

อิทธิพลของคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบ
เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

Effect of Single-Walled Carbon Nanotube on Wear Behavior
Of Hexagonal Boron Nitride/Polyetheretherketone Composites

วรวิทย์ จิตรเอื้อกุล^{1*}, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹ และ ทิพบรรณ ปะละไทย¹

Worrawit Jhiteuakul^{1*}, Narongrit Sombatsompop¹ and Tippaban Palathai¹

¹กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF), คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

¹Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, School of Energy, Environment and Materials,
King Mongkut's University of Technology Thonburi,
126 Pracha-Uthit Rd., Bang Mod, Thungkru, Bangkok 10140

*E-mail: Worrawit1990@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 089-842-5668, เบอร์โทรสาร 02-4708647

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน โดยนำอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่อัตราส่วนต่างๆ ผสมกับพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน นำมาอัดขึ้นรูปอ่อนระบบแรงดันเป็นวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/คาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน และทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องทดสอบแบบ Pin-on-Disc กับคู่สัมผัส 3 ชนิดได้แก่ เหล็กเจือโครเมียมเกรด AISI 52100 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการทดลองพบว่า การเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวทำให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักทดสอบจาก 10 ถึง 30 นิวตัน วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวมีอัตราการสึกหรอต่ำกว่า วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ และที่อัตราส่วนผสมที่ปริมาณร้อยละ 7.5/2.5 โดยน้ำหนัก มีอัตราการสึกหรอสูงที่สุด นอกจากนี้พฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุคู่สัมผัสอีกด้วย

คำหลัก: พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน, เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์, คาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว, การสึกหรอ, การอัดขึ้นรูปอ่อน

Abstract

In this work, the effect of single-walled carbon nanotube (SWCNT) on wear behavior of hexagonal boron nitride (h-BN)/Polyetheretherketone (PEEK) was studied. Various h-BN and SWCNT contents were mixed with PEEK particle and prepared using a compression molding process. Wear behavior of the composites was investigated using a pin-on-disc testing with three different counterpart materials (chromium steel, stainless steel and aluminum oxide balls). The results showed that the additions of h-BN and SWCNT improved the hardness of the PEEK composites. The wear rate of the PEEK composite increased with an increase of the applied load from 10 to 30 N. The wear behavior of SWCNT/PEEK composite was better than that of h-BN/PEEK composite. The 7.5h-BN/2.5SWCNT/PEEK composite showed the highest wear rate. Furthermore, the wear rate of h-BN/SWCNT/PEEK composites were dependent on type of the counterpart materials.

Keywords: Polyetheretherketone, Hexagonal boron nitride, Single-walled carbon nanotube, Wear, Compression molding

1. บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและยานยนต์ในปัจจุบัน ได้มีการนำเอาพลาสติกวิศวกรรม (Plastic engineering) มาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เพื่อทดแทนชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุโลหะ เช่น พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน โดยมีสมบัติเด่นคือ สมบัติทางกลสูง ต้านทานต่อการกัดกร่อนและการสึกหรอ และมีน้ำหนักเบา เป็นต้น จากสมบัติและข้อดีดังกล่าว ทำให้พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนถูกนำมาประยุกต์ใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล และยานยนต์ที่มีจุดหมุนหรือชุดส่งถ่ายกำลัง เช่น แบริ่ง (Bearing) ในขณะการใช้งานอาจมีการรับแรงทางกลขณะหมุนหรือเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึกหรอที่รุนแรงได้ ด้วยเหตุนี้ ถ้ามีการปรับปรุงให้พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนมีสมบัติการต้านทานการสึกหรอ และการหล่อลื่นที่ดี สามารถทำให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลใช้งานได้นานขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้ [1] ซึ่งในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงสมบัติการรับแรงทางกล การต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น และลดแรงเสียดทานที่ดี โดยการเติมสารตัวเติมและสารเสริมแรงต่างๆ เช่น เส้นใยคาร์บอน [2] เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ [3] และอะลูมิเนียมออกไซด์ [4] เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาอิทธิพลของคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่ส่งผลต่อสมบัติการต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน

2. วิธีการ

2.1 วัสดุและสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน เกรด 450PF จากบริษัท Victrex ประเทศอังกฤษ ผงมีขนาดโดยเฉลี่ย 63 ไมครอน ผงเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ จากบริษัท MK IMPEX ประเทศแคนาดา มีขนาด 1.5 ไมครอน และผงคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว จากบริษัท Chengdu Organic Chemicals ประเทศจีน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 – 2 นาโนเมตร และความยาว 5-30 ไมครอน วัสดุคู่สัมผัสชุด 3 ชนิดคือ เหล็กเจือโครเมียม เหล็กกล้าไร้สนิม และอะลูมิเนียมออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10/0, 7.5/2.5, 5/5, 2.5/7.5 และ 0/10 โดยน้ำหนัก ทำการกระจายอนุภาคด้วยเอทานอลในเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath) เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นผสมกับพอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตนในเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แรงดันแม่พิมพ์ 10 เมกะปาสคาล แล้วตัดชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบการสึกหรอ

2.3 การวัดความแข็งของวัสดุเชิงประกอบ

การวัดค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/คาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว/พอลิเอเทอร์อีเทอร์คีโตน ใช้เครื่องวัดความแข็งระดับจุลภาค (Micro-hardness) รุ่น HMV-2000 ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) น้ำหนักกด 200 กรัม กดเป็นเวลา 15 วินาที ทำการวัดค่าความแข็ง 10 ครั้ง ต่อ 1 ชิ้นงาน แล้วหาค่าเฉลี่ย

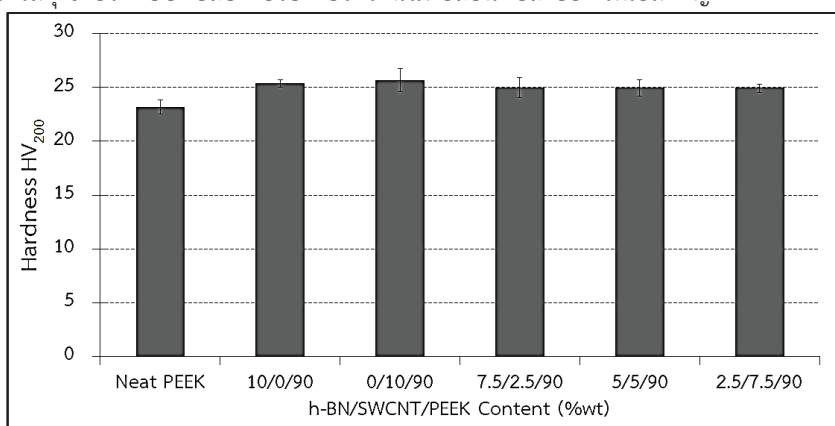
2.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบ

ความต้านทานการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบ สามารถทดสอบได้ด้วยเครื่องทดสอบไตรโบโลยีแบบสไลด์ Ball-on-Disc โดยมีคู่สัมผัสเป็นลูกบอลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที น้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน และระยะทางการทดสอบ 1 กิโลเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถวัดได้จากเครื่องทดสอบ ส่วนการสึกหรอสามารถวิเคราะห์ได้จากรอยสึกหรอบนชิ้นงาน โดยใช้เครื่อง Profilometer ของบริษัท Mitutoyo รุ่น SV3000 ประเทศญี่ปุ่น โดยวัดความลึกของรอยสึกหรอ 4 จุด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเป็นพื้นที่การสึกหรอ นำมาคำนวณปริมาตรการสึกหรอ และรอยสึกหรอตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น JSM-6610LV ของบริษัท JEOL ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 อิทธิพลของคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

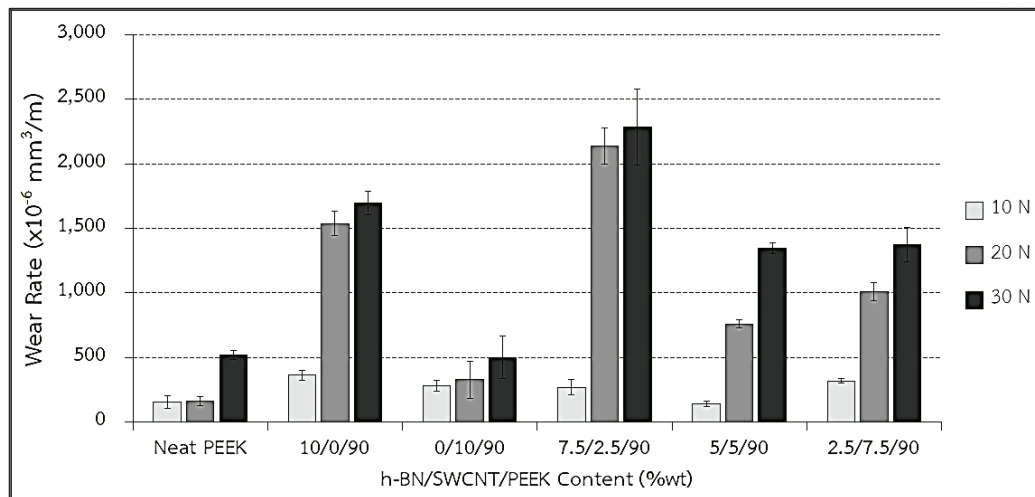
จากการทดสอบความแข็งของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยว/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนเพิ่มขึ้น เมื่อเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่เป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง [5] เช่นเดียวกับอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวมีความแข็งแรงและความแข็งสูง [6-8] เมื่อกระจายตัวในวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนสามารถช่วยรับแรงแทนพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี ส่งผลให้ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนเพิ่มขึ้น ในกรณีอัตราส่วนปริมาณการเติมของอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่ปริมาณร้อยละ 7.5/2.5, 5/5 และ 2.5/7.5 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ



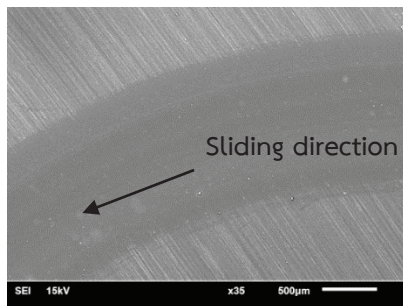
รูปที่ 1 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

3.2 อิทธิพลของอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

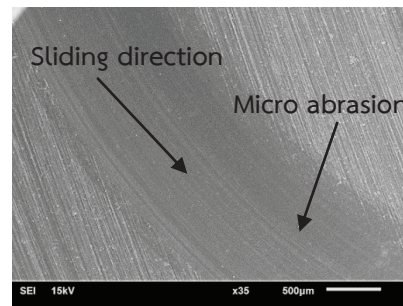
รูปที่ 2 แสดงอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติม และไม่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่อัตราส่วนปริมาณต่างๆ ทดสอบที่น้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน พบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักในการทดสอบ อัตราการสึกหรอของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีค่าเพิ่มขึ้น รอยการสึกหรอค่อนข้างเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) เมื่อเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มีความแข็งสูง ขณะทดสอบการสึกหรออนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์หลุดออกมาอยู่บริเวณผิวสัมผัสแล้วเกิดการขีดข่วนผิววัสดุร่วมด้วย (3 Body Abrasion) [5] ทำให้เกิดรอยขีดข่วนร่องลึกและหยากกว่ารอยสึกหรอของชิ้นงานพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) ส่วนการเติมอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีผลให้อัตราการสึกหรอของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวเข้าไปช่วยรับแรงและกระจายแรงจากวัสดุสัมผัสในระหว่างการขัดถู และเกิดการหลุดออกของอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวน้อยกว่าอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ เพราะอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวมีขนาดเล็กและปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ที่สูง นอกจากนี้ เกิดทรานเฟอร์ฟิล์มขึ้นในรอยสึกหรอ อาจเป็นผลช่วยทำให้อัตราการสึกหรอน้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ อัตราการสึกหรอของชิ้นงานพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวในปริมาณร้อยละ 7.5/2.5, 5/5 และ 2.5/7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า ที่ปริมาณอัตราส่วนผสมร้อยละ 7.5/2.5 โดยน้ำหนัก มีอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มากกว่าคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยว ขณะทดสอบการสึกหรออนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ หลุดออกมาอยู่บริเวณผิวสัมผัสและขีดข่วนผิววัสดุร่วมด้วย ถึงแม้ว่าคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังเดี่ยวทำให้เกิดทรานเฟอร์ฟิล์ม แต่ทรานเฟอร์ฟิล์มที่เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง จึงเป็นเหตุให้ค่าการสึกหรอค่อนข้างสูง ดังแสดงในรูปที่ 3 (ง)



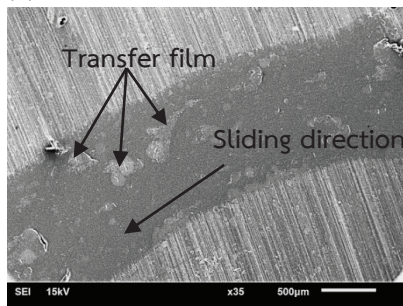
รูปที่ 2 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติม และไม่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่อัตราส่วนต่างๆ ทดสอบกับเหล็กเจือโครเมียมด้วยน้ำหนักกด 10, 20 และ 30 นิวตัน ระยะทางทดสอบ 1 กิโลเมตร ณ อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที



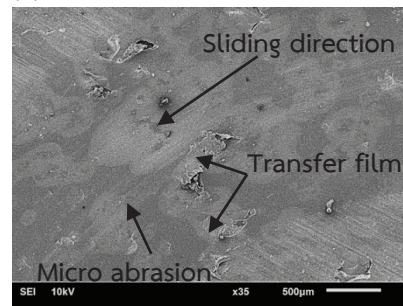
(ก) Neat PEEK



(ข) 10%wt h-BN / 90%wt PEEK



(ค) 10%wt SWCNT / 90%wt PEEK



(ง) 7.5%wt h-BN / 2.5%wt SWCNT / 90%wt PEEK

รูปที่ 3 รอยสึกหรอของพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตนและวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตน ทดสอบกับเหล็กเจือโครเมียมด้วยน้ำหนักกด 30 นิวตัน ระยะทางทดสอบ 1 กิโลเมตร ณ อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที

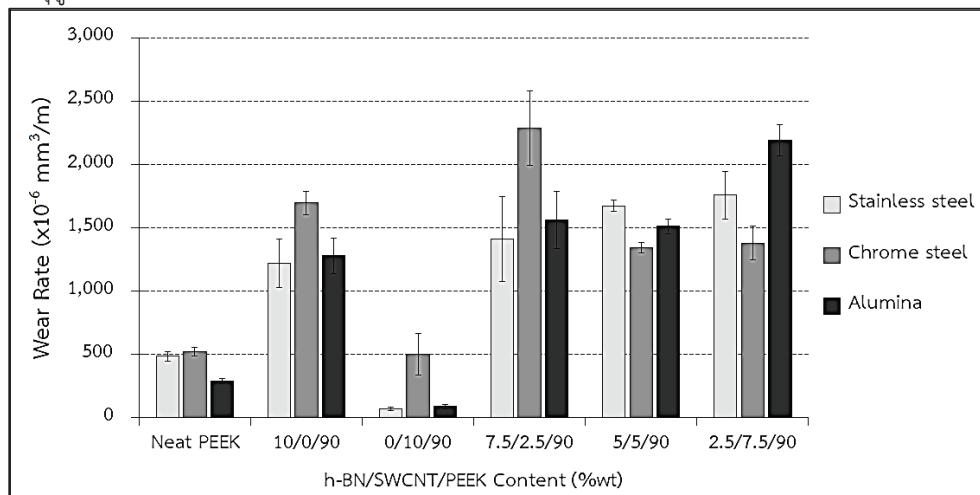
3.3 อิทธิพลของชนิดวัสดุคู่สัมผัสคู่ที่ส่งผลต่อสมบัติการต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/คาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว/พอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตน

รูปที่ 4 แสดงอัตราการสึกหรอของพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติม และไม่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่อัตราส่วนปริมาณต่างๆ ทดสอบที่น้ำหนักกด 30 นิวตัน พบว่า พอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบกับเหล็กกล้าไร้สนิมและอะลูมิเนียมออกไซด์ มีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขณะทดสอบการสึกหรอ อนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์หลุดออกมาบริเวณผิวสัมผัสคู่แล้วเกิดการขีดข่วนผิววัสดุร่วมด้วย ทำให้เกิดรอยสึกหรอที่เป็นรอยขีดข่วนร่องลึก มีลักษณะรอยสึกหรอเหมือนกับรูปที่ 3 (ข) ส่วนพอลิเอทีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบกับเหล็กกล้าไร้สนิมและอะลูมิเนียมออกไซด์ มีอัตราการสึกหรอที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่มีสมบัติทางกลที่สูง [6-9] เมื่อกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ จึงทำหน้าที่รับแรงและกระจายแรงจากพอลิเมอร์ จากการตรวจสอบรอยสึกหรอที่มีวัสดุคู่สัมผัส

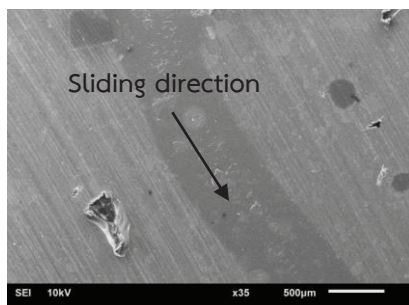
เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม พบรอยการสึกหรอและลักษณะการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation) ของพอลิเมอร์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก และ ข) และในกรณีของอัตราส่วนระหว่างอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวที่มีปริมาณร้อยละ 7.5/2.5, 5/5 และ 2.5/7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่มีวัสดุคู่ทดสอบเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมและอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยวเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามกับชิ้นงานที่มีวัสดุคู่ทดสอบเป็นเหล็กเจือโครเมียม ค่าอัตราการสึกหรอสูงที่สุดในชิ้นงานที่เติมเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มีปริมาณร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก

4. บทสรุป

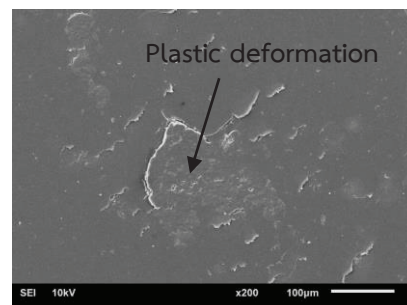
การเติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์และคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว พบว่า ความแข็งของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มน้ำหนักในการทดสอบ โดยที่วัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์มีอัตราการสึกหรอที่สูงกว่าวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนที่เติมอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว โดยอนุภาคเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์หลุดออกมาอยู่บริเวณผิวสัมผัสขัดถูและแสดงพฤติกรรมเป็นวัสดุขัดถูร่วมด้วยจึงทำให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมปริมาณที่ร้อยละ 7.5/2.5 โดยน้ำหนัก มีอัตราการสึกหรอที่สูงที่สุด ค่าอัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุสัมผัส



รูปที่ 4 อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนกับชนิดวัสดุคู่สัมผัสที่แตกต่างกัน ทดสอบด้วยน้ำหนักกด 30 นิวตัน ระยะทางการทดสอบ 1 กิโลเมตร ณ อัตราเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาที



(ก) รอยสึกหรอ



(ข) การเปลี่ยนรูปแบบถาวร

รูปที่ 5 ก) รอยสึกหรอและ ข) การเปลี่ยนรูปแบบถาวรของวัสดุเชิงประกอบคาร์บอนนาโนทิวบ์ผนังเดี่ยว/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (เมธีวิจัยอาวุโส สกว., เลขที่สัญญา RTA5580009) โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (National Research Universities; NRU) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Nanotechnology Center; NANOTEC) รหัสโครงการ NN-B-22-CT3-21-52-07 ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนทุนวิจัย

และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการอนุเคราะห์
เครื่อง Profilometer

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์, John P.H., ผกามาส แซ่หว่าง, วารุณ แปรมานนท์, สุรพล ราชภูร์นุ้ย และสิทธิชัย วิโรจน์อุปถัมภ์ (2545). การสึกหรอ: ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน, สำนักพิมพ์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, หน้า 15-18.
- [2] Davim, J.P. and Cardoso, R. (2009). Effect of the reinforcement (carbon or glass fibers) on friction and wear behavior of the PEEK against steel surface at long dry sliding, *Wear*, Vol. 266, No. 1, pp. 795-799.
- [3] Qiao, H.B., Guo, Q., Tian, A.G., Pan, G.L. and Xu, L.B. (2007). A study on friction and wear characteristics of nanometer Al₂O₃/PEEK composites under the dry sliding condition, *Tribology International*, Vol. 40, No. 1, pp. 105-110.
- [4] Qihua, W., Qunji, X., Huiwen, L., Weichang, S. and Jinfen, X. (1996). The effect of particle size of nanometer ZrO₂ on the tribological behavior of PEEK, *Wear*. Vol. 198, No.1, pp. 216-219.
- [5] Ertug, B., Boyraz, T. and Addemir, O. (2007). An Investigation of the Mechanical Properties And Fracture Characteristic of Hot-Pressed Boron Nitride Ceramics. Vol. 554. pp. 201-205.
- [6] ปิติพงษ์ พรหมรักษ์ (2555). สมบัติทางกลและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์-พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 97-105.
- [7] ศศิธร ศรีคำม้วน, ทิพวรรณ ปะละไทย และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (2555). อิทธิพลของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางไทรโบโลยีของผิวเคลือบเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน, การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี จังหวัดอุตรธานี.
- [8] Chen, W.X., Li, F., Han, G., Xia, J., Wang, L., J. Tu, T. and Xu, Z. (2003). Tribological behavior of carbon-nanotube-filled PTFE composites, *Tribology Letters*, Vol. 15, No. 3, pp. 275-278.
- [9] Vail, J.R., Burris, D.L. and Sawyer, W.G. (2008). Multifunctionality of single-walled carbon nanotube-polytetrafluoroethylene nanocomposites, *Wear*, Vol. 267, No. 1, pp. 619-624.