

## บทที่ 3

### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. ผงแกรไฟต์ (RGN – C)	บริษัทสุริยูไนเต็ดคาร์บอน จำกัด
2. เส้นใยคาร์บอน : AGM 94	Asbury Graphite Mills, Co. Ltd.
3. พอลิเอสเตอร์เรซิน (สไตรีนมอนอเมอร์ 35%)	บริษัทรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กลาส จำกัด
4. ฟีนอลิกโมดิฟายด์แอลคิเดส์เรซิน : Beckosol SD – 20 – 65	บริษัทสยามเคมีคอล อินดัสทรีส์ จำกัด
5. อีพอกซีเรซิน : No.105	บริษัทรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กลาส จำกัด
6. เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (MEKP)	บริษัทรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กลาส จำกัด
7. โคอบอลต์แนฟทีเนต	บริษัทรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กลาส จำกัด
8. สารช่วยให้แข็งตัว H 29	บริษัทรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กลาส จำกัด
9. ซิงก์สเตียเรท : PURUM	บริษัท ชิกมา – แอลดิช จำกัด
10. โทเทเนียมไดออกไซด์ : Commercial grade	บริษัท เบนไมเยอร์ จำกัด
11. ซิลเวอร์เฟ้นท์	บริษัท เอสพีไอ ซัพพลายส์ จำกัด
12. PVA	บริษัท เอส อาร์ แลบ จำกัด
13. แผ่นซิลิโคน	
14. อะซีโตน (Commercial grade)	
15. น้ำกลั่น	

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกวนผสม (Overhead Stirrer)	: Ika Labortchnik RW20
2. เครื่องกดอัดด้วยความร้อน (Compression molding)	: Labtech LP20
3. Regulated DC power supply	: Model EE – 1243 - 3
4. Digital multimeter	: Digicon DM – 940
5. Scanning electron microscPOE (SEM)	: JEOL JSM 5800LV
6. เครื่องมือทดสอบค่าความแข็งแรงดัด	: LLOYD LR 10 K PLUS
7. เครื่องมือทดสอบสมบัติความแข็ง (ดูโรมิเตอร์)	: REX Guage 2000

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 8. เครื่องมือวิเคราะห์ พื้นที่ผิวและความพรุน                | : Micromeritics<br>ASAP2020 |
| 9. เครื่องบดพลาสติก (Crusher)                               | : Model SM100               |
| 10. เครื่องวิเคราะห์ XRF                                    | : Bruker axs S4 pioneer     |
| 11. เวอร์เนีย   |                             |
| 12. เครื่องชั่งน้ำหนัก ชั่งได้ละเอียดตศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง |                             |
| 13. นาฬิกาจับเวลา   |                             |
| 14. ตู้อบ   |                             |
| 15. โถดูดความชื้น (Dessicator)                              |                             |
| 16. Suction pump พร้อมชุดเครื่องแก้ว                        |                             |
| 17. กระจกทรง เบอร์ 1  |                             |
| 18. อะลูมิเนียม ฟอยล์                                       |                             |
| 19. บีกเกอร์ และอ่างผสมสแตนเลส                              |                             |

### 3.3 การดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของสารนำไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนและสารเติมแต่ง

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) และขนาดรูพรุนของผงแกรไฟต์ ซึ่งเป็นสารนำไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน จะใช้เครื่องวิเคราะห์ BET ซึ่งอาศัยหลักการดูดซับแก๊สไนโตรเจน ( $N_2$  Adsorption) จากนั้นจะศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง SEM ซึ่งจะศึกษาทั้งผงแกรไฟต์และสารเติมแต่ง ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน ไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิงก์สเต็มเรท

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของผงแกรไฟต์และสารเติมแต่ง ทำโดยนำผงแกรไฟต์และสารเติมแต่งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปอัดในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 4 มิลลิลิตร พร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก และหาค่าความหนาแน่นได้จากสมการที่ 3.1

