

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249552

การเสริมแรงฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลต  
ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

อภิศักดิ์ ชัยชนะวงศ์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
กันยายน 2554

๒๐๐๒๕๓๑ ๖๔

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



การเสริมแรงพีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลต  
ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

อภิศักดิ์ ชัยชนะวงศ์



วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
กันยายน 2554

การเสริมแรงฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลต  
ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

อภิศักดิ์ ชัยชนะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

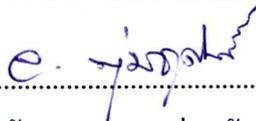
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ

ผศ. ดร.อรุณี คงดี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



.....  
ผศ. ดร.จันทราวรรณ พุ่มชูศักดิ์



.....กรรมการ

อาจารย์ ดร.ชรชณี พัทธวากร



.....กรรมการ

ผศ. ดร.จันทราวรรณ พุ่มชูศักดิ์

15 กันยายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทราวรรณ พุ่มชูศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี คงดี และอาจารย์ ดร.ดรชนี พัทธวรการ ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำปรึกษา และคำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบคุณอาจารย์ ดร.มิณทร์ เมธีสุวกุล ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ ตลอดจนออกแบบ และสร้างแม่แบบให้กับงานวิจัย

ขอกราบขอบคุณ คุณ โชคชัย คงอุดมทรัพย์ ที่กรุณาเคลือบแม่แบบให้กับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน และคอยดูแลเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท TGCI Resitop ที่ให้ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์บ้างแก่ผู้ที่สนใจ

อภิศักดิ์ ชัยชนะวงศ์

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การเสริมแรงฟินอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
ผู้เขียน	นายอภิศักดิ์ ชัยชนะวงศ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทราวรรณ พุ่มชูศักดิ์

## บทคัดย่อ

249552

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเสริมแรงคอมโพสิตนำไฟฟ้าโดยใช้ฟินอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นเมทริกซ์ และใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้า ในกลุ่มคาร์บอน นอกจากนี้ยังได้เติมสารตัวเติมเสริมสมบัติเชิงกล ได้แก่ ซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยการผสมพอลิเมอร์และสารตัวเติมคาร์บอนแบบแห้ง และทำการขึ้นรูปโดยการกดอัด โดยทำการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีอนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และแกรไฟต์ร่วมกับซิลิกอนคาร์ไบด์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแปรสัดส่วนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ 0-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วทำการศึกษาผลของปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีต่อสมบัติการนำไฟฟ้าและสมบัติเชิงกล ทั้งนี้ได้ทำการบ่มที่ 150 องศาเซลเซียสภายใต้แรงดัน 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที และทำการอบหลังบ่มที่ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 ชั่วโมง พบว่าฟินอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่ใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่ 75 ซีเมนต่อเซนติเมตร ขณะที่สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนแรงดึง ความทนแรงโค้งงอ และความทนแรงกระแทกมีค่าเท่ากับ 12.0 เมกะพาสคัล 30.7 เมกะพาสคัล และ 30.9 จูลต่อเมตรตามลำดับ และเมื่อเติมผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงในคอมโพสิตนี้ และขึ้นรูปด้วยวิธีการเดียวกันพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 81 ซีเมนต่อเซนติเมตร ค่าความทนแรงดึง ความทนแรงโค้งงอ และความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเป็น 12.6 เมกะพาสคัล 31.4 เมกะพาสคัล และ 31.4 จูลต่อเมตรตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทดลองขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน โดยเพิ่มปริมาณวัสดุคอมโพสิตสูตรนี้จาก 60 กรัม เป็น 70 กรัมต่อแผ่นชิ้นงาน และเพิ่มความดันในการกดอัดจาก 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็น 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 96 ซีเมนต่อเซนติเมตร ค่าความทนแรงดึง ความทนแรงโค้งงอ และความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเป็น 15.5 เมกะพาสคัล 41.5 เมกะพาสคัล และ 35.5 จูลต่อเมตรตามลำดับ

<b>Thesis Title</b>	Reinforcement of Electrically Conducting Phenol-Formaldehyde Composites for Using as Bipolar Plates in Proton Exchange Membrane Fuel Cell
<b>Author</b>	Mr. Apisak Chaichanawong
<b>Degree</b>	Master of Science (Industrial Chemistry)
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Dr. Jantrawan Pumchusak

### Abstract

249552

In this research the reinforcement of conducting polymer composites of phenol-formaldehyde and carbonaceous fillers were studied. In addition, silicon carbide (SiC) was used as reinforcement. Polymer and carbonaceous fillers were blended by dry mixing and were fabricated into sheets by compression molding. Polymer composites were prepared by using 5 wt% of nitrile rubber and totally 80 wt% of graphite and SiC. SiC in the contents of 0-8 wt% was utilized and the electrical conductivity and mechanical properties of composites were investigated. The composites were cured at 150 °C under 1500 psi for 10 minutes and post cured at 190 °C for 30 hours. It was found that polymer composite with 1 wt% of SiC provided the highest electrical conductivity of 75 S/cm. The values of tensile strength, flexural strength and impact strength were 12.0 MPa, 30.7 MPa and 30.9 J/m, respectively. The addition of 1 wt% of carbon black into this composite could enhance the electrical conductivity to 81 S/cm. The values of tensile strength, flexural strength and impact strength also increased to 12.6 MPa, 31.4 MPa and 31.4 J/m, respectively. Further more, the sheet fabrication was studied by changing the weight of the composite from 60 to 70 g/sheet and the pressure from 1500 psi to 1800 psi. The results indicated the enhancement of electrical conductivity to 96 S/cm. The values of tensile strength, flexural strength and impact strength increasing were 15.5 MPa, 41.5 MPa and 35.5 J/m, respectively.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี และ/หรือเชิงประยุกต์	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 คอมโพสิต	8
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต	9
2.1.2 เมทริกซ์	10
2.1.3 สารตัวเติม	11
2.1.4 สารเสริมแรง	15
2.2 พอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้า	21
2.3 เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง	21
2.3.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	22
2.4 ไบโพลาร์เพลต	25
2.4.1 ไบโพลาร์เพลตชนิดแผ่นแกรไฟต์ที่ไม่มีรูพรุน	26
2.4.2 ไบโพลาร์เพลตชนิดโลหะ	26
2.4.3 ไบโพลาร์เพลตชนิดคอมโพสิต	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 สมบัติเชิงกล	28
2.5.1 ความทนแรงดึง	28
2.5.2 ความทนแรงโค้งงอ	30
2.5.3 ความความทนแรงกระแทก	31
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	33
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	35
3.1 สารเคมีและวัสดุ	35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	36
3.3 สมบัติของเมทริกซ์	37
3.3.1 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์	37
3.4 สมบัติของสารตัวเติมนำไฟฟ้า	38
3.4.1 แกรไฟต์	38
3.4.2 ผงเขม่าดำ	40
3.5 สมบัติของสารตัวเติมเสริมแรง	40
3.5.1 สมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์	40
3.5.2 อนุภาคยางไนไตรล์	41
3.6 สารตัวเติมอื่นๆ	42
3.6.1 ซิงค์สเตียเรต	42
3.7 วิธีการทดลอง	43
3.7.1 การเตรียมคอมโพสิตฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์	43
3.7.2 การเตรียมคอมโพสิตฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีช่องทางเดินของก๊าซ	43
3.8 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต	47
3.8.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิต	47
3.8.2 การทดสอบสมบัติด้านการนำไฟฟ้าของคอมโพสิต	50
3.8.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	56
4.1 การศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในเมทริกซ์	56

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 ลักษณะของสารตัวเติมนำไฟฟ้า	56
4.1.2 ลักษณะของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	58
4.2 ความหนาแน่นของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	61
4.3 การศึกษาสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	61
4.3.1 ผลของปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีต่อสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	63
4.3.2 ผลของปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีต่อสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิตนำไฟฟ้า	65
4.3.3 ผลของการใช้ผงเขม่าคาร์บอนเป็นสารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิตนำไฟฟ้า	70
4.3.4 ผลของการใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงที่มีต่อสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิตนำไฟฟ้า	76
4.3.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอม โพลิตที่มีต่อสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิตนำไฟฟ้า	80
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการทดลอง	86
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป	90
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบการนำไฟฟ้าของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	97
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความทนแรงดึงของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	109
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบความทนแรงโค้งงอของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	121
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบการทนแรงกระแทกของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	135
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของพอลิฟีนอล – ฟอร์มาลดีไฮด์	148
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของคอม โพลิต	150
ภาคผนวก ช การหาอัตราส่วน โดยปริมาตร	152
ภาคผนวก ซ กราฟแสดงค่ามอดูลัสของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอม โพลิต	154

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน

หน้า

162

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติของไบโพลาร์เพลตตามความต้องการมาตรฐานของ DOE และ Plug Power	25
2.2 สมบัติของไบโพลาร์เพลตชนิดที่ทำจากโลหะและแกรไฟต์	26
2.3 วัสดุคาร์บอนคอมโพสิตที่นำมาใช้เป็นไบโพลาร์เพลต	27
2.4 สมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ	29
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	36
3.3 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ ชนิด Novolac PGB 9511	37
3.4 สมบัติทางกายภาพของแกรไฟต์ (TIMREX™ KS150)	39
3.5 สมบัติของผงเขม่าดำ N115	40
3.6 สมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์	41
3.7 ส่วนประกอบของคอมโพสิตที่เตรียมในงานวิจัยนี้	46
4.1 ค่าความหนาแน่นของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์, สารตัวเติมนำไฟฟ้า และสารตัวเติมเสริมแรง	61
4.2 ค่าความหนาแน่นของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมเสริมแรงและ ที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าพร้อมกับสารเสริมแรง ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม	62
4.3 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต	63
4.4 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่สัดส่วนซิลิกอนคาร์ไบด์ต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	66
4.5 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้ารวมทั้ง ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	71
4.6 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าพร้อมกับ สารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	76
4.7 สมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและ ปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	81
4.8 สมบัติการนำไฟฟ้าของไบโพลาร์เพลตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ของบริษัทต่างๆและจากงานวิจัย	85

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

- 5.1 สรุปลสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่เติมซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่า 86  
ค่าในสัดส่วนต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 30  
ชั่วโมง

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Novolac	11
2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์	12
2.3 โครงสร้างของผงเขม่าดำ	14
2.4 โครงสร้างเคมีของซิงค์สเตียเรต	14
2.5 สูตร โครงสร้างเคมีของยาง NBR	20
2.6 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	23
2.7 แผ่นไบโพลาร์เพลต และห่อเซลล์เชื้อเพลิง	24
2.8 ห่อเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack)	24
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-strain curve)	28
2.10 ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ของพลาสติกประเภทต่างๆ	29
2.11 แรงเค้นในชั้นทดสอบที่หาความทนแรงโค้งงอแบบ 3 จุด	30
2.12 การทดสอบความทนแรงโค้งงอแบบ 3 จุด	31
2.13 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกโดยค้อนน้ำหนัก	32
2.14 ส่วนประกอบของกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	34
3.1 ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ (RESITOP® PGB-9511)	38
3.2 ผงแกรไฟต์ TIMREX™ KS150	38
3.3 ผงเขม่าดำ (N115)	40
3.4 ซิลิกอนคาร์ไบด์	41
3.5 อนุภาคยางไนไตรล์	42
3.6 ซิงค์สเตียเรต	42
3.7 เครื่องกดอัดไฮดรอลิก	44
3.8 แม่แบบสำหรับกดอัดชิ้นงาน	44
3.9 ชิ้นงานที่ได้จากเครื่องอัดแผ่น	44
3.10 แม่แบบสำหรับอัดชิ้นงานที่มีช่องทางเดินของก๊าซ	45
3.11 ชิ้นงานที่มีช่องทางเดินของก๊าซ	45
3.12 เซลล์เชื้อเพลิงประกอบเซลล์เดี่ยว (PEMFC)	45

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.13 รูปชิ้นงานที่ติดเข้ากับก้านวางตัวอย่าง	48
3.14 ขวดวัดความหนาแน่น	49
3.15 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์	51
3.16 ลักษณะของชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล	51
3.17 เครื่องทดสอบความทนแรงดึงและหัวดึง	52
3.18 เครื่องทดสอบความทนโค้งงอและหัวกด	53
3.19 เครื่องทำรอยบาก	54
3.20 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก	54
4.1 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของแกรไฟต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า	56
4.2 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของผงเขม่าดำ กำลังขยาย 5,000 เท่า	57
4.3 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของผงเขม่าดำ กำลังขยาย 15,000 เท่า	57
4.4 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่มีปริมาณแกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ทั้งไม่ผ่านการอบหลังบ่ม และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	57
4.5 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้า คือ แกรไฟต์ ร่วมกับ ผงเขม่าดำและอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ทั้งไม่ผ่านการอบหลังบ่ม และ (ข) ทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	58
4.6 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้า [G79CB1SiC1 (70g, P)] คือ แกรไฟต์ ร่วมกับ ผงเขม่าดำและอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของคอมโพสิต จาก 60 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 70 กรัมและเปลี่ยนแปลงความดันจากเดิม 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพิ่มขึ้นเป็น 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) ไม่ผ่านการอบหลังบ่ม และ (ข) ทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	60
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต	64
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงโค้งงอกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต	64

