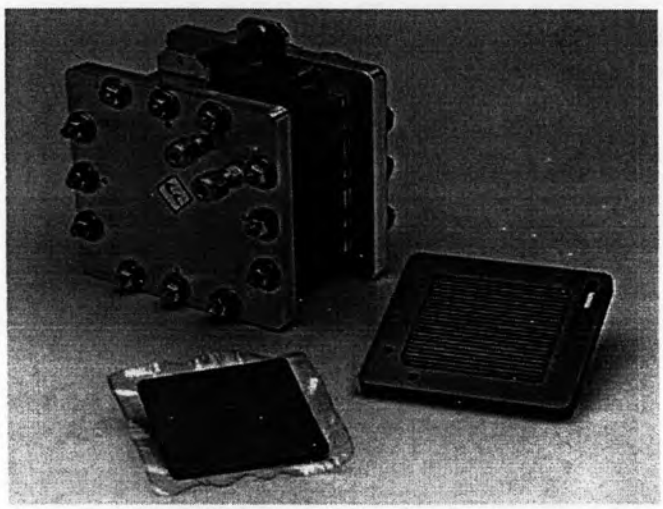
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

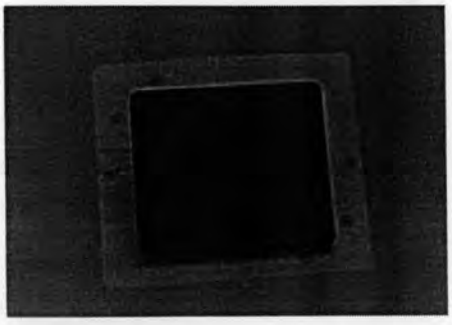
1. ชั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบพีอีเอ็ม ของบริษัท Electrochem,Inc. รุ่น FC50-03SP ดังรูปที่ 3.1 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.1 ชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มขนาด 50 วัตต์ของบริษัท Electrochem.Inc.

โดยภายในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มจะมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

- หน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรน (Membrane electrode assembly, MEAs) มีพื้นที่เกิดปฏิกิริยาขนาด 50 ตารางเซนติเมตร โดยบนขั้วไฟฟ้าจะมีอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับคาร์บอนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่ 1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.2

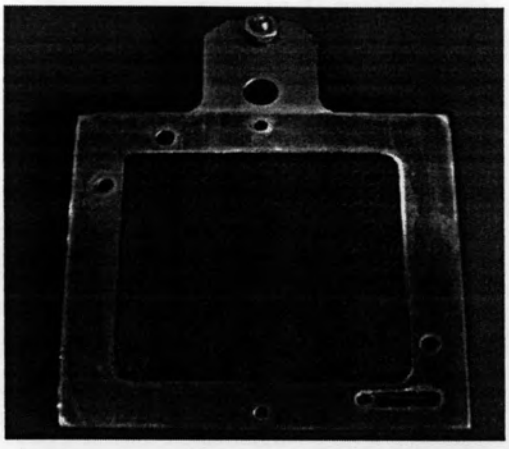


รูปที่ 3.2 หน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรนขนาด 50 ตารางเซนติเมตร

- แผ่นนำไฟฟ้าสองขั้ว (Bipolar plates) โดยจะทำมาจากแกรไฟต์และมีลักษณะช่องทางการไหลแบบตรง (Straight channel flow pattern) ดังแสดงในรูป 3.3 โดยในแต่ละแผ่นจะมีช่องสำหรับวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าในแต่ละเซลล์และช่องสำหรับวัดอุณหภูมิภายในชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

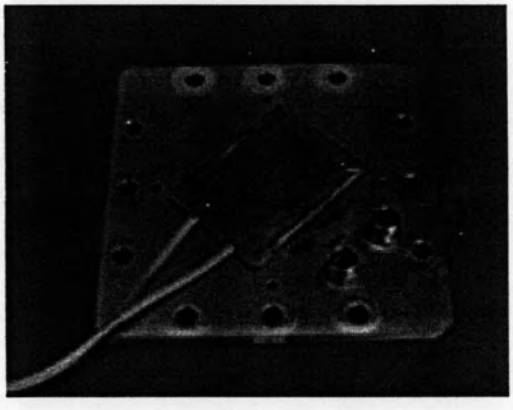
รูปที่ 3.3 ลักษณะช่องทางการไหลในแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วที่ใช้ในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