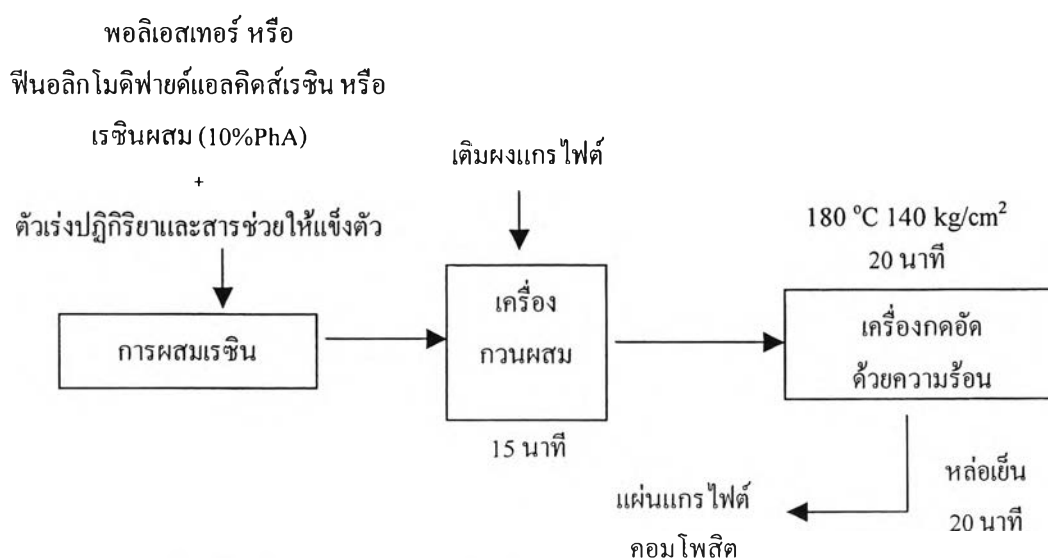
$$\text{ความหนาแน่น} = \text{มวล} / \text{ปริมาตร} \quad (3.1)$$

### 3.3.2 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของสารช่วยยึดเกาะ (Binder)

การศึกษาผลของสารช่วยยึดเกาะ จะใช้เรซิน 3 ชนิดคือ พอลิเอสเทอร์เรซิน (POE), ฟีนอลิก โมดิฟายด์แอลคิควิเรซิน (PhA) และเรซินผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์และฟีนอลิก โมดิฟายด์แอลคิควิเรซิน (Mix resin) โดยทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของฟีนอลิก โมดิฟายด์แอลคิควิเรซิน

ในขั้นตอนการผสมจะใช้เครื่องกวนผสมและอ่างสแตนเลส โดยจะเติมเรซินลงในอ่างผสม จากนั้นจะเติม โคมโบลด์เนฟทีเนตซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ลงไปในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของเรซินที่ใช้ กวนผสมให้เข้ากันดีโดยใช้ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบต่อนาที จากนั้นเติมเมทิลเอทิลทีโตนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นตัวทำปฏิกิริยาหรือเรียกว่าสารที่ช่วยทำให้แข็ง (Hardener) ในปริมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของเรซิน กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมผงแกรไฟต์ลงไป โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณแกรไฟต์ในการทดลองที่ร้อยละ 55, 57, 60, 63 และ 66 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อกวนส่วนผสมจนเข้ากันดีแล้ว จะนำชิ้นงานมาใส่ในแม่พิมพ์สแตนเลสตามขนาดที่ต้องการ นำอะลูมิเนียมฟอยล์มารองด้านบนและด้านล่างก่อนประกบแม่พิมพ์ด้วยแผ่นสแตนเลส เพื่อป้องกันชิ้นงานติดแผ่นสแตนเลส จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นด้วยระบบหล่อเย็นหมุนเวียนเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ขั้นตอนการผสมและการขึ้นรูปแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปเพื่อศึกษาผลของสารช่วยยึดเกาะ

### 3.3.3 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่ง (Additive)

การศึกษาผลของสารเติมแต่งซึ่ง ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน ไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ สเตียเรทนั้น จะแยกศึกษาผลของแต่สารเติมแต่งแต่ละตัว โดยใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารช่วย ยึดเกาะ ในการศึกษาผลของเส้นใยคาร์บอน สัดส่วนการผสมจะแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมเพื่อศึกษาผลของเส้นใยคาร์บอน

สัดส่วนของ แกรไฟต์ : เส้นใยคาร์บอน	ปริมาณคาร์บอนโดยรวม ร้อยละ 66		ร้อยละของ พอลิเอสเทอร์เรซิน
	ร้อยละแกรไฟต์	ร้อยละเส้นใยคาร์บอน	
16:1	62.1	3.9	} 34
8:1	58.7	7.3	
5.33:1	55.6	10.4	
4:1	52.8	13.2	
3.25:1	50.3	15.7	

สำหรับไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์สเตียเรทนั้น ปกติเป็นสารเติมแต่งพอลิเมอร์ที่ใช้ใน ปริมาณน้อยโดยอยู่ในช่วง 1- 5 phr ดังนั้นจึงศึกษาผลของสารทั้งสองโดยเลือกผสมลงในสัดส่วน ของชิ้นงานที่ใช้พอลิเอสเทอร์ร้อยละ 34 และแกรไฟต์ร้อยละ 66 (POE66) โดยเปลี่ยนแปลง ปริมาณของสารทั้งสองในช่วง 1 – 5 phr

ขั้นตอนการผสมและการขึ้นรูปของการศึกษาผลของสารเติมแต่งจะเหมือน 3.3.2 โดยการ ผสมสารเติมแต่งจะเติมลงไปหลังจากผสมผงแกรไฟต์กับเรซินจนเข้ากันดีแล้ว

### 3.3.4 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณคาร์บอนลงในชิ้นงาน

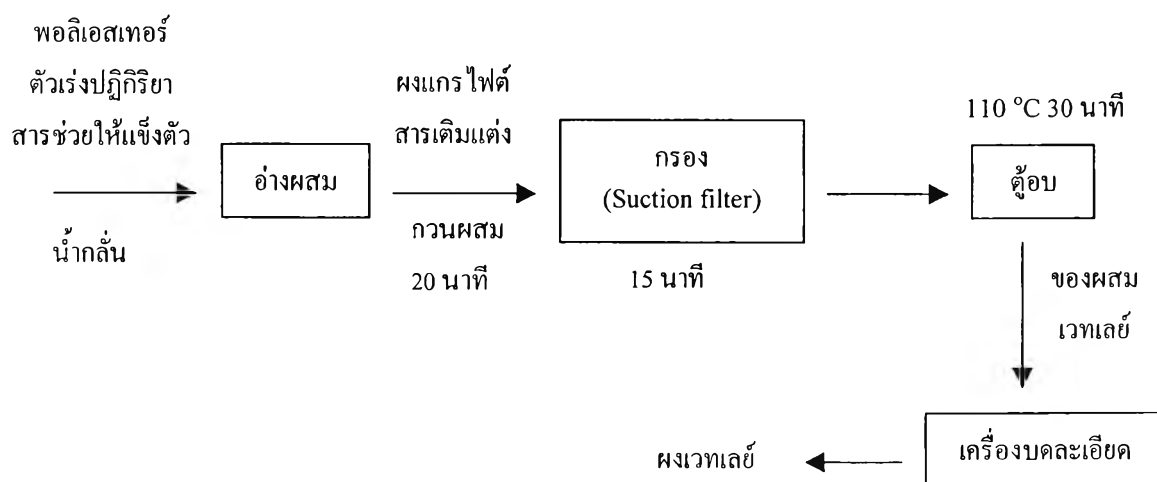
การเพิ่มปริมาณคาร์บอนลงในชิ้นงานนั้น จะศึกษาโดยใช้กระบวนการผสมที่ประยุกต์จาก กระบวนการเวทเลย์ (Wet – lay) [20] และใช้พอลิเอสเทอร์เรซินเป็นสารช่วยยึดเกาะ สัดส่วน ของการผสมจะแสดงดังตารางที่ 3.2 สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ สเตียเรท ในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในตอนๆที่ 3.3.3 ในการศึกษาจะเพิ่ม สัดส่วนการผสมให้ได้ปริมาณคาร์บอนในชิ้นงานให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนการผสมเพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณคาร์บอนลงในชิ้นงาน

