บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเสริมแรงฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นไบโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยทำการศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมนำไฟฟ้าได้แก่ แกรไฟต์ และผงเขม่าดำ กับปริมาณสารตัวเติมเสริมแรงได้แก่ ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต ซึ่งได้แก่ สมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกลได้แก่ ความทนแรงดึง ความทนแรงโค้งงอ และความทนแรงกระแทก และความหนาแน่นของคอมโพสิต รวมถึงศึกษาพื้นผิวหน้าตัดของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตเพื่อศึกษาการกระจายและพฤติกรรมการจัดเรียงตัวของสารตัวเติม

ตาราง 5.1 และ รูป 5.1 - 5.4 แสดงสมบัติต่างๆ ของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต พบว่าสมบัติเชิงกลของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเติมซิลิกอนคาร์ไบด์ และเมื่อทำการศึกษาผลของการอบหลังบ่มโดยอบที่ 190 °C เป็นระยะเวลา 30 ชั่วโมงพบว่าค่าการนำไฟฟ้า และสมบัติเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้น

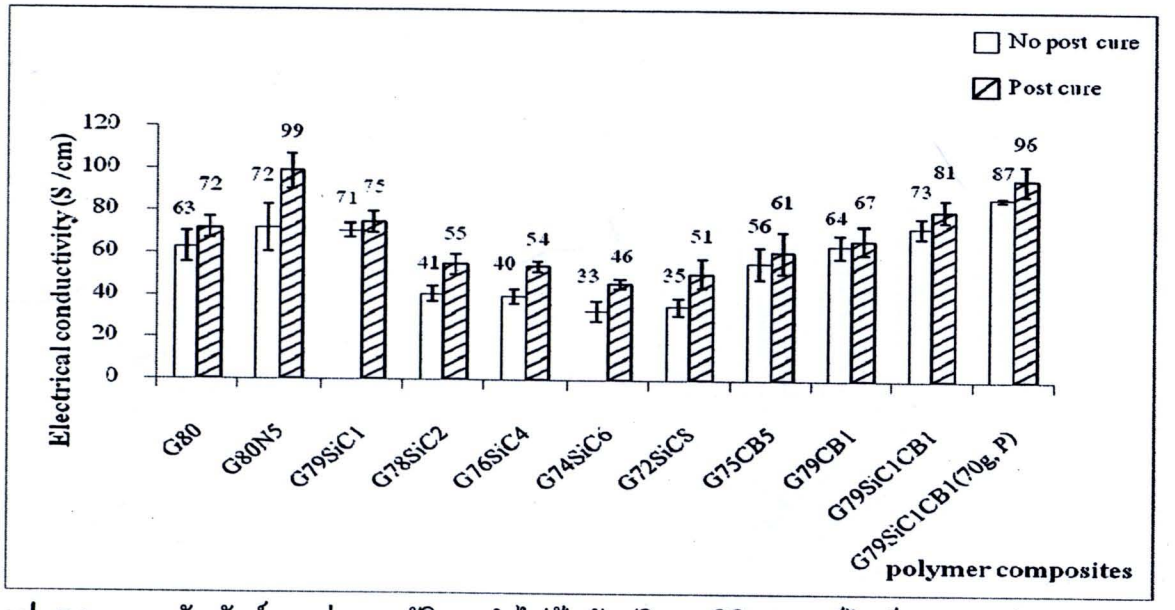
ตาราง 5.1 สรุปสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่เติมซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำในสัดส่วนต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

Polymer Composite	Post cure 190°C (hours)	D (g/cm^3)	σ (S/cm)	TS (MPa)	FS (MPa)	IM (J/m)
G80	-	1.552	63	7.8	24.8	24.1
G80Po30	30	1.482	72	10.7	27.0	25.0
G80N5	-	1.765	72	6.5	21.3	25.0
G80N5Po30	30	1.723	99	8.5	24.1	26.7

