

บทที่ 3

การทดลอง

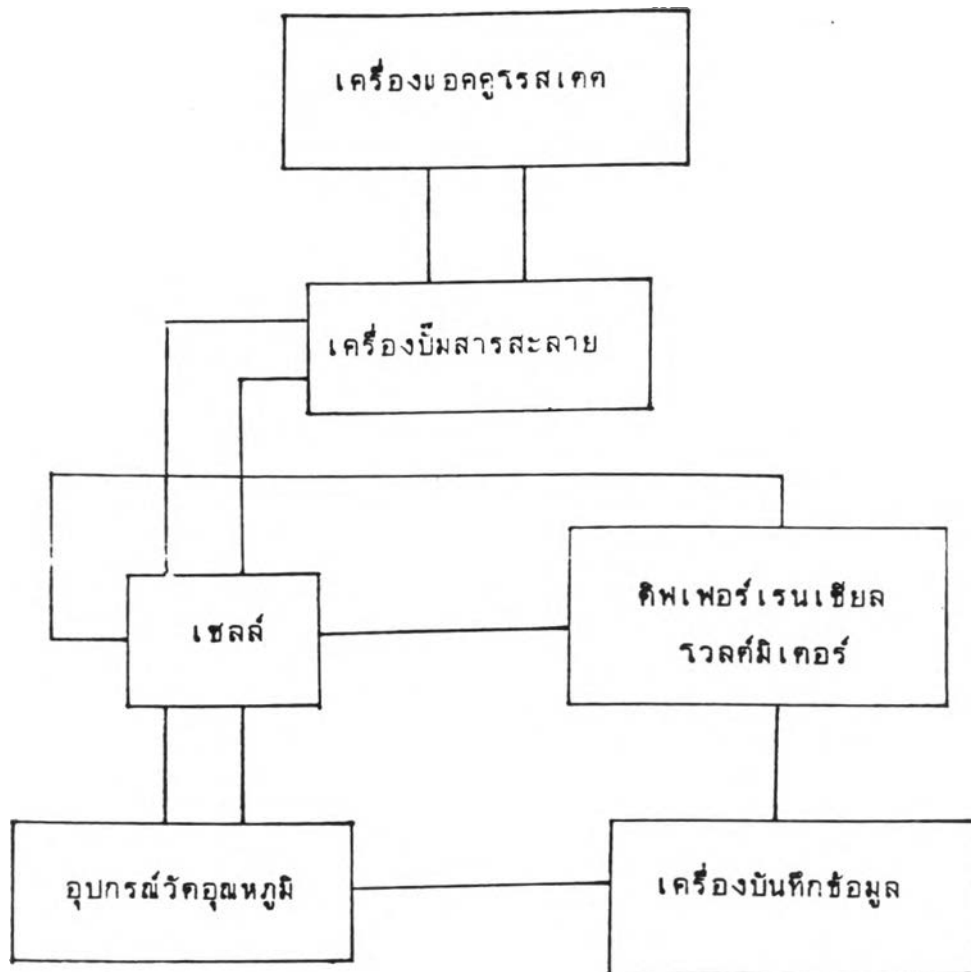
การศึกษาศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์ทอล ในส่วนของการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วน คือส่วนแรกเป็นการวัดด้วยวิธีธรรมดา ซึ่งจะกล่าวในบทนี้ อีกส่วนหนึ่งเป็นการทดลองโดยนำคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4

การทดลองวัดศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเยื่อเชิงเทอร์ทอล ได้ทำการประกอบเซลล์ที่มีการกวนสารละลาย ด้วยวิธีการปั่นสารละลายให้ไหลตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิของสารละลายทั้งสองข้างของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนต่างกัน และเป็นการลดรอยต่อของอุณหภูมิ (thermal junction) เนื่องจากความหนาของแผ่นเยื่อ

โดยที่อุณหภูมิของสารละลายด้านหนึ่งคงที่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอีกข้างหนึ่งมีค่าเปลี่ยนไปในช่วง 10 องศาเซลเซียส และใช้สะพานไอออนโปรตัสเซียมคลอไรด์ชนิดที่เป็นวุ้น (KCl agar salt bridge) เชื่อมระหว่างสารละลายภายในเซลล์ กับ ขั้วไฟฟ้าเงิน-เงินคลอไรด์ที่จะใช้วัดความต่างศักย์ เพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าตามอุณหภูมิของสารละลาย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้คือ เซลล์ที่บรรจุสารละลาย เครื่องปั่นสารละลาย อุปกรณ์และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ดิฟเฟอเรนเชียลโวลต์มิเตอร์ (differential voltmeter) และเครื่องบันทึกข้อมูล (recorder) ดังแผนภาพรูปที่ 3.1.1



ภาพที่ 3.1.1 แผนภาพแสดงการวัดศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเชื้อเพลิงเทอร์มอล

เซลล์ที่บรรจุสารละลายทำด้วยเทฟลอน (teflon) ตัวเซลล์ประกอบด้วยส่วนที่บรรจุสารละลายสองส่วนซึ่งกันด้วยแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน และในแต่ละส่วนมีท่อให้สารละลายเข้าออก และท่อสำหรับใส่อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ในที่นี้ใช้คู่ความความร้อน (thermocouple) ท่อสำหรับใส่สะพานไอออน รายละเอียดของตัวเซลล์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.1

การประกอบเซลล์ทำโดยการนำแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน ที่ปรับสภาพแล้ว (equilibrated) มาไว้ตรงกลางเซลล์ โดยแผ่นเยื่อจะกั้นเซลล์ออกเป็นสองส่วนที่สมมาตรกัน ยึดทั้งสองครึ่งเซลล์เข้าด้วยกัน ต่อจากนั้นจึงนำมาต่อกับท่อสารละลายเข้า และท่อสารละลายออก สารละลายจะถูกปั๊มจากที่เก็บสารละลายไหลผ่านแต่ละครึ่งเซลล์ โดยคู่ความความร้อนชนิด K ตรึงแน่นอยู่กับตัวเซลล์ ส่วนสะพานไอออนจะต่อเข้าทางสารละลายเข้า หรือด้านข้างของเซลล์ แล้วไปยังขั้วไฟฟ้าเงิน-เงินคลอไรด์ ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายโพรตัสเซียมคลอไรด์

เครื่องปั๊มสารละลาย (circulating pump) ใช้รุ่น MODEL PMD 111 ของบริษัท Sanso Electric Co.,Ltd. ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 10/15 วัตต์

ขณะทำการทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้า สามารถวัดได้ 2 วิธีคือวิธีปกติและวิธีควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งในวิธีการวัดแบบปกติได้ใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลโวลต์มิเตอร์ (Fluke 887AB , John Fluke MFG., Co. Ltd., U.S.A) ที่มีความถูกต้อง 0.6 ไมโครโวลต์ ในช่วง 0.1 - 1.0 มิลลิโวลต์ และบันทึกสัญญาณที่ได้เทียบกับเวลาด้วยเครื่องบันทึกกราฟ (SR 651, Watanabe, Japan)

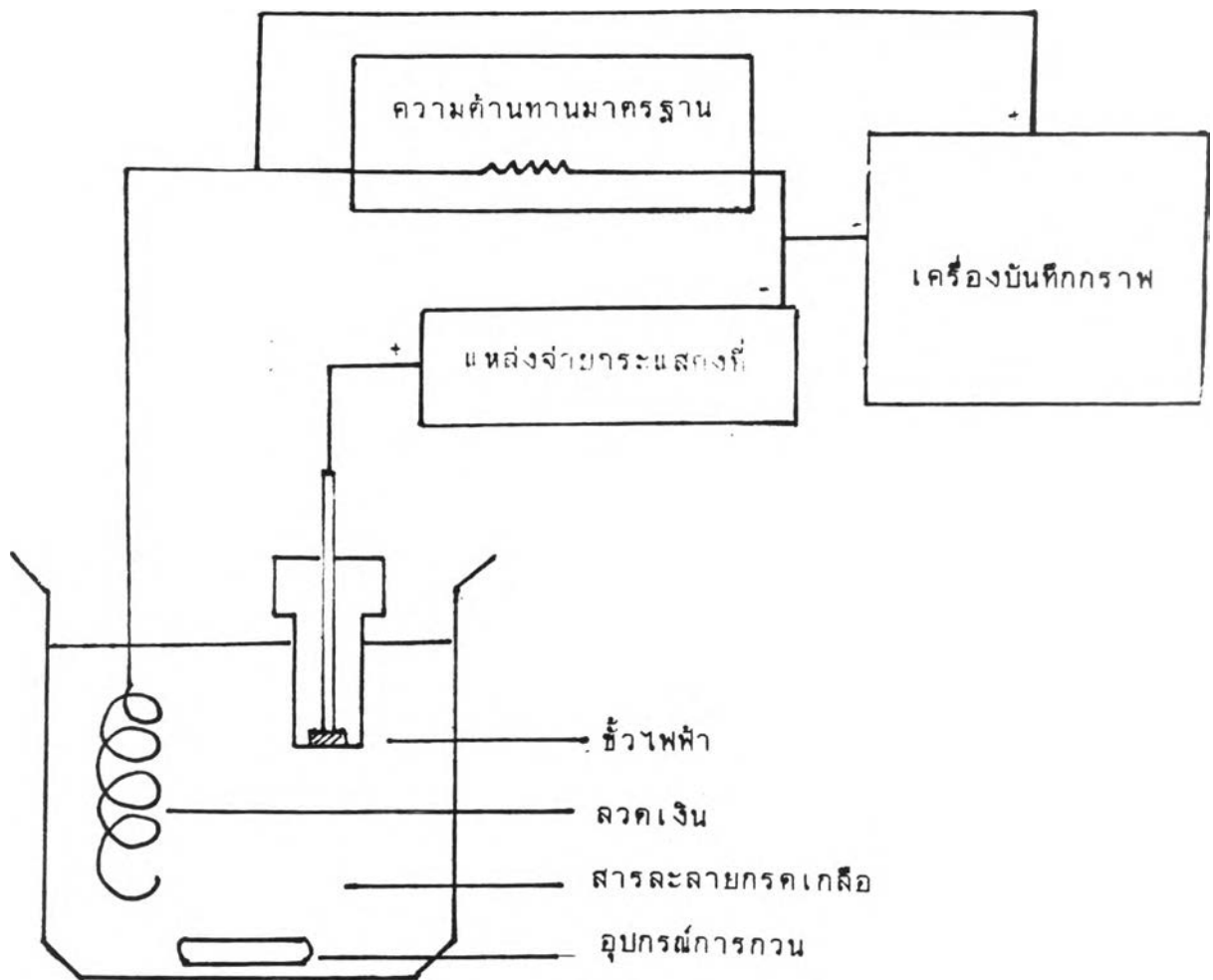
3.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเงิน-เงินคลอไรด์

ขั้วไฟฟ้ามีหลายชนิด และวิธีการเตรียมก็ต่างกัน แต่ในที่นี้จะใช้ขั้วไฟฟ้าเงิน-เงินคลอไรด์ ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าที่ผันกลับได้กับไอออนของคลอไรด์ (Cl^-) ใช้ตัวยึดแผ่นโลหะเงินซึ่งทำด้วยเทพลอน นำแผ่นโลหะเงินที่ติดกับตัวยึดแล้วไปชุบเงินคลอไรด์ แทนทองคำขาวที่ใช้แก้วเป็นตัวยึด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตัดแผ่นเงินบริสุทธิ์ 99.99 % หน้า 0.5 มิลลิเมตรออกเป็นแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร หลังจากทำความสะอาดแล้วนำแผ่นเงินเชื่อมกับลวดเงิน หรือทองแดงที่ยาวประมาณ 6 - 8 เซนติเมตร โดยให้ลวดอยู่กึ่งกลางและตั้งฉากกับระนาบของแผ่นเงิน นำแผ่นเงินไปขัดกับกระดาษทรายละเอียดเพื่อให้เรียบ แล้วนำไปขัดกับผ้าสักหลาดเพื่อให้เรียบและเงายิ่งขึ้น เมื่อทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกและน้ำกลั่นหลายลวกรอบแล้ว นำมาประกอบกับตัวยึดที่กลึงจากเทพลอน ดังแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.2 ใช้กาวซิลิโคน (silicone rubber) เป็นตัวยึดระหว่างแผ่นเงินกับเทพลอน เพื่อป้องกันการซึมของสารละลายที่จะเข้าไปยังด้านหลังของแผ่นเงินและลวด

ก่อนที่จะนำขั้วไฟฟ้าไปชุบเงินคลอไรด์นั้น จำเป็นต้องทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าที่ประกอบแล้วพร้อม ๆ กับลวดเงินที่จะใช้ชุบ โดยล้างด้วยกรดไนตริก (nitric acid ; HNO_3) ความเข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงล้างด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นจากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่กวนอยู่ตลอดเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำขั้วไฟฟ้านี้ไปชุบเป็นเงิน-เงินคลอไรด์ โดยวิธีอิเล็กโทรไลซิสดังรูปที่ 3.2.1

จุ่มขั้วไฟฟ้าและลวดเงินที่ทำความสะอาดดังกล่าวข้างต้น ลงในสารละลายกรดเกลือ (hydrochloric acid ; HCl) ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร



ภาพที่ 3.2.1 แสดงการหาค่าไฟฟ้าเงิน - เงินคลอไรด์

ข้อควรระวังในขณะชุป คือระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกาะที่ผิวเงิน ขณะชุปอุปกรณ์การกวาดรกวานในอัตราที่ไม่เร็วนัก จะได้ไม่ตีสารละลายจนเป็นฟองอากาศไปติดที่ผิวเงิน วิธีป้องกันฟองอากาศคือวิธีหนึ่งคือ ก่อนจุ่มขั้วไฟฟ้าลงในสารละลายกรดเกลือควรหยางขั้วไฟฟ้าขึ้นแล้วจิดน้ำกลั่นจนเต็มเบ้าของที่ยึดขั้วไฟฟ้า เพื่อไล่อากาศออกแล้วค่อย ๆ ค่ำลงในสารละลายกรดเกลือ จะทำให้ไม่มีฟองอากาศที่ผิวหน้าของแผ่นเงิน นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายขณะชุปต้องมีค่าสม่ำเสมอ เพื่อเงินคลอไรด์ ($AgCl$) จะได้เกาะติดแผ่นเงินอย่างสม่ำเสมอ กระแสไฟฟ้าที่จะให้ผ่านคำนวณจากความสัมพันธ์ 0.4 มิลลิแอมแปร์ ต่อหนึ่งตารางเซนติเมตร เมื่อคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าจากพื้นที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าได้แล้ว จึงคำนวณความต่างศักย์ เมื่อใช้ความต้านทานมาตรฐาน 30 โอห์ม ค่าความต่างศักย์ที่คำนวณได้มีระดับขนาดประมาณ 10 มิลลิโวลต์ เราอาจจะอ่านค่าได้จากเครื่องบันทึกกราฟ เพื่อดูว่ากระแสคงที่หรือไม่ ถ้าไม่คงที่ก็ปรับที่เครื่องจ่ายกระแส จนถึงค่าที่ต้องการ เวลาชุปให้ชุปในที่มืดอาจใช้ถังครอบก็ได้

เมื่อชุปขั้วไฟฟ้าครบกำหนดเวลา นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วเก็บไว้ในที่มืดโดยจุ่มให้ ผิวเงิน-เงินคลอไรด์อยู่ในสารละลายกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ที่กวนอยู่ตลอดเวลาไม่น้อยกว่า 3 วัน โดยลัดวงจรขั้วไฟฟ้าเข้าด้วยกันเป็นคู่ ๆ และความต่างศักย์ระหว่างคู่หนึ่ง ๆ จะต้องไม่เกิน 10 ไมโครโวลต์ จึงนำไปใช้งานได้

3.3 การเตรียมสารละลาย

สารละลายที่ใช้เตรียมจากเกลือคลอไรด์ของโลหะหมู่ 1A และ 2A ได้แก่ สารละลายลิเทียมคลอไรด์ ($LiCl$) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) แมกเนเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) นำเกลือแต่ละชนิดมาเตรียมสารละลายความเข้มข้น 0.001 , 0.005 , 0.01 , 0.05 , 0.1 , 1.0 โมลต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร จากการละลายเกลือหนัก 1 กรัมโมล โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า (E.Mettler Zurich ,Type H15 ,Cap.160 g ,No 185191) ที่อ่านได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สี่ แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขวดตวง (Volumetric flask, 1000 ml, 20° C) แล้วแบ่ง

สารละลายที่ได้มา 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยกระบอกตวง (100 ml, 20°) ผสมกับ น้ำกลั่นจนเป็น 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขวดตวง จะได้สารละลายความเข้มข้น 0.1 ไมลต่อลิตร โดยการเตรียมทำนองเดียวกันจะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 และ 0.001 ไมลต่อลิตรตามลำดับ ส่วนความเข้มข้น 0.05 ไมลต่อลิตร เตรียมโดยแบ่ง สารละลายความเข้มข้น 0.1 ไมลต่อลิตร มา 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยกระบอกตวง (50 ml, 20°C) มาผสมกับน้ำกลั่นในขวดตวงจนได้ปริมาตรครบ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยการเตรียมทำนองเดียวกัน จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.005 ไมลต่อลิตร สารละลายทั้ง 6 ความเข้มข้น ของเกลือแต่ละชนิดเตรียมขึ้นพร้อมกันที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยถือว่า ความคลาดเคลื่อนจากการตวงที่เป็นผลจากอุณหภูมิมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับ สารละลายที่ปริมาตรมากพอ

3.4 การเตรียมแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน

แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นแผ่นไอออนบวก แบบเอกพันธุ์ ของ Ionic Inc., Mass., U.S.A หมายเลขรหัส 61AZL386 มีค่าความจุไอออน 2.7 มิลลิสมมูลต่อกรัมของเรซินแห้ง ค่าความจุน้ำ 46 % ของเรซินแห้ง ความหนา 0.6 มิลลิเมตร การเตรียมแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนมีดังนี้

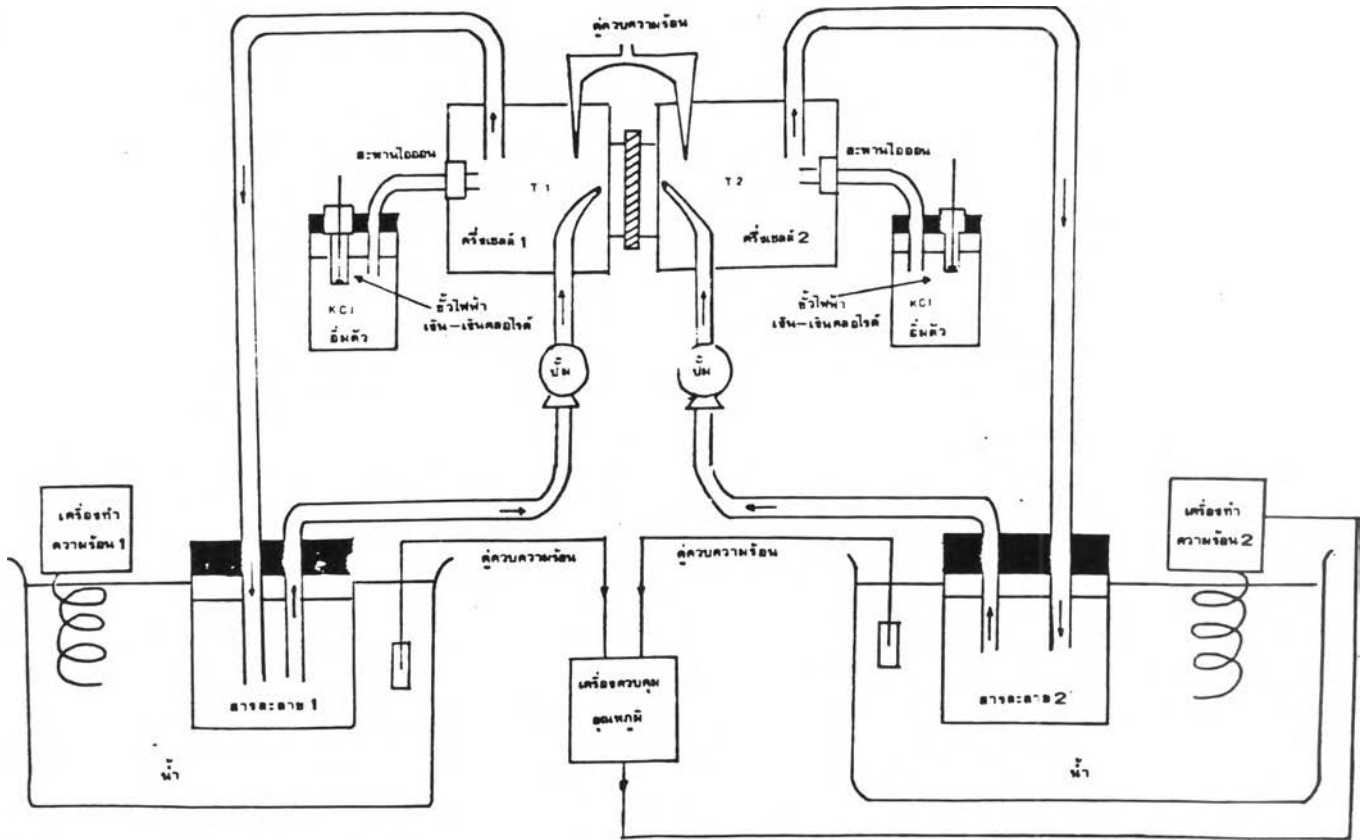
ตัดแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด 15 X 15 มิลลิเมตร ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปแช่ในสารละลายความเข้มข้น 1.0 ไมลต่อลิตร เป็นเวลา 3 วัน โดยเปลี่ยนสารละลายทุกวัน เพื่อกระตุ้นให้แผ่นแลกเปลี่ยนไอออนจุไอออนบวกของสารละลายได้ แทนที่ไอออนของไฮโดรเจนที่มีอยู่เดิม เนื่องจากการสังเคราะห์แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการคอนดิชันนิ่ง (conditioning process) หลังจากนั้นนำแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนนี้ มาแช่ในสารละลายความเข้มข้นเท่ากับที่จะทำการทดลอง เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วันก่อนที่จะนำไปใช้ โดยระหว่างนั้นจะต้องเปลี่ยนสารละลายทุกวัน เพื่อปรับความเข้มข้นของสารละลายทั้งภายในและภายนอกของแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนให้เท่ากัน เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการอิควิลิเบรชัน (equilibration process) ในกระบวนการทั้งสองการแช่แผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

ในสารละลาย จะต้องใช้ขวดแก้วที่มีฝาปิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ที่จะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนไป และถ้าจะให้ดียิ่งขึ้นควรเขย่าสารตลอดเวลา ด้วยเครื่องเขย่าสาร

3.5 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองได้จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5.1 การประกอบเซลล์ให้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมไว้แล้ว อยู่ระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสองที่มีทุกอย่างเหมือนกัน นอกจากอุณหภูมิ สารละลายจะถูกทำให้ร้อนขึ้นตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แล้วป้อนเข้ามายังเซลล์ 2 ทางท่อสารละลายเข้า แล้วไหลผ่านเซลล์ทางท่อสารละลายออก กลับมายังที่เก็บสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ โดยที่เก็บสารละลายจะอยู่ในถังน้ำ ที่มีเครื่องแอกคูโรสเตตเป็นตัวให้ความร้อน ค่าความร้อนชนิด K จะเป็นตัววัดความแตกต่างของอุณหภูมิของสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจะให้ความต่างศักย์ออกมา 40 ไมโครโวลต์ ศักย์ไฟฟ้านี้บันทึกเทียบกับเวลาโดยเครื่องบันทึกกราฟ พร้อมกับบันทึกศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้า เงิน-เงินคลอไรด์ ซึ่งแช่อยู่ในสารละลาย โปตัสเซียมคลอไรด์ โดยมีสะพานไอออนเชื่อมจากแต่ละครึ่งเซลล์มายังสารละลายที่แต่ละขั้วไฟฟ้าแช่อยู่ โดยผ่านเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลต์มิเตอร์ก่อนแล้วจึงบันทึกค่าพร้อมกับอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกกราฟ

อ่านค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ($\Delta\psi$) ที่ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) กราฟที่ได้จากเครื่องบันทึกกราฟ นำค่าที่อ่านได้มาเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแกนนอนเป็นค่าความแตกต่างอุณหภูมิ หาค่าความชัน ($\Delta\psi/\Delta T$) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลาย แล้วนำค่าความชันที่ได้มา เขียนกราฟเทียบกับค่าลอคการิซึมของแอกติวิตีของสารละลาย



ภาพที่ 3.5.1 แสดงการจัดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวัด
 ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นเซอซีงเทอร์มอล