



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมเมมเบรน

4.1.1 เมมเบรนที่สร้างโดยใช้ anion exchange resin และแผ่น cellophane

เมมเบรนที่เตรียมโดยวิธีนี้ มีอายุการใช้งานน้อยมาก เพียงประมาณ 2-3 วัน โดยมักจะเกิดการรั่วซึม หรือฉีกขาด สำหรับกระแสและความต่างศักย์ที่ได้ก็ต่ำ และตกเร็วมาก ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อ ๆ ไปจึงไม่ใช้การเตรียมเมมเบรนโดยวิธีนี้อีกต่อไป

4.1.2 เมมเบรนที่สร้างโดยการทำให้ amination แผ่น PVC ด้วยสารผสมระหว่าง hexamethylene diamine กับ chlorobenzene

4.1.2.1 เมื่อใช้ความหนาของ PVC ต่าง ๆ กัน คือ 1.5 ม.ม. 1.0 ม.ม. และ 0.5 ม.ม. ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ใช้สภาวะเดียวกันหมด คือ ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำ amination เท่ากัน

ก. เมื่อใช้ความหนาของ PVC = 1.5 ม.ม.

- ใช้สารละลาย $\text{NaCl} / \text{FeCl}_3$

เมมเบรนที่ได้จากการใช้ PVC หนา 1.5 ม.ม. นี้หนาและแข็งเกินไป การประกอบเข้ากับแผ่นอะครีลิกยากมาก ทำให้แตกหักง่ายในการทดลองจึงต้องทำเมมเบรนซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จึงสามารถประกอบเข้ากับเซลล์ และจากการทดลองพบว่า เมมเบรนที่เตรียมโดยวิธีนี้มีอายุการใช้งานยาวกว่าการใช้เมมเบรนที่เตรียมจากเรซินและ Cellophane มาก โดยมีความคงทนไม่น้อยกว่า 200 ชั่วโมง ส่วนกระแสที่ได้ยังไม่สูงมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมมเบรนที่ได้คุณภาพยังไม่ดีพอ แต่ก็ยังดีกว่าเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้ resin กับ cellophane

ข. เมื่อใช้ความหนาของ PVC = 0.5 ม.ม.

เมมเบรนที่ได้จากการใช้ PVC หนา 0.5 ม.ม. นี้ จะค่อนข้างบางมาก ทำให้มักจะฉีกขาดตั้งแต่ในขั้นตอนการใช้ความร้อนไปชั่วขณะหนึ่ง คือแผ่น PVC นี้จะติดยาขณะที่ใช้ตั้งบนเตาร้อนและไหม้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพลิกบ่อย ๆ และพยายามเอียงภาชนะให้สารละลายสามารถทำปฏิกิริยากับแผ่น PVC ได้ทั่วถึงตลอดทั้งแผ่น นอกจากนี้การที่ไหม้ได้ง่าย ทำให้หลอดหุ่ที่แผ่น PVC ได้รับความเสียหาย และถึงแม้ว่าจะได้พยายามระมัดระวังในการพลิกไม่ให้ฉีกขาด และระวังไม่ให้แผ่น PVC ไหม้แล้วก็ตาม แต่ถ้าให้ความร้อนนาน ๆ จะทำให้แผ่น PVC บางลงมาก จึงทำให้เมมเบรนที่ได้ค่อนข้างบาง ซึ่งผลก็คือ ไม่ทน ร่วนและซึมง่าย

ค. เมื่อใช้ความหนาของ PVC = 1.0 ม.ม.

ผลการทดลอง ปรากฏว่าเมมเบรนที่เตรียมจากการใช้ PVC หนา = 1.0 ม.ม. นี้ สะดวกและง่ายในการเตรียมกว่า กล่าวคือ ในระหว่างการให้ความร้อน ก็สามารถทนความร้อนได้โดยไม่ฉีกขาดง่ายเหมือน PVC หนา 0.5 ม.ม. นอกจากนี้ยังไม่ติดภาชนะ และไหม้ง่ายเหมือน PVC หนา 0.5 ม.ม. และทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของแผ่น PVC ได้ทั่วตลอดทั้งแผ่นและทั้งสองหน้า เพราะถ้าไหม้ง่ายทำให้แผ่น PVC ได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ทำให้ได้เมมเบรนที่ไม่บางเกินไป จึงมีอายุการใช้งานนาน ไม่ร่วนและซึมง่าย

ผลคืออีกประการหนึ่งของการใช้ PVC หนา 1.0 ม.ม.

นี้คือ เมมเบรนที่ได้ไม่หนาและแข็งเกินไป ทำให้ง่ายต่อการประกอบเข้าแผ่นอะครีลิก (ถ้าหนามากจะประกอบให้แน่นและแนบสนิทยากขึ้น) ดังนั้น ในการทดลองหัวข้อต่อไป จึงใช้ PVC หนา 1 ม.ม.

4.1.2.2 เมื่อเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการทำ amination แผ่น PVC โดยทดลองใช้เวลา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมง

4.1.2.3 เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการทำ amination PVC โดยใช้อุณหภูมิ 60°C - 70°C , 70°C - 80°C , 80°C - 90°C ,

ในการทดลองข้อ 4.1.2.2 และ 4.1.2.3 ให้ทำการทดลองไปพร้อม ๆ กัน ได้ผลการทดลองแยกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

ก) ใช้อุณหภูมิ 60°C - 70°C และใช้แผ่น PVC 7 แผ่น

แผ่นที่ 1 ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ผลการทดลอง เมื่อใช้แผ่น PVC ความหนา 1 มม. ทำ amination กับสารละลายดังกล่าวแล้วที่อุณหภูมิ 60° - 70° เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใช้ในรีดอกซ์เซลล์ ปรากฏว่า ไม่มีกระแส และไม่สามารถวัดความต่างศักย์ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า อุณหภูมิที่ใช้และเวลาในการทำ amination น้อยเกินไป ไม่เหมาะสมกับความหนาของ PVC ขนาดนี้

แผ่นที่ 2 ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.8	0.8
10	0.85	0.75
20	0.85	0.75
30	0.80	0.7
40	0.80	0.7
50	0.80	0.7
60	0.80	0.7
2 (ช.ม.)	0.8	0.7
3	0.7	0.65

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
4 (ช.ม.)	0.7	0.65
5	0.7	0.65
6	0.7	0.65
7	0.7	0.65
8	0.5	0.47
9	0.45	0.42
10	0.42	0.41
11	0.40	0.40
12	0.40	0.39
13	0.40	0.39
14	0.40	0.385
15	0.40	0.32
16	0.35	0.32
17	0.35	0.32
18	0.35	0.32
19	0.35	0.32
20	0.32	0.31
21	0.32	0.31
22	0.32	0.31
23	0.32	0.31
24	0.32	0.31
25	0.32	0.31
26	0.32	0.31
27	0.32	0.31
28	0.32	0.31

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
29 (ช.ม.)	0.32	0.31
30	0.30	0.29
54	0.25	0.27
78	0.25	0.24
102	0.25	0.22
126	0.25	0.22
150	0.25	0.22
174	0.25	0.22

ผลการทดลอง เมื่อใช้แผ่น PVC ความหนา 1 มม. ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา 2 ช.ม. แล้วนำมาใช้ในรีดอกซ์เซลล์ปรากฏว่า เมมเบรนมีความคงทนมาก สามารถใช้ได้นานไม่น้อยกว่า 7 วัน โดยไม่เสื่อมสภาพ และสามารถมีกระแส และความต่างศักย์เกิดขึ้น โดยมีค่ากระแสสูงสุด 0.8 mA และความต่างศักย์สูงสุด = 0.85 Volt

แผ่นที่ 3 ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา 3 ช.ม. เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.85	0.8
10	0.85	0.75
20	0.8	0.75
30	0.8	0.75
40	0.8	0.75
50	0.8	0.75
60	0.8	0.75

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
2 (ช.ม.)	0.8	0.75
3	0.8	0.75
4	0.8	0.75
5	0.75	0.75
6	0.75	0.75
7	0.75	0.75
8	0.75	0.75
9	0.6	0.6
10	0.6	0.6
11	0.6	0.6
12	0.6	0.6
13	0.5	0.6
14	0.5	0.55
15	0.5	0.55
16	0.5	0.55
17	0.5	0.55
18	0.45	0.5
19	0.45	0.5
20	0.45	0.5
21	0.45	0.5
22	0.35	0.45
23	0.35	0.45
24	0.35	0.45
48	0.35	0.45
72	0.3	0.4

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
96 (ช.ม.)	0.3	0.4
120	0.3	0.35
144	0.3	0.35
168	0.3	0.35

แผ่นที่ 4 ทำ amination ที่ 60 °C-70 °C เป็นเวลา
4 ช.ม. เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.9	0.85
10	0.9	0.85
20	0.85	0.8
30	0.85	0.8
40	0.85	0.8
50	0.85	0.8
60	0.85	0.8
2 (ช.ม.)	0.80	0.7
3	0.8	0.7
4	0.80	0.7
5	0.80	0.7
6	0.80	0.7
7	0.75	0.7
8	0.75	0.7
9	0.75	0.7
10	0.75	0.7
11	0.75	0.7

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
12 (ช.ม.)	0.7	0.7
13	0.7	0.65
14	0.7	0.65
15	0.7	0.65
16	0.7	0.65
17	0.65	0.65
18	0.65	0.65
19	0.65	0.65
20	0.65	0.6
21	0.65	0.6
22	0.6	0.55
23	0.6	0.55
24	0.6	0.55
48	0.5	0.5
72	0.45	0.45
96	0.45	0.45
120	0.4	0.45
144	0.4	0.45
168	0.4	0.45

แผ่นที่ 5 ทำ amination ที่ $60^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ช.ม. เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	1.0	0.79
10	1.0	0.79

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
20 (นาที)	1.0	0.79
30	0.9	0.79
40	0.9	0.79
50	0.9	0.7
60	0.9	0.7
2 (ข.ม.)	0.9	0.7
2	0.85	0.7
4	0.85	0.7
5	0.8	0.7
6	0.8	0.7
7	0.8	0.7
8	0.75	0.7
9	0.7	0.7
10	0.7	0.65
11	0.7	0.65
12	0.7	0.65
13	0.7	0.65
14	0.7	0.65
15	0.7	0.65
16	0.7	0.65
17	0.7	0.65
18	0.7	0.65
19	0.65	0.65
20	0.65	0.65
21	0.65	0.65

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
22 (ช.ม.)	0.65	0.65
23	0.6	0.65
24	0.6	0.65
48	0.55	0.6
72	0.50	0.55
96	0.50	0.55
120	0.45	0.50
144	0.45	0.50
168	0.45	0.50

แผ่นที่ 6 ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา 6 ช.ม. เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	1.1	0.8
10	1.1	0.8
20	1.1	0.8
30	1.1	0.8
40	1.0	0.8
50	1.0	0.75
60	1.0	0.75
2 (ช.ม.)	1.0	0.75
3	0.9	0.75
4	0.9	0.75
5	0.9	0.75
6	0.85	0.7

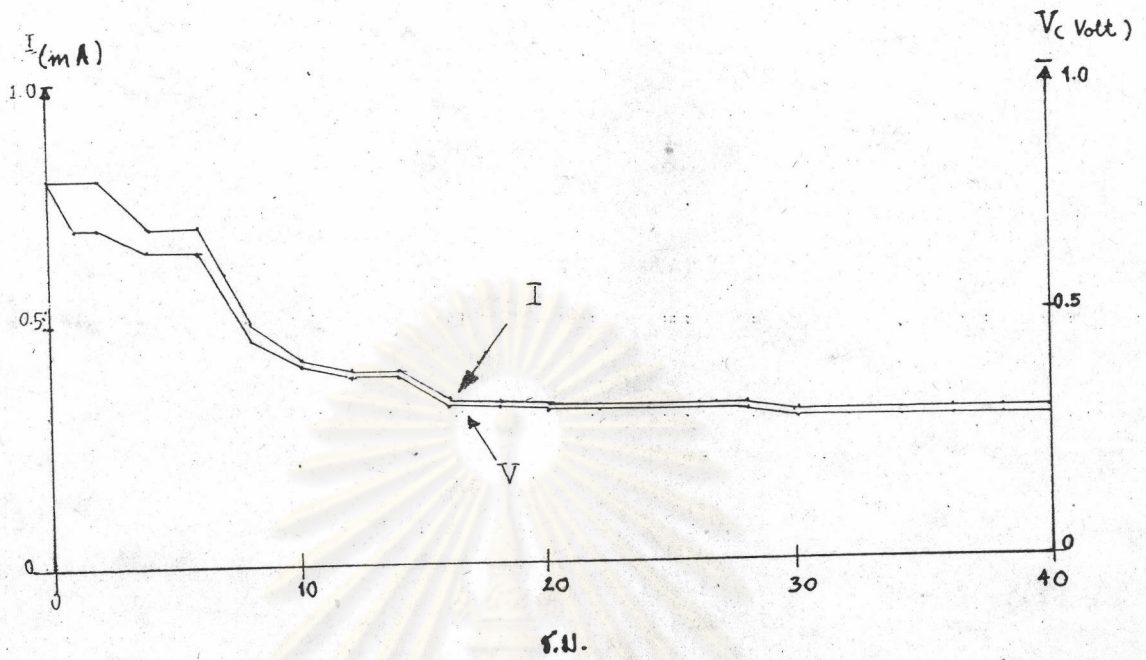
เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (volt)
7 (ช.ม.)	0.85	0.7
8	0.85	0.7
9	0.85	0.7
10	0.85	0.7
11	0.8	0.7
12	0.8	0.7
13	0.8	0.7
14	0.8	0.7
15	0.75	0.65
16	0.75	0.65
17	0.75	0.65
18	0.75	0.65
19	0.75	0.65
20	0.75	0.65
21	0.75	0.65
22	0.75	0.65
23	0.75	0.65
24	0.75	0.65
48	0.7	0.65
72	0.65	0.65
96	0.65	0.55
120	0.6	0.55
144	0.6	0.55
168	0.5	0.55