- แผ่นสะสมกระแสไฟฟ้า (Current collector plates) ทำมาจากทองแดงประกบอยู่ที่ปลายทั้งสองด้านของชั้นเซลล์เชื้อเพลิง โดยแต่ละแผ่นจะมีขั้วสำหรับต่อไปยังเครื่อง Electronic load เพื่อทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ และสำหรับแผ่นสะสมกระแสไฟฟ้าด้านที่ติดกับแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วในแผ่นแรกและแผ่นสุดท้ายจะมีปะเก็นและแผ่นคาร์บอนประกบอยู่ด้วย เพื่อเป็นการลดความต้านทานผิวสัมผัสและเพื่อให้ส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าจากแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วไปยังแผ่นสะสมกระแสไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้นดังแสดงในรูป 3.4



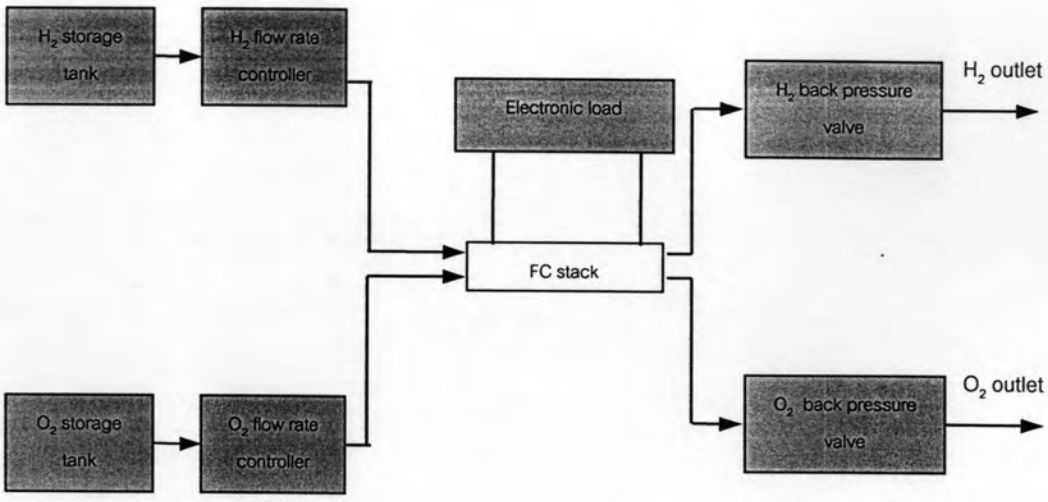
รูปที่ 3.4 แผ่นสะสมกระแสไฟฟ้าในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

- แผ่นประกบ (End plates) จะทำมาจากอะลูมิเนียม โดยทำหน้าที่เป็นแผ่นยึดโครงสร้างในการอัดประกอบเซลล์และมีช่องทางสำหรับต่อแก๊สขาเข้าและขาออก กรณีต้องการควบคุมอุณหภูมิอาจมีการนำแผ่นให้ความร้อน (Heater pad) มาติดตั้งเพิ่มเข้าไปดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผ่นประกบของชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

2. หน่วยทดสอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

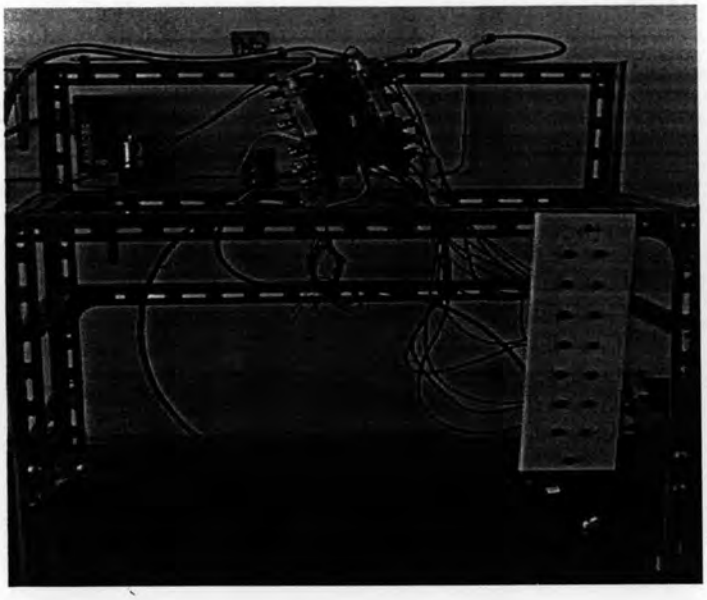


รูปที่ 3.6 โครงสร้างของหน่วยทดสอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

หน่วยทดสอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงแสดงแผนผังดังรูปที่ 3.6 ประกอบด้วย

- เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส(Mass flow controller) รุ่น DFC 26 ช่วงอัตราการไหล 0 – 2000 sccm ของบริษัท AALBORG INSTRUMENT & CONTROL INC
- ชุดควบคุมความดันในระบบ (Back pressure regulator) ของบริษัท PNT Neumatic
- ชุดวาล์วขาเข้า (Intake valve) และวาล์วขาออก (Relieve valve) ของบริษัท Swagelok
- ชุดวัดอุณหภูมิ

3. เครื่องตรวจวัดแก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen detector) รุ่น TX2000 ของบริษัท Oldham



รูปที่ 3.7 หน่วยทดสอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่อง Electronic Load รุ่น N3300A ของบริษัท Agilent Technologies
2. เครื่อง E-corder รุ่น e-corder 401 ของบริษัท eDAQ
3. เครื่อง Potentiostat/Galvanostat รุ่น PG STATO 30 ของบริษัท AUTOLAB และโปรแกรม Frequency Response Analyzer (FRA) สำหรับวัดความต้านทานเชิงซ้อน

3.3 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen 99.999% ของบริษัท Praxair)
2. แก๊สออกซิเจน (Oxygen 99.999% ของบริษัท Praxair)
3. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen 99.999% ของบริษัท Praxair)

3.4 ตัวแปรที่ศึกษา

3.4.1 อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

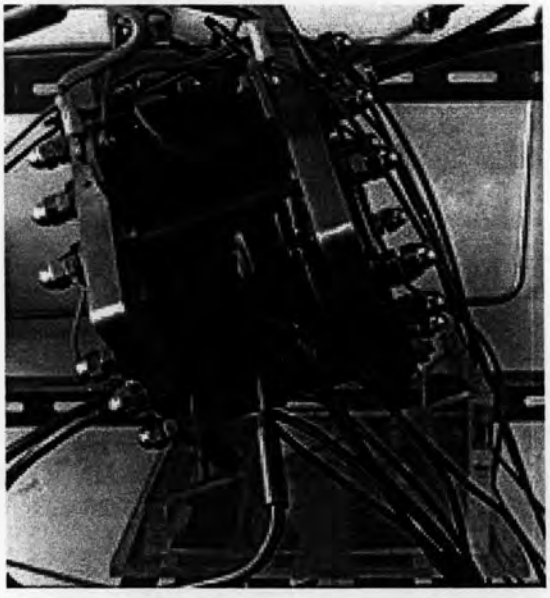
3.4.2 ความดันของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

3.4.3 แรงโมเมนต์การหมุนที่ใช้ในการอัดประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

3.5 การวัดสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

3.5.1 การประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

1. ในการอัดประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม จะเริ่มทำจากด้านขาออกของแก๊สไล่ขึ้นมายังด้านบน
2. วางแผ่นประกบ แผ่นสะสมกระแสไฟฟ้า จากนั้นจึงวางสลับกันไปเรื่อย ๆ ระหว่างแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วและหน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรน โดยจะมีแผ่นปะเก็นซึ่งทำมาจากยางซิลิโคนวางคั่นอยู่ระหว่างแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วและหน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรนเพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สเชื้อเพลิง จนกระทั่งวางครบ 7 เซลล์แล้วจึงปิดท้ายด้วยแผ่นสะสมกระแสและแผ่นประกบ ตามลำดับ
3. ยึดชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยการขันน็อตที่แผ่นประกบ โดยใช้ประแจปอนด์เพื่อทำการอัดที่โมเมนต์การหมุน 70 ปอนด์แรง.นิ้ว
4. นำชั้นเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มที่ได้ไปติดตั้งโดยวางในลักษณะเอียง 30 องศากับพื้นดังแสดงในรูปที่ 3.8 และทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของชั้นเซลล์เชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่ 3.8 ลักษณะของการวางชั้นเซลล์เชื้อเพลิงเอียง 30 องศาในหน่วยทดสอบ