ชิ้นงาน	ร้อยละโดยน้ำหนัก		
	ปริมาณคาร์บอนในชิ้นงาน		พอลิเอสเตอร์เรซิน
	แกรไฟต์	เส้นใยคาร์บอน	
WL70	66	4	30
WL73	66	7	27
WL76	66	10	24

เพิ่มปริมาณคาร์บอนในชิ้นงานให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ในขั้นตอนการผสมนั้น ขั้นแรกจะกวนผสมน้ำก้นกับเรซินในอัตราส่วน 3 : 1 จากนั้นจะเติมสารเติมแต่ง แกรไฟต์ โคลบอลต์เนฟทีเนต และเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ลงไป ตามลำดับ กวนผสมจนเข้ากันดีซึ่งของผสมที่ได้จะมีลักษณะเป็นสเลอรี จากนั้นนำสเลอรีที่ได้ไปกรองเป็นเวลาประมาณ 15 นาที นำของผสมที่กรองได้ ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยน้ำส่วนที่ยังเหลือตกค้างอยู่ในของผสมออกให้หมด จากนั้นนำของผสมที่ผ่านการอบไปบดเป็นผงด้วยเครื่องบดละเอียด ขั้นตอนการผสมที่ประยุกต์จากกระบวนการเวทเลย์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการผสมที่ประยุกต์จากกระบวนการเวทเลย์

ทดลองผสมผงเวทเลียที่เตรียมได้กับส่วนผสมของชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปได้ในอัตราส่วน 1:4 โดยเลือกผงของ WL73 ขึ้นรูปพร้อมกับส่วนผสมของชิ้นงานพอลิเอสเทอร์ที่ปริมาณผงแกรไฟต์ ร้อยละ 66 (WL73& POE66) ส่วนผสมของชิ้นงานที่มีสัดส่วนของแกรไฟต์และเส้นใยคาร์บอน เท่ากับร้อยละ 58.7 และ 7.3 (WL73& 7.3CF) และส่วนผสมของชิ้นงานที่มีสัดส่วนของแกรไฟต์ และเส้นใยคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 50.3 และ 15.7 ตามลำดับ (WL73& 15.7CF) ที่ปริมาณพอลิ เอสเทอร์ร้อยละ 34 และปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 2 phr ดังแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นนำไปขึ้นรูปเหมือน 3.3.2

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนการผสมผง WL 73 ลงในชิ้นงานต่างๆ

ชิ้นงาน	ส่วนผสมของชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ 4 ส่วน			ผงเวทเลีย 73 1 ส่วน
	ร้อยละโดยน้ำหนัก		พอลิเอสเทอร์ร้อยละ	
	ผงแกรไฟต์	เส้นใยคาร์บอน		
WL73& POE66	66	0	34 โดยน้ำหนัก	
WL73& 7.3CF	58.7	7.3	และ TiO <sub>2</sub> 2 phr	
WL73& 15.7CF	50.3	15.7		

### 3.3.5 การผสมและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกล เมื่อใช้อีพอกซีเรซิน เป็นสารช่วยยึดเกาะ

ในการศึกษาผลของอีพอกซีเรซินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลนั้น ในขั้นแรกจะศึกษาสมบัติของชิ้นงานที่เตรียมโดยใช้ปริมาณแกรไฟต์ร้อยละ 66 เพื่อเปรียบเทียบกับ ชิ้นงานที่เตรียมโดยใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารช่วยยึดเกาะ จากนั้นจะหาปริมาณอิมตัวของแกรไฟต์ลงในอีพอกซีเรซิน โดยจะเปลี่ยนแปลงปริมาณผงแกรไฟต์จนกว่าจะไม่สามารถเติมผง แกรไฟต์ลงไปผสมได้ สำหรับสารที่ช่วยให้แข็งตัวของอีพอกซีเรซินนั้นจะใช้ในปริมาณ 1 ส่วน ต่อปริมาณอีพอกซีเรซิน 2 ส่วน ขั้นตอนการผสมและการขึ้นรูปจะทำเช่นเดียวกับ 3.3.2 แต่จะ เปลี่ยนภาวะในการขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 140 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร เวลาในการขึ้นรูป 30 นาที โดยไม่ต้องหล่อเย็นด้วยระบบหล่อเย็นหมุนเวียน เมื่อนำออกมาจากเครื่องกดอัดแล้วพักไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้การเชื่อมโยงของพอลิเมอร์เกิดสมบูรณ์ แล้วจึงนำ ชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ในขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากแม่แบบเมื่อเปลี่ยนมาใช้อีพอกซีเรซินเป็นสารช่วยยึดเกาะ อาจเกิดปัญหาชิ้นงานติดแน่นกับแม่แบบ ซึ่งแก้ไขโดยการใช้น้ำสารละลายพีวีเอร้อยละ 10 (10% PVA solution) ทารอบๆ ขอบด้านในของแม่แบบและติดด้วยแผ่นซิลิโคนบาง (หนา 1 มิลลิเมตร) จะช่วยลดปัญหาชิ้นงานติดแน่นกับแม่แบบลงได้

เมื่อได้ปริมาณอิมตัวของแกรไฟต์ในอีพอกซีเรซินแล้ว จึงศึกษาผลของสารเติมแต่ง ซึ่งเลือกศึกษาเฉพาะอัตราส่วนของแกรไฟต์ต่อปริมาณเส้นใยคาร์บอนที่ 8:1 และ 3.25:1 (เส้นใยคาร์บอนร้อยละ 7.3 และ 15.7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) โดยปริมาณคาร์บอนโดยรวมจะเท่ากับปริมาณอิมตัวของแกรไฟต์ และจะใช้ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยกำหนดให้มีปริมาณคงที่เท่ากับ 2 phr

### 3.3.6 การศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

ศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาตามภาคตัดขวาง โดยนำชิ้นงานไปหักในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ผิวหน้าชิ้นงานเรียบ และตัดชิ้นงานให้มีขนาดพอเหมาะกับการรองรับชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยทอง แล้วนำไปส่องด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy เลือกกำลังขยายตามต้องการ

### 3.3.7 การวัดค่าการนำไฟฟ้าของแกรไฟต์คอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM C611 – 98 [22]

การวัดค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานด้วยวิธีนี้จะเป็นการวัดค่าการนำไฟฟ้าในแนวระนาบ ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะขึ้นรูปโดยมีขนาดยาว 120 มิลลิเมตร กว้าง 20 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร หลังจากขึ้นรูปแล้วจะนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บไว้ในหม้อดูดความชื้น จากนั้นนำไปทาน้ำยาซิลเวอร์เฟ้นท์เพื่อให้เกิดจุดเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้าและลดค่าความต้านทานสัมผัส (Contact resistance) โดยจะทาห่างจากปลายชิ้นงานทั้ง 2 ด้านเป็นระยะ 20 มิลลิเมตร ความกว้างของแถบน้ำยา 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้าตามมาตรฐาน ASTM C611 – 98 (Method B voltmeter technique) ด้วยเทคนิคสี่จุด (Four probe technique) ให้กระแสไฟฟ้าด้วยเครื่อง DC power supply วัดค่าความต่างศักย์ด้วยเครื่อง Digital multimeter ซึ่งแสดงการต่อวงจรดังรูปที่ 3.3

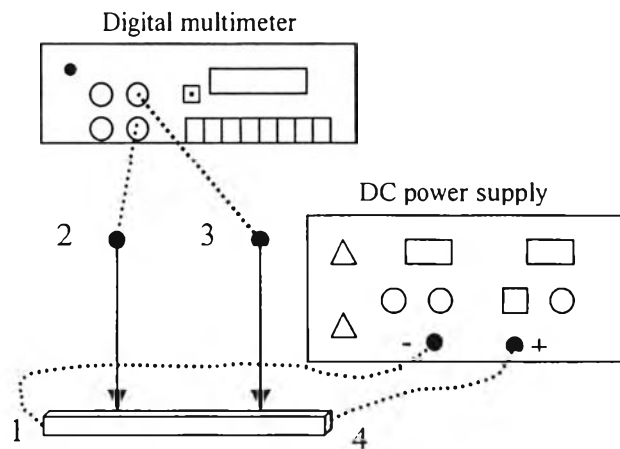
จากค่าความต่างศักย์ที่วัดได้นำไปคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าในแนวระนาบดังสมการที่ 3.2 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (3.3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.4)$$