แผ่นที่ 7 ทำ amination ที่ 60°C - 70°C เป็นเวลา
7 ชม. เมื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าแล้วให้ผลดังต่อไปนี้

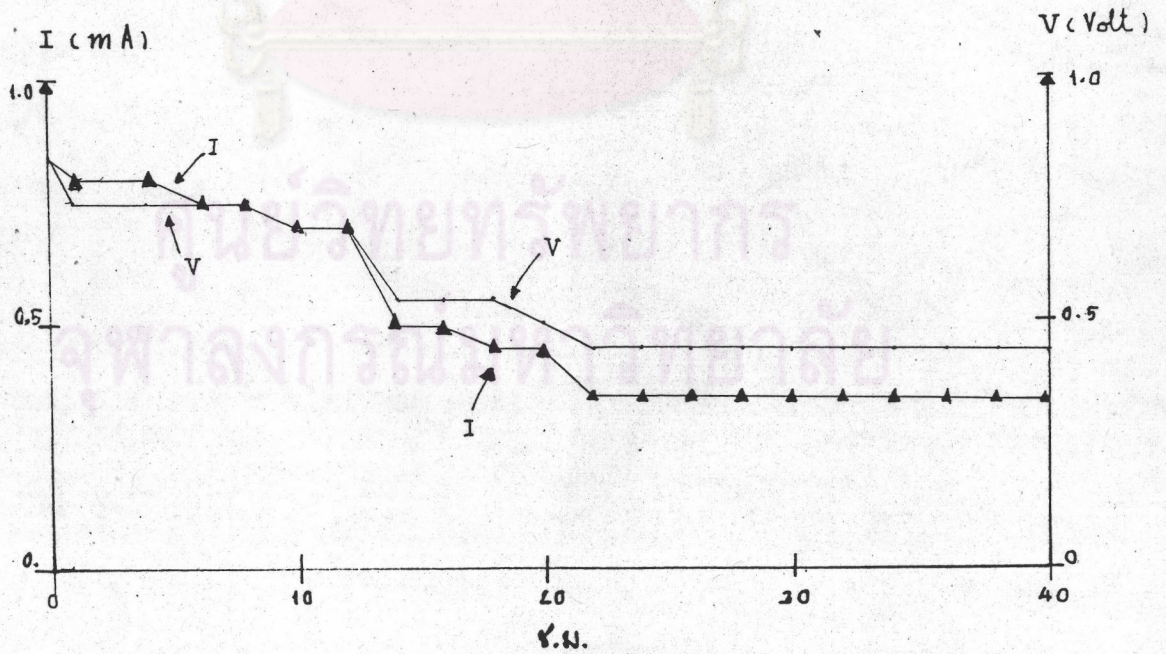
เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	1.25	0.8
10	1.25	0.8
20	1.25	0.8
30	1.2	0.8
40	1.2	0.8
50	1.2	0.8
60	1.15	0.8
2 (ชม.)	1.1	0.75
3	1.1	0.75
4	1.1	0.75
5	1.0	0.75
6	0.9	0.7
7	0.85	0.7
8	0.85	0.7
9	0.85	0.7
10	0.85	0.7
11	0.85	0.7
12	0.85	0.7
13	0.8	0.7
14	0.8	0.7
15	0.75	0.7
16	0.75	0.7
17	0.75	0.7

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
18	0.75	0.7
19	0.75	0.7
20	0.75	0.7
21	0.75	0.7
22	0.75	0.7
23	0.75	0.7
24	0.75	0.7
48	0.7	0.65
72	0.65	0.65
96	0.65	0.65
120	0.6	0.55
144	0.6	0.55
168	0.6	0.55

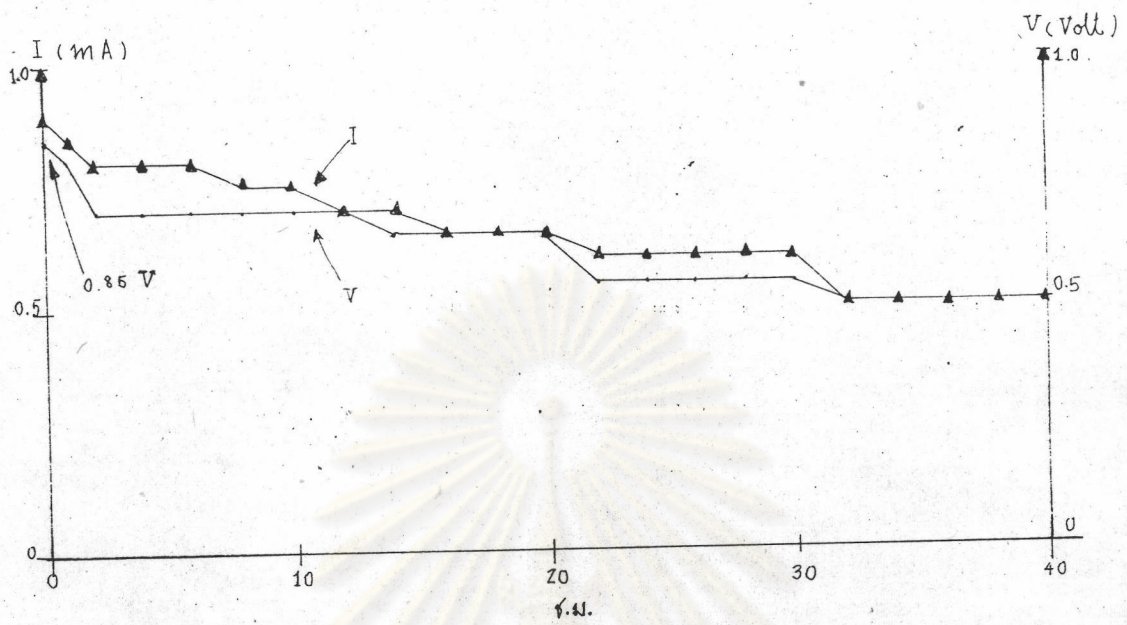
ผลการทดลอง ปรากฏว่าเมมเบรนทุกชั้น มีความคงทนมาก มีอายุการใช้งานมากกว่า 7 วัน และจากการที่ใช้เวลาในการ amination แผ่น PVC ต่าง ๆ กัน พบว่า กระแสจะสูงขึ้น ถ้าใช้เวลาในการ amination นานขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเมื่อเวลานานเพียงพอ ทำให้การ amination PVC กับสารละลาย hexamethylene diamine และ chlorobenzene เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนความต่างศักย์เริ่มแรก ปรากฏว่า ได้ค่าใกล้เคียงกันทุกเซลล์ ไม่ว่าจะใช้เวลาในการ amination มากหรือน้อยก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ความต่างศักย์ขึ้นกับคุณสมบัติของสารละลาย ดังนั้นเมื่อใช้ความเข้มข้นเท่ากันทุกเซลล์ ความต่างศักย์ที่ได้จึงใกล้เคียงกันทุกเซลล์ด้วย แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งกระแสและความต่างศักย์จะลดลง ทั้งนี้เพราะปริมาณไอออนที่จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เหลือน้อยลง เนื่องจาก Cr^{2+} ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ (ในเซลล์) กลายเป็น Cr^{3+} และเมื่อเวลาผ่านไปอีกระยะหนึ่ง กระแสและความต่างศักย์จะคงที่ ทั้งนี้เพราะเกิดสมดุลของไอออนในสารละลายทั้งสองชนิด



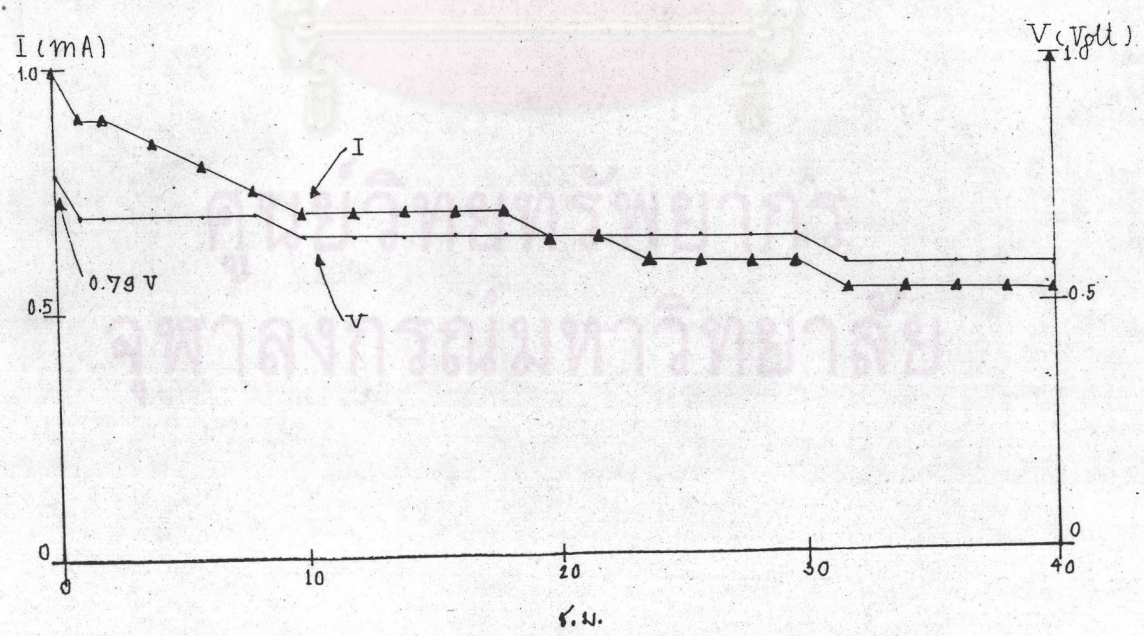
รูป 4.1 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 2 ช.ม.



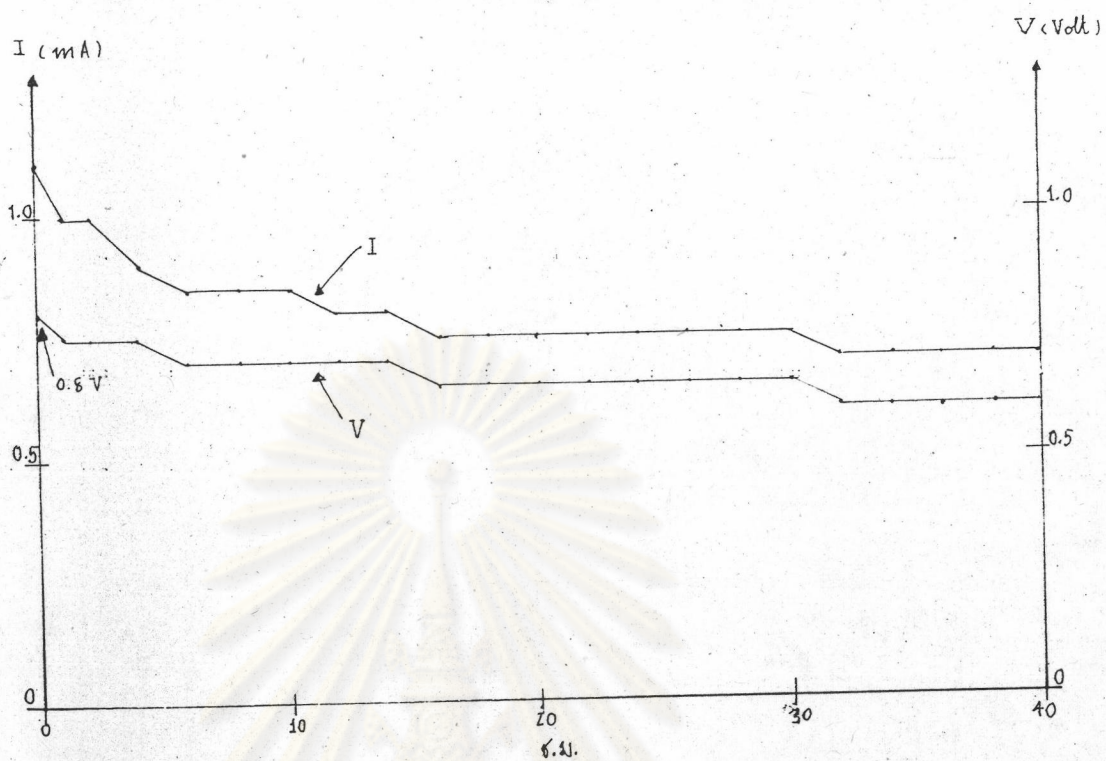
รูป 4.2 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 3 ช.ม.