3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะการทำงานของชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

1. ตรวจสอบวาล์วขาเข้าของแก๊สแต่ละชนิดให้อยู่ในทิศทางที่ต้องการ เพื่อป้องกันการไหลผสมกันของแก๊สต่าง ๆ และวาล์วขาออกให้อยู่ในตำแหน่งปิด
2. ตรวจสอบวาล์วควบคุมความดันหัวถังแก๊สให้อยู่ในตำแหน่งปิด
3. ตรวจสอบสายนำแก๊ส ท่อนำแก๊สและข้อต่อต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อย
4. ตรวจสอบสายไฟที่ต่อจากขั้วไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 2 ขั้วมายังเครื่อง Electronic load ให้พร้อมต่อการใช้งาน
5. ตรวจสอบเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิให้อยู่ในช่องวัดอุณหภูมิ
6. เปิดเครื่องวัดความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนเพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนในอากาศ
7. เปิดสวิตช์เครื่องวัดอัตราการไหล เพื่ออุ่นเครื่องควบคุมอัตราการไหลก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 15 นาที
8. เปิดสวิตช์เครื่อง Electronic load เลือกการใช้งานแบบ CV (Constant–Voltage) กดปุ่ม Input off เพื่อให้เครื่องอยู่ในสถานะ disable
9. เปิดสวิตช์เครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่อง E-corder พร้อมกับเปิดคอมพิวเตอร์สำหรับทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องแปลงสัญญาณ
10. เปิดโปรแกรม eDAQ chart เพื่อทำการบันทึกข้อมูล
11. ตั้งค่าอัตราการไหลที่เครื่องวัดอัตราการไหล (0 – 2000 sccm) โดยช่องที่ 1 คือแก๊สไฮโดรเจน ช่องที่ 2 คือแก๊สออกซิเจน ในส่วนของแก๊สไนโตรเจนจะใช้ทั้ง 2 ช่องทางโดยทำการเปลี่ยนทิศทางเดินของแก๊สซึ่งกำหนดโดยใช้วาล์วขาเข้าเป็นตัวควบคุมเส้นทางการไหล
12. เมื่อต้องการจะป้อนแก๊สให้กับชั้นเซลล์เชื้อเพลิง ให้เปิดวาล์วหัวถังของแก๊สที่ต้องการแล้วจึงปรับเครื่องควบคุมความดันที่หัวถังให้ได้ความดันในระบบตามต้องการ โดยกรณีศึกษาความดันจะตั้งความดันที่หัวถังแก๊สให้มากกว่าความดันที่ต้องการในระบบประมาณ 5 psi
13. ก่อนทำการทดลอง ควรป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อเป็นการไล่สิ่งตกค้างที่อาจจะยังมีเหลืออยู่ในเซลล์ออกไป โดยใช้ความดันที่หัวถัง 20 psi อัตราการไหล 250 sccm
14. เมื่อทำการป้อนแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ชั้นเซลล์เชื้อเพลิง ปรับความดันในระบบที่ชุดควบคุมความดันย้อนกลับให้ได้ค่าตามต้องการของ

แก๊สแต่ละชนิดแล้ว รอจนกระทั่งได้ค่าความต่างศักย์ในขณะที่ยังไม่มีการจ่ายกระแสไฟของชั้นเซลล์เชื้อเพลิง (Open circuit voltage) มีค่าคงที่ กดปุ่ม Input on ที่เครื่อง Electronic load แล้วจึงกดปุ่ม voltage แล้วใส่ค่าความต่างศักย์ที่ต้องการดึงกระแส หลังจากนั้นกดปุ่ม start ที่โปรแกรม eDAQ chart เพื่อเริ่มบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ ณ ศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

