

บทที่ 3

การทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน ประกอบด้วยการ ออกแบบและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนรวมทั้งส่วนประกอบอื่น ๆ ตามความ จำเป็น นอกจากนี้ยังได้สร้างระบบการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอีกด้วย การ ทดลองสามารถแยกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ดังต่อไปนี้

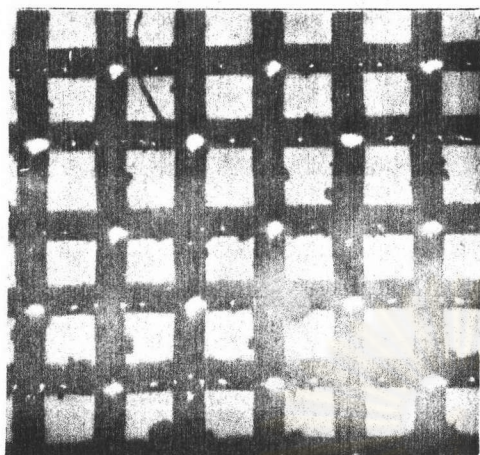
3.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมีผู้เตรียมขึ้นหลายแบบด้วยกัน เช่น แบบตะแกรงโลหะเคลือบด้วยพลาตินัมดำ (Grubb, W.T. and Niedrach, L.W., 1960), แบบผงพลาตินัมดำอัดด้วยแผ่นคาร์บอนผลึกพลาสต์ติกพีวีซี (Cairn et. al, 1961)

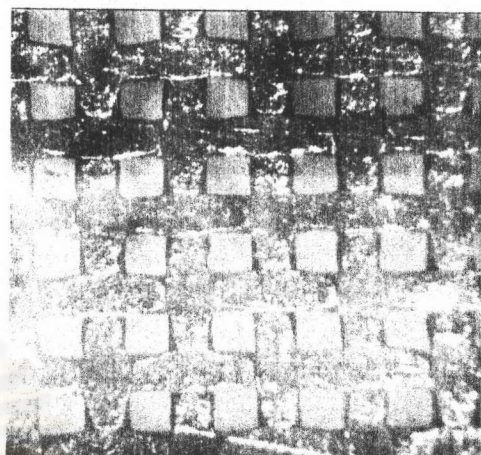
สำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้ตะแกรงสแตนเลสเคลือบด้วยพลาตินัมดำเป็นขั้วไฟฟ้า ตะแกรงสแตนเลสที่ใช้เป็นขนาด 200 เมล (mesh) หรือ 79 เส้นต่อเซนติเมตร ซึ่งถัก จากเส้นลวดสแตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 มิลลิเมตร ถักแล้วจะได้แผ่นตะแกรงหนา 0.1 มิลลิเมตร อันเป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด (Grubb, W.T. and Niedrach, L.W., 1960)

ในการเตรียมขั้วไฟฟ้านั้นเริ่มด้วยการรีดตะแกรงสแตนเลสโดยเครื่องรีดโลหะ จนกระทั่งตะแกรงสแตนเลสลดความหนาลงเหลือครึ่งหนึ่ง คือ 0.05 มิลลิเมตร การรีด นี้จะทำให้ผิวของขั้วไฟฟ้าสัมผัสกับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น (Grubb, W.T. and Niedrach, L.W., 1960) ดังจะเห็นจากรูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ตะแกรงที่ยังไม่ได้รีด (รูปที่ 3.1 ก.) และรีดแล้ว (รูปที่ 3.1 ข.) โดยผิวตะแกรงที่ รีดแล้วจะเรียบขึ้น เมือรีดเสร็จแล้วจึงนำไปตัดเป็นรูปแผ่นกลมและมีขั้วยื่นออกมาดังรูปที่

3.2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.1 เซนติเมตร พื้นที่วงกลมเป็น 20 ตารางเซนติเมตร

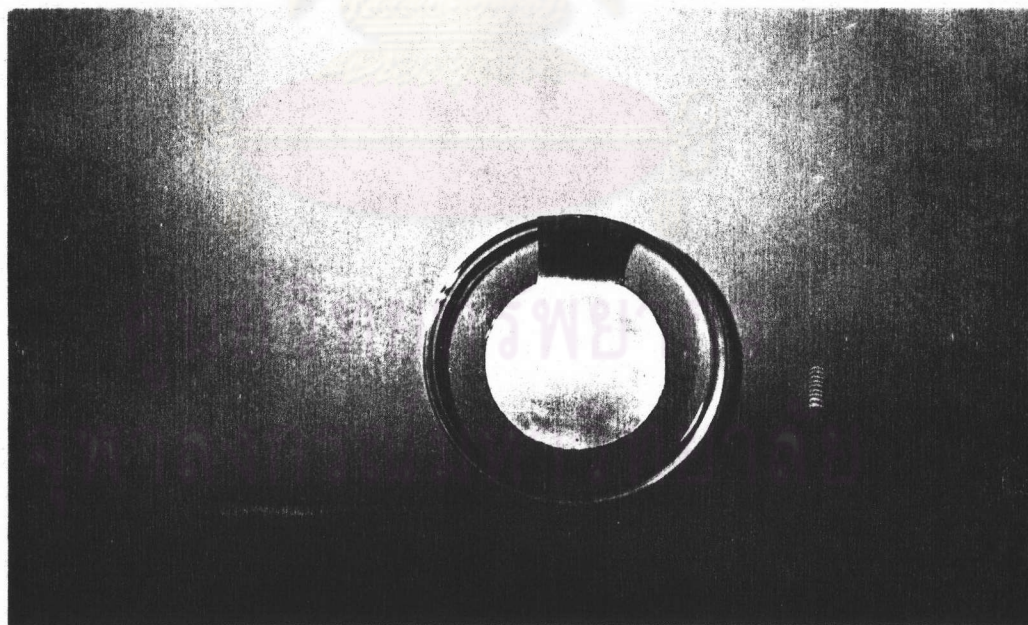


(ก)



(ข)

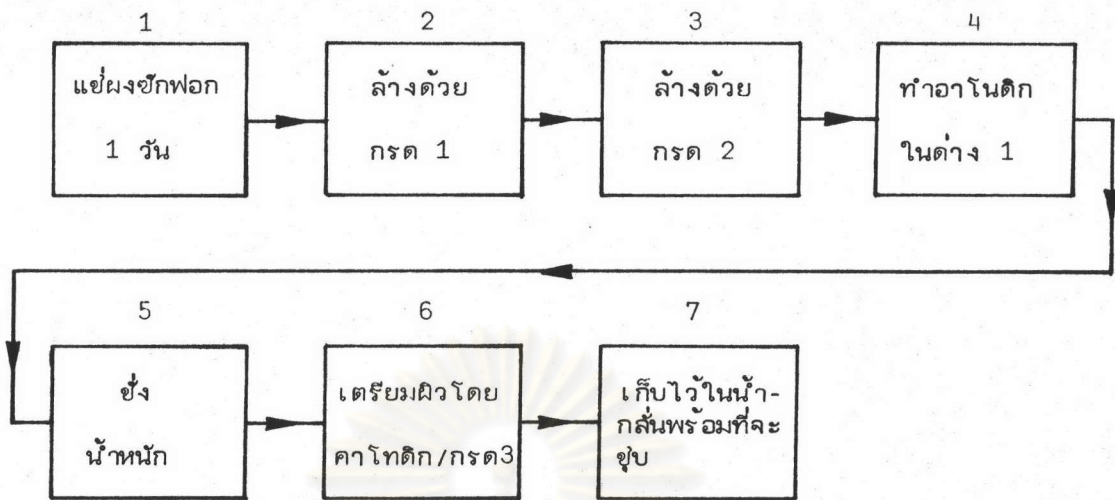
รูปที่ 3.1 แสดงเปรียบเทียบผิวหน้าตะแกรงลวดเตนเลส ก) ยังไม่ได้รีด
 ข) รีดแล้ว (ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ อัตราขยาย 60 เท่า)