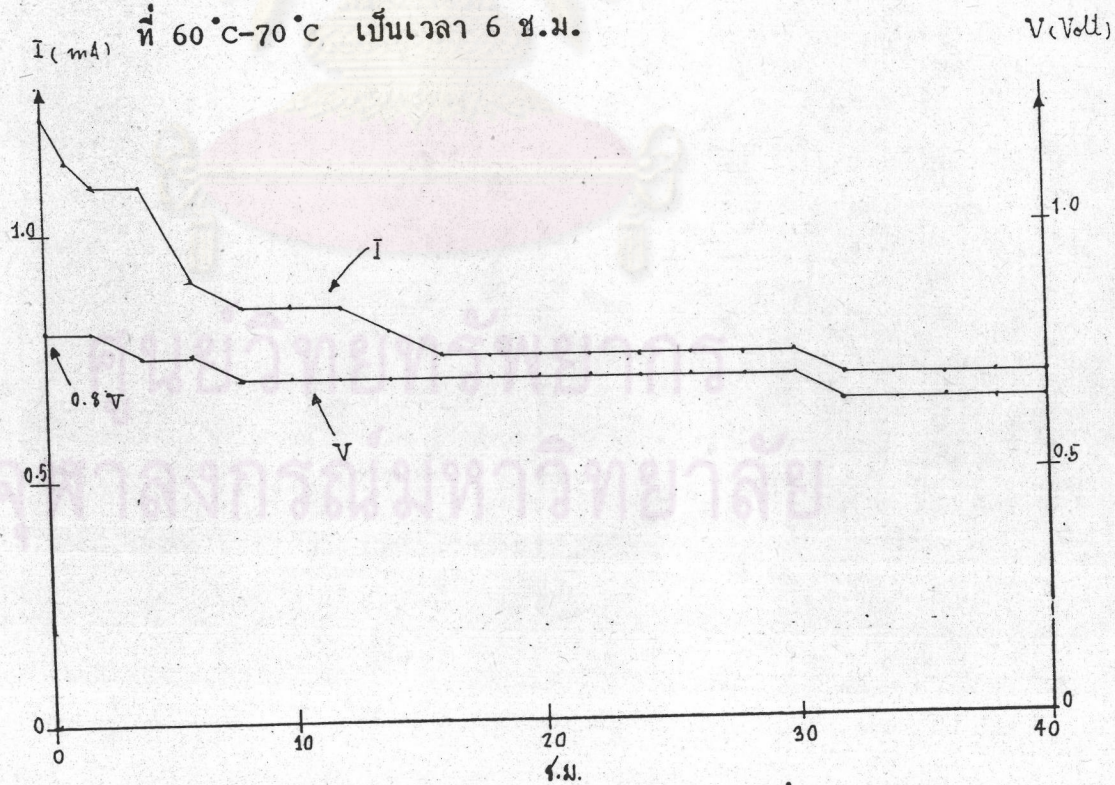
รูป 4.3 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 4 ชม.



รูป 4.4 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 5 ชม.



รูป 4.5 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 6 ช.ม.



รูป 4.6 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อทำ amination ที่ 60°C-70°C เป็นเวลา 7 ช.ม.

ข) ใช้อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$ และใช้แผ่น PVC 7 แผ่น

ผลการทดลอง เมื่อใช้แผ่น PVC ความหนา 1 ม.ม. ทำ amination ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$ ปรากฏว่าแผ่น PVC อ่อนตัวลงมาก และสารผสมของ hexamethylene diamine กับ chlorobenzene ก็ระเหยอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไป (ไม่ถึง 1 ช.ม.) แผ่น PVC ยิ่งขยายตัวยืคออกมาก แต่สารผสมดังกล่าวกลับแห้งลง ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับแผ่น PVC ได้ทั่วถึง และเริ่มทำให้แผ่น PVC ใหม่ ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการทดลองต่อไป ซึ่งการที่เกิดเช่นนี้ขึ้นอาจเป็นเพราะอุณหภูมิสูงเกินไป และเวลาในการให้ความร้อนนานเกินไปสำหรับแผ่น PVC ที่มี ความหนาเพียง 1 ม.ม.

ค) ใช้อุณหภูมิ $80^{\circ}\text{C}-90^{\circ}\text{C}$ และใช้แผ่น PVC 7 แผ่น

ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับในข้อ ข. แต่เกิดขึ้นรุนแรงและรวดเร็วกว่า กล่าวคือ ภายในเวลาไม่ถึง 5 นาที แผ่น PVC ขยายตัวอย่างมาก กลายเป็นแผ่นใหญ่ขึ้น 2 เท่าของขนาดแผ่นเดิมแต่อ่อนตัวลงมาก พร้อมทั้งจะฉีกขาดได้ง่าย และสารผสมของ hexamethylene diamine กับ chlorobenzene ก็ระเหยไปอย่างรวดเร็ว จนแห้งติดภาชนะ ไม่สามารถทำการทดลองได้ต่อไป

ดังนั้นผลในการทดลองข้อ 5.1.2.2 และ 5.1.2.3 จะได้ว่า ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำ amination PVC หนา 1 ม.ม. คือ อุณหภูมิประมาณ $60^{\circ}\text{C}-70^{\circ}\text{C}$ และใช้เวลาประมาณ 6-7 ช.ม.

4.1.2.4 เปรียบเทียบการล้างเมมเบรนโดยใช้ CH_3OH แล้วตามด้วย HCl 1N, 0.001 N กับ ล้างโดยใช้ น้ำกลั่น แล้วตามด้วย HCl 1N, 0.001 N โดยมีสภาวะต่าง ๆ เหมือนกันดังต่อไปนี้

- ใช้ PVC หนา 0.5 ม.ม.
- ใช้อุณหภูมิ $60^{\circ}-70^{\circ}\text{C}$
- ใช้เวลาในการทำ amination 2 ช.ม.
- สารละลาย CrCl_2 0.5 M เตรียมโดยใช้ผงโครเมียม
- สารละลาย FeCl_3 0.5 M เตรียมโดยใช้ $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

6 H_2O

ก) ล้างเมมเบรนโดยใช้น้ำ

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	6.50	0.875
10	6.75	0.926
20	7.25	0.975
30	7.55	1.0
40	7.55	1.0
50	7.55	1.0
60	7.55	1.0
2 (ชม.)	6.75	0.9
3	6.75	0.875
4	6.0	0.8
5	5.5	0.775
6	4.5	0.7
7	4.5	0.7
8	4.5	0.6
9	4.5	0.6
10	4.5	0.6
11	4.5	0.6
12	4.5	0.6
13	4.5	0.6
13	4.5	0.6
14	4.5	0.6
15	4.5	0.6
16	4.5	0.6
17	4.5	0.6



เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
18 (ช.ม.)	4.5	0.6
19	4.5	0.6
20	4.5	0.6
21	4.5	0.6
22	4.5	0.6
23	4.5	0.6
24	4.5	0.6
25	4.5	0.6
26	4.5	0.6
27	4.5	0.6
28	4.5	0.6
29	4.5	0.6
30	4.5	0.6
31	4.5	0.6
32	4.5	0.6
33	4.5	0.6
34	4.5	0.6
35	4.5	0.6
36	4.5	0.6
37	4.5	0.6
38	4.5	0.6
39	4.5	0.6
40	4.5	0.6
41	4.5	0.6
42	4.5	0.6

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
43 (ย.ม.)	4.5	0.6
44	4.5	0.6
45	4.5	0.6
46	4.5	0.6
47	4.5	0.6
48	4.5	0.6
49	4.5	0.6
50	2.5	0.45

ข) ล้างเมมเบรนโดยใช้ CH_3OH

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	22.5	0.75
10	40	0.95
20	55	0.975
30	55	1.0
40	55	1.0
50	55	1.0
60	55	1.0
2 (ข.ม.)	45	0.95
3	40	0.95
4	35	0.95
5	30	0.85
6	30	0.85
7	18.5	0.70
8	10.	0.65

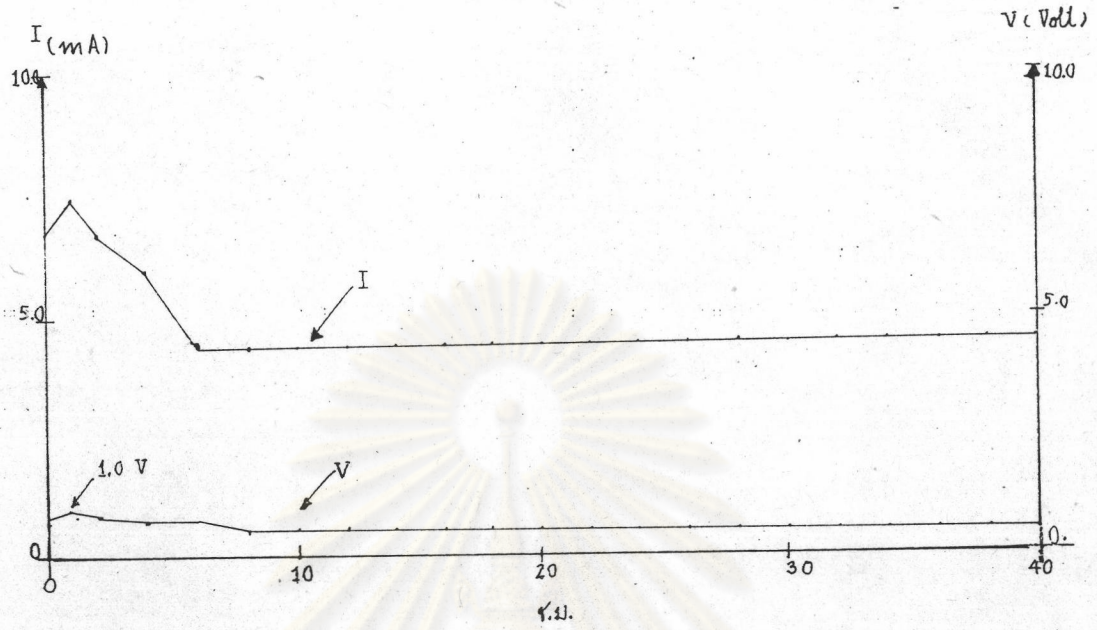
เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
9 (ช.ม.)	10.0	0.60
10	6.5	0.55
11	6.5	0.55
12	6.5	0.55
13	6.5	0.55
14	6.5	0.55
15	6.5	0.55
16	6.5	0.55
17	6.5	0.55
18	6.5	0.55
19	6.5	0.55
20	6.5	0.55
21	6.5	0.55
22	6.5	0.55
23	6.5	0.55
24	6.5	0.55
25	6.5	0.55
26	6.5	0.55
27	6.5	0.55
28	6.5	0.55
29	6.5	0.55
30	6.5	0.55
31	6.5	0.55
32	6.5	0.55
33	6.5	0.55

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
34 (ช.ม.)	6.5	0.55
35	6.5	0.55
36	6.5	0.55
37	6.5	0.55
38	6.5	0.55
39	6.5	0.55
40	6.5	0.55
41	6.5	0.55
42	6.5	0.55
43	6.5	0.55
44	6.5	0.55
45	6.5	0.55
46	6.5	0.55
47	6.5	0.55
48	6.5	0.55
49	6.5	0.55
50	6.5	0.2

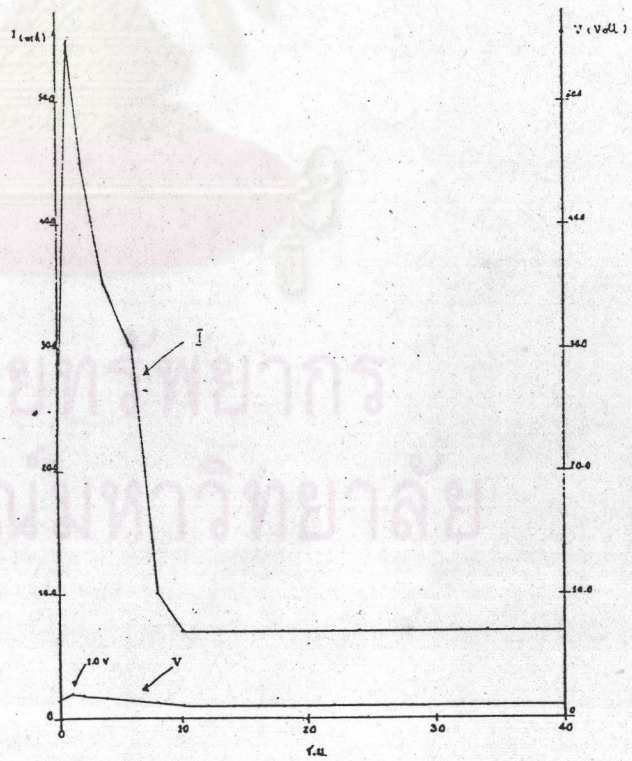
ผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ถ้าความต่างศักย์จะได้ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 1 Volt ($V_{\max} = 1 \text{ Volt}$) แต่ค่ากระแสจะได้แตกต่างกันมาก กล่าวคือ ถ้าใช้ CH_3OH จะให้กระแสสูงสุด ประมาณ 55 mA มากกว่าการใช้น้ำกลั่น ซึ่งให้กระแสสูงสุดเพียงประมาณ 7 mA

ดังนั้นในการทดลองหัวข้อต่อ ๆ ไป จะใช้ CH_3OH

เป็นหัวล้างเมมเบรน



รูป 4.7 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อล้างเมมเบรน
โดยใช้น้ำกลั่น



รูป 4.8 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อล้างเมมเบรน
โดยใช้ CH_3OH

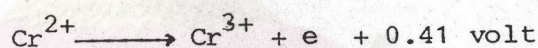
4.2 สารละลายสำหรับสะสมพลังงาน (CrCl_2 , FeCl_3)

4.2.1 การเตรียม

สำหรับสารละลาย CrCl_2

4.2.1.1 เตรียมโดยใช้ผงโครเมียมกับ HCl (dil) ในภาชนะปิด

ผลการทดลอง ปรากฏว่าสารละลายที่ได้จากการเตรียม โดยวิธีนี้ จะมีสีน้ำเงิน ซึ่งแสดงว่า มี Cr^{2+} เกิดขึ้นมาก โดยอาจจะมี Cr^{3+} ปนอยู่บ้าง แต่ไม่มากนัก สารละลายที่ได้จึงยังเป็นสีน้ำเงินสดใส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ เมื่อเตรียมในภาชนะที่ปิด ทำให้สารละลายสัมผัสกับอากาศน้อยลง ดังนั้น Cr^{2+} จึงถูก ออกซิไดส์ด้วยอากาศน้อยลงด้วย ซึ่งถ้าเตรียมโดยใช้ผงโครเมียม กับ HCl (dil) ในภาชนะเปิด จะได้สารละลายสีเขียวอมฟ้า ซึ่งแสดงว่า มี CrCl_3 เกิดขึ้นมาก เพราะโดยปกติ Cr^{2+} จะมีสีน้ำเงินสวย (beautiful blue) และ Cr^{3+} จะมี สีเขียว แต่ Cr^{2+} นี้เมื่ออยู่ในสภาพสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และมีอากาศ อยู่ด้วย จะถูกออกซิไดส์ ด้วยออกซิเจนจากอากาศ โดย



นอกจากนี้ Cr^{2+} ยังสามารถถูกออกซิไดส์ด้วย H^+ อีกด้วย แต่กรณีนี้เกิดได้ช้ากว่า ดังนั้นสารละลายที่ได้จากการเตรียมในภาชนะเปิดจึงมี โอกาสเกิด Cr^{3+} ปนอยู่มาก ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นสารละลายสำหรับสะสมพลังงานแล้ว จะทำให้ไม่ได้ผลดี

แต่สารละลายที่ได้จากการเตรียมในภาชนะปิด เมื่อนำไป ใช้ในรีดอกซ์เซลล์ ผลปรากฏว่าเซลล์ให้กระแสและความต่างศักย์สูงกว่ามาก คือ กระแสสูงสุดได้ = 55 mA ความต่างศักย์สูงสุด = 1.0 Volt ดังตารางต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	22.5	0.75
10	40.	0.95
20	55	0.975
30	55	1.0
40	55	1.0
50	55	1.0
60	55	1.0
2 (ช.ม.)	45	0.95
3	40	0.95
4	35	0.95
5	30	0.85
6	30	0.85
7	18.5	0.7
8	10	0.65
9	10	0.60
10	6.5	0.55
11	6.5	0.55
12	6.5	0.55
13	6.5	0.55
14	6.5	0.55
15	6.5	0.55
16	6.5	0.2
17	6.5	0.2
18	6.5	0.2
19	6.5	0.2

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
20 (ช.ม.)	6.5	0.2
21	6.5	0.2
22	6.5	0.2
23	6.5	0.2
24	6.5	0.2
25	6.5	0.2
26	6.5	0.2
27	6.5	0.2
28	6.5	0.2
29	6.5	0.2
30	6.5	0.2
31	6.5	0.2
32	6.5	0.2
33	6.5	0.2
34	6.5	0.2
35	6.5	0.2
36	6.5	0.2
37	6.5	0.2
38	6.5	0.2
39	6.5	0.2
40	6.5	0.2
41	6.5	0.2
42	6.5	0.2
43	6.5	0.2
44	6.5	0.2

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
45 (ช.ม.)	6.5	0.2
46	6.5	0.2
47	6.5	0.2
48	6.5	0.2
49	6.5	0.2
50	6.5	0.2

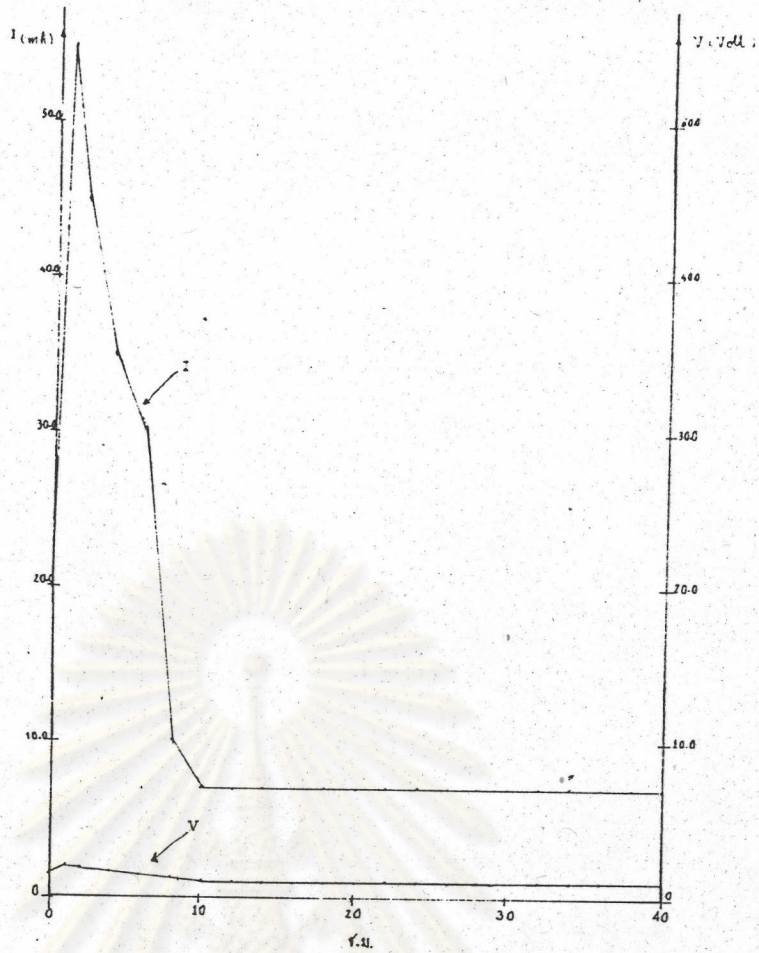
4.2.1.2 เตรียมโดยใช้ผลึก $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ละลายน้ำได้ผลดังนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	5.0	0.70
10	5.5	0.75
20	5.5	0.75
30	7.0	0.75
40	6.5	0.75
50	5.5	0.75
60	5.0	0.65
2 (ช.ม.)	5.0	0.65
3	5.0	0.65
4	5.0	0.65
5	5.0	0.65
6	5.0	0.65
7	5.0	0.65
8	5.0	0.65
9	5.0	0.65
10	5.0	0.65

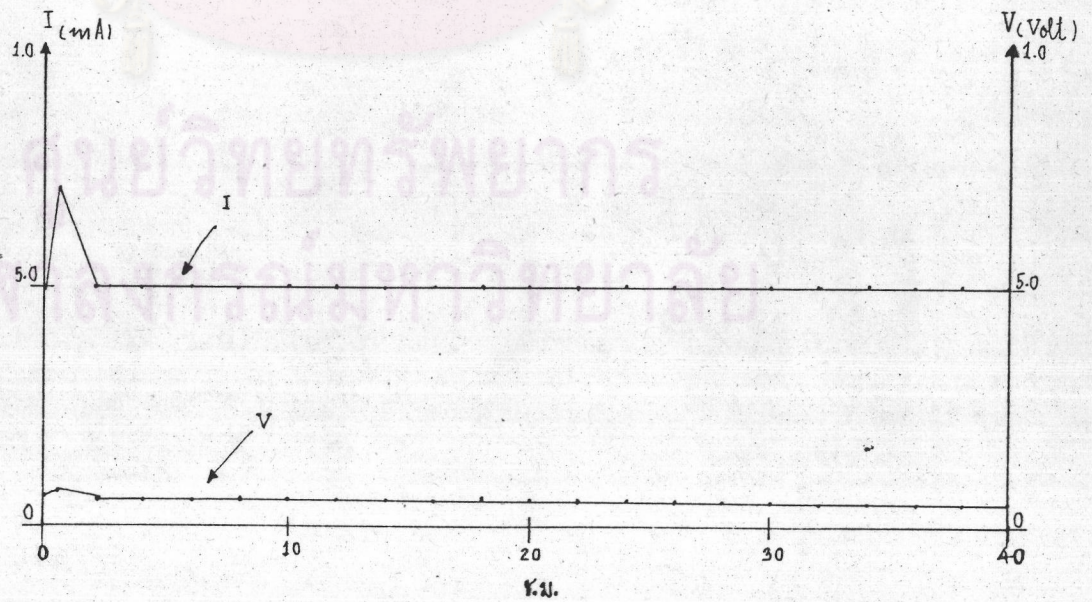
เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
11 (ช.ม.)	5.0	0.65
12	5.0	0.65
13	5.0	0.65
14	5.0	0.65
15	5.0	0.65
16	5.0	0.65
17	5.0	0.65
18	5.0	0.65
19	5.0	0.65
20	5.0	0.65
21	5.0	0.65
22	5.0	0.65
23	5.0	0.65
24	5.0	0.65
25	5.0	0.65
24	5.0	0.65
25	5.0	0.65
26	5.0	0.65
27	5.0	0.65
28	5.0	0.65
29	5.0	0.65
30	5.0	0.65
31	5.0	0.65
32	5.0	0.65
33	5.0	0.65

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
34 (ช.ม.)	5.0	0.65
35	5.0	0.65
36	5.0	0.65
37	5.0	0.65
38	5.0	0.65
39	5.0	0.65
40	5.0	0.65
41	5.0	0.65
42	5.0	0.65
43	5.0	0.65
44	5.0	0.65
45	5.0	0.65
46	5.0	0.65
47	5.0	0.65
48	5.0	0.65
49	5.0	0.65
50	5.0	0.65

ผลการทดลอง ปรากฏว่า กระแสและความต่างศักย์ ไม่สูงเท่าที่ควร ทั้ง ๆ ที่ความจริงแล้วการเตรียมโดยใช้ผงโครเมียม และระวังไม่ให้ ถูกอากาศมาก กับการเตรียมโดยใช้ผลึก $\text{CrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ มาละลายน้ำ ควรจะได้ กระแสและความต่างศักย์ใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองปรากฏว่า เตรียมโดยใช้ผลึก $\text{CrCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ มาละลายน้ำให้ผลต่ำกว่ามาก และสารละลายที่ได้ มีสีเขียว ทั้ง ๆ ที่ควรจะเป็นสีน้ำเงินสด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่ซื้อมาเก่ามาก การปอกฉีกอาจจะเสื่อม หรือไม่มิดชิดพอ ทำให้ Cr^{2+} ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจน



รูป 4.9 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อเตรียม CrCl_2 โดยใช้ผงโครเมียมในภาชนะปิด



รูป 4.10 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อเตรียม CrCl_2 โดยใช้ผลึก $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ละลายน้ำ

จากอากาศกลายเป็น Cr^{3+} จึงมีสีเขียว ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในรีดอกซ์เซลล์ จึงทำให้กระแสและความต่างศักย์น้อยมาก (ปัจจุบัน $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ไม่มีผู้สั่งมาจำหน่ายในประเทศไทย)

4.2.2 ผลการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายที่ใช้สะสมพลังงาน

จากการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.5 M, 1 M, 4 M, 6 M และ 8 M นำมาใช้ในเซลล์ที่มีเมมเบรนที่เตรียมจาก PVC ทหนา 1 ม.ม. ทำ amination โดยใช้อุณหภูมิ 60°C - 70°C และใช้เวลาประมาณ 7 ช.ม. ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

ก) ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 0.5 M

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	5.5	0.7
10	6.0	0.75
20	6.0	0.75
30	6.5	0.75
40	6.0	0.75
50	5.5	0.75
60	5.	0.7
2 (ช.ม.)	5.0	0.65
3	5.0	0.65
4	5.0	0.65
5	5.0	0.65
6	5.0	0.65
7	5.0	0.65
8	5.0	0.65
9	5.0	0.65
10	5.0	0.65

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
11 (ข.ม.)	5.0	0.65
12	5.0	0.65
13	5.0	0.65
14	5.0	0.65
15	5.0	0.65
16	5.0	0.65
17	5.0	0.65
18	5.0	0.65
19	5.0	0.65
20	5.0	0.65
21	5.0	0.65
22	5.0	0.65
23	5.0	0.65
24	5.0	0.65
48	5.0	0.65
72	5.0	0.65

ข) ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 1. M ได้ผลดัง

ต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	7.0	0.8
10	7.0	0.75
20	7.0	0.75
30	7.0	0.75
40	7.0	0.75
50	7.0	0.75



เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
60 (นาที)	7.0	0.70
2 (ช.ม.)	7.0	0.70
3	7.0	0.70
4	6.0	0.70
5	7.0	0.70
6	7.0	0.6
7	7.0	0.65
8	7.0	0.65
9	7.0	0.6
10	7.0	0.6
11	7.0	0.6
12	7.0	0.6
13	7.0	0.6
14	7.0	0.4
15	7.0	0.4
16	7.0	0.4
17	7.0	0.4
18	7.0	0.4
19	7.0	0.4
20	7.0	0.4
21	7.0	0.4
22	7.0	0.4
23	7.0	0.4
24	7.0	0.4
48	7.0	0.4
72	7.0	0.4

ค) ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 4 M ได้ผลดังต่อ

ต่อไปนี้

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	18.5	0.82
10	15.5	0.80
20	15.5	0.75
30	15.4	0.75
40	15.3	0.75
50	15.2	0.75
60	15.0	0.75
2 (ชม.)	13.0	0.75
3	13.0	0.70
4	13.0	0.70
5	12.00	0.70
6	11.0	0.70
7	11.0	0.65
8	11.0	0.65
9	9.0	0.65
10	9.5	0.6
11	9.5	0.6
12	8.0	0.6
13	8.0	0.5
14	7.5	0.5
15	7.5	0.5
16	7.5	0.5
17	7.5	0.5

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
18 (ช.ม.)	7.5	0.5
19	7.5	0.5
20	7.5	0.5
21	7.5	0.5
22	7.5	0.5
23	7.5	0.5
24	7.5	0.5
48	7.0	0.5
72	7.0	0.45

ง) ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 6 M

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	19.2	0.85
10	19.0	0.80
20	18.0	0.80
30	18.0	0.75
40	17.5	0.75
50	16.5	0.75
60	15.5	0.75
2 (ช.ม.)	14.5	0.75
3	14.5	0.75
4	14.5	0.70
5	14.0	0.70
6	13.0	0.70
7	12.0	0.70

เวลา	กระแส (mA)	ความต่างศักย์ (Volt)
8 (ข.ม.)	11.0	0.70
9	11.0	0.65
10	10.0	0.65
11	9.0	0.50
12	8.5	0.50
13	8.0	0.55
14	7.5	0.55
15	7.5	0.55
16	7.5	0.55
17	7.5	0.55
18	7.5	0.55
19	7.5	0.55
20	7.5	0.55
21	7.5	0.55
22	7.5	0.55
23	7.5	0.55
24	7.0	0.55
48	7.0	0.55
72	7.0	0.55

จ) ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 8 M

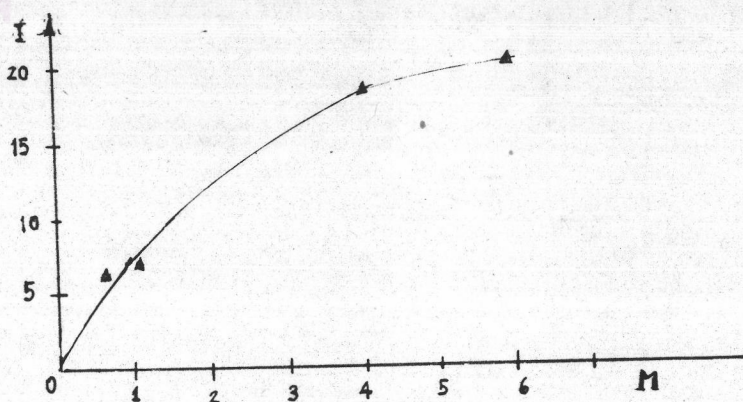
ผลการทดลอง ปรากฏว่าจากการเตรียมสารละลาย $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 8 M จะได้สารละลายที่ข้นและเหนียวมาก เพราะต้องใช้ $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หนักถึง 461.8 กรัม แล้วจึงเติมน้ำจนได้สารละลาย 250 ซี.ซี สารละลายที่ได้จึงข้นและเหนียวเกินไป ไม่สามารถนำมาทดลองในรีดอกซ์เซลล์ได้

แต่สำหรับ $8 \text{ M FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ สามารถเตรียมได้ แต่สารละลายที่ได้จะยังมี FeCl_3 ตกตะกอนอยู่ประมาณ $\frac{3}{5}$ ของสารละลายทั้งหมด

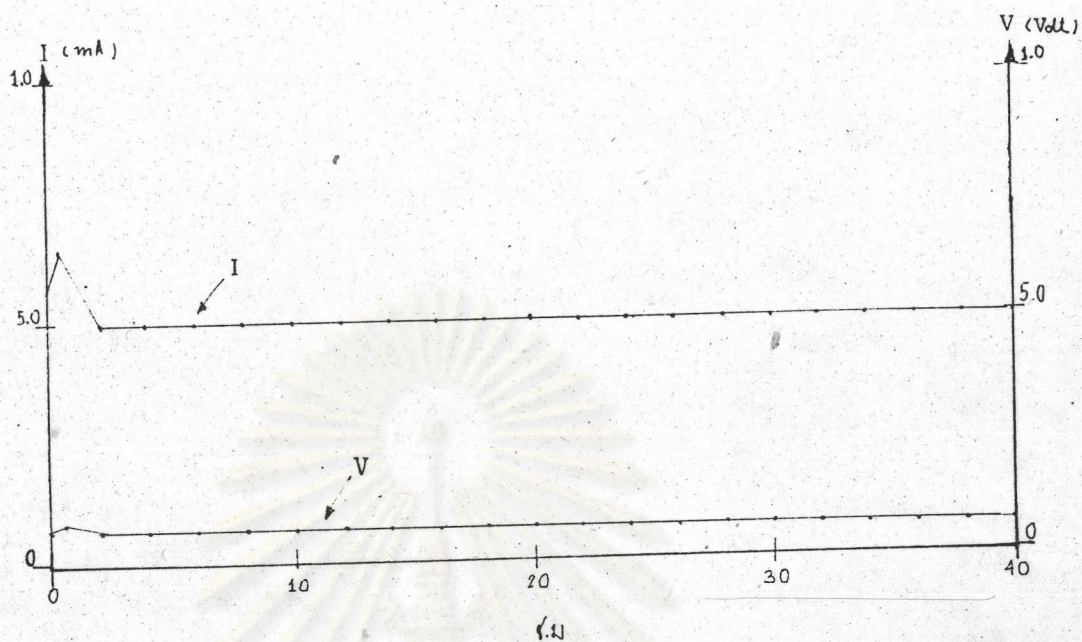
จากการทดลองใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ กันนี้ สรุปผลได้ว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นสูงขึ้น จะได้กระแสเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนความต่างศักย์ก็เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย กล่าวคือ

เมื่อความเข้มข้น	0.5 M	จะได้	$I_{\text{max}} = 6.5 \text{ mA}$,	$V_{\text{max}} = 0.75 \text{ V}$
"	1.0 M	"	$I_{\text{max}} = 7 \text{ mA}$,	$V_{\text{max}} = 0.8 \text{ V}$
"	4 M	"	$I_{\text{max}} = 18.5 \text{ mA}$,	$V_{\text{max}} = 0.82 \text{ V}$
"	6 M	"	$I_{\text{max}} = 19.2 \text{ mA}$,	$V_{\text{max}} = 0.85 \text{ V}$

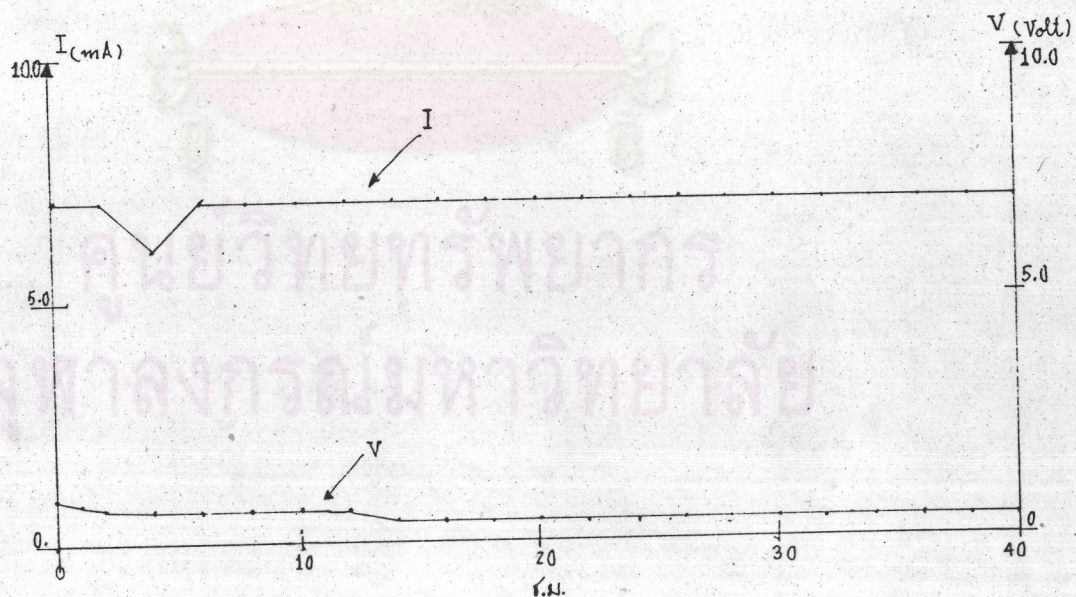
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นสูงขึ้น จะได้กระแสสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะกระแสจะมากหรือน้อย นอกจากจะขึ้นกับพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลาย และปริมาณของเซลล์ที่ใช้สารละลายแล้ว ยังขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ เนื่องจากเมื่อมีความเข้มข้นมาก ก็จะมีไอออนมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนได้มาก จึงเกิดกระแสไฟฟ้าได้มาก กล่าวคือ Cr^{2+} จะสูญเสียอิเล็กตรอนให้แก่อิเล็กโทรด และอิเล็กตรอนนี้จะไหลผ่านลวดตัวนำไปยังอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่งที่จมอยู่ในสารละลาย FeCl_3 ซึ่งจะรีดิวส์ให้ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งถ้าอัตราการไหลของสารละลายเข้ามาสู่เซลล์ และออกจากเซลล์คงที่ กระแสไฟฟ้าที่ได้ย่อมคงที่ด้วย



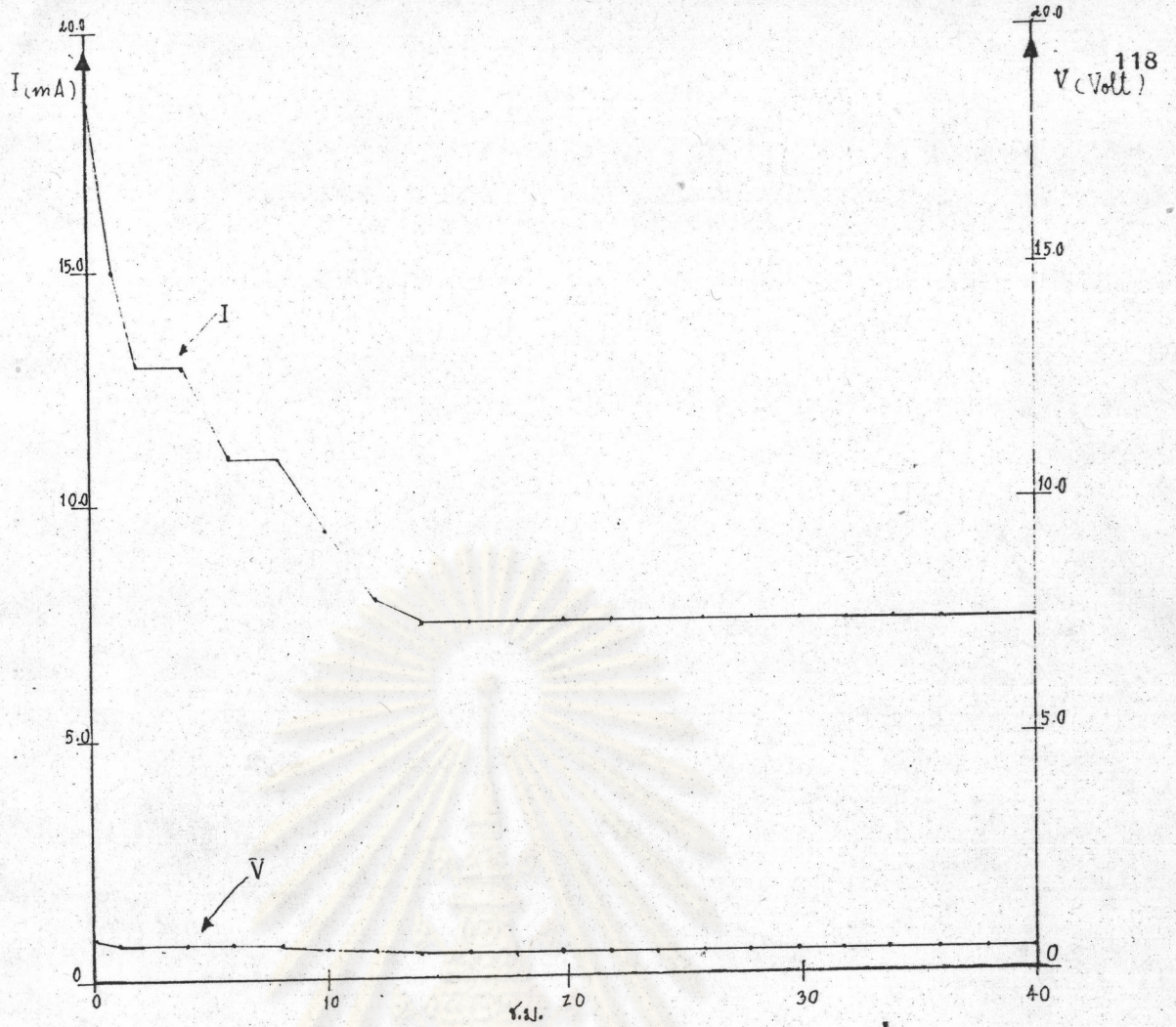
รูป 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้



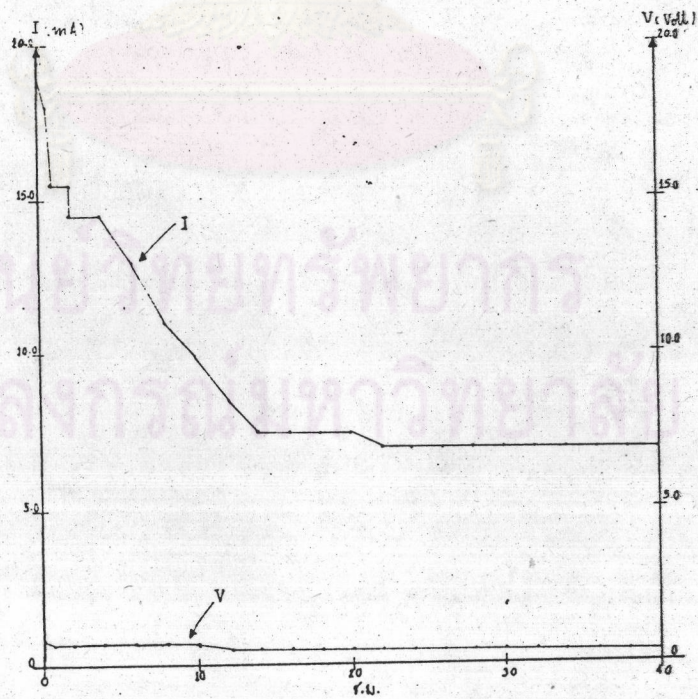
รูป 4.12 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 0.5 M



รูป 4.13 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 1.0 M



รูป 4.14 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 4.0 M



รูป 4.15 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิด = 6.0 M

4.3 อิเล็กโทรด

4.3.1 เมื่อทดลองโดยใช้อิเล็กโทรดเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดรัศมี = 2 ซม. และสูง 4 ซม. และทดลองโดยใช้อิเล็กโทรดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดต่าง ๆ กัน 3 ขนาด คือ กว้าง × ยาว × สูง = $6.5 \times 4 \times 1$ ซม.³, $5 \times 4 \times 1$ ซม.³ และ $3.5 \times 4 \times 1$ ซม.³ โดยทั้งหมดนี้ภายใต้สภาวะเดียวกันดังต่อไปนี้ คือ

ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย = 0.5 M (เตรียมจากผงโครเมียม)

ใช้ PVC หนา 1 มม.

ใช้อุณหภูมิในการทำ amination = 60 °C-70 °C

ใช้เวลาในการทำ amination = 7 ชม.

เมมเบรนที่ใช้ล้างโดยใช้ CH_3OH และทำปฏิกิริยากับ HCl 1N และ 0.001 N HCl ตามลำดับ

ให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ก) ใช้อิเล็กโทรดรูปทรงกระบอก ให้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.035	0.70
10	0.035	0.70
20	0.035	0.70
30	0.035	0.70
40	0.035	0.70
50	0.035	0.70
60	0.035	0.70
2 (ชม.)	0.035	0.70
3	0.035	0.70
4	0.035	0.70
5	0.035	0.70
6	0.035	0.70
7	0.035	0.70

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
8 (ช.ม.)	0.035	0.70
9	0.035	0.70
10	0.035	0.70
11	0.030	0.65
12	0.030	0.65
13	0.030	0.65
14	0.030	0.65
15	0.030	0.65
16	0.030	0.65
17	0.030	0.65
18	0.030	0.65
19	0.030	0.65
20	0.030	0.65
21	0.030	0.65
22	0.030	0.65
23	0.030	0.65
24	0.030	0.65

ข) ใช้อิเล็กโทรดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $6.5 \times 4 \times 1$ ซม.³ ให้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.055	0.84
10	0.055	0.84
20	0.055	0.84
30	0.055	0.84
40	0.055	0.84

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (volt)
50 (นาที)	0.055	0.84
60	0.055	0.84
2 (ช.ม.)	0.055	0.84
3	0.055	0.84
4	0.055	0.84
5	0.055	0.84
6	0.055	0.84
7	0.055	0.84
8	0.055	0.80
9	0.055	0.80
10	0.055	0.80
11	0.050	0.80
12	0.050	0.80
13	0.050	0.75
14	0.050	0.75
15	0.050	0.75
16	0.050	0.75
17	0.050	0.75
18	0.050	0.75
19	0.050	0.75
20	0.050	0.75
21	0.050	0.75
22	0.050	0.75
23	0.050	0.75
24	0.050	0.75

ก) ไซลิเล็กโทรครุปีสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $5 \times 4 \times 1$ ซม.³ ให้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาท)	0.025	0.69
10	0.025	0.69
20	0.025	0.69
30	0.025	0.69
40	0.025	0.69
50	0.025	0.69
60	0.025	0.69
2 (ชม.)	0.025	0.69
3	0.025	0.69
4	0.025	0.69
5	0.025	0.69
6	0.025	0.69
7	0.025	0.69
8	0.025	0.69
9	0.025	0.69
10	0.025	0.69
11	0.025	0.69
12	0.025	0.69
13	0.020	0.60
14	0.020	0.60
15	0.020	0.60
16	0.020	0.60
17	0.020	0.60
18	0.020	0.60

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
19 (ช.ม.)	0.020	0.60
20	0.020	0.60
21	0.020	0.60
22	0.020	0.60
23	0.020	0.60
24	0.020	0.60

ง) ใช้อิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยมแผ่นผ้า ขนาด $3.5 \times 4 \times 1$ ซม.³ ได้ผลดังต่อไปนี้

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (Volt)
0 (นาที)	0.010	0.60
10	0.015	0.60
20	0.020	0.60
30	0.020	0.60
40	0.020	0.60
50	0.020	0.60
60	0.020	0.60
2 (ช.ม.)	0.020	0.55
3	0.020	0.55
4	0.020	0.55
5	0.020	0.55
6	0.020	0.55
7	0.020	0.55
8	0.020	0.55
9	0.020	0.55
10	0.020	0.55

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (volt)
11 (ช.ม.)	0.020	0.55
12	0.015	0.50
13	0.015	0.50
14	0.015	0.50
15	0.015	0.50
16	0.015	0.50
17	0.015	0.50
18	0.015	0.50
19	0.015	0.50
20	0.015	0.50
21	0.015	0.50
22	0.015	0.50
23	0.015	0.50
24	0.015	0.50

ผลการทดลอง จะเป็นผลจากการมีพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดส่วนที่สัมผัสกับสารละลาย
แตกต่างกัน กล่าวคือ

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่ผิวของทรงกระบอก} &= 2\pi r h + \pi r^2 \\
 &= 2 \times \frac{22}{7} \times 2 \times 4 + \frac{22}{7} \times 2^2 \\
 &= 62.85 \quad \text{ซ.ม.}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่ผิวของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด } 6.5 \times 4 \times 1 \text{ ซ.ม.}^3 & \\
 &= \text{พื้นที่} \square \text{ ใหญ่ } 2 \text{ ด้าน} + \text{พื้นที่} \square \text{ ด้านข้าง } 2 \text{ ด้าน} + \\
 &\quad \text{พื้นที่} \square \text{ ด้านกัน } 1 \text{ ด้าน} \\
 &= (6.5 \times 4) 2 + (1 \times 4) 2 + (1 \times 6.5) \\
 &= 66.5 \quad \text{ซ.ม.}^2
 \end{aligned}$$

พื้นที่ผิวของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $5 \times 4 \times 1$ ซม.³

$$= (5 \times 4)^2 + (1 \times 4)^2 + (1 \times 5)^2$$

$$= 49 \quad \text{ซม.}^2$$

พื้นที่ผิวของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $3.5 \times 4 \times 1$

$$= (3.5 \times 4)^2 + (1 \times 4)^2 + (1 \times 3.5)^2$$

$$= 35.5 \quad \text{ซม.}^2$$

จากผลการทดลองปรากฏว่า อิเล็กโทรดแต่ละขนาด จะให้ผลแตกต่างกัน คือ

รูปทรงกระบอกรัศมี 2 ซม. สูง 4 ซม. จะได้ค่า กระแสสูงสุด = 0.035 A

$$\text{ความต่างศักย์สูงสุด} = 0.70 \text{ Volt}$$

รูป □ ขนาด $6.5 \times 4 \times 1$ ซม.³

จะได้ค่า กระแสสูงสุด = 0.055 A

$$\text{ความต่างศักย์สูงสุด} = 0.84 \text{ Volt}$$

รูป □ ขนาด $5 \times 4 \times 1$ ซม.³

จะได้ค่า กระแสสูงสุด = 0.025 A

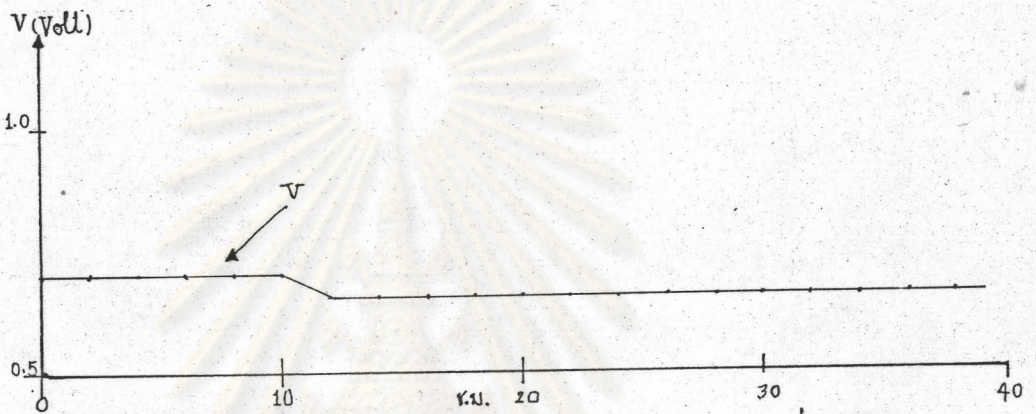
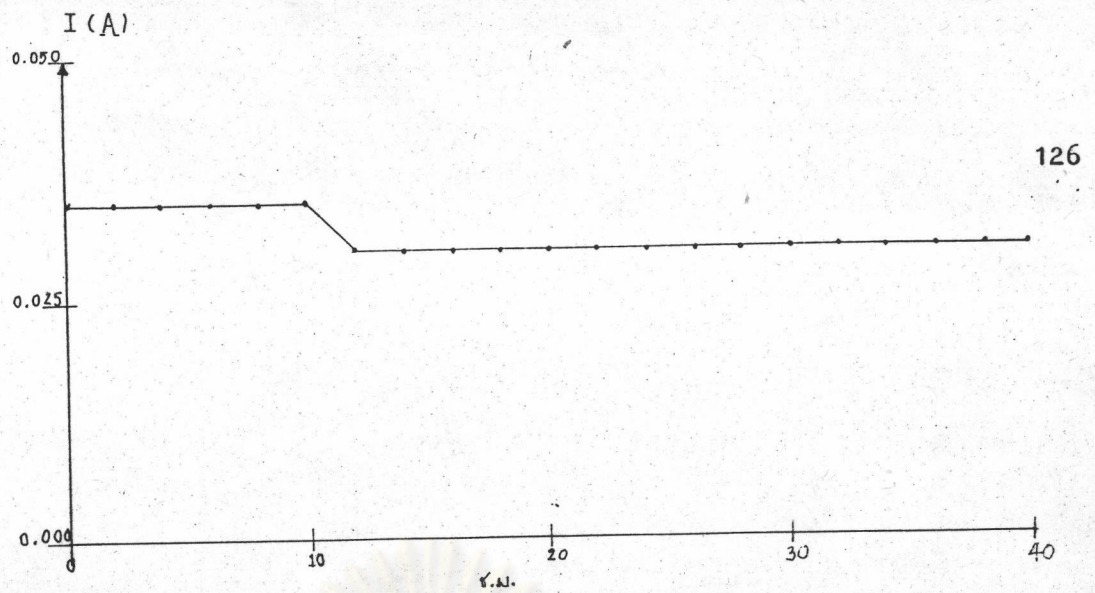
$$\text{ความต่างศักย์สูงสุด} = 0.69 \text{ Volt}$$

รูป □ ขนาด $3.5 \times 4 \times 1$ ซม.³

จะได้ค่า กระแสสูงสุด = 0.015 A

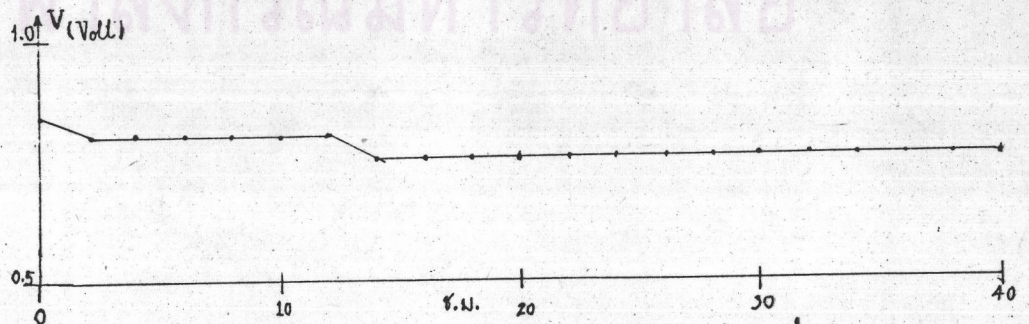
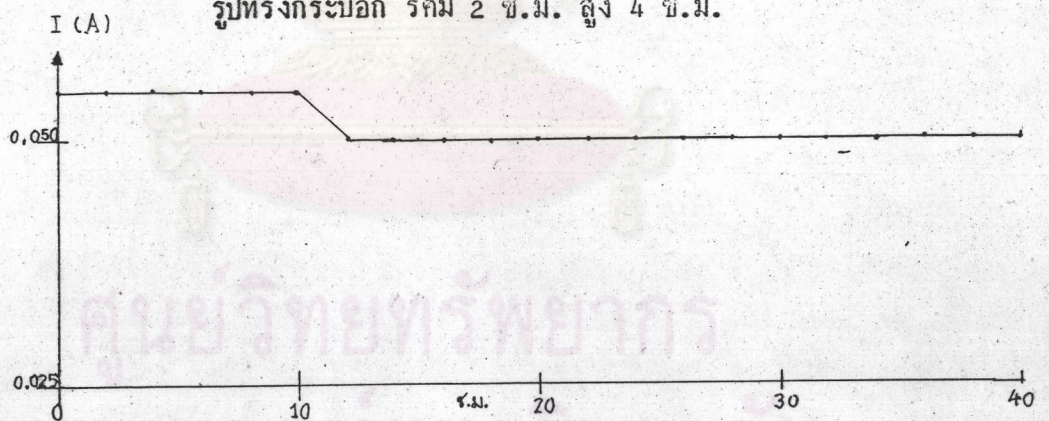
$$\text{ความต่างศักย์สูงสุด} = 0.6 \text{ Volt}$$

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า อิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายมากที่สุด จะทำให้ได้กระแสสูงสุด และความต่างศักย์สูงสุดด้วย ทั้งนี้เพราะ เมื่อพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลายมาก จะทำให้ไอออนมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้มาก ทำให้เกิดกระแสได้มากด้วย การทดลองนี้จึงได้ผลสอดคล้องกับทฤษฎี



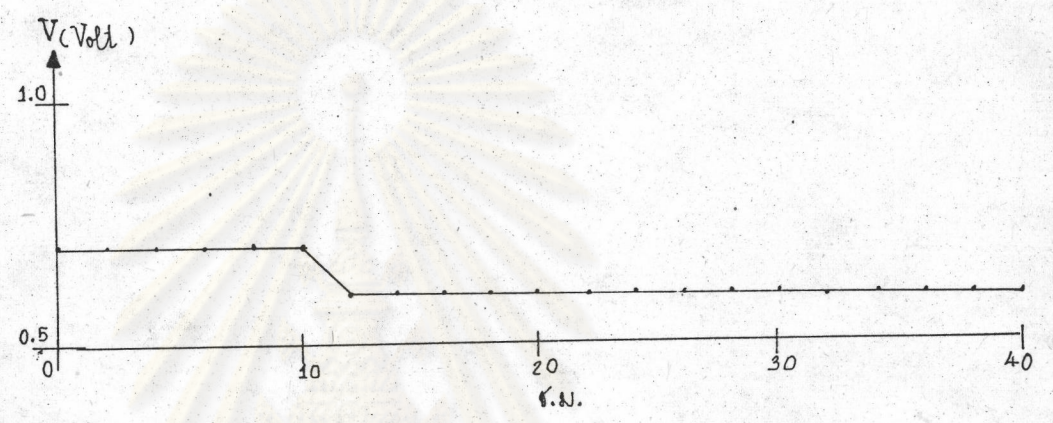
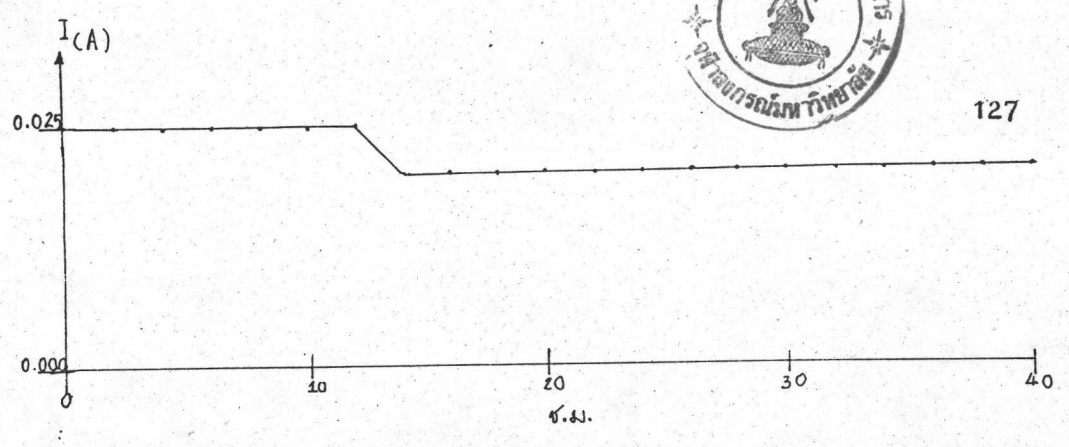
รูป 4.16 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อใช้ขี้เหล็กโทโรค

รูปทรงกระบอก รัศมี 2 ซม. สูง 4 ซม.



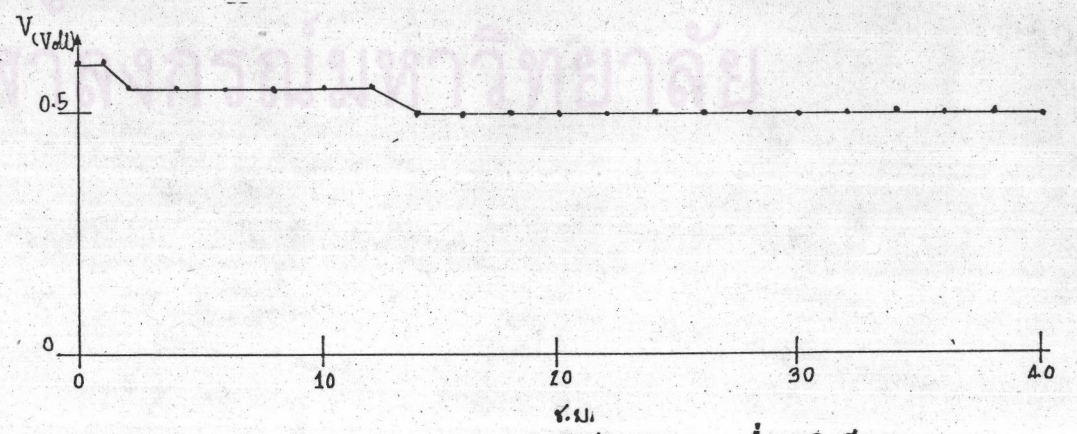
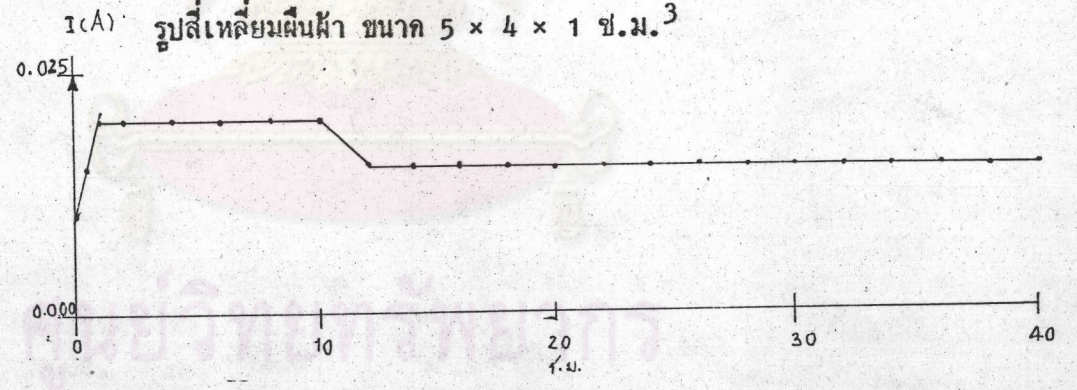
รูป 4.17 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อใช้ขี้เหล็กโทโรค

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $6.5 \times 4 \times 1$ ซม.³



รูป 4.18 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อใช้ขั้วเล็กโทรม

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $5 \times 4 \times 1$ ซม.³



รูป 4.19 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อใช้ขั้วเล็กโทรม

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $3.5 \times 4 \times 1$ ซม.³

4.3.2 ทดลองหาความบริสุทธิ์ของกราไฟต์อิเล็กโทรด โดยใช้ x-ray fluorescence technique ปรากฏว่า กราไฟต์ที่ใช้มีความบริสุทธิ์สูงมาก ประมาณ 98-99 % โดยตรวจพบว่า มีเหล็ก (Fe) และแคลเซียม (Ca) ปนอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก และจากสเปกตรัม พบว่ามี scattered peak เกิดขึ้นทั้งสองชนิดคือ ชนิดแรกเกิดจากการกระเจิงแบบ coherent (จาก Rhodium, L line) ทำให้ได้พีคที่มีความยาวคลื่นเท่ากับความยาว คลื่นของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวของธาตุที่ทำชั้นผิวของหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ชนิดที่สองเกิดจากการกระเจิงแบบ incoherent (จาก Rhodium, K line) ทำให้ได้พีคกว้าง ๆ (broad peak) ของรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นของพีคที่เกิดจากการกระเจิงแบบ coherent

ครั้งสุดท้าย ให้ทำการทดลอง โดยใช้สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม (ยกเว้นความเข้มข้นของสารละลายและขนาดรูปร่างของอิเล็กโทรด) ซึ่งได้จากการทดลองครั้งก่อน ๆ ดังต่อไปนี้

- เตรียม CrCl_2 1M โดยใช้ผงโครเมียม และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1M
- เตรียมเมมเบรน โดยใช้ PVC ทหนา 1 ม.ม.
- ใช้เวลาในการทำ amination = 7 ช.ม.
- ใช้อุณหภูมิ = 60°C - 70°C
- ใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอก ขนาดรัศมี 2 ช.ม. สูง 4 ช.ม.