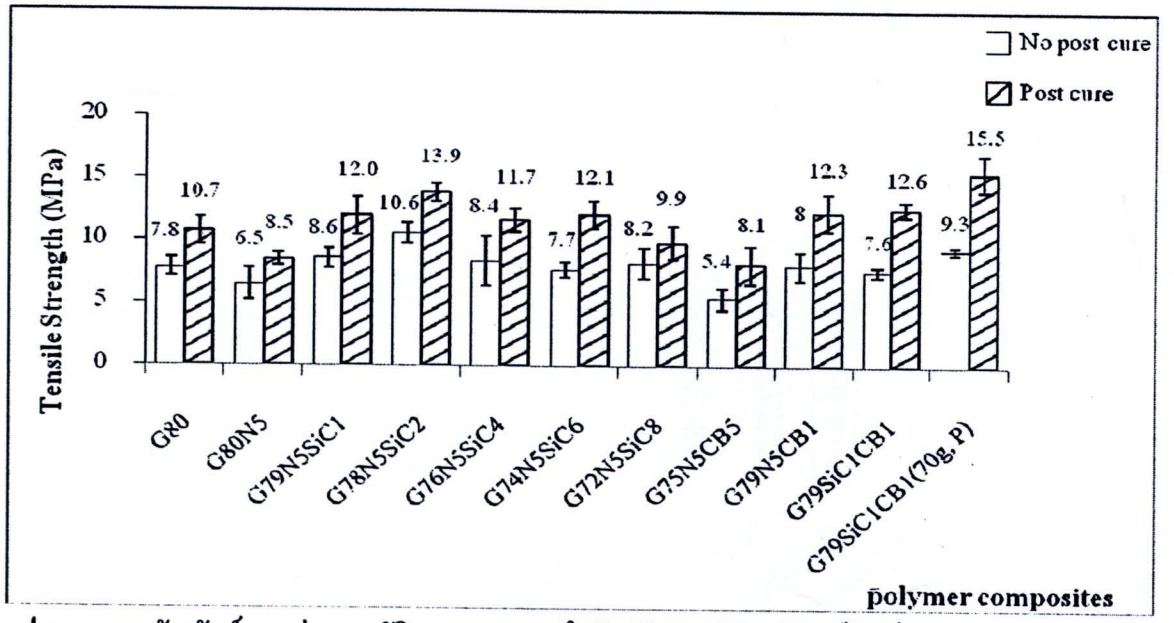
ตาราง 5.1 สรุปสมบัติของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่เติมซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำในสัดส่วนต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง (ต่อ)

Polymer Composite	Post cure 190°C (hours)	D (g/cm^3)	σ (S/cm)	TS (MPa)	FS (MPa)	IM (J/m)
G79N5SiC1	-	1.797	71	8.6	27.3	28.4
G79N5SiC1Po30	30	1.753	75	12.0	30.7	30.9
G78N5SiC2	-	1.888	41	10.6	28.9	26.7
G78N5SiC2Po30	30	1.821	55	14.0	31.5	28.8
G76N5SiC4	-	1.890	40	8.4	24.7	25.8
G76N5SiC4Po30	30	1.745	54	11.7	29.7	28.4
G74N5SiC6	-	1.923	33	7.7	22.9	27.1
G74N5SiC6Po30	30	1.844	46	12.1	28.1	28.4
G72N5SiC8	-	2.022	35	8.2	21.8	26.7
G72N5SiC8Po30	30	1.969	51	9.9	25.4	26.2
G75N5CB5	-	1.568	61	5.4	26.0	25.9
G75N5CBPo30	30	1.493	71	8.1	28.2	27.4
G79N5CB1	-	1.728	64	8.0	24.9	25.5
G79N5CB1Po30	30	1.605	67	12.3	27.5	27.5
G79N5SiC1CB1	-	1.784	73	7.6	29.4	28.5
G79N5SiC1CB1Po30	30	1.621	81	12.6	31.4	31.4
G79N5SiC1CB1(70g, P)	-	2.681	87	9.3	33.5	32.8
G79N5SiC1CB1Po30 (70g, P)	30	2.497	96	15.5	41.5	35.5