โดยที่  $\rho$  = สภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega \text{ cm}$ )  
 $\sigma$  = สภาพนำไฟฟ้า ( $\text{S cm}^{-1}$ )  
 $V$  = ความต่างศักย์ (V)  
 $R$  = ความต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega$ )  
 $I$  = กระแสที่ป้อนเข้าชิ้นงาน (A)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัด ( $\text{cm}^2$ )  
 $L$  = ระยะทางระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (cm)



รูปที่ 3.3 การวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเทคนิคสี่จุด ตามมาตรฐาน ASTM C611 – 98

### 3.3.8 การหาความหนาแน่นของแกรไฟต์คอมโพสิต

เตรียมชิ้นงานขนาดกว้าง 25.4 มิลลิเมตร ยาว 76.2 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร คำนวณหาปริมาตรของชิ้นงาน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผล คำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโดยสมการที่ 3.1



### 3.3.9 การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570 – 98 [23]

การวัดค่าการดูดซึมน้ำจะทดสอบตาม ASTM D570 – 98 โดยจะใช้ขนาดชิ้นงาน ยาว 76.2 มิลลิเมตร กว้าง 25.4 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บไว้ให้เย็นในหม้อดูดความชื้นทันที นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight) จากนั้นนำชิ้นงานไปจุ่มในภาชนะที่มีน้ำกลั่นท่วมชิ้นงานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำผ้ามาซับน้ำส่วนเกินออกจากชิ้นงาน และนำไปชั่งน้ำหนักเปียก (Wet weight) ซึ่งร้อยละของการดูดซึมน้ำ (% Water absorption) จะคำนวณจากสมการที่ 3.5

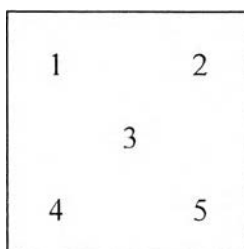
$$\text{ร้อยละของการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad (3.5)$$

### 3.3.10 การทดสอบค่าความแข็งแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM D790 – 03 [24]

การทดสอบค่าความแข็งแรงดัด (Flexural strength) จะใช้วิธีมาตรฐาน ASTM D790 – 03 ที่ 23 องศาเซลเซียส โดยใช้ชิ้นงานขนาด ยาว 120 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร ความเร็วในการทดสอบ 13.89 มิลลิเมตรต่อนาที ช่วงความยาว (Span length) 50 มิลลิเมตร ทำการทดสอบซ้ำ 5 ชิ้นงาน บันทึกผล และรายงานเป็นค่าความแข็งแรงดัด

### 3.3.11 การทดสอบสมบัติความแข็งของชิ้นงาน ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งดูโรมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D2240 – 04 [25]

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งจะมีขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร และหนา 6 มิลลิเมตร โดยใช้หัวทดสอบความแข็งชนิดบี (type B) ใช้หัวทดสอบกดลงบนชิ้นงาน 5 จุด แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยกดหัวทดสอบลงบนชิ้นงานพร้อมกับเริ่มจับเวลา และจะอ่านค่าความแข็งเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที รายงานผลเป็นค่าความแข็งดูโรมิเตอร์เฉลี่ย



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งในการวัดค่าความแข็งดูโรมิเตอร์ของชิ้นงาน

### 3.3.12 การทดสอบสมบัติของแผ่นแกรไฟต์คอมโพสิตเมื่อใช้งานเป็นแผ่นนำกระแสแบบสองขั้วใน เซลล์เชื้อเพลิงฟิวเซลล์

การขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับนำไปเจาะร่องให้เกิดช่องทางการไหลของแก๊ส นั้น จะใช้ ส่วนผสมของชิ้นงาน 7.3CF ที่ผสมกับผงเวทเลข 73 โดยขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความดัน 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาในการกดอัด 5 ชั่วโมง และทำให้เย็นด้วยระบบ หล่อเย็นหมุนเวียนเป็นเวลา 30 นาที และใช้ส่วนผสมของชิ้นงาน 15.7CF ที่ใช้อีพอกซีเรซินเป็น สารช่วยยึดเกาะ ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาในการกดอัด 4 ชั่วโมง โดยไม่ต้องหล่อเย็นด้วยระบบหล่อเย็นหมุนเวียน แม่พิมพ์สำหรับ ชิ้นรูปมีขนาดกว้าง 11 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ ไปเจาะร่องเพื่อให้เกิดช่องทางการไหลของแก๊ส โดยยึดรูปแบบช่องทางการไหลของแก๊สจากแผ่น นำกระแสแบบสองขั้วเชิงพาณิชย์ของ Electrochem, Inc. ดำเนินการเจาะร่องโดยบริษัท สตี ยูไนเต็ดคาร์บอน จำกัด

จากนั้นนำแผ่นแกรไฟต์คอมโพสิตที่ผ่านการเจาะร่องแล้วมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน ในเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเซลล์ โดยใช้หน่วยเยื่อแผ่นและอิเล็กโทรด (MEAs) เชิงพาณิชย์ของ Electrochem, Inc. และเปรียบเทียบผลกับเซลล์เชื้อเพลิงฟิวเซลล์เชิงพาณิชย์ของ Electrochem, Inc.

ขั้นตอนในการทดสอบประสิทธิภาพมีดังนี้

1. ใช้แผ่นนำกระแสแบบสองขั้วชนิดแผ่นแกรไฟต์คอมโพสิตที่ได้จากการวิจัย 1 แผ่น ประกอบเข้ากับชุดเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวเชิงพาณิชย์ของ Electrochem, Inc. ที่ประกอบด้วยแผ่น นำกระแสแบบสองขั้วชนิดแผ่นแกรไฟต์ 1 แผ่น และหน่วยประกอบเยื่อแผ่นและอิเล็กโทรด (MEAs) ขนาดพื้นที่ทำปฏิกิริยา 5 ตารางเซนติเมตร นำหน่วยเยื่อแผ่นและอิเล็กโทรด ประกอบเข้ากับแผ่นนำกระแสสองขั้วทั้ง 2 ด้าน โดยใช้แผ่นยางซิลิโคนบางรองก่อนเพื่อป้องกันการรั่วของ แก๊ส ยึดตรึงแผ่นนำกระแสแบบสองขั้วที่ประกบกับหน่วยเยื่อแผ่นและอิเล็กโทรดทั้งสองด้านเข้า ด้วยกัน โดยใช้หนีบ จากนั้นจึงใช้ประแจปอนด์เพื่อทำการอัดส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้โมเมนต์ การหมุนที่ 40 ปอนด์แรง-นิ้ว จะได้เซลล์เดี่ยวของเซลล์เชื้อเพลิง

2. ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้น เมื่อตรวจสอบ สภาพเรียบร้อยของหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง และเซลล์เชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำการ ทดลองแล้ว จะทดสอบหาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้กราฟโพลาริเซชันที่ได้จากการ ทดสอบด้วยโปรแกรม GPOES ในเครื่อง Potentiostat /Galvanostat วิธี Chronomethods (Interval time > 0.1 sec) แบบ Amperometry โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและ

แก๊สออกซิเจน 100 SCCM เท่ากัน ภาวะให้ความชื้นอิ่มตัว อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิง 60 องศาเซลเซียส

3. ทดสอบหาความต้านทานในเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้เทคนิค Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) โดยการทดสอบด้วยโปรแกรม FRA โดยเลือกวิธีแบบ Potential และเลือกวิธีแบบ Single potential แล้วจึงตั้งค่าความต่างศักย์เพื่อให้เครื่องวัดค่าความต้านทานจากเซลล์เชื้อเพลิงที่ค่าความต่างศักย์ค่าต่างๆที่ได้ตั้งไว้ แสดงผลเป็น Nyquist plot

4. ทำการทดสอบซ้ำ ตามข้อ 1–3 โดยเปลี่ยนค่าโมเมนต์การหมุนสำหรับการอัดส่วนประกอบของชุดเซลล์เชื้อเพลิงเดียวเป็น 60 ปอนด์แรง – นิ้ว