

คุณสมบัติทางความร้อนและการทนต่อการเสียดกร่อนของฟีนอลิก/เส้นใยสำหรับท่อพ่นแก๊สร้อน ของมอเตอร์จรวด

Thermal and Ablative Properties of Phenolic/Fiber Composite in the Nozzle Parts of Rocket Motor

ณัฐวัฒน์ วิญญา^{1*}, สุวิชา จันทนกระพ้อ¹, น.อ. นฤพนธ์ พิทยประเสริฐกุล¹ และ น.อ. เจษฎา ศิริรัฐนิคม¹

¹ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) จ.นนทบุรี 11120
*ติดต่อ: nattawat.w@dti.or.th, โทรศัพท์: 02 980 6200-207 ต่อ 330, โทรสาร: 02 980 6198

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนและการทนต่อความเสียดกร่อนของฉนวนกันความร้อนมอเตอร์จรวดจากฟีนอลิก/เส้นใยคอมโพสิตเมทริกซ์ถูกขึ้นรูปแบบลามิเนตที่มีเส้นใยที่แตกต่างกันระหว่างเส้นใยแก้วและเส้นใยสังเคราะห์ภายในประเทศ คุณลักษณะเฉพาะและสมบัติทางความร้อนของฟีนอลิกเรซินถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR, H-NMR, TGA และ DSC ความหนาแน่นของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตและฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตเป็น 1.66 และ 1.41 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ สมบัติการเสียดกร่อนของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตและฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิต คือ 0.13 และ 0.06 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าฟีนอลิก/เส้นใยคอมโพสิต 2 ชนิดมีความเหมาะสมเป็นฉนวนกันความร้อนในท่อพ่นแก๊สร้อนของมอเตอร์จรวด

คำหลัก: ฟีนอลิกเรซิน, การเสียดกร่อน, มอเตอร์จรวด, ฉนวนกันความร้อน

Abstract

In this study, a thermal and ablative properties of a rocket motor insulation from phenolic/fiber matrix composites forming a laminate with different fiber between fiberglass and locally available synthetic fibers. The phenolic resin was characteristics and thermal properties by means of FT-IR, HNMR, TGA and DSC. The density of phenolic/fiberglass composites and phenolic/synthetic fiber was 1.66 and 1.41 g/cm³ respectively. The ablative of phenolic/fiberglass composites and phenolic/carbon fiber was 0.13 and 0.06 mm/s respectively. The result suggests that use of phenolic/fiber composite as reinforcement in a composite may improve the thermal insulation in nozzle of rocket moter.

Keywords: Phenolic Resin, Ablation, Rocket Motor, Insulation

1. บทนำ

วัสดุคอมโพสิตที่ทนต่อการเสียดกร่อนได้ดีจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในจรวดและกระสวยอวกาศ ซึ่งแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของ

จรวดจะมีความร้อนสูงประมาณ 2,000-4,000 องศาเซลเซียส และเกิดการกัดกร่อนจากแก๊สร้อนที่มีอัตราการไหลที่เร็วมากในกระบวนการเสียดกร่อน [1,2] แก๊สร้อนดังกล่าวจะไหลผ่านท่อพ่นแก๊สร้อน (Nozzle) ของ

มอเตอร์จรวดเพื่อทำหน้าที่ขับเคลื่อนจรวดไปยังเป้าหมายที่ต้องการ ดังนั้นฉนวนกันความร้อนสำหรับท่อพ่นแก๊สร้อนของมอเตอร์จรวดจึงต้องมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและการเสียดร่อนได้ดีในขณะที่มีแก๊สร้อนไหลผ่าน ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde) หรือ ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี มีความเสถียรทางเคมีและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน เพราะว่ามีฟีนอลิกเรซินมีความหนาแน่นการเชื่อมขวางสูง (High-Crosslinking) ดังนั้นฟีนอลิกเรซินจึงถูกเลือกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านจรวดและกระสวยอวกาศ [3] เนื่องจากฟีนอลิกจะช่วยให้อุณหภูมิของวัสดุคอมโพสิตที่มีคุณสมบัติที่ทนความร้อนได้ดีขึ้น โดยนำฟีนอลิกเรซินมาขึ้นรูปกับเส้นใยด้วยการอัดเป็นชั้นๆและนำไปอบ กระบวนการนี้เรียกว่า การขึ้นรูปแบบลามิเนต (Laminate) เส้นใยที่นำมาใช้ขึ้นรูปมีหลายชนิดเช่น เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เส้นใยอะรามิด (Aramid Fiber) ฟีนอลิกคอมโพสิตเมื่อถูกการเสียดร่อนด้วยความร้อนจะส่งผลให้เกิดชั้นถ่านที่หนาแน่นขึ้นบริเวณที่ได้รับความร้อนซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของฉนวนกันความร้อน[4] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาหาชนิดของฟีนอลิกเรซินและเส้นใย พบว่าคุณสมบัติเบื้องต้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับท่อพ่นแก๊สร้อนของมอเตอร์จรวด[5] จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนและการทนต่อการเสียดร่อนของฟีนอลิกคอมโพสิตสำหรับท่อพ่นแก๊สร้อนของมอเตอร์จรวด

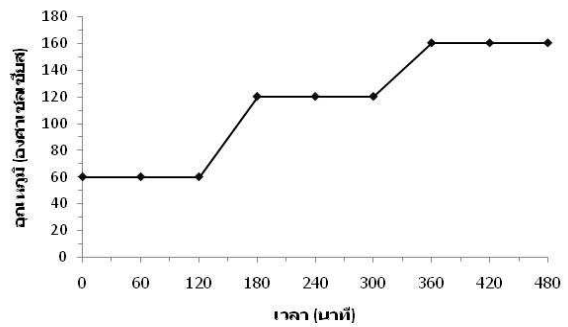
2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมฟีนอลิกคอมโพสิต

การเตรียมฟีนอลิกคอมโพสิตจากฟีนอลิกเรซิน ปริมาณ 750 กรัม ผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ ภายในประเทศหรือเส้นใยแก้ว ขนาด 30×30 เซนติเมตร โดยนำเส้นใยชนิดที่ต้องการขึ้นรูปทาด้วยฟีนอลิกเรซิน หลังจากนั้นวางเส้นใยทับลงไปและทาด้วยฟีนอลิกเรซินอีก รอบจนครบจำนวน 10 ชั้น

2.2 การขึ้นรูปลามิเนต

นำเส้นใยคอมโพสิตมากดอัดด้วยแม่พิมพ์ และนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งเป็น 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการเพิ่มอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 1. และนำชิ้นงานฟีนอลิกคอมโพสิตแสดงดังรูปที่ 2. ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางความร้อนและการทนต่อความเสียดร่อนต่อไป



รูปที่ 1. อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปลามิเนต

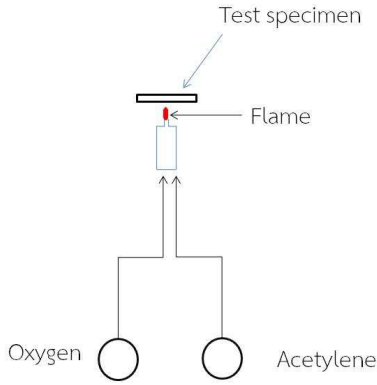


รูปที่ 2. ฟีนอลิกคอมโพสิตที่ขึ้นรูปลามิเนต

2.3 การทนต่อการเสียดร่อน

การทดสอบการทนต่อการเสียดร่อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E285 ใช้แก๊สออกซิเจนเซทีลินแสดงดังรูปที่ 3. และนำไปคำนวณหาค่าการทนต่อการเสียดร่อนได้ดังสมการ (1) คือ

$$\text{อัตราการเสียดร่อน} = \frac{\text{ความหนาชิ้นงานทดสอบ}}{\text{ablation time}} \tag{1}$$

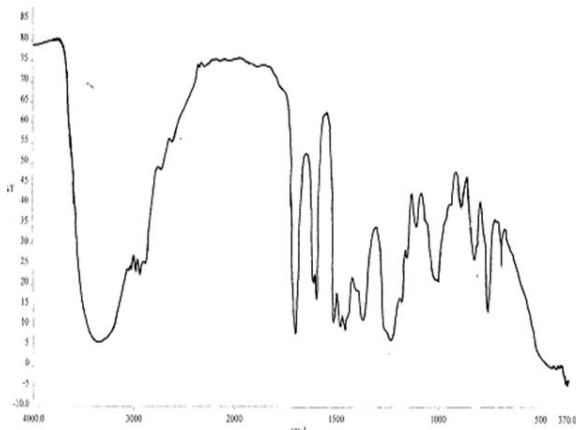


รูปที่ 3. การทดสอบการทนต่อการเสียดกร่อน

3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะเฉพาะของฟีนอลิกเรซิน

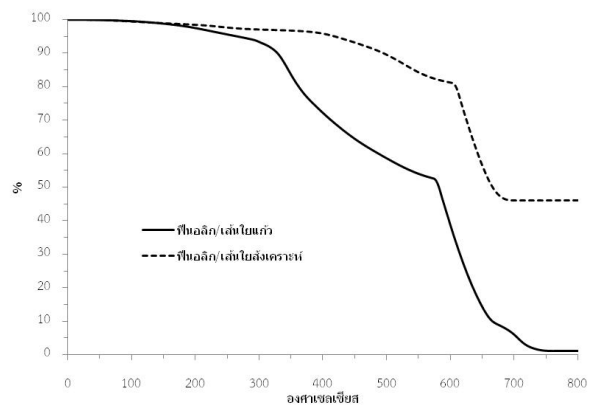
จากรูปที่ 4. การวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy) พบว่ามีพันธะคู่ (1595.66 cm^{-1} , 1699.47 cm^{-1}), หมู่ไฮดรอกซิล (3350.62 cm^{-1}) และหมู่แอลคิล (2978.70 , 2938.83 , 1456.38 และ 1368.03 cm^{-1}) และผลจากการวิเคราะห์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (Proton Nuclear Magnetic Resonance (H-NMR) Spectroscopy) พบว่ามีสารประเภทอะโรมาติก ($\delta = 6.8\text{--}7.2\text{ ppm}$), อัลเคน ($\delta = 4.5\text{ ppm}$) และแอลดีไฮด์ ($\delta = 9.2\text{ ppm}$) จากผลการวิเคราะห์ด้วย FT-IR และการวิเคราะห์ด้วย H-NMR แสดงว่าเป็นโครงสร้างของฟีนอลิกเรซินซึ่งในงานวิจัยนี้ฟีนอลิกที่ใช้เป็นประเภทฟีนอลิกชนิดเรโซล (Phenolic Resole)



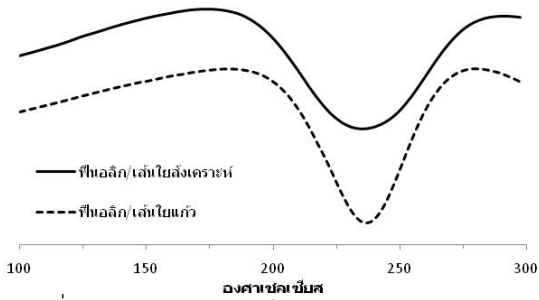
รูปที่ 4. วิเคราะห์ฟีนอลิกเรซินด้วยอินฟราเรด

3.2 คุณสมบัติการทนความร้อนและการทนต่อการกัดกร่อน

จากการทดสอบการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis: TGA) แสดงดังรูปที่ 5. พบว่าฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว (Decomposition reaction) 2 ช่วงคือที่อุณหภูมิ 300 - 580 องศาเซลเซียสที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกับช่วงที่ 590-670 องศาเซลเซียส ส่วนฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวที่อุณหภูมิ 600-680 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีถ่านชาร์ 46.2 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ฟีนอลิก/เส้นใยคอมโพสิตมีปริมาณองค์ประกอบที่ไม่สลายตัว เมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC (Differential Scanning Calorimetry) พบว่าเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 230 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาครอสลิงค์ขึ้นซึ่งเกิดจากฟีนอลิกแสดงดังรูปที่ 6.

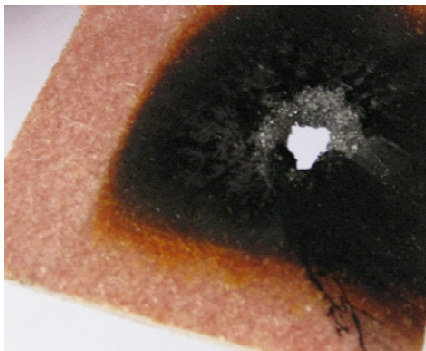


รูปที่ 5. ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TGA



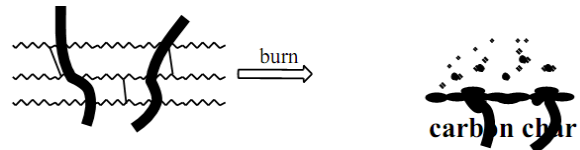
รูปที่ 6. ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค DSC

รูปที่ 7. ชิ้นงานหลังจากผ่านการทดสอบการทนต่อการกัดกร่อน จากผลการทดสอบ อัตราการเสียดกร่อนของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตมีค่า 0.13 มิลลิเมตรต่อวินาที และฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตมีค่า 0.06 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตมีความสามารถทนต่อการเสียดกร่อนได้ดีกว่าของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตเนื่องจากมีค่าอัตราการเสียดกร่อนน้อยกว่าเพราะเมื่อในขณะที่เกิดการเสียดกร่อนด้วยแก๊สร้อนฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตเมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดขึ้นช้าซึ่งชั้นชาร์เหล่านี้จะป้องกันการเสียดกร่อนจากความเร็วของแก๊สร้อนแสดงดังรูปที่ 8. ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ถ่านชาร์ยังทำหน้าที่เหมือนฉนวนที่ป้องกันความร้อนที่จะเข้าส่วนชิ้นงานด้านใน ส่วนใหญ่ภายในท่อพ่นแก๊สร้อนจรวดนอกจากจะมีความร้อนที่สูงแล้วยังมีความเร็วของแก๊สด้วยดังนั้น วัสดุชิ้นงานที่นำมาใช้สำหรับเป็นฉนวนกันความร้อนภายในท่อพ่นแก๊สร้อนจึงต้องมีคุณสมบัติที่ต้องทนต่อการเสียดกร่อนที่สูง



รูปที่ 7. ชิ้นงานหลังทดสอบการทนต่อการกัดกร่อน

เมื่อทดสอบความหนาแน่นของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตและฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.66 และ 1.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะเห็นว่าวัสดุทั้งสองชนิดมีค่าความหนาแน่นน้อยจึงเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับจรวด



รูปที่ 8. การเกิดชั้นคาร์บอนชาร์

8. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนและการทนต่อความเสียดกร่อนของฉนวนกันความร้อนมอเตอร์จรวดจากฟีนอลิก/เส้นใยคอมโพสิตเมทริกซ์ถูกขึ้นรูปแบบลามิเนตที่มีเส้นใยที่แตกต่างกันระหว่างเส้นใยแก้วและเส้นใยสังเคราะห์ภายในประเทศ ผลการทดสอบ TGA และ DSC พบว่าฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตจะมีปริมาณชาร์ที่เหลือมากกว่าฟีนอลิก/เส้นใยแก้ว เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติการเสียดกร่อนของฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิตและฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตมีค่าเท่ากับ 0.13 และ 0.06 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตเกิดขึ้นของชาร์ขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้จึงส่งผลให้มีอัตราการเสียดกร่อนที่น้อยกว่าฟีนอลิก/เส้นใยแก้วคอมโพสิต จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าฟีนอลิก/เส้นใยสังเคราะห์คอมโพสิตมีความเหมาะสมเป็นฉนวนกันความร้อนในท่อพ่นแก๊สร้อนของมอเตอร์จรวด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม ที่ให้การสนับสนุนบทความวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Natali, M., Kenny, J. and Torre, L. (2010). Phenolic matrix nanocomposites based on commercial grade resols: Synthesis and characterization, *Composite Science and Technology*, vol.70(2010), January 2010, pp.571-577.
- [2] Jiang, Y., Zhang, X., HE, J., Yu, L., and Yang, R. (2011). Effect of polyphenenylsisesquioxane on the ablative and flame-retardation properties of ethylene propylene diene monomer (EPDM) composite, *Polymer Degradation and Stability*, vol.96(2011), January 2011, pp.949-954.
- [3] Lu, J. (1998). *Synthesis of Phenolic Resin Amines and Solid-State NMR of Phenolic Resin in NASA Rocket Motors*, Mississippi State University.
- [4] Firouzmanesh MR., Aref Azar A., (2003). Study of thermal stability and ablation behavior of carbon/epoxy-novolac composites, *Journal of Applied Polymer Science*, vol.88(2003), June 2003, pp. 2455-2461.
- [5] สุวิชา จันทน์กะพ้อ, ไพศาล อภินหพัฒน์ และ เจษฎาศิริรัฐนิคม (2554). การผลิตต้นแบบฉนวนกันความร้อนสำหรับมอเตอร์จรวดจากฟีนอลิก, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จ.กระบี่