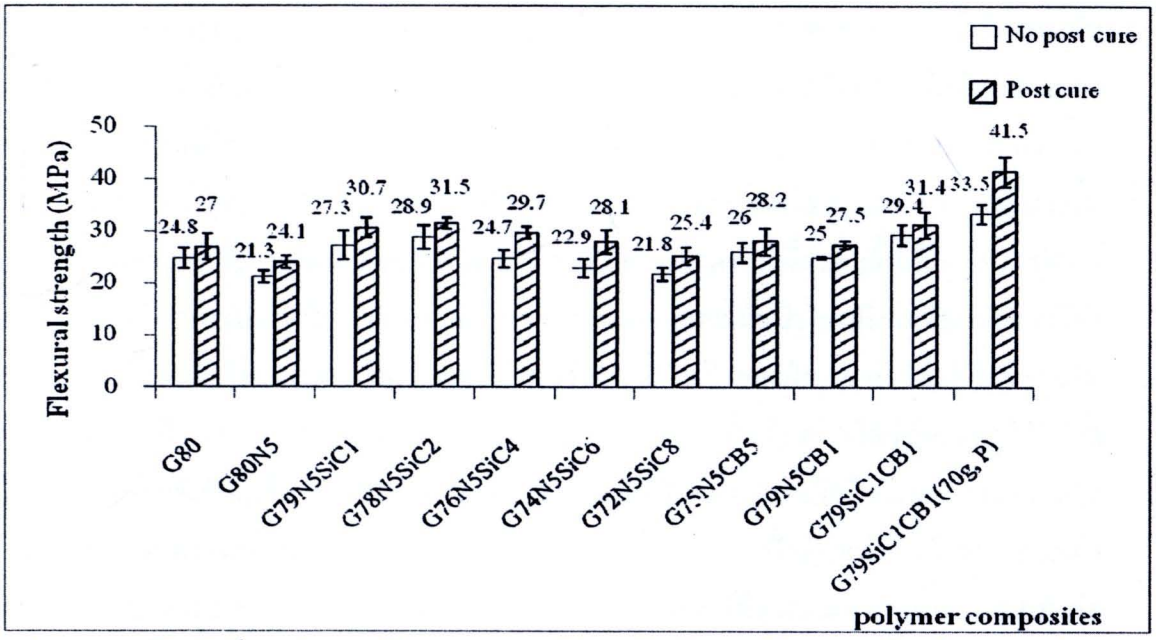
เมื่อ σ = Electrical conductivity, TS = Tensile strength, FS = Flexural strength, IM = Impact strength, G = Graphite, N = Nitrile Rubber (NBR), SiC = Silicon Carbide, CB = Carbon Black, ZnSt = Zinc stearate, Po30 = Postcure 190°C 30 hr, 70g = เพิ่มปริมาณจาก 60 กรัม เป็น 70 กรัม และP = ที่ความดัน 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



