

<http://journal.rmutp.ac.th/>

สมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเชิงประกอบด้วย อลูมิเนียมออกไซด์สำหรับการใช้งานทางวิศวกรรม

งามพรรณ ชะโล และ ประกอบ ชาติฤกษ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800

รับบทความ 31 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ 19 พฤษภาคม 2565 ตอบรับบทความ 20 พฤษภาคม 2565

บทคัดย่อ

ในการดำเนินการวิจัยด้านวัสดุเพื่อหาสูตรส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบสองชนิด คือ พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) กับผงอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression Molding Process) ที่ให้ค่าสมบัติทางกลที่ดี สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปอยู่ภายใต้ความดัน 100 bar และอุณหภูมิ 140 °C จากนั้นดำเนินการอัดขึ้นรูปวัสดุ UHMWPE ที่ผสมแล้วด้วยอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่มีฟิลเลอร์เป็น Al_2O_3 ขนาดอนุภาค 0.3 μm (300 nm), 0.05 μm (50 nm), Calcined Al_2O_3 B-grad 5 μm และ Al_2O_3 HTM 2-5 μm จากการวิจัยได้เลือกใช้เกรดของ Al_2O_3 เป็น Al_2O_3 HTM 30 มีขนาดอนุภาคผงไม่สม่ำเสมอเคล้ากันไปอยู่ในช่วง 2 ถึง 5 μm และปริมาณการผสม Al_2O_3 ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติความต้านทานการสึกหรอของวัสดุก่อน UHMWPE Composite คือ UHMWPE+ Al_2O_3 HTM 30 ที่อัตราส่วนร้อยละ 95:5 โดยพิจารณาทั้งในด้านสมบัติของวัสดุและต้นทุน ในการทดสอบการกระแทกพบว่า Al_2O_3 HTM 2-5 μm จะให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าอลูมิเนียมออกไซด์เกรดอื่นๆ ด้วยค่าที่สูงถึง 586.8 J/m ที่อัตราส่วนผสมอลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 5 การทดสอบค่าความแข็งแรงของ UHMWPE+ Al_2O_3 HTM 2-5 μm พบว่าให้ค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 58.8 ด้วยเครื่องมือมาตรฐาน Durometer การทดสอบแรงดึงได้ค่าต่างๆ ประกอบด้วย Yield strength, Ultimate tensile strength, Elongation at break และ Modulus of elasticity เท่ากับ 20.52 MPa, 29.96 MPa, 265.80% และ 784.46 MPa ตามลำดับ

คำสำคัญ : สมบัติทางกล; พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด; อลูมิเนียมออกไซด์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 8279 5855, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: prakorb.c@rmutp.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Mechanical Properties of UHMWPE Composite with Al_2O_3 for Application in Engineering

Ngampan Chalo and Prakorb Chartpuk*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon

1381 Pracharat 1 Road, Wongsawang Sub-district, Bang Sue District, Bangkok 10800

Received 31 March 2022; Revised 19 May 2022; Accepted 20 May 2022

Abstract

In conducting the research on Material Science, two composite materials, ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) powder and aluminum oxide (Al_2O_3) powder were formulated by hot compression molding process. The formulated materials demonstrated good mechanical properties. Based on the studies, the Al_2O_3 grade selected was Al_2O_3 HTM 30 harboring mixed uneven powder particle sizes ranging from 2 to 5 microns (μm) and selected proportion of Al_2O_3 alloy mixed for improving mechanical and wear resistance properties of the UHMWPE composite material was the UHMWPE+ Al_2O_3 HTM 30 at a ratio of 95:5%. When considering both material properties and cost effectiveness in the impact test, 2-5 μm Al_2O_3 HTM carried the higher impact strength than other aluminum oxide grades with the values up to 586.8 J/m at a ratio of 5% aluminum oxide. The hardness test of the 2-5 μm UHMWPE+ Al_2O_3 HTM delivered the hardness at 58.8 using the standard durometer. The tensile test values consisted of yield strength, ultimate tensile strength, elongation at break, and modulus of elasticity equal to 20.52 MPa, 29.96 MPa, 265.80% and 784.46 MPa, respectively.

Keywords : Mechanical Properties; UHMWPE; Al_2O_3

* Corresponding Author. Tel.: +669 8279 5855, E-mail Address: prakorb.c@rmutp.ac.th

1. บทนำ

ภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในปัจจุบันให้ความสำคัญกับการนำพอลิเมอร์มาใช้งานทางด้านวิศวกรรมมากขึ้น แต่พอลิเมอร์บริสุทธิ์มีสมบัติทางