



อิทธิพลของเถ้าลอยที่มีต่อความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

Effect of Fly Ash on Wear Resistance of Poly(ether-ether-ketone) Composites

นริศตา น้อยฉ่ำ^{1*}, ทิพบรรณ ปะละไทย², ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ³

Narista Noicham^{1*}, Tippaban Palathai², Narongrit Sombatsompop³

¹ Graduate student, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Research Group, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

² Assistant Professor, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Research Group, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

³ Professor, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Research Group, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

*e-mail: chocobee_ta@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยต่อความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน โดยนำเถ้าลอยปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักผสมกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนนำมาอัดขึ้นรูปเป็นวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอยช่วยปรับปรุงความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอ การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอยและระยะทางในการทดสอบทำให้อัตราการสึกหรอลดลง นอกจากนี้ อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนลดลงเมื่อใช้น้ำหนักกดในการทดสอบน้อยกว่า 50 นิวตัน ขณะที่อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำหนักกดในการทดสอบ 100 นิวตัน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนและวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Abstract: This research studied the effect of Fly Ash (FA) content on wear resistance of Poly(ether-ether-ketone; PEEK) composite. FA particles with the contents of 10, 20 and 30 wt% were mixed with PEEK. FA/PEEK composite specimens were prepared by compression molding. The results suggested that an increase of the FA contents improved the hardness and wear resistance. The increase of the FA contents and sliding distance reduced the specific wear rates. Moreover, the specific wear rates of FA/PEEK composite reduced at the applied load of <50 N, while, the specific wear rates of its composite increased under the applied load of 100 N. Friction coefficients of PEEK and FA/PEEK composites exhibited no significant differences.





บทนำ

เนื่องจากพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีสมบัติที่สำคัญ คือ ทนทานต่อการสึกหรอ (Wear) มีความต้านทานการเสียดทาน (Friction) มีสมบัติทางกลที่ดี และทนทานต่อสารเคมีสูง[1] ปัจจุบันมีการเติมสารเสริมแรง (Reinforcement) เพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน โดยส่วนใหญ่แล้วสารเสริมแรงที่นิยมเติมในพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว อะลูมินา และซิลิกา เป็นต้น[2] จากงานวิจัยของ Qiao และคณะ(2007)[1] ได้ทำการศึกษาสมบัติด้านความเสียดทาน และการสึกหรอของการเติมสารประกอบอะลูมินา (Al_2O_3) ขนาดนาโนเมตรลงในพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน พบว่า สามารถลดอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนได้เป็นอย่างดี และจากงานวิจัยของ Wang และคณะ(1997)[3] พบว่าการเติมสารประกอบซิลิกา (SiO_2) ขนาดนาโนเมตร ทำให้วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีอัตราการสึกหรอ และความเสียดทานลดลง แต่เนื่องจากสารเสริมแรงดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ มีราคาแพง ดังนั้นจึงนำเถ้าลอย (Fly Ash; FA) ซึ่งเป็นของเสียจากโรงไฟฟ้ามาเป็นสารเสริมแรง จากลักษณะของเถ้าลอยเป็นทรงกลม มีขนาดเล็กมาก และที่สำคัญเถ้าลอยมีอะลูมินา และซิลิกาเป็นองค์ประกอบอีกด้วย[4]

ในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าลอยที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

วิธีการทดลอง

วัสดุและสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน เกรด 450PF จากบริษัท Victrex ประเทศอังกฤษ มีขนาดโดยเฉลี่ย 63.16 ไมครอน และผงเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของบริษัท ทอร์ส พอซโซลานซ์ คัดขนาดโดยใช้ตะแกรงคัดขนาด 400 และ 500 เมช (Mesh) เพื่อให้ได้เถ้าลอยขนาด 25-38 ไมครอน

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำเถ้าลอยมาผสมกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนในสัดส่วนของเถ้าลอยเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ผสมโดยใช้เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball Mill) ต่อจากนั้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression Molding) ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แรงดันแม่พิมพ์ 10 เมกกะปาสกาล แล้วตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ

การวัดความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

การวัดค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนใช้เครื่องวัดความแข็งระดับจุลภาค (Microhardness) รุ่น FM-700e ของบริษัท Future Technology ประเทศจีน โดยวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) กดเป็นเวลา 15 วินาที น้ำหนักกด 300 กรัม ทำการวัดค่าความแข็ง 15 ครั้ง ต่อ 1 ชิ้นงาน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย





การทดสอบความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน

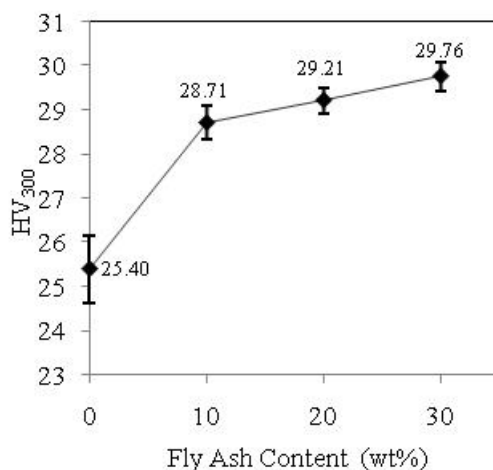
การทดสอบความต้านทานการสึกหรอของวัสดุ ใช้การทดสอบแบบดิสก์กลม Ball-on-Disc โดยมีบอลเหล็กชุบโครเมียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตรเป็นวัสดุคู่สัมผัสใช้อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที น้ำหนักกดในการทดสอบเท่ากับ 10, 20, 30, 50 และ 100 นิวตัน ที่ระยะทาง 1, 2 และ 3 กิโลเมตร

การวัดการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน

การวัดการสึกหรอในงานวิจัยนี้ ใช้การคำนวณปริมาตรที่หายไป โดยวัดความลึกของรอยสึกหรอ 4 จุดด้วยเครื่อง Profilometer ของบริษัท Mitutoyo รุ่น SV3000 ประเทศญี่ปุ่น แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยเป็นพื้นที่การสึกหรอ และปริมาตรการสึกหรอ ชิ้นงานที่มีรอยสึกหรอถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น JSM-5800 ประเทศญี่ปุ่น เพื่อวิเคราะห์การสึกหรอที่เกิดขึ้น

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการวัดค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนทั้งที่เดิมและไม่เติมเถ้าลอย พบว่าการเติมเถ้าลอยลงไปในพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความแข็งสูงขึ้น ดังรูปที่ 1 เนื่องจากเถ้าลอยเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูงและกระจายตัวอยู่ในวัสดุเชิงประกอบ จึงทำหน้าที่รับแรงเมื่อได้รับแรงกด เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบสูงขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณเถ้าลอยทำให้มีเถ้าลอยกระจายตัวในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2 ทำให้เถ้าลอยรับแรงกระทำได้มากขึ้น [5]



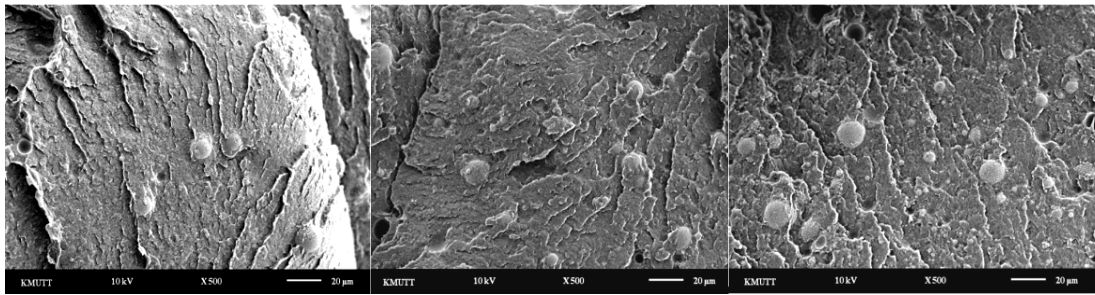
รูปที่ 1 ผลของปริมาณเถ้าลอยที่มีต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน

จากการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ พบว่า อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบที่เติมเถ้าลอยมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย ดังรูปที่ 3 เนื่องจากการทดสอบการสึกหรอ ลูกบอลจะเคลื่อนที่ และกดบนชิ้นงานเป็นผลให้เกิดความเค้นขึ้น ในกรณีที่เติมเถ้าลอย





ในพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ความเค้นที่เกิดขึ้นจะส่งผ่านพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนไปสู่เถ้าลอย ทำให้วัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น [6]

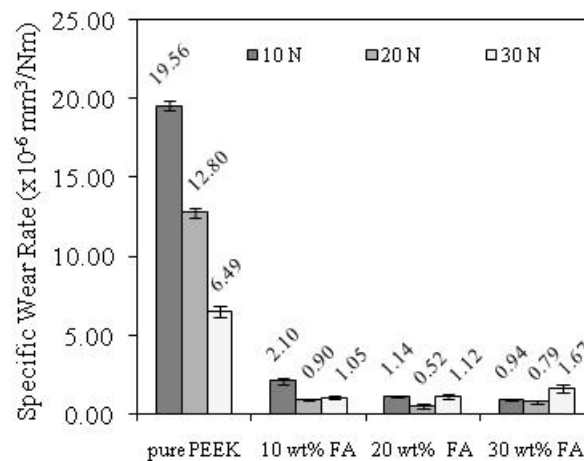


a) 10 wt% FA

b) 20 wt% FA

c) 30 wt% FA

รูปที่ 2 การกระจายตัวของเถ้าลอยปริมาณต่างๆในวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

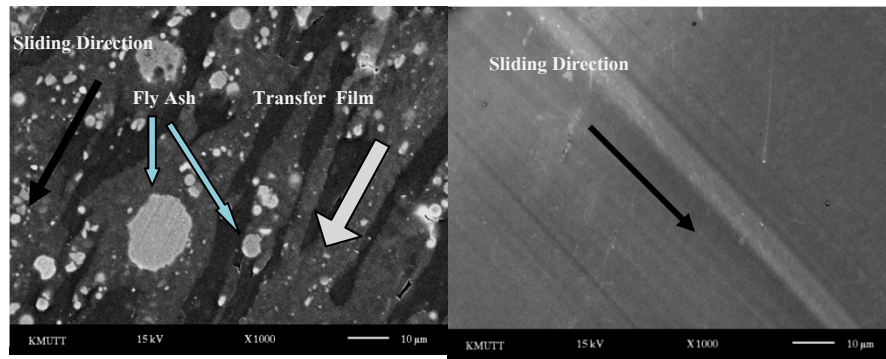


รูปที่ 3 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่ไม่ได้เติมและเติมเถ้าลอยปริมาณ 10, 20 และ 30 wt% ทดสอบที่น้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน ระยะทาง 1 กิโลเมตร

นอกจากนี้ยังพบว่า ขณะทำการทดสอบการสึกหรอ เกิดเศษวัสดุ (Debris) ที่ประกอบไปด้วยเถ้าลอยและพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน เมื่อเศษวัสดุถูกกักไว้ในขณะทำการทดสอบการสึกหรอ เศษวัสดุนี้จะถูกกดทับเกิดเป็น Transfer Film ขึ้นในรอยสึกหรอ (Worn Surface) ดังรูป 4 a) Transfer Film ทำหน้าที่ลดการสัมผัสของชิ้นงาน กับบอลคู่สัมผัส และอนุภาคเถ้าลอยใน Transfer Film ยังทำหน้าที่รับแรงเค้นแทนพอลิ-เมอร์อีกด้วย[7] จึงทำให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบที่เติมเถ้าลอยลดลง ต่างจากรอยการสึกหรอของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย ดังรูป 4 b) มีลักษณะเป็นรอยขีดข่วนชิ้นงาน

ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเถ้าลอยปริมาณต่างๆกัน ทดสอบด้วยน้ำหนักกดต่างๆที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร มีอัตราการสึกหรอที่ใกล้เคียงกัน จึงเพิ่มระยะทางในการทดสอบเป็น 3 กิโลเมตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะทางที่ใช้