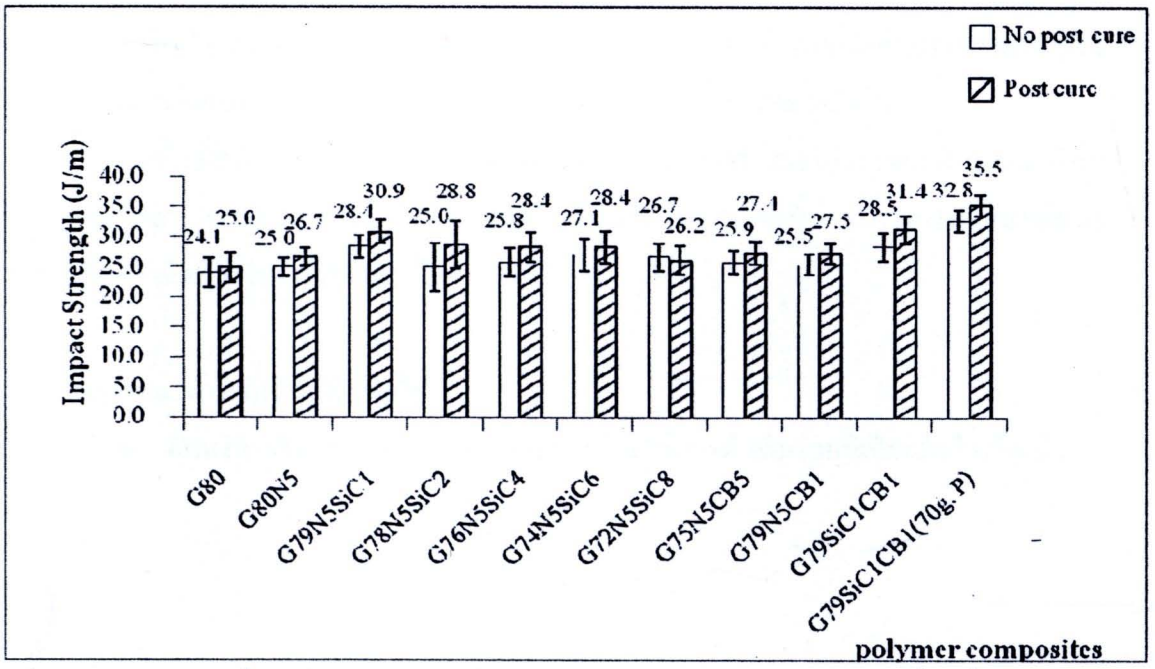
รูป 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการนำไฟฟ้ากับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม



รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงดึงกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม



รูป 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงโค้งงอกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม



รูป 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความทนแรงกระแทกกับปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์และผงเขม่าดำของคอมโพสิตนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำการอบหลังบ่ม

จากการศึกษาพบว่าฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าสูงที่สุดคือพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้แกรไฟต์ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและยางไนไตรล์ 5 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก ที่ผ่านการอบหลังบ่มที่อุณหภูมิ 190°C เป็นเวลา 30 ชั่วโมง (G80N5Po30) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99 ซีเมนต่อเซนติเมตร แต่สมบัติเชิงกลต่ำ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตนำไฟฟ้าที่เติมผงเขม่าดำ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีการเพิ่มปริมาณซิลิกอนคาร์ไบด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [G79N5CB1SiC1 (70g, P)] ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของคอมโพสิต จากเดิม 60 กรัม เพิ่มขึ้นเป็น 70 กรัมและเปลี่ยนแปลงความดันจากเดิม 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพิ่มขึ้นเป็น 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 96 ซีเมนต่อเซนติเมตร และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยหรือบริษัทที่ผลิตไบโพลาร์เพลตในเชิงพานิชย์ พบว่าการนำไฟฟ้าของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเพียงพอ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่สามารถเป็นไบโพลาร์เพลตได้และเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิตซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.497 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่ามีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ความหนาแน่น < 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

และค่าความทนต่อแรงโค้งงอของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ Plug Power ดังตาราง 2.1 พบว่าค่าความทนต่อแรงโค้งงอของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด (> 25 MPa) แต่ค่าความทนแรงดึงและความทนแรงกระแทกยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (> 41 MPa และ > 40.5 MPa) ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าและค่าความทนต่อแรงโค้งงอของฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์คอมโพสิต [G79N5CB1SiC1 (70g, P)] ที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้น่าจะสามารถนำมาพัฒนาสมบัติเพื่อใช้ผลิตเป็นไบโพลาร์เพลตได้

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

- ศึกษาหาวิธีการเพิ่มความทนต่อแรงดึง โดยใช้สารตัวเติมร่วมที่เป็นเส้นใย เป็นต้น