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของแผ่นตะแกรงลวดเตนเลสที่ตัดเป็นรูปร่างที่ต้องการใช้ทำ
 ขั้วไฟฟ้า เส้นผ่าศูนย์กลางส่วนที่เป็นวงกลม 5.1 เซนติเมตร

ขัดด้วยกระดาษทรายละเอียด (Silicon carbide, 1200 CW) เพื่อกำจัดออกไซด์หรือ
 สิ่งสกปรกที่ติดแน่นบนผิวหน้า และทำให้ผิวหน้าเรียบ แล้วจึงนำแผ่นตะแกรงที่ได้ไปทำความสะอาด
 สะอาดตามขั้นตอนในรูปที่ 3.3 (The ASM on Finishing of Stainless Steel,
 1964) ขั้นตอนหนึ่งเป็นการล้างไขมันและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
 จนสะอาด ขั้นตอนที่สองและขั้นตอนที่สามเป็นการใช้กรดกัดสะเก็ดโลหะที่อาจเกิดจาก
 ขบวนการ รีดและขัดให้หลุดออก ขั้นตอนสี่เป็นการทำอโนดิกในต่าง (anodic
 alkaline cleaning) โดยใช้ตะแกรงสเตนเลสที่ต้องการทำความสะอาดเป็นขั้วบวก
 และใช้แผ่นสเตนเลสที่สะอาดแล้วเป็นขั้วลบ ขั้นตอนนี้ควรใช้กระแสต่อพื้นที่น้อย ๆ
 จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดสิ่งเป่าให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ในที่นี้ใช้เครื่องชั่งเมท-
 เลอร์ (Mettler - H 15) ซึ่งชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม เพื่อหาน้ำหนัก
 พลาตินัมดำที่เคลือบติดบนขั้วไฟฟ้าในภายหลัง ขั้นตอนห้าเป็นการขจัดออกไซด์ที่ผิวสเตน-
 เลสโดยการทำการคาโทดิก (cathodic) วิธีการใช้แผ่นตะแกรงสเตนเลสที่ต้องการทำความสะอาด
 สะอาดเป็นขั้วลบ ส่วนขั้วตรงกันข้ามเป็นแผ่นสเตนเลส ถ้าหากแผ่นตะแกรงสเตน-
 เลสสะอาดดีแล้วจะเห็นฟองแก๊สไฮโดรเจนเล็ก ๆ เกิดขึ้นสม่ำเสมอบนทุก ๆ ส่วนของแผ่น
 ตะแกรงสเตนเลส เมื่อผ่านขั้นตอนนี้เสร็จแล้วล้างให้สะอาดแล้วชั่งพลาตินัมดำทันทีที่ทำได้
 ถ้าไม่ชั่งทันทีให้เก็บไว้ในน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนในอากาศ
 ระหว่างขั้นตอนในการทำความสะอาดต้องล้างแผ่นตะแกรงด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดทุกครั้ง จาก
 การทดลองพบว่าล้างด้วยน้ำกลั่น 6 ครั้งก็เป็นการเพียงพอแล้ว (ดูจากการทดสอบด้วยแบเรียม
 คลอไรด์ ในขั้นตอนที่มีการใช้กรดซัลฟริก) และทุกขั้นตอนของการทำความสะอาดได้กวนสาร
 ละลายตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนสารละลายแบบแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ยกเว้น
 ตอนล้างด้วยน้ำกลั่นใช้เขย่าแผ่นตะแกรงสเตนเลสด้วยมือ

เมื่อทำความสะอาดแผ่นตะแกรงสเตนเลสเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะพร้อมที่จะนำไปชั่ง
 พลาตินัมดำได้ สารละลายที่ใช้เตรียมจากกรดคลอโรพลาตินิก ($H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$) 20
 กรัม และตะกั่ว อาซีเตท ($Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$) 0.8 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ในการ
 ชั่งให้ชันงานที่ต้องการชั่งเป็นขั้วลบ และใช้แท่งคาร์บอนเป็นขั้วบวก โดยผ่านกระแสไฟฟ้า
 ต่อพื้นที่ 100 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที โดยเฉลี่ย (Bates, R.G.
 1954; Hills, G.J. and Ives, D.J.G., 1961) ระหว่างการชั่งต้องกวนสารละลาย



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำความสะอาดแผ่นตะแกรงสแตนเลสก่อนนำไปชุบ
พลาตินัมดำ โดยที่สารละลายต่าง ๆ เป็นไปตามตาราง 3.1
และระหว่างแต่ละขั้นตอนการทำความสะอาดต้องล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น
ให้สะอาดทุกครั้งก่อนที่จะเริ่มขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.1

สารละลาย	ส่วนประกอบ (โดยปริมาตร)	อุณหภูมิ	ระยะเวลา
กรด 1	H_2SO_4 8%	$70\text{ }^{\circ}C$	20 นาที
กรด 2	HNO_3 6% และ HF 1.5%	อุณหภูมิห้อง	20 นาที
กรด 3 (1)	H_2SO_4 15%	อุณหภูมิห้อง	5 นาที
ต่าง 1 (2)	NH_4OH 1%	อุณหภูมิห้อง	5 นาที

(1) กระแส 5 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร

(2) กระแส 1 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร

ตลอดเวลาเพื่อให้พลาตินัมดำติดขึ้นงานอย่างสม่ำเสมอ

หลังจากชุบเสร็จแล้วล้างชิ้นงานให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งเพื่อหาน้ำหนักของพลาตินัมดำที่ติดบนตะแกรงสเตนเลส เสร็จแล้วเก็บไว้ในน้ำกลั่นระวังอย่าให้ขี้วไฟฟ้าเสียดสีหรือกระทบสิ่งอื่นเพราะพลาตินัมดำมีลักษณะเป็นผงจึงหลุดร่วงได้ง่ายและอย่าให้โดนสารเคมีอื่นใดโดยเฉพาะสารเคมีที่เป็นพิษ (poison) ต่อขี้วไฟฟ้า เช่น สารประกอบของซิลเฟออร์, สารประกอบของไฮยาไนต์, และสารประกอบของอาร์เซนิค เป็นต้น (Hills, G.J. and Ives, D.J.G., 1961)

3.2 การเตรียมการใช้งานแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

การใช้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนเป็นอิเล็กโตรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนครั้งนี้ ได้ทำการตัดแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนเป็นแผ่นกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อแห้งสนิทหนัก 4.2 กรัม สำหรับแบบหนา (CR61 AZL 389) และ 1.8 กรัม สำหรับแบบบาง (CR61 AZL 386) เมื่อตัดเป็นรูปร่างตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้วล้างให้สะอาด แล้วจึงนำแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมาปรับสถานะ (condition) หรือปรับสมดุล (equilibrate) ก่อนเพื่อให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนนำไอออนได้ดีขึ้น ส่วนจะทำแบบไหนนั้นแล้วแต่ชนิดของการทดลอง

3.2.1 การปรับสถานะแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

การปรับสถานะแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน ทำโดยการแช่แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนในกรดซัลฟูริกความเข้มข้นตามต้องการ ในการทดลองครั้งนี้ใช้ 3 ความเข้มข้น คือ 6 โมลต่อลิตร, 3.85 โมลต่อลิตร และ 1 โมลต่อลิตร ปริมาณสารละลายกรดที่ใช้ คือ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแห้ง 1 กรัม (Helfferich, 1962) แช่เป็นเวลา 1 วัน ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดการสมดุลระหว่างไอออนภายในแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน กับไอออนของสารละลายภายนอก กล่าวคือแม้แช่นานกว่านี้ก็ไม่มีการการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นอีก (Juda, 1952; Grubb, 1959) เมื่อแช่สารละลายกรดรอบแรกเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนสารละลายกรดใหม่แช่ซ้ำอีกครั้งเวลา 1 วันเช่นกัน จากนั้นก็ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้วแช่เก็บไว้ในน้ำกลั่นมากกว่า 3 วัน โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก ๆ วัน เพื่อล้างกรด

ที่ตกค้างอยู่ในแผ่นแลกเปลี่ยนอออน จากการทดสอบหาอนุมูลซัลเฟตโดยแบเรียมคลอไรด์ พบว่าการล้างแผ่นแลกเปลี่ยนอออนดังกล่าวเป็นการเพียงพอแล้ว

3.2.2 การปรับสมดุลแผ่นแลกเปลี่ยนอออน

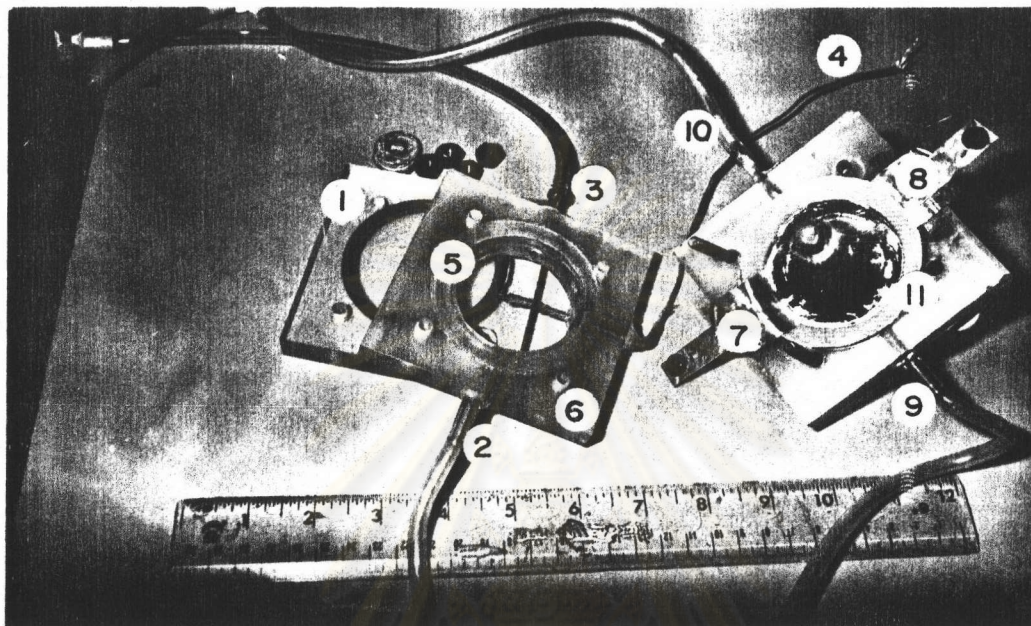
การปรับสมดุลแผ่นแลกเปลี่ยนอออนเป็นการแช่แผ่นแลกเปลี่ยนอออนในสารละลายที่ต้องการจนกระทั่งไม่มีการแลกเปลี่ยนอออนระหว่างแผ่นแลกเปลี่ยนอออนกับสารละลายภายนอก จากนั้นนำไปใช้งานได้ การปรับสมดุลจะมีลักษณะเหมือนการปรับสถานะในช่วงแรก สำหรับการทดลองครั้งนี้ทำการปรับสมดุลแผ่นแลกเปลี่ยนอออนโดยแช่ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร, 3.85 โมลต่อลิตร และ 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 1 วัน แล้วเปลี่ยนสารละลายใหม่อีกครั้งแช่ไว้อีก 1 วัน แผ่นแลกเปลี่ยนอออนก็พร้อมที่จะนำไปใช้งานได้

3.3 ตัวถังเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนอออน

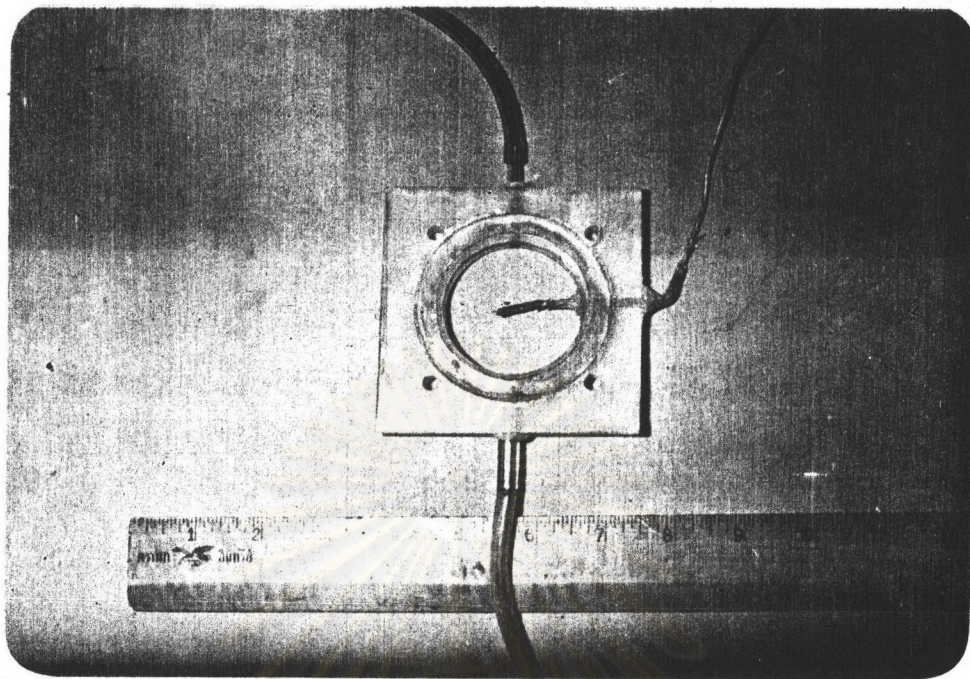
ตัวถังทำจากอะคริลิก (acrylics) และรู้จักกันในชื่อการค้าว่าเพลคซิกลาส (plexiglas), ลูซิไตต์ (lucite), โพลีกลาส (polyglas) ซึ่งมีลักษณะใส แข็งแรงพอควร เป็นแผ่นราบความหนา 1.3 เซนติเมตร และทนอุณหภูมิสูงสุด 50 องศาเซลเซียส

จากแผ่นอะคริลิกดังกล่าวจะต้องตัด - กลึง เป็นตัวถังเซลล์ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วย แผ่นปิดหัว - ท้าย ลักษณะแผ่นสี่เหลี่ยม, มีร่องโอ - รিং (o - ring) และรูร้อยนอต 4 รู แผ่นห้องแก๊สลักษณะแผ่นสี่เหลี่ยมตรงกลางกลวง เป็นวงกลม พื้นที่วงกลม 20 ตารางเซนติเมตร แผ่นห้องแก๊สนี้มี 2 หน้า คือ หน้าติดกับแผ่นปิดหัวท้าย จะกลึงร่อง โอ - รিং ให้รับกับแผ่นปิดหัวท้าย อีกหน้าหนึ่งซึ่งติดกับขั้วไฟฟ้ากลึงเป็นร่องปะเก็นซิลิโคน นอกจากนี้ยังเจาะรูด้านข้างสำหรับใส่ท่อแก๊ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เพื่อทำเป็นทางเข้า - ออกของแก๊ส ดังรูปที่ 3.5 สำหรับแผ่นห้องแก๊สออกซิเจนยังเจาะรูไว้ใส่เทอร์โมคัปเปิลและอุดรอยต่อด้วยกาวซิลิโคน

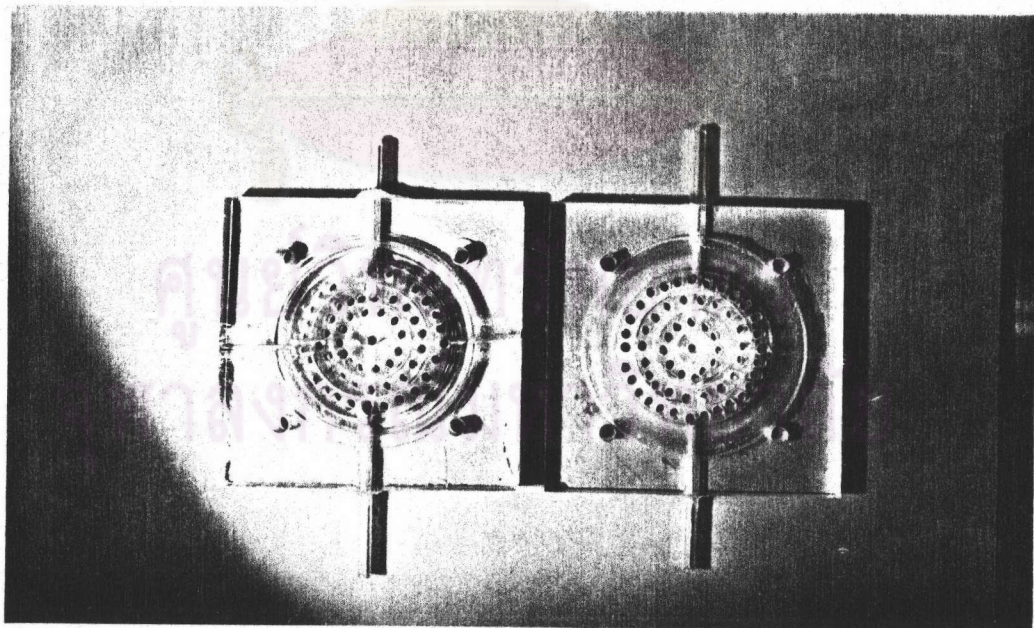
ในกรณีที่ต้องการสร้างหลายเซลล์ประกบเป็นชุดเดียวกันก็เพียงแต่สร้างส่วนที่เป็นห้องแก๊สเพิ่มขึ้นอีกเท่านั้น โดยออกแบบให้เซลล์ติดกันสามารถใช้ห้องแก๊สร่วมกันได้



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยน
 อีออน 1) แผ่นปิดห้องแกสออกซิเจน 2) ท่างแกส
 ออกซิเจนเข้า 3) ท่างแกสออกซิเจนออก
 4) เทอร์โมคัปเปิล 5) แผ่นปะเก็นซิลิโคน (silicone
 gasket) 6) แผ่นห้องแกสออกซิเจน 7) ขั้วไฟฟ้า
 ออกซิเจน 8) ขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจน 9) ท่างแกสไฮโดรเจนเข้า
 10) ท่างแกสไฮโดรเจนออก 11) แผ่นแลกเปลี่ยนอีออน



รูปที่ 3.5 แสดงแผ่นห้องแกสที่มีลักษณะตรงกลางกลวง



รูปที่ 3.6 แสดงแผ่นห้องแกสที่มีแผ่นอัดอยู่ตรงกลาง

ในกรณีนี้แผ่นห้องแก๊สที่ไม่ติดกับแผ่นปิดหัวท้ายจะกลิ้ง เป็นร่องปะเก็นซิลิโคนทั้ง 2 หน้าเหมือนกัน เพราะติดกับขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 หน้า

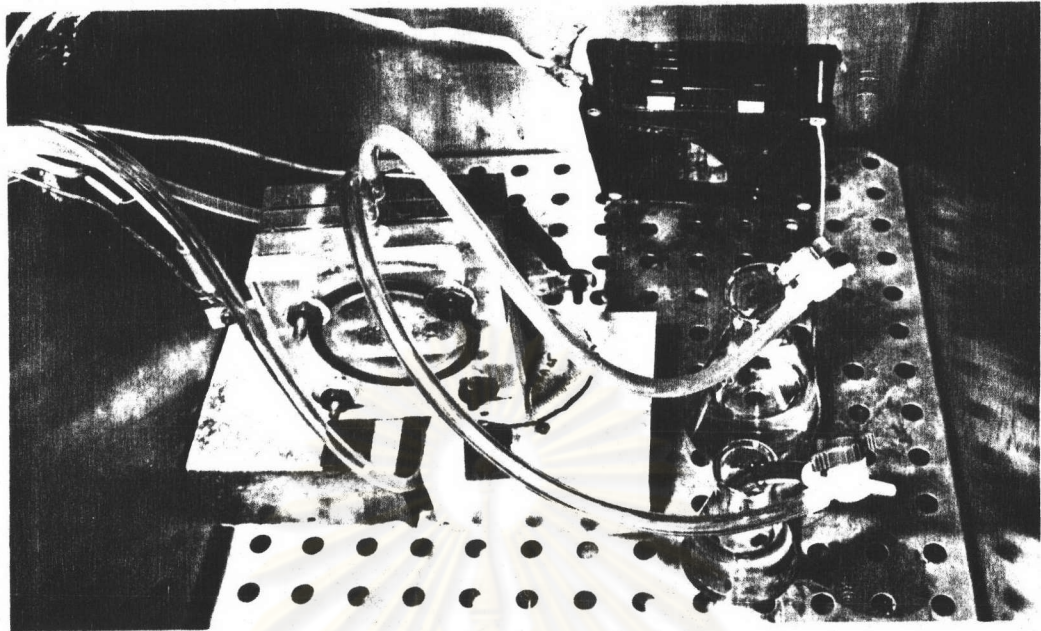
แผ่นห้องแก๊สบาง เซลล์อาจสร้างให้มีบ่าสำหรับกดแผ่นขั้วไฟฟ้าให้อัดติดกับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน ดังรูป 3.6 แต่พบว่าไม่ทำให้ผลดีขึ้น เพราะไอน้ำในเซลล์จะไปควบแน่น เกิดเป็นน้ำเกาะที่บ่าของแผ่นอัดดังกล่าวทำให้พื้นที่ของขั้วไฟฟ้าลดลง การใช้แผ่นห้องแก๊สที่แผ่นอัดจะให้ข้อมูลที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นการทดลองส่วนใหญ่จะใช้แผ่นห้องแก๊สกลวง นอกจากการทดสอบอายุของ เซลล์ เชื้อเพลิง เท่านั้นที่ใช้แผ่นห้องแก๊สแบบมีแผ่นอัด เพราะน้ำที่ติดตามแผ่นอัดจะทำให้อายุของ เซลล์ เพิ่มขึ้นมากกว่าแบบกลวง

3.4 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

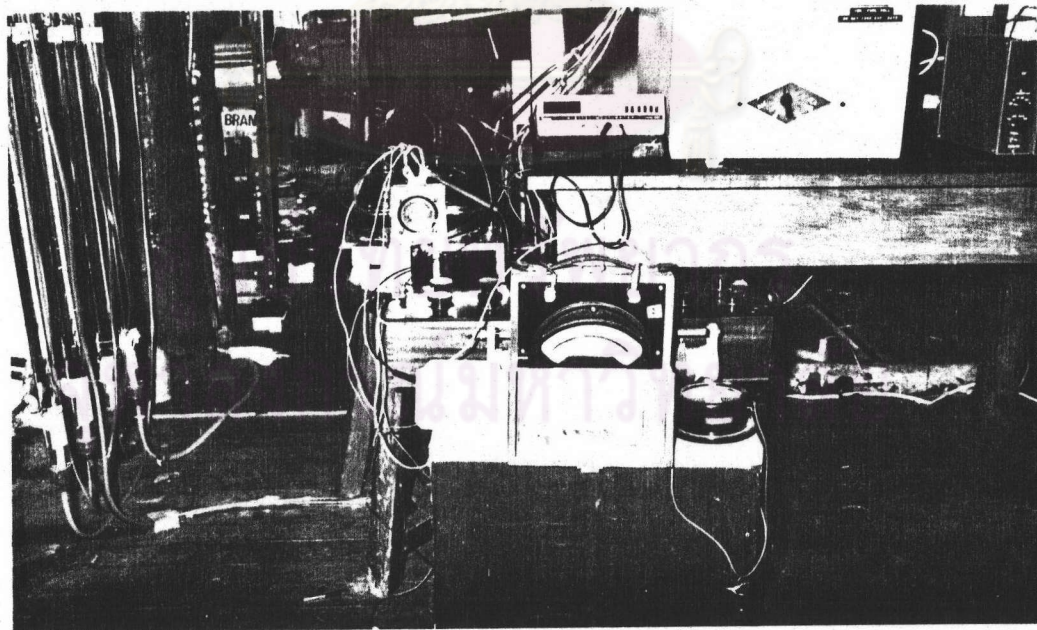
เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแบบเซลล์เดี่ยวประกอบจากส่วนประกอบต่าง ๆ ในรูปที่ 3.4 เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะเป็นไปตามรูปที่ 3.7 ส่วนแบบหลายเซลล์เป็นดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมี 3 เซลล์ประกบเข้าด้วยกัน

การประกอบเซลล์ต้องระมัดระวังให้แผ่นขั้วไฟฟ้าตรงกันทำได้โดยการส่องดู จะเห็นราง ๆ และการขันนอตปิดเซลล์ไม่จำเป็นต้องขันแน่นมาก เพราะปะเก็นซิลิโคนอ่อนและเรียบพอที่จะกันการรั่วซึมได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงกดมาก แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนก่อนประกอบเข้าไปในเซลล์ต้องลissantน้ำให้แห้งหมาด ๆ ก่อน แล้วจึงติดขั้วไฟฟ้าเข้ากับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนทั้งสองด้าน ขั้วไฟฟ้าจะถูกดูดติดเข้ากับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนได้ เนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำ พยายามอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้ากับแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

หลังจากประกอบเซลล์เรียบร้อยแล้วให้เติมน้ำกลั่นลงในเซลล์ข้างไฮโดรเจนเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแห้ง ซึ่งจะทำให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแตกและแก๊สรั่วข้ามแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนไปทำปฏิกิริยากันโดยตรงทำให้เกิดความร้อนสูงจนแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนและขั้วไฟฟ้าไหม้เสียหายได้ โดยปกติในการเก็บข้อมูลจะเติมน้ำลงไปในห้องแก๊สไฮโดรเจน 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในการใช้งานเซลล์ระยะยาวเติมน้ำมากถึง 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น การทดสอบอายุเป็นต้น และในกรณีที่ใช้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ปรับสมดุลด้วยกรดซัลฟริก ให้เติมกรดความเข้มข้นตามที่ปรับสภาพแทนการเติมน้ำ



รูปที่ 3.7 แสดง เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแบบเซลล์เดี่ยว
ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.8 แสดง เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนแบบ 3 เซลล์

3.5 แก๊สที่ใช้ในการทดลอง

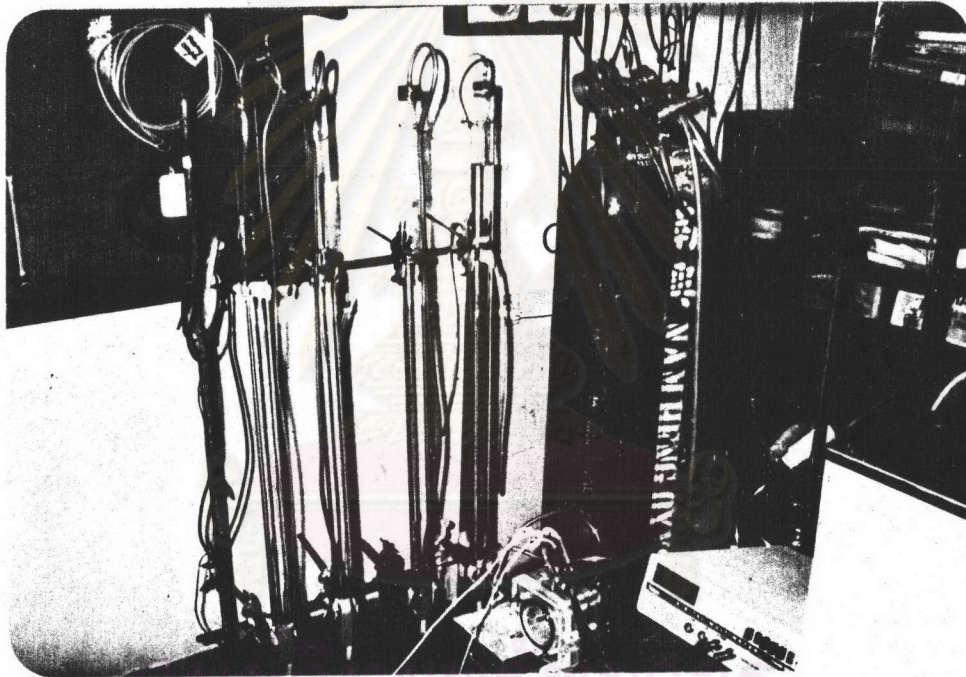
แก๊สที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน ช่วงแรกของการทดลองได้แก๊ส 2 ชนิดนี้จากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า แต่ได้แก๊สค่อนข้างน้อย จึงเปลี่ยนมาใช้แก๊สจากถังแก๊ส (ซื้อจากกรมวิทยาศาสตร์ กองทัพบก) ซึ่งทำให้สะดวกในการทดลองมาก แต่แก๊สจากถังแก๊สเป็นแก๊สแห้งซึ่งต้องผ่านการลงในน้ำก่อนจึงจะปล่อยเข้าเซลล์ได้ โดยระบบที่ทำให้แก๊สขึ้น ดังในรูปที่ 3.9 อัตราการไหลของแก๊สปรับโดยตัวควบคุมความดันแก๊ส (pressure regulator) ประกอบกับ วาล์วแก๊ส อัตราไหลแก๊สจะมากหรือน้อยปรับตามการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง ปกติจะปรับให้มากกว่าอัตราใช้งานเล็กน้อย โดยแก๊สส่วนที่เหลือจะปล่อยออกจากเซลล์ ตามท่อทางแก๊สออกซึ่งจมอยู่ในน้ำ

3.6 ส่วนควบคุมอุณหภูมิและวัดอุณหภูมิ

ส่วนควบคุมอุณหภูมิของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน มีลักษณะดังที่เห็นจากรูป 3.7 เป็นการควบคุมอุณหภูมิโดยเทอร์โมสแตท (thermostat) เมื่อใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งมีตัวถังเป็นอะคริลิก พบว่าอุณหภูมิภายในเซลล์ผิดพลาดเพียง ± 0.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมิล-อลูเมล มีน้ำแข็งซึ่งทำจากน้ำกลั่นเป็นตัวเปรียบเทียบ (references) การอ่านอุณหภูมิเป็นไปตามตารางในภาคผนวก

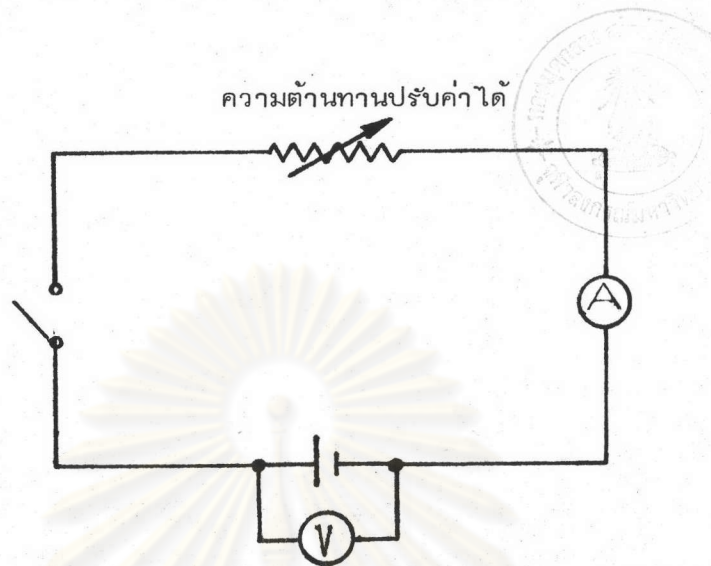
3.7 การวัดโพลาริเซชัน

การวัดโพลาริเซชันเป็นการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ทำโดยการต่อความต้านทานที่ปรับค่าได้เข้ากับเซลล์ไฟฟ้า พร้อมกับต่ออนุกรมด้วยแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า และต่อโวลต์มิเตอร์คร่อมเซลล์ไฟฟ้าเพื่อวัดศักย์ไฟฟ้า ดังวงจรตามรูปที่ 3.10 เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในวงจรโดยการปรับค่าความต้านทาน จะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าลดลง โดยการนำค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้มาเขียนเป็นกราฟโพลาริเซชัน ซึ่งบอกถึงสมบัติต่าง ๆ ของเซลล์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี



ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

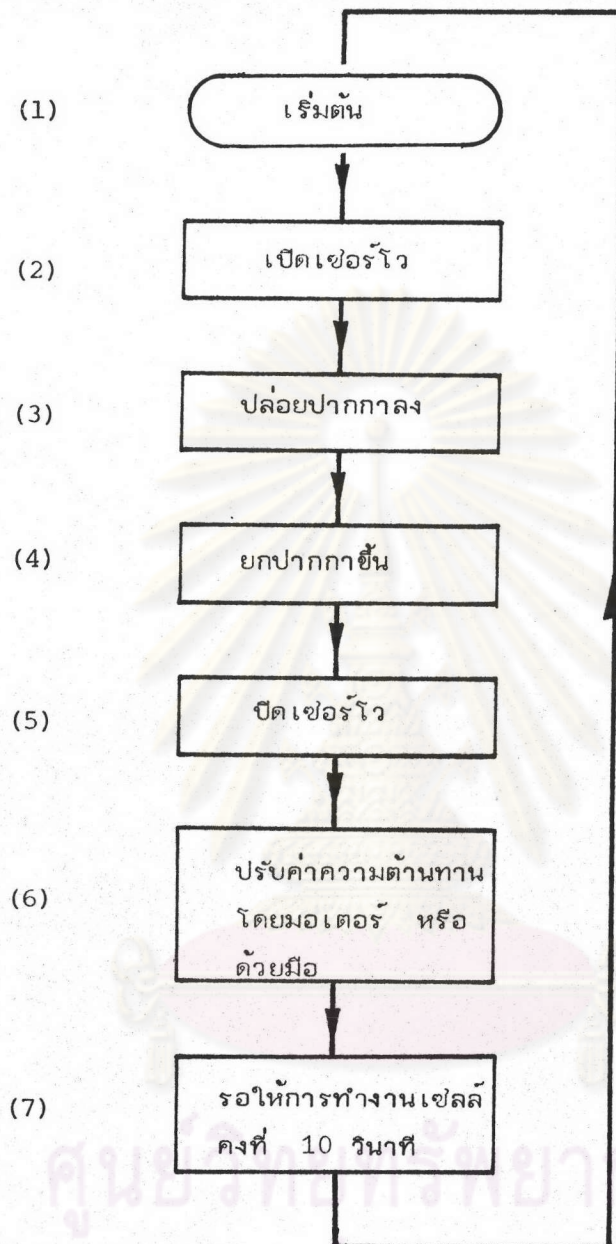
รูปที่ 3.9 แสดงระบบการทำให้แก๊สขึ้น
โดยผ่านแก๊สลงในน้ำ



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อวงจรเพื่อวัดโพลาไรเซชันของเซลล์ไฟฟ้า

ในกรณีที่เซลล์ไฟฟ้างกล่าวเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อมีการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงจะคงที่ ส่วนช่วงเวลาเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงนั้นเป็นเท่าใด ปกติหากมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 0.5 มิลลิแอมแปร์ ต่อตารางเซนติเมตร ใช้ช่วงเวลารอเพียง 10 วินาที การทำงานของเซลล์ก็คงที่แล้ว (Grubb, 1959)

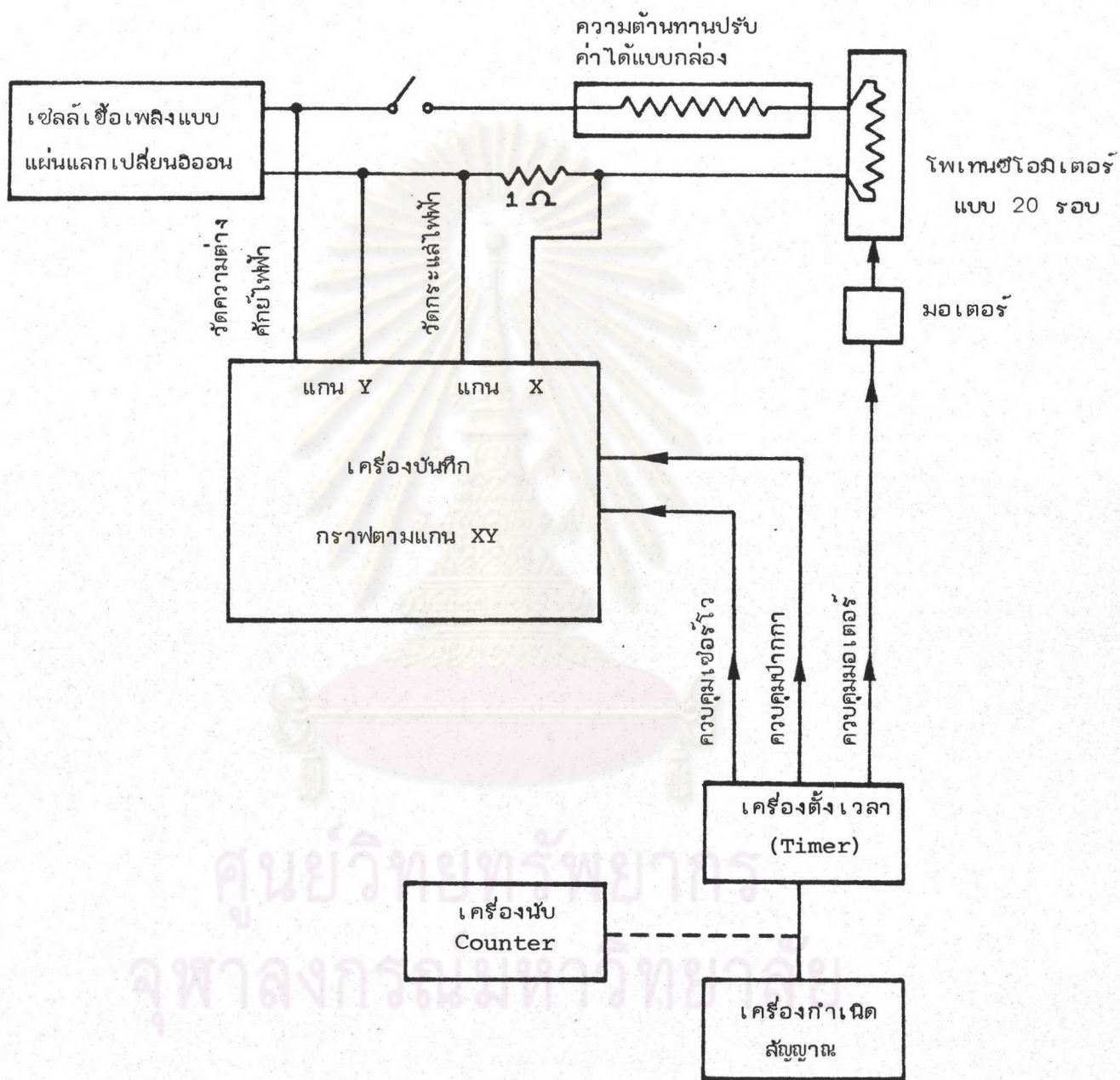
สำหรับการวัดโพลาไรเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนนี้ ได้ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.12 ภายในวงจรประกอบด้วยความต้านทาน 3 ชุด ชุดแรกเป็นความต้านทานปรับค่าได้แบบกล่องขนาด 10^5 โอห์ม ชุดที่ 2 เป็นความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 100 โอห์ม ปรับค่าด้วยมอเตอร์และชุดสุดท้ายคือชุดที่ 3 นั้น เป็นความต้านทานมาตรฐานขนาด 1 โอห์ม (manganin resister) ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรทราบค่ากระแสไฟฟ้าโดยอ่านจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทานมาตรฐานดังกล่าว จากลักษณะวงจรดังกล่าวทำให้สามารถเขียนกราฟโพลาไรเซชันโดยใช้เครื่องบันทึกกราฟแบบ



รูปที่ 3.11

แสดงการเขียนกราฟโพลาริเซชัน 1 จุด โดยใช้

เครื่องเขียนกราฟ ซึ่งมีรีโมท คอนโทรล (remote control)



รูปที่ 3.12 แสดงระบบควบคุมการเขียนกราฟโพลาริเซชัน

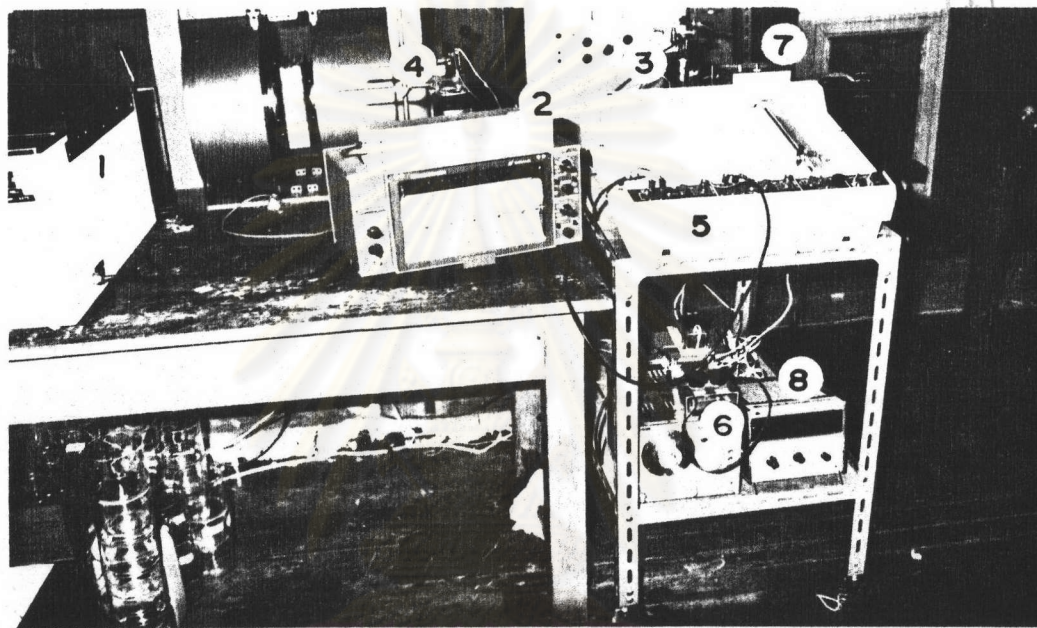
XY (XY-recorder, hewlvet packard 7044A) โดยให้แกน Y เป็นต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ และแกน X เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมความต้านทานมาตรฐาน 1 โอห์ม ซึ่งแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์ การวัดโพลาริเซชันทำตามลำดับขั้นของแผนภาพการทำงาน (flow chart) ดังรูปที่ 3.11 ขั้นตอนแรกเปิดเซอร์โวปากกาก็จะเลื่อนไปตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เข้าเครื่องทั้ง 2 แกน แล้วปล่อยปากกากลางได้จุดหนึ่งบนกระดาษกราฟ ขั้นตอนถัดมาเป็นการยกปากกาขึ้นและปิดเซอร์โว ช่วงนี้ปากกาก็จะไม่เลื่อนไปไหนแม้ว่าสัญญาณเข้าเครื่องจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม แล้วจึงเปลี่ยนค่าความต้านทานซึ่งมี 2 ชุดด้วยกัน แล้วจึงรอให้การทำงานของเซลล์คงที่เป็นเวลา 10 วินาที จึงเริ่มขั้นตอนแรกอีก รวมขบวนการทั้งหมดเรียกว่า 1 รอบ ซึ่งกินเวลา 20 วินาที กราฟหนึ่ง ๆ จะมีอยู่ 200 จุด หรือระบบทำงาน 200 รอบ สำหรับการปรับค่าความต้านทานในช่วงแรกของกราฟเท่านั้นที่มีการปรับความต้านทานด้วยมือ ซึ่งเป็นการปรับความต้านทานกล่องครึ่งละมาก ๆ และเมื่อปรับจนถึงศูนย์โอห์มแล้วจะเป็นการปรับด้วยมอเตอร์เพียงอย่างเดียวโดยปรับครึ่งละ 0.5 โอห์มเท่านั้น

การควบคุมเครื่อง เขียนกราฟและการปรับความต้านทานโดยมอเตอร์ให้เป็นไปตามแผนภาพการทำงานตามรูปที่ 3.12 ได้จากเครื่องตั้งเวลา และเครื่องกำเนิดสัญญาณ (pulse generator) ซึ่งได้ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการนี้โดยเฉพาะ ลักษณะการควบคุมเป็นดังแผนภาพในรูปที่ 3.12 ส่วนรูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแสดงไว้ในรูปที่ 3.13 รายละเอียดวงจรต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นได้เสนอไว้ในภาคผนวก

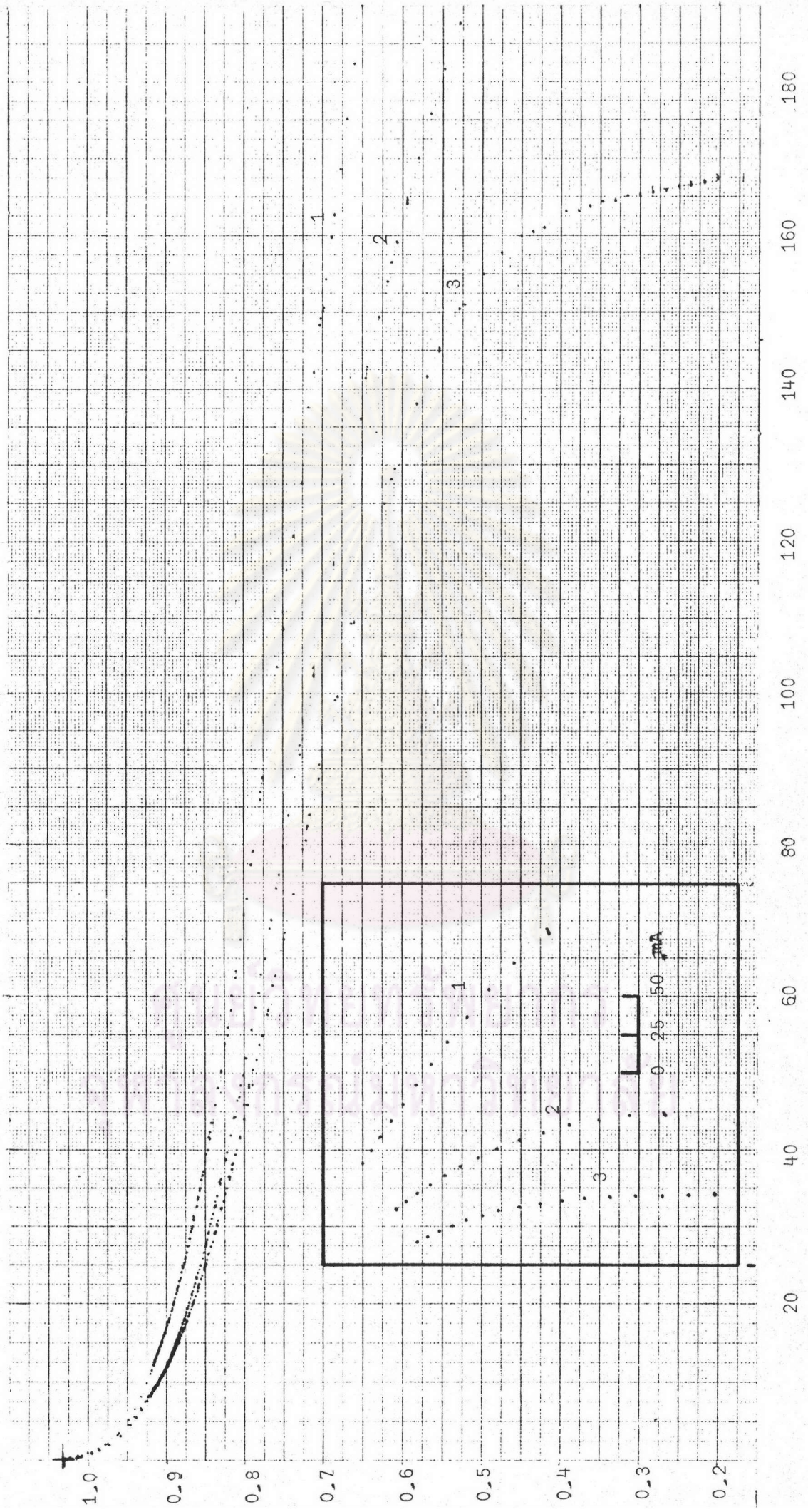
กราฟโพลาริเซชันที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นนี้จะมีลักษณะเป็นจุด ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.14