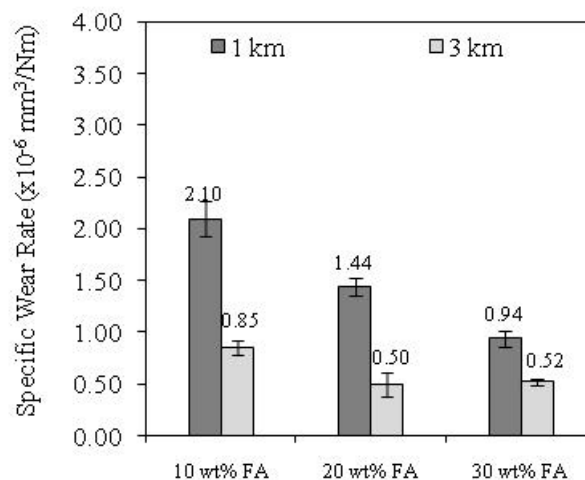
a) 30 wt% FA

b) พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

รูปที่ 4 รอยสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเถ้าลอย 30 wt%

และพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย ทดสอบโดยใช้น้ำหนักกด 20 นิวตัน ระยะทาง 1 กิโลเมตร

ทดสอบที่มีต่อวัสดุเชิงประกอบ ดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อทดสอบที่ระยะทาง 3 กิโลเมตร วัสดุเชิงประกอบที่เติมเถ้าลอย มีอัตราการสึกหรอที่ลดต่ำลงจากระยะการทดสอบ 1 กิโลเมตร และเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นอัตราการสึกหรอมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนส่งผ่านความเค้นไปสู่เถ้าลอยได้มากขึ้น การเติมเถ้าลอยมากขึ้นจึงเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอให้กับวัสดุเชิงประกอบ ทั้งนี้อัตราการสึกหรอที่ลดต่ำลงเป็นผลจากค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 5 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเถ้าลอยปริมาณ

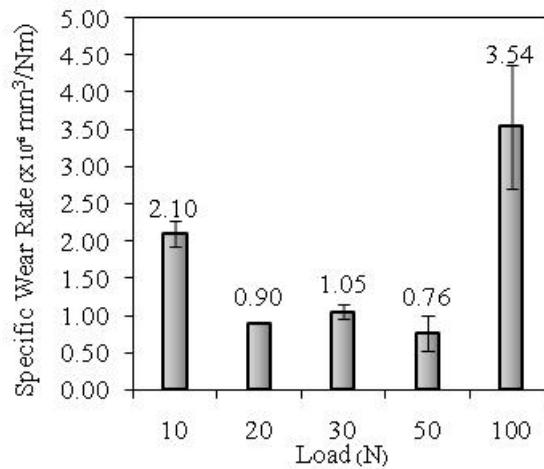
10, 20 และ 30 wt% ทดสอบที่น้ำหนักกด 10 นิวตัน ระยะทาง 1 และ 3 กิโลเมตร

นอกจากนี้ น้ำหนักกดที่แตกต่างกันในการทดสอบการสึกหรอส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเถ้าลอยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีอัตราการสึกหรอดังรูปที่ 6 โดยสามารถแบ่งน้ำหนักกดได้เป็น 2 ช่วง คือ น้ำหนักกดน้อย ได้แก่ 10, 20, 30 และ 50 นิวตัน และน้ำหนักกดสูง คือ 100 นิวตัน จะเห็นได้ว่าสำหรับน้ำหนักกดน้อย เมื่อเพิ่มน้ำหนักกด อัตราการสึกหรอมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นทำให้เศษการสึกหรอฝังตัวในรอยการสึกหรอได้มากขึ้น นั่นก็คือ เกิด Transfer Film มากขึ้น เป็นผลให้อัตราการสึกหรอลดลง แต่ที่น้ำหนักกด 100 นิวตัน อัตราการสึกหรอมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



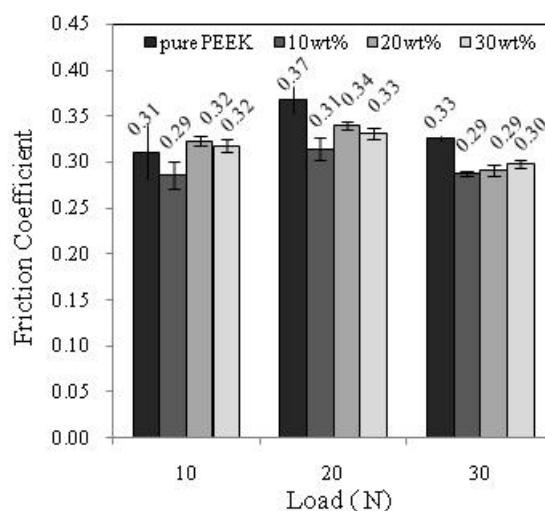


อย่างมาก เนื่องจากเศษวัสดุที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักรีดสูงมีขนาดใหญ่ อยู่บนรอยสึกหรอ เมื่อได้รับแรงเค้นสูงจากการสัมผัสลูกบอลที่มีน้ำหนักกด 100 นิวตัน เข้าไปมา ทำให้เกิดการแตกหัก และหลุดออกของเศษวัสดุขนาดใหญ่ ทำให้อัตราการสึกหรอจึงเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 6 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทเธอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมถั่วลันเตาปริมาณ 10 wt% ทดสอบที่น้ำหนักกดต่างๆ ระยะทางทดสอบ 1 กิโลเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบที่เติมถั่วลันเตา และไม่เติมถั่วลันเตา ดังรูปที่ 7 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทเธอร์อีเทอร์คีโตนทั้งที่เติมถั่วลันเตาและไม่เติมถั่วลันเตามีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่น้ำหนักกด 30 นิวตัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบที่เติมถั่วลันเตามีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากที่น้ำหนักกดสูงจะทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการไหลตัวของพอลิเมอร์บริเวณผิวชิ้นงาน ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นด้วยตัวเอง (Self Lubricant) [8] ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงนัก



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทเธอร์อีเทอร์คีโตนที่ไม่ได้เติมและเติมถั่วลันเตาปริมาณ 10, 20 และ 30 wt% น้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน ระยะทางทดสอบ 1 กิโลเมตร





สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง พบว่า การเติมเถ้าลอยปริมาณสูงขึ้น ส่งผลต่ออัตราการสึกหรอที่ลดลงของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนสอดคล้องกับค่าความแข็งที่เพิ่มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าลอย นอกจากนี้การเพิ่มระยะทางทดสอบยังส่งผลให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มน้ำหนักกดในการทดสอบ อัตราการสึกหรอมีแนวโน้มลดลงสำหรับน้ำหนักกดน้อยกว่า 50 นิวตัน แต่ที่น้ำหนักกด 100 นิวตัน อัตราการสึกหรอมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยยังทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบเถ้าลอย/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีค่าใกล้เคียงกันมาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Qiao, Q. Guo, A. Tian, G. Pan, L. Xu, A study on friction and wear characteristics of nanometer Al_2O_3 /PEEK composites under the dry sliding condition, Tribology. 40 (2007) 105-110.
- [2] G. Zhang, L. Chang, A.K. Schlar, The roles of nano- SiO_2 particles on the tribological behavior of short carbon fiber reinforced PEEK, j.compsscitech. 69 (2009) 1029-1035.
- [3] Q. Wang, Q. Xue, W. Shen, The friction and wear properties of nanometre SiO_2 filled polyetheretherketone, Tribology International. 30 (1997) 193-197.
- [4] ศิริพร ทองแสง และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, การเสริมแรงธรรมชาติด้วยเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ ภายในประเทศ, วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 14 (2550) 77-89.
- [5] H. Cai, F. Yan, Q. Xue, W. Liu, Investigation of tribological properties of Al_2O_3 - polyimide nanocomposites, Polymer Testing. 22 (2003) 875-882.
- [6] ณัฐนี อินทวงศ์, อิทธิพลของสารเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์และเถ้าลอย ในผิวเคลือบวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนต่อโครงสร้างและการต้านทานการสึกหรอ, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2552.
- [7] A. Dasari, Z.Z. Yu, Y.W. Mai, Fundamental aspects and recent progress on wear/scratch damage in polymer nanocomposites, j.msar. 63 (2009) 31-80.
- [8] G. Zhang, C. Zhang, P. Nardin, W.Y. Li, H. Liao, C. Coddet, Effects of sliding velocity and applied load on the tribological mechanism of amorphous poly-ether-ether-ketone (PEEK), Tribology International. 41 (2008) 79-86.

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัย ขอขอบคุณโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (National Research Universities; NRU) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Nanotechnology Center; NANOTEC) รหัสโครงการ NN-B-22-CT3-21-52-07 ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และบริษัท ทอรัส พอซโซลานซ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าลอย และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