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับปริมาณแกรไฟต์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิต	65
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	67
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	67
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	68
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดึงยึด กับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	68
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงโค้งงอกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	69
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้า ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	69
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	72
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	72

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	73
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดึงยึดของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	73
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงโค้งงอของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	74
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วม ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	74
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190 °C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	77
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190 °C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	77
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190 °C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	78
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดึงยึดของฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่ 190 °C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	78

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงโค้งงอของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	79
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่ใช้สารตัวเติมนำไฟฟ้าร่วมกับสารเสริมแรงทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	79
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	81
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	82
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของแข็งของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	82
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดึงยึดของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	83
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงโค้งงอของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	84
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกของฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณของคอมโพสิต ทั้งก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่มที่ 190°C ที่เวลา 30 ชั่วโมง	84
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการนำไฟฟ้ากับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำกรอบหลังบ่ม	88

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงดึงกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำ ของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม	88
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงโค้งงอกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่า ดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม	89
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงกระแทกกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่า ดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม	89

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ASTM	=	สมาคมอเมริกันสำหรับทดสอบวัสดุ
cm	=	เซนติเมตร
cm <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
°C	=	องศาเซลเซียส
D	=	ความหนาแน่น
in	=	นิ้ว
J	=	จูล
K	=	เคลวิน
kJ	=	กิโลจูล
m	=	เมตร
m <sup>2</sup>	=	ตารางเมตร
MPa	=	เมกะพาสคัล
E	=	มอดุลัสของยัง
g	=	กรัม
min	=	นาที
N	=	นิวตัน
P	=	น้ำหนักขูดความหนาแน่น
W1	=	น้ำหนักขูดความหนาแน่นที่มีน้ำบรรจุอยู่
W	=	น้ำหนักขูดความหนาแน่นที่มีชิ้นงานบรรจุอยู่
W2	=	น้ำหนักขูดความหนาแน่นที่มีน้ำและชิ้นงานบรรจุอยู่
S	=	ซีเมน
SD	=	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
wt%	=	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
%v	=	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
W	=	วัตต์
%	=	เปอร์เซ็นต์
Ω	=	โอห์ม

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

σ	=	ค่าการนำไฟฟ้า
μm	=	ไมโครเมตร
TS	=	ค่าความทนต่อแรงดึง
FS	=	ค่าความทนต่อแรงโค้งงอ
IM	=	ค่าความทนต่อแรงกระแทก
Novolac	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์
N	=	อนุภาคยางไนไตรล์
G	=	แกรไฟต์
ZnSt	=	ซิงค์สเตียเรต
CB	=	ผงเขม่าดำ
SiC	=	อนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์
Post 190 °C	=	การทำการอบหลังบ่มคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 190 °C
SiC0	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC1	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC2	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC4	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC6	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC8	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiC10	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์คอมโพสิตที่ปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G80	=	ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

## อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

G80Po30	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
G80N5	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G80N5Po30	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
G79N5SiC1	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G79N5SiC1Po30	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
G78N5SiC2	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G78N5SiC2Po30	=	พินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง

**อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)**

- G76N5SiC4 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- G76N5SiC4Po30 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 76 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
- G74N5SiC6 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 74 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- G74N5SiC6Po30 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 74 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
- G72N5SiC8 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- G72N5SiC8Po30 = ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิกอนคาร์ไบด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง

## อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

G75N5CB5	=	ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G75N5CB5Po30	=	ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
G79N5CB1	=	ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
G79N5CB1Po30	=	ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
G79N5SiC1CB1	=	ฟินอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคภายในไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

**อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)**

- G79N5SiC1CB1Po30 = ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง
- G79N5SiC1CB1 (70g, P) = ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของคอมโพสิต จาก 60 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 70 กรัมและเปลี่ยนแปลงความดันจากเดิม 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพิ่มขึ้นเป็น 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- G79N5SiC1CB1Po30 (70g, P) = ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์-แกรไฟต์คอมโพสิตที่ปริมาณแกรไฟต์ 79 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, อนุภาคยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของคอมโพสิต จาก 60 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 70 กรัมและเปลี่ยนแปลงความดันจากเดิม 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพิ่มขึ้นเป็น 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190 °C 30 ชั่วโมง