3.5.3 ขั้นตอนภายหลังการทดสอบสมรรถนะการทำงานของชั้นเซลล์เชื้อเพลิง

1. หลังทำการทดลองเสร็จ กดปุ่ม stop ที่โปรแกรม eDAQ chart แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้
2. กดปุ่ม Input off ที่เครื่อง Electronic load แล้วปิดสวิตช์หลักที่เครื่อง Electronic load
3. ปิดสวิตช์เครื่องวัดอัตราการไหล จากนั้นปิดวาล์วที่หัวถังแก๊ส
4. ปิดวาล์วขาเข้าทุกตัวแล้วค่อย ๆ เปิดวาล์วขาออกทีละตัว เพื่อลดความดันของแก๊สที่ค้างอยู่ในท่อลงไปยังขวดที่มีน้ำอยู่เพื่อลดการกระจายของแก๊ส รอจนมาตรวัดความดันที่หัวถังแก๊สลดลงจนเหลือศูนย์ แล้วจึงเปิดวาล์วขาออกของแก๊สอีกถังหนึ่ง ทำในลักษณะเดียวกัน
5. เมื่อลดความดันในท่อหมดแล้ว ปิดวาล์วความดันขาออก
6. คลายตัวปรับความดันย้อนกลับออกให้สุดทั้งของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน
7. ปิดโปรแกรม eDAQ chart แล้วจึงปิดสวิตช์ที่เครื่อง E-corder
8. ปิดสวิตช์เครื่องวัดอุณหภูมิแล้วจึงปิดคอมพิวเตอร์

3.5.4 การทดสอบหาความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้เทคนิค Electrochemicl Impedance Spectroscopy

1. ตั้งค่าความต่างศักย์เพื่อวัดค่าความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เครื่อง Potentiostat/Galvanostat โดยใช้โปรแกรม FRA เลือกวิธีแบบ Potential และเลือกวิธีแบบ Single potential แล้วจึงตั้งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากเซลล์ชั้นเชื้อเพลิง

2. เมื่อมีการป้อนแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ชั้นเซลล์เชื้อเพลิง รอจนกระทั่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าคงที่ กดปุ่ม Cell Enable ให้อยู่ในตำแหน่งเปิดที่เครื่อง Potentiostat/Galvanostat จึงกดปุ่ม Start ที่โปรแกรม FRA เพื่อเริ่มบันทึกค่าความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ ณ ที่ค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ ที่ตั้งไว้

3.5.5 การทดสอบวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในแต่ละเซลล์

1. เริ่มทำการถอดชั้นเซลล์เชื้อเพลิงแยกออกจากกัน
2. ตัดเส้นใยคาร์บอนให้ยาวประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นทำการประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงเข้าด้วยกันโดยเริ่มจากด้านแก๊สออกไล่ขึ้นมาด้านบน
3. วางแผ่นประกบ แผ่นสะสมกระแสไฟฟ้า แผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วแล้วจึงวางเส้นใยคาร์บอนให้สัมผัสกับแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้ว โดยให้มีส่วนของเส้นใยคาร์บอนยาวออกมานอกชั้นเซลล์เชื้อเพลิงประมาณ 5 เซนติเมตร ตามด้วยแผ่นปะเก็นแล้วจึงวางหน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรน จากนั้นวางเส้นใยคาร์บอนอีกครั้งหนึ่ง และวางปะเก็น แผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วสลับกันไปเรื่อย ๆ จนครบทั้งชั้นเซลล์เชื้อเพลิง
4. อัดประกอบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงเข้าด้วยกันด้วยโมเมนต์การหมุนเท่ากับ 70 ปอนด์แรง.นิ้ว
5. ทำการต่อสายไฟจากแผงวัดความต่างศักย์เข้ากับเส้นใยคาร์บอน โดยที่แผงวัดความต่างศักย์จะแยกเป็นด้านหน้าและด้านหลังของแต่ละหน่วยประกอบขั้วไฟฟ้าเมมเบรนในชั้นเซลล์เชื้อเพลิง
6. วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในแต่ละเซลล์โดยใช้มัลติมิเตอร์ แตะเข้ากับตำแหน่งของเซลล์เดี่ยวที่ต้องการวัดในแผงวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า