3.8 การวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์

ประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ได้จากการวัดประจุที่ออกจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน คิดเปรียบเทียบกับปริมาณ แก๊สที่ใช้ไปในการวัดประจุได้ใช้เครื่องบันทึกกราฟ (Watanabe voltage record) วัดความต่างศักย์ที่ความต้านทานมาตรฐาน 1 โอห์ม เพื่อบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์ในเวลาต่าง ๆ โดยพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการบันทึกระหว่างกระแสกับเวลาจะเป็นจำนวนประจุที่ออกจากเซลล์ ส่วนปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

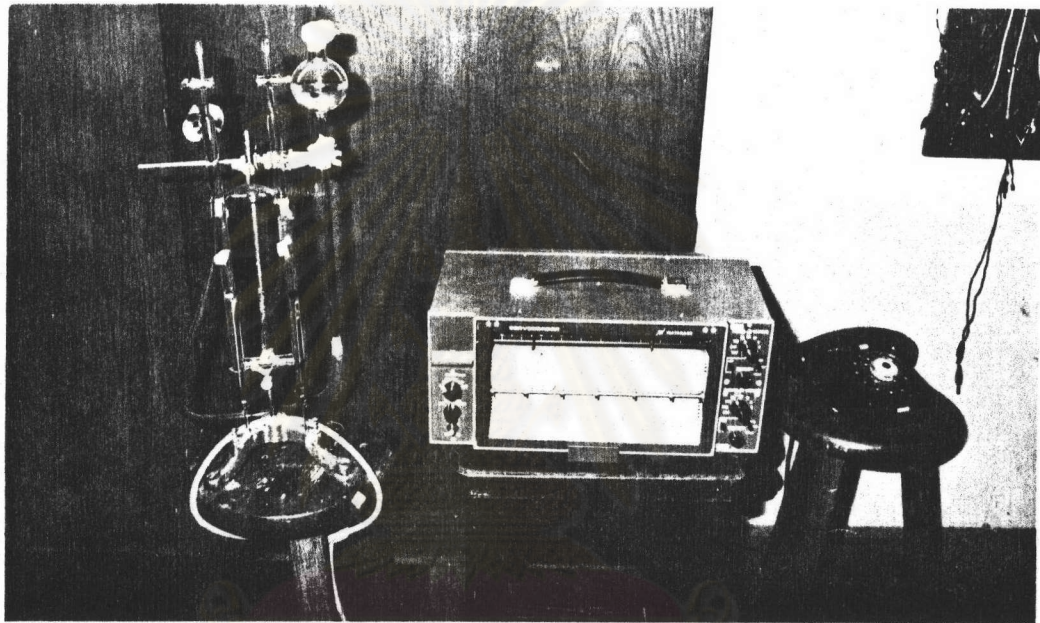


รูปที่ 3.13 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของ เซลล์ เชื้อเพลิงแบบแผ่น แลกเปลี่ยนไอออน 1) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 2) ความต้านทานปรับค่าได้แบบกล่อง 3) ความต้านทานมาตรฐาน 4) ความต้านทานปรับค่าด้วยมอเตอร์ 5) เครื่องบันทึกกราฟตามแกน XY 6) เครื่องกำเนิดสัญญาณ 7) เครื่องตั้งเวลา 8) เครื่องนับ



กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างกราฟโพลลาไรเซชันที่ได้จากระบบเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.15 แสดงอุปกรณ์ในการวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใช้วัดด้วยบิวเรต (buret) ซึ่งประกอบกันเป็นรูปตัว H และส่วนล่างของบิวเรตจะมีสายยางต่อออกมายังหลอดแก้ว เพื่อใช้ปรับความดันแก๊สในบิวเรตรวมทั้งใช้ในการอ่านค่าความดันแก๊สในบิวเรตด้วย ชุดอุปกรณ์การทดลอง วัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์แสดงไว้ในรูปที่ 3.15

ในการทดลอง เพื่อวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ เริ่มด้วยการเปิดแก๊สเข้า เซลล์ก่อนแล้วจึงปิดวงจรให้กระแสไฟฟ้าออกจากเซลล์ ส่วนต้องการกระแสไฟฟ้าเท่าใดนั้นให้ปรับความดันทานแบบกลองซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับวงจร เมื่อกระแสคงที่แล้วจึงกักแก๊สไว้เติมบิวเรต ปรับความดันให้แก๊สในบิวเรตเป็น 1 บรรยากาศ โดยการเลื่อนหลอดปรับความดันให้ระดับน้ำในบิวเรตเท่ากับระดับน้ำในหลอดปรับความดัน จากนั้นจึงปิดวาล์วแก๊สจากถังแก๊สพร้อมกับเริ่มจับเวลา และ เริ่มบันทึกกระแสไฟฟ้าโดยเครื่องบันทึกกราฟ ช่วงนี้เซลล์จะใช้แก๊สจากบิวเรตเพียงอย่างเดียว ความดันแก๊สในบิวเรตจึงลดลง ดังนั้นระดับน้ำในบิวเรตจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนครบ 30 นาที ให้เปิดวงจรทันที ช่วงนี้เซลล์จะหยุดใช้แก๊สทันทีเช่นกัน แล้วจึงวัดปริมาตรแก๊สที่ใช้ไปโดยต้องปรับความดันในบิวเรตให้เป็น 1 บรรยากาศ เท่ากับตอนเริ่มต้นก่อน สรุปลงในการทดลอง เพื่อวัดประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์ต้องอ่านค่าต่อไปนี้คือ ระดับน้ำเริ่มต้น, ระดับน้ำหลังจากสิ้นสุดการใช้แก๊ส, กระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย, ระยะเวลาที่ใช้ จากข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพแบบฟาราเดย์โดยใช้สูตร

$$\eta_F = \frac{i}{NF} \frac{dn}{dt} \quad (2.47)$$

เมื่อ i เป็นกระแสไฟฟ้าจากเซลล์โดยเฉลี่ยหน่วยแอมแปร์, $\frac{dn}{dt}$ เป็นอัตราการใช้แก๊สหน่วยโมลต่อวินาที, $F = 96486.792$ คูลอมบ์ต่อลัมมูล และ $N = 2$ สำหรับแก๊สไฮโดรเจน ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ สำหรับอัตราการใช้แก๊สหาได้จาก

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t (22413)} \quad (3.1)$$

คือ ΔV เป็นปริมาตรแก๊สที่วัดได้ ใน m^3 ต่อวินาที Δt เป็นเวลาที่วัดได้ gas + mol ที่ใช้
22413 cc

โดย ΔV เป็นปริมาณแกล้ที่เข้าไปเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรในเวลา Δt วินาที โดยที่
แกล้ 1 โมลมีปริมาตร 22413 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย