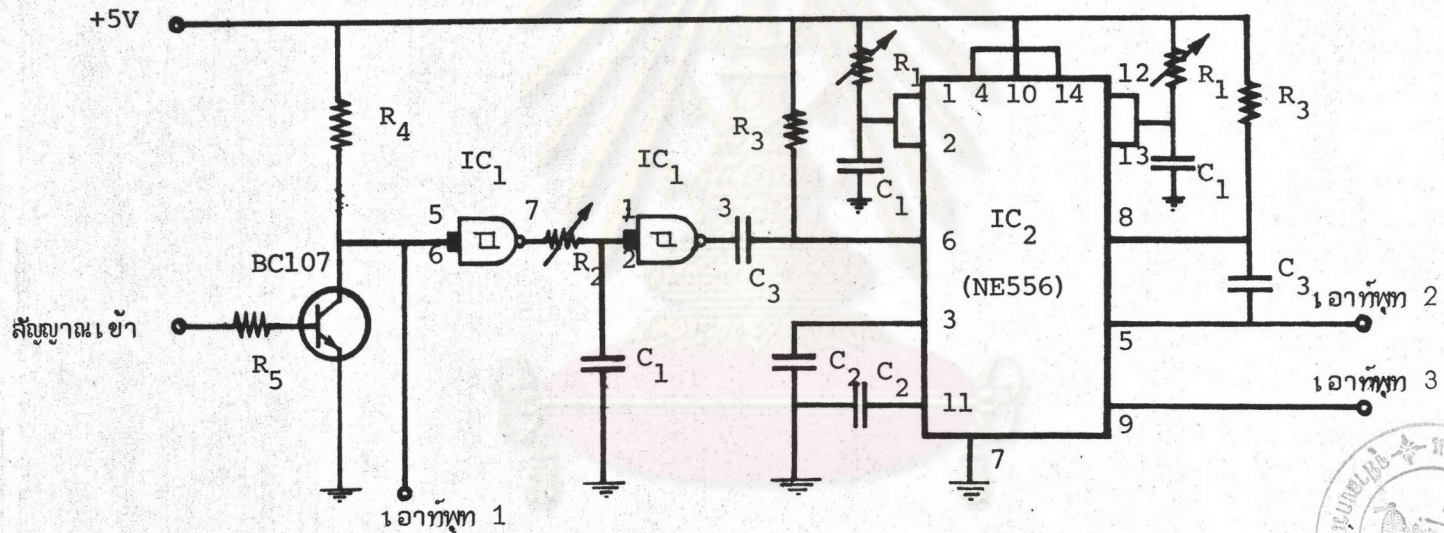
ภาพแสดงวงจรกำเนิดสัญญาณ เพื่อควบคุมเครื่องตั้งเวลา



- | | | | | | | | | |
|-------|---|---------------------|-------|---|----------|--------------|---|-------|
| R_1 | = | 1 M | C_1 | = | 220 uf | IC_1, IC_2 | = | NE555 |
| R_2 | = | 2000 K | C_2 | = | 100 uf | | | |
| R_3 | = | 10 K | C_3 | = | 0.01 uf | | | |
| S_1 | = | สวิตช์กดติดปล่อยดับ | C_4 | = | 0.001 uf | | | |

ภาคผนวก จ.

ภาพแสดงวงจรตั้งเวลา ใช้ควบคุมเครื่องเขียนกราฟและมอเตอร์ปรับความต้านทานใน
วงจรเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน



- $R_1 = 1 \text{ K}$
- $R_2 = 220 \text{ K}$
- $R_3 = 20 \text{ K}$
- $R_4 = 10 \text{ K}$
- $R_5 = 5 \text{ L}$

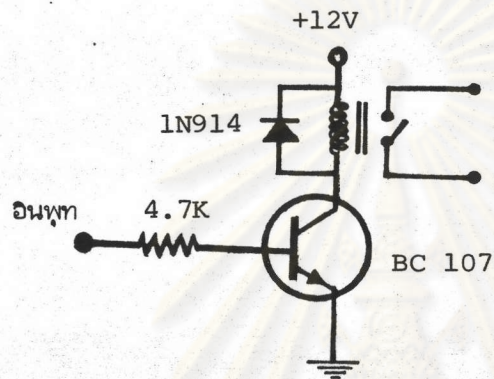
- $C_1 = 10 \text{ uf}$
- $C_2 = 0.01 \text{ uf}$
- $C_3 = 0.001 \text{ uf}$

- $IC_1 = \text{CD4093 BCN}$
- $IC_2 = \text{NE555}$



ภาคผนวก ข.

ภาพแสดงวงจรขั้วรับเลย์ ซึ่งต่อไปยังรีโมทคอนโทรล (remote control) ของเครื่องเขียนกราฟ, และใช้ควบคุมมอเตอร์ปรับความต้านทาน



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดโปรแกรมสำหรับเครื่องคำนวณ hp-97 ใช้ในการคำนวณ
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์

เลขลำดับความต่างศักย์ไฟฟ้า	เลขลำดับกระแสไฟฟ้า	จำนวนค่าประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์
001	WELA	037
002	FCL1	038
003	RCL2	039
004	+ 1	040
005	+ 2	041
006	=	042
007	PRTN	043
008	1	044
009	EEX	045
010	3	046
011	=	047
012	STOA	047
013	RCL3	048
014	RCL4	049
015	+ 1	050
016	+ 2	051
017	=	052
018	PRTX	053
019	SPC	054
020	STOB	055
021	RCL5	056
022	RCL6	057
023	-	058
024	2	059
025	7	060
026	3	061
027	X	062
028	RCL9	063
029	=	064
030	RCL9	065
031	X	066
032	STOC	067
033	PRTX	068
034	RCLA	069
035	RCL7	070
036	X	071

หน่วยความลึกที่ใช้ในการส่งข้อมูลเข้าเครื่องคำนวณ

- ST01- กระแสไฟฟ้า เริ่มต้น (mA) ST07- ระยะเวลาก (sec)
- ST02- กระแสไฟฟ้าสุดท้าย (mA) ST08- จุดทศนิยม (K)
- ST03- ความต่างศักย์ไฟฟ้า เริ่มต้น (V) ST09- ความดันแก๊ส
- ST04- ความต่างศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย (V)
- ST05- ปริมาตรแก๊สเริ่มต้น (cm³)
- ST06- ปริมาตรแก๊สสุดท้าย (cm³)

ภาคผนวก ฉ

แสดงผลการวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ ฉ. 1

ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน
หน้าที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน ที่ใช้ไปที่ลภาวะ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (%)
20.5	9.25	36000	0.9263
39.7	17.41	36000	0.9536
59.0	25.93	36000	0.9515
83.0	18.32	18	0.9470
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9446

ตารางที่ ฅ.2

ผลการทดลอง วัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยน
ไอออนหนา ที่อุณหภูมิ 308 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน ที่ใช้ไปที่ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
20.1	0.80	3600	0.8573
40.4	17.59	3549	0.9467
59.0	25.88	3600	0.9532
80.0	18.14	1800	0.9220
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9198

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ. 3

ผลการทดลอง วัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนออน
 หนา ที่อุณหภูมิ 313 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน ที่เข้าไปที่ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
20.6	0.844	5.95	1800	0.7232
41.1	0.761	8.84	1800	0.9719
60.5	0.695	14.66	1818	0.8708
81.2	0.632	18.96	1816	0.9031
90.0	0.602	21.16	1800	0.8975
108.2	0.574	24.00	1800	0.8988
121.5	0.522	26.43	1808	0.9653
138.0	0.358	30.60	1800	0.9428
159.2	0.260	33.70	1680	0.9219
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย				0.8995

ตารางที่ ๔

ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่น
แลกเปลี่ยนไอออนที่อุณหภูมิ 323 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน ที่เข้าไปที่ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
20.7	0.877	4.76	1800	0.9073
38.3	0.738	8.98	1800	0.8907
41.0	0.782	10.40	1800	0.8243
60.9	0.724	14.20	1800	0.8966
81.2	0.662	18.83	1800	0.9017
101.1	0.602	23.64	1800	0.8942
121.5	0.536	27.58	1800	0.9211
144.0	0.484	29.77	1711	0.9608
158.0	0.339	22.45	1200	0.9811
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย				0.9086

ตารางที่ ๕

ผลการทดลอง วัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบ
แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบาง ที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน ที่เข้าไปที่สภาวะ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
10.3	2.66	1800	0.8105
20.1	4.76	1800	0.8821
30.2	7.95	1800	0.8935
39.8	8.98	1800	0.9268
50.5	10.99	1800	0.9603
60.9	13.19	1800	0.9656
66.0	14.11	1800	0.9780
76.5	16.77	1800	0.9539
88.0	18.69	1800	0.9844
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9284

ตารางที่ ๖

ผลการทดลอง วั้ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยน
ไอออนบาง ที่อุณหภูมิ 303 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน ที่ใช้ไปที่สภาวะ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
10.0	2.93	1800	0.7131
20.9	4.86	1800	0.8977
31.2	7.42	1800	0.8776
40.5	8.98	1800	0.9419
51.5	11.64	1800	0.9245
59.9	13.56	1800	0.9236
70.3	15.57	1800	0.9430
79.0	17.59	1800	0.9389
87.5	19.51	1812	0.9434
100.0	22.17	1800	0.9430
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9047

ตารางที่ ๗

ผลการทดลอง วัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยน
ไอออนบาง ที่อุณหภูมิ 313 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน ที่เข้าไปที่สภาวะ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
10.1	2.11	1960	1.0855
20.2	4.99	1800	0.8458
30.1	7.24	1800	0.8695
39.7	8.98	1800	0.9244
51.6	11.82	1800	0.9128
59.7	13.47	1800	0.9268
72.8	16.22	1800	0.9379
80.3	17.86	1800	0.9391
90.3	20.52	1800	0.9194
101.0	22.45	1800	0.9407
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9302

ตารางที่ ๘

ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยน
ไอออนบาง ที่อุณหภูมิ 323 เคลวิน

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน ที่ใช้ไปที่สภาวะ STP (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ระยะเวลา (วินาที)	ประสิทธิภาพ แบบฟาราเดย์ (η_F)
10.0	1.97	1801	1.0617
20.2	4.95	1800	0.8515
33.3	7.33	1800	0.9499
30.1	6.69	1800	0.9409
49.6	13.06	1800	0.7935
59.9	13.38	1833	0.9526
70.4	16.12	1800	0.9128
80.3	17.68	1800	0.9488
90.6	20.16	1800	0.9398
102.6	26.75	1809	0.8058
ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยเฉลี่ย			0.9157



นายพิษณุ เจริญล่มศักดิ์ เกิดวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2497 ที่อำเภอเมือง
จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาฟิสิกส์) จาก
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2520 จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท
ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างการศึกษาได้รับทุน
จากโครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ ในปีการศึกษา 2521 - 2522

ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย