

การผลิตต้นแบบฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวดจากฟีนอลิก Prototyping of a rocket motor insulation from reinforced phenolic resin

สุวิชา จันทน์กะพ้อ^{1,*}, ไพศาล อภินิหพัฒน์², และ น.อ.เจษฎา คีรีรัฐนิคม³

^{1, 2, 3} ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) ถนนพหลโยธิน
11120

สุวิชา จันทน์กะพ้อ: suwicha.c@dti.or.th, โทรศัพท์: 02 980 6612, โทรสาร: 02 980 6688

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปแล้ว ฉนวนกันความร้อนที่ใช้อยู่ปัจจุบันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับมอเตอร์จรวดที่มีแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ของดินขับ ไหลผ่านส่วนท้ายที่ความร้อนและแรงดันสูง เพื่อสร้างแรงขับดันให้กับมอเตอร์จรวด ต้องการฉนวนกันความร้อนที่ทนต่อความร้อน ความเค้น และการกัดกร่อน โดยยังต้องสามารถขึ้นรูปยึดติดกับวัสดุอื่น รวมถึงปรับแต่งพื้นผิวสัมผัสโดยใช้เครื่องมือกลได้ ซึ่งฉนวนกันความร้อนดังกล่าวยังไม่มีการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย

การผลิตฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวด เพื่อให้มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและแรงดันจากแก๊สร้อนที่ผ่านส่วนท้าย สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ทดลองขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยกำหนดค่าความหนาแน่น มากกว่า 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเค้น มากกว่า 103 เมกะปาสคาล และค่าความทนทานต่อการเสียดกร่อน น้อยกว่า 0.14 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามมาตรฐาน MIL-I-24768 ผลิตรูปงานต้นแบบเป็นฉนวนเสริมแรงจากสารประกอบฟีนอลิกและเส้นใยเสริมแรงที่หาได้ในประเทศ นำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานลามิเนตและอบให้ความร้อน ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของต้นแบบที่ได้ มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับเส้นใยแก้ว และ 1.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับเส้นใยคาร์บอน มีค่าความเค้นเฉลี่ย 121.81 เมกะปาสคาล สำหรับเส้นใยแก้ว และ 171.27 เมกะปาสคาล สำหรับเส้นใยคาร์บอน และมีค่าความทนทานต่อการเสียดกร่อนเฉลี่ย 0.138 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับเส้นใยแก้ว และ 0.060 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับเส้นใยคาร์บอน ซึ่งผลการทดสอบพบว่า มีสมบัติเชิงกลตามที่กำหนด สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์จรวดได้

คำหลัก: ฉนวน มอเตอร์จรวด สารประกอบฟีนอลิก การทดสอบทางกล ความเป็นฉนวน

Abstract

Normally, thermal insulations have different properties due to their application. Thermal insulation for rocket motors must withstand high temperatures and pressure. The insulation must bond well to other materials and be easily shaped. Such thermal insulations are currently not available in Thailand.

The design of thermal insulation involves several factors. In this study, The Defense technology institute use raw materials that can be produced in Thailand. Reference MIL-I-24768 : Density >1.3 g/cm³,

Tensile strength >103 MPa and Ablation <0.14 mm/s to optimization formulation of phenolic binder, fiber glass reinforcement and other ingredients were conducted after that the insulation prototype was formed and cured. It was found that average density, tensile strength and ablation of the prototype were 1.66 g/cm³, 121.81 MPa and 0.138 mm/s for fiber glass reinforcement and 1.41 g/cm³, 171.27 MPa and 0.060 mm/s for carbon fiber reinforcement respectively. The mechanical results of product properties were suitable to use for rocket motor thermal insulation.

Keywords: Insulation, Rocket Motor, Phenolic, Mechanical test, Insulation resistance

1. บทนำ

ฉนวนกันความร้อน ที่มีอยู่ในปัจจุบัน มีหลายชนิด และแตกต่างกันด้วย คุณสมบัติ การใช้งาน และราคา สำหรับมอเตอร์จรวดนั้น มีความต้องการฉนวนที่มีคุณสมบัติกันความร้อนสูง เพื่อใช้สำหรับป้องกันความร้อนจากแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินขับ ซึ่งเป็นแก๊สร้อนที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิมากกว่า $2,000$ องศาเซลเซียส และมีแรงดันมากกว่า 100 เมกะปาสคาล ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณผิวหน้าสัมผัสได้ นอกจากนั้นลักษณะโครงสร้างของ Nozzle ยังต้องการวัสดุฉนวนกันความร้อนที่มีน้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปยึดติดกับวัสดุอื่นได้ และปรับแต่งผิวสัมผัสได้โดยใช้เครื่องมือกล เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ และทำให้ Nozzle มีประสิทธิภาพสูงสุดขณะใช้งาน ทั้งนี้ในประเทศไทย ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำไปใช้งานได้จริง จากสาเหตุดังกล่าวสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ จึงทำการวิจัยต้นแบบฉนวนกันความร้อนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับมอเตอร์จรวด

ฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวด ได้มีการกำหนดสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน MIL-I-24768 ได้แก่ ความหนาแน่น มากกว่า 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเค้น มากกว่า 103 เมกะปาสคาล และความทนทานต่อการเสียดกร่อน น้อยกว่า 0.14 มิลลิเมตรต่อวินาที [1, 2, 3, 4] ซึ่งใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาหาวัสดุ และวิธีการผลิต

จากการศึกษาถึงวัสดุที่มีคุณสมบัติทางกล ทางความร้อน และด้านการกัดกร่อน นั้นพบว่า วัสดุผสม

จากกลุ่มที่มีโพลิเมอร์ที่เป็นเนื้อพื้นเสริมแรงด้วยเส้นใยนั้นเพิ่มความแข็งแรงต้านทานแรงดึง (Tensile) และการทนแรงกด (Flexural) เพิ่มความแข็งแรงต่อน้ำหนัก เพิ่มความทนต่อการกัดกร่อน เพิ่มความสามารถใช้งานในอุณหภูมิสูง และมีเสถียรภาพในด้านขนาด ไม่เกิดการหดตัวหรือยืดตัวโดยความร้อนได้ง่าย เนื่องจากเส้นใยนั้นมีความแข็งแรงก่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ส่วนเรซินมีการยึดหยุ่นได้ดี ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย [5]

การผลิตวัสดุผสม จากเรซินกับเส้นใยด้วยวิธีการผลิตด้วยมือ ใช้เงินลงทุนค่อนข้างน้อย สามารถผลิตจำนวนชิ้นงานได้ด้วยขนาดไม่จำกัด ทั้งขนาดใหญ่และเล็ก มีความคล่องตัวในการผลิตสูง ส่วนมากใช้เส้นใยประเภทสาน นำไปวางในแม่แบบ แล้วนำเรซินเคลือบบนเส้นใย และผลจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้เรซินนั้นแข็งตัว และยึดเกาะกับเส้นใย แล้วจึงนำออกจากแม่แบบ [6] นอกจากนี้ถ้าต้องการให้ชิ้นงานมีผิวเรียบ และสามารถควบคุมความหนาให้ชิ้นงานมีขนาดเป็นมาตรฐานได้ ต้องเพิ่มวิธีการอัดขึ้นรูปมาใช้ต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องไฮโดลิกหรือน้ำหนักกดทับ และให้ความร้อนทำให้เรซินแข็งตัว ในช่วงเวลาที่กำหนด [6] ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีความเหมาะสมกับการผลิตต้นแบบฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวด

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ได้ทำการวิจัยหาชนิดของเรซินและเส้นใยเสริมแรงร่วมกับ บริษัทวิจัยคอมโพสิท จำกัด และ บริษัท ไทย จีซีไอ เรซินที่อัด จำกัด พบว่าฟีนอลิกเรซิน มีคุณสมบัติเบื้องต้นที่เหมาะสมกับการพัฒนา โดยใช้เป็นเนื้อพื้นของลามิเนต และมีวัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย โดยใช้เรซิน

ผสมกับเส้นใยแก้วสำหรับส่วนที่สัมผัสกับแก๊สร้อนขา
ออก และเส้นใยคาร์บอนสำหรับส่วนที่สัมผัสกับแก๊ส
ร้อนที่ไหลเข้าเข้า ทั้งนี้วัสดุผสมที่พัฒนาขึ้นนี้
สามารถผลิตขึ้นและมีจำหน่ายในประเทศไทยทั้งหมด

2. การผลิตต้นแบบ

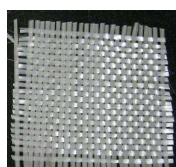
2.1 การเลือกชนิดของฟีนอลิกและเส้นใยเสริมแรง ในการผลิตต้นแบบ

ทำการทดลองโดยนำฟีนอลิกเรซิน 4 ชนิด ได้แก่
PL-2346, PL-9236B, PL-9236C และ PL-9221 ซึ่ง
ใช้สำหรับงานที่มีการเสียดสีและเกิดความร้อนสูง มี
คุณสมบัติแสดงในตารางที่ 1 ผลิตจากบริษัท ไทย ซีจี
ไอ เรซิ่นทอป จำกัด ผสมกับเส้นใย 3 แบบ คือ เส้นใย
แก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน ซึ่งจำหน่าย
โดยบริษัท จีอาร์อีคอมโพสิท จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 1
และทดลองผลิตต้นแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของชนิดฟีนอลิก [7]

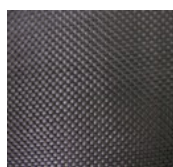
ชนิดฟีนอลิก	ความหนาแน่น @25°C (กรัม/ซม ³)	ความหนืด @25°C (cP)	จุดเดือด (°C)	Gel time นาที/140°C
PL-2346	1.05-1.07	200-400	65	2.5-4.5
PL-9236B	0.9-1.1	220-300	80	3-7
PL-9236C	1.3-1.4	800-1200	80	4-7
PL-9221	1.1-1.3	100-300	80	3-7



เส้นใยแก้ว (CSM#450)



เส้นใยแก้วสาน (W#600)



เส้นใยคาร์บอน

รูปที่ 1 ลักษณะของเส้นใยที่นำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง
ตารางที่ 2 แสดงการทดลองผลิตต้นแบบฟีนอลิกเรซิน
และเส้นใยเสริมแรง

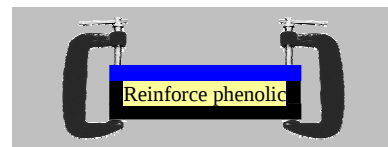
ชนิดฟีนอลิก	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
PL-2346	เส้นใยแก้ว	เส้นใยแก้วสาน	เส้นใยคาร์บอน
PL-9236B	เส้นใยแก้ว	เส้นใยแก้วสาน	เส้นใยคาร์บอน
PL-9236C	เส้นใยแก้ว	เส้นใยแก้วสาน	เส้นใยคาร์บอน
PL-9221	เส้นใยแก้ว	เส้นใยแก้วสาน	เส้นใยคาร์บอน

จากนั้นขึ้นรูปเป็นชิ้นงานมีขนาดกว้าง 30
เซนติเมตร และยาว 30 เซนติเมตร โดยทาฟีนอลิก
เรซิน จำนวนรวม 250 กรัม ระหว่างชั้นเส้นใย จำนวน
5 ชั้น กดอัดด้วยแม่พิมพ์ให้ได้ความหนา 0.32

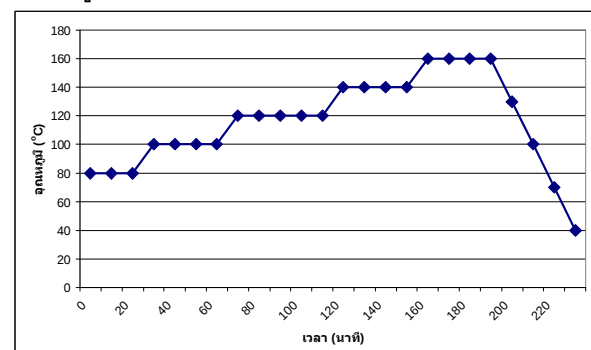
เซนติเมตร จำนวน 5 ชั้น และทาฟีนอลิกเรซิน จำนวน
รวม 500 กรัม ระหว่างชั้นเส้นใยจำนวน 10 ชั้น กดอัด
ด้วยแม่พิมพ์ให้ได้ความหนา 0.63 เซนติเมตร จำนวน
5 ชั้น นำเข้าเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศา
เซลเซียส และให้ความร้อนด้วยอัตราการเพิ่มของ
อุณหภูมิตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 การทาฟีนอลิกเรซินระหว่างชั้นเส้นใย



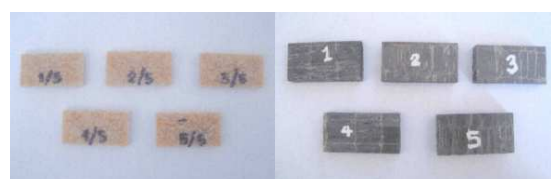
รูปที่ 3 ลักษณะของแม่พิมพ์สำหรับกดอัด



รูปที่ 4 อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในการอบ
หลังการอบฟีนอลิกเรซินกับเส้นใย นำชิ้นงานตั้ง
ทิ้งให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วตรวจสอบ
ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

2.2.1 ทดสอบความหนาแน่น (Density and Specific
Gravity test of Plastics by Displacement) ตาม
มาตรฐาน ASTM D792 ด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์
จำนวนชิ้นงานทดสอบการทดลองละ 5 ชิ้น



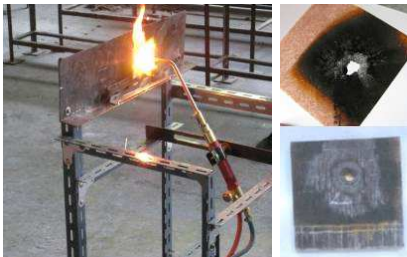
รูปที่ 5 ชิ้นงานสำหรับทดสอบความหนาแน่น

2.2.2 ทดสอบความเค้น (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วยเครื่องทดสอบ Universal testing machine จำนวนชิ้นงานทดสอบการทดลองละ 10 ชิ้น



รูปที่ 6 แสดงการทดสอบความเค้น

2.2.3 ทดสอบความทนทานต่อการเสียดกร่อน (Oxyacetylene Ablation test) ตามมาตรฐาน ASTM E285 ด้วยชุดทดสอบ Oxyacetylene burner จำนวนชิ้นงานทดสอบการทดลองละ 5 ชิ้น



รูปที่ 7 แสดงการทดสอบความทนทานต่อการเสียดกร่อน

3. ผลการทดสอบ

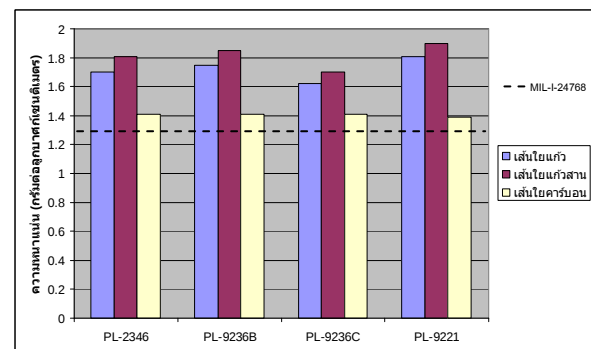
3.1 ลักษณะของฟิโนลิกเรซินกับเส้นใย หลังการอบตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด

ลักษณะของ PL-2346 ที่ขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน มีฟองอากาศขนาดเล็กที่ผิวหน้า ลักษณะของ PL-9236B ที่ขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน มีฟองอากาศขนาดใหญ่ แทรกอยู่ทั่วไป ลักษณะของ PL-9236C ที่ขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน มีฟองอากาศขนาดเล็ก ปริมาณน้อยมาก ลักษณะของ PL-9221 ที่ขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน มีฟองอากาศขนาดเล็ก ปริมาณมาก ดังแสดงในตารางที่ 3

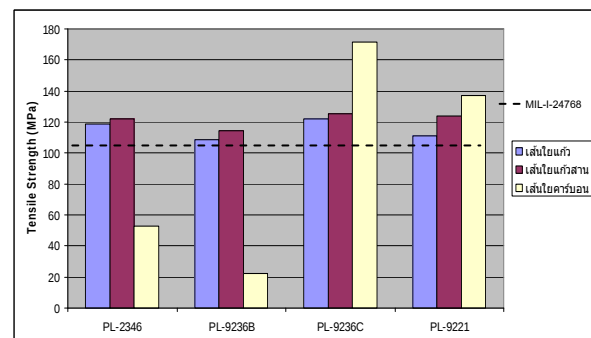
ตารางที่ 3 แสดงลักษณะของฟิโนลิกเรซินกับเส้นใย หลังการอบ

ชนิดฟิโนลิก	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
PL-2346	 เส้นใยแก้ว	 เส้นใยแก้วสาน	 เส้นใยคาร์บอน
PL-9236B	 เส้นใยแก้ว	 เส้นใยแก้วสาน	 เส้นใยคาร์บอน
PL-9236C	 เส้นใยแก้ว	 เส้นใยแก้วสาน	 เส้นใยคาร์บอน
PL-9221	 เส้นใยแก้ว	 เส้นใยแก้วสาน	 เส้นใยคาร์บอน

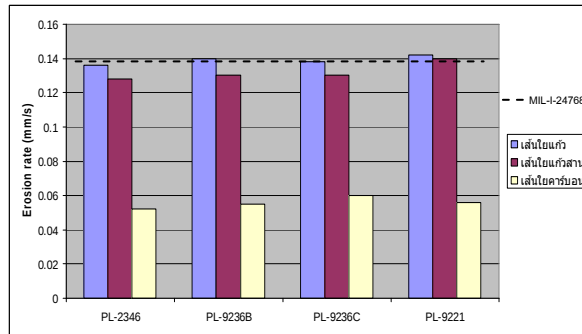
3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ 8 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ยของฟิโนลิกเรซินกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน



รูปที่ 9 แสดงความเค้นเฉลี่ยของฟิโนลิกเรซินกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน



รูปที่ 10 แสดงความทนทานต่อการเสียดกร่อนของ
ฟีนอลิกเรซินกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้น
ใยคาร์บอน

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าฟีนอลิกเรซิน ชนิด PL-9236C เมื่อนำมาขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วสาน และเส้นใยคาร์บอน หลังการอบพร้อมอัดแรงดันเป็นแผ่นลามิเนตแล้ว มีฟองอากาศขนาดเล็กที่ผิวหน้า ขึ้นงานในปริมาณน้อย และสามารถซึมเข้าสู่เส้นใยได้ ดีกว่า จากการออกแบบมอเตอร์จรวดต้องการฉนวน ที่มีน้ำหนักน้อย จึงพิจารณาผลการทดลองจากการขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว และเส้นใยคาร์บอน ที่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าเส้นใยแก้วสาน ได้ฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวดที่มีสมบัติเชิงกล มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับเส้นใยแก้ว และ 1.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับเส้นใยคาร์บอน มีค่าความเค้นเฉลี่ย 121.81 เมกะปาสคาล สำหรับเส้นใยแก้ว และ 171.27 เมกะปาสคาล สำหรับเส้นใยคาร์บอน และมีค่าความทนทานต่อการเสียดกร่อนเฉลี่ย 0.138 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับเส้นใยแก้ว และ 0.060 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับเส้นใยคาร์บอน พบว่ามีสมบัติเชิงกลได้ตามมาตรฐาน MIL-I-24768 ที่กำหนดไว้ จึงสามารถนำฟีนอลิกเรซินชนิด PL-9236C ขึ้นรูปกับเส้นใยแก้ว และเส้นใยคาร์บอน เพื่อนำไปใช้ในการผลิตฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวดได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] NASA space vehicle design criteria (Chemical propulsion) (1975). *Solid rocket motor nozzles*,

National aeronautics and space administration, United state.

[2] George P. Sutton and Oscar biblarz (2001). *Rocket Propulsion Element*, 7th edition, John willey & sons, New York.

[3] Practice no.PD-ED-1218 (2005). *Application of ablative composites to nozzles for reusable solid rocket motors*, Marshall space flight center, United state.

[4] Guideline NO.GD-ED-2205 (2005). *Design and manufacturing guideline for aerospace composites*, Marshall space flight center. Page 8.

[5] ดร. สมศักดิ์ นะวีโรจน์ (2550), วัสดุเสริมแรง, บริษัท เอเซียกาสไฟเบอร์ อินดัสตรี จำกัด, จังหวัด กรุงเทพมหานคร.

[6] สถานภาพเทคโนโลยีอุตสาหกรรมพลาสติกเสริมแรงในประเทศไทย (2549), วารสารโลหะ วัสดุ และแร่, จังหวัดกรุงเทพมหานคร

[7] Thai CGI RESITOP (2550). *Industrial Phenolic Resins*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.thaicgi.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/05/2553.