296 CNT

1K FS: A

10060 EV

20 EV/CHAN

Rh scatter

Rh scatter

(from system)

Ca

Fe

Ca

0.0

20.3

MEM A: GRAPHITE ELECTRODE

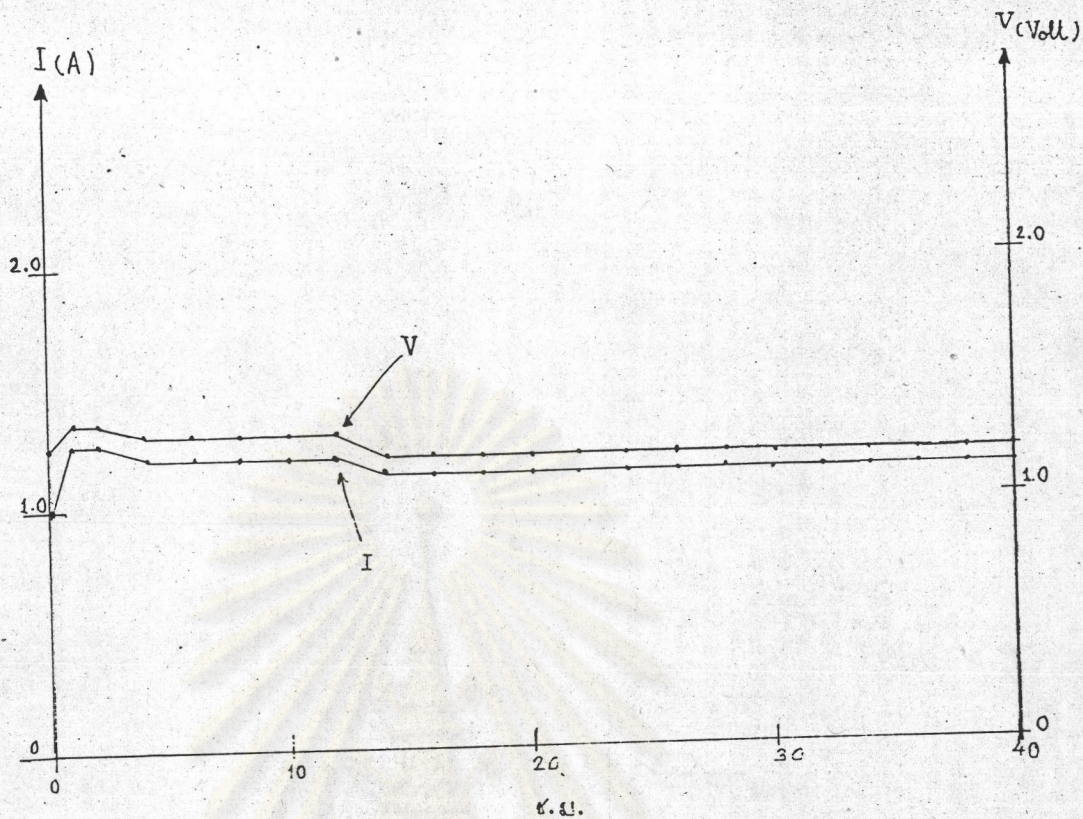
รูป 4.20 สเปกตรัมที่ได้จากการใช้กราฟไฟต์อิเล็กโทรดเป็นตัวอย่าง

ผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

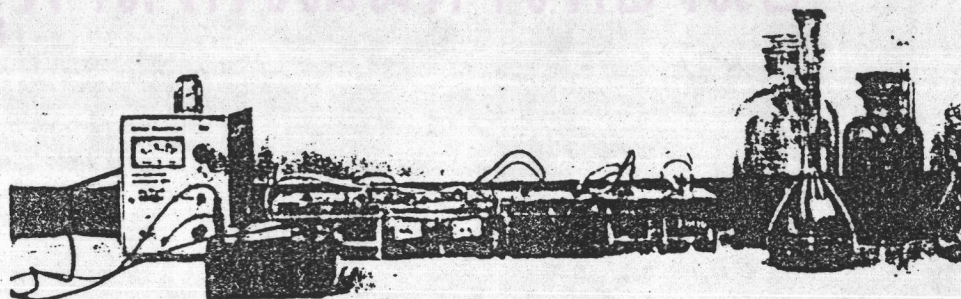
เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (volt)
0 (นาที)	1.0	1.25
10	1.1	1.30
20	1.25	1.35
30	1.25	1.35
40	1.25	1.35
50	1.25	1.35
60	1.25	1.35
2 (ช.ม.)	1.25	1.35
3	1.25	1.35
4	1.20	1.30
5	1.20	1.30
6	1.20	1.30
7	1.20	1.30
8	1.20	1.30
9	1.20	1.30
10	1.20	1.30
11	1.20	1.30
12	1.20	1.30
13	1.15	1.20
14	1.15	1.20

เวลา	กระแส (A)	ความต่างศักย์ (volt)
15 (ช.ม.)	1.5	1.20
16	1.5	1.20
17	1.5	1.20
18	1.5	1.20
19	1.5	1.20
20	1.5	1.20
21	1.5	1.20
22	1.5	1.20
23	1.5	1.20
24	1.5	1.20
5 (วัน)	0.80	0.9
10	0.5	0.6
20	0.5	0.6

ผลการทดลอง ปรากฏว่าได้กระแสและความต่างศักย์สูงมาก โดยได้กระแสสูงสุด = 1.25 A และความต่างศักย์ = 1.35 V ซึ่งก็สอดคล้องกับการทดลองในแต่ละขั้นตอน แต่ในการทดลองครั้งสุดท้ายนี้ ใช้ความเข้มข้นของสารละลายอย่างละ 1 M ทั้งนี้เพราะสารมีจำนวนจำกัด และอิเล็กโทรลิตใช้ทรงกระบอก ซึ่งถ้าเปลี่ยนเป็นใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น และใช้อิเล็กโทรลิตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่านี้ (ดังการทดลองในข้อ 4.3 (ข)) ย่อมจะได้กระแสและความต่างศักย์สูงขึ้นอีกด้วยอย่างแน่นอน นอกจากนี้อายุการใช้งานของเมมเบรนซึ่งถูกเตรียมโดยค่า optimum ต่าง ๆ ปรากฏว่ามีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 20 วัน ถึงแม้ว่าในวันต่อ ๆ มา กระแสและความต่างศักย์จะลดลงบ้างก็ตาม อันเนื่องจากปริมาณไอออนที่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เหลือน้อยลงนั่นเอง



รูป 4.21 กราฟแสดงกระแสและความต่างศักย์เทียบกับเวลาเมื่อใช้สภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม (ยกเว้นความเข้มข้นของสารละลายและขนาดรูปร่างของอิเล็กโทรด)



รูป 4.22 รีคอกซ์เซลล์ในการทดลองครึ่งสุดท้าย

4.4 การอัดประจุไฟฟ้าเข้าในรีดอกซ์เซลล์

ก. เมื่อสารละลายถูกอัดประจุไฟฟ้า เป็นเวลานาน 5 นาที

เวลา (นาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแส (mA)	55	52.5	50	7.5	6.25	6	5.4	5	4.8	4.5	4.25

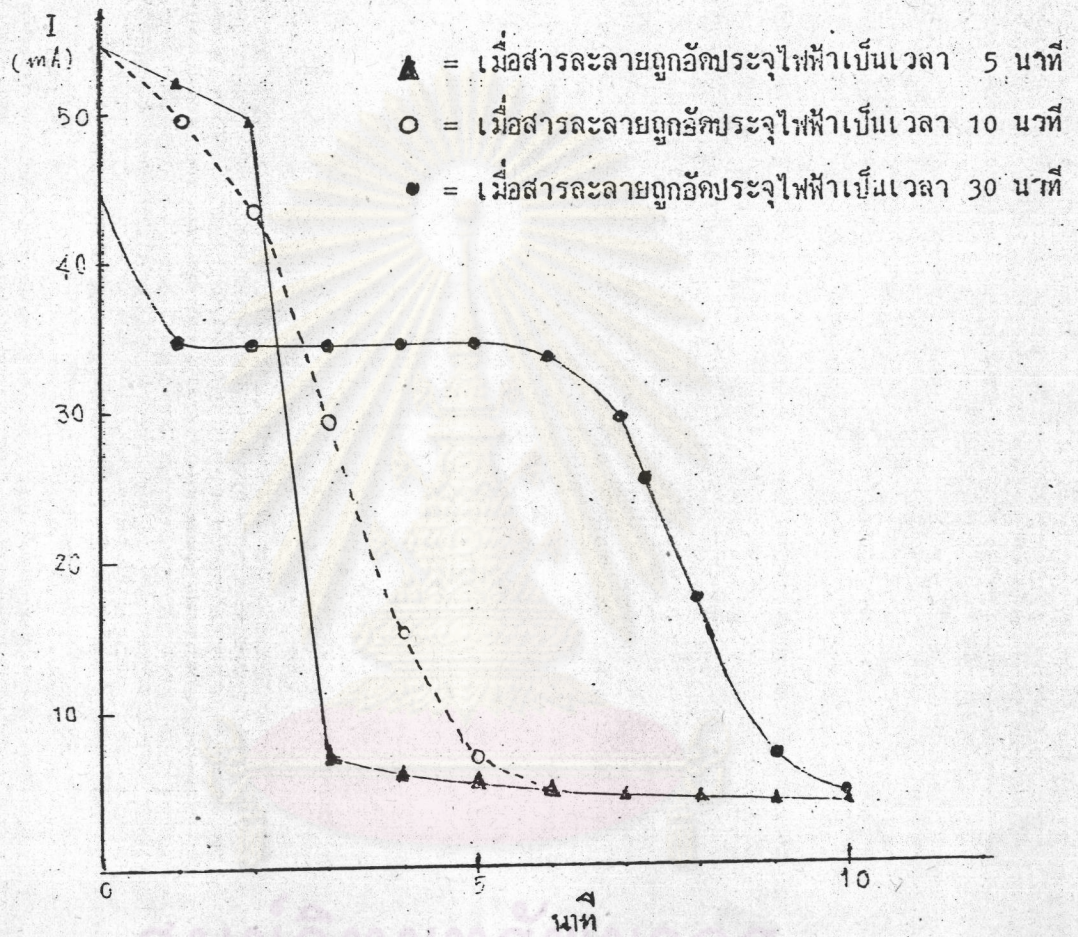
ข. เมื่อสารละลายถูกอัดประจุไฟฟ้า เป็นเวลานาน 10 นาที

เวลา (นาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแส (mA)	55	50	44	30	16	7.25	5.2	5	4.75	4.5	4.5

ค. เมื่อสารละลายถูกอัดประจุไฟฟ้า เป็นเวลานาน 30 นาที

เวลา (นาที)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแส (mA)	45	35	35	35	35	35	34	30	18.5	7.5	5.5

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4.23 กราฟแสดงการลดลงของกระแสเทียบกับเวลาเมื่อสารละลายถูกอัดประจุไฟฟ้าเป็นเวลานานต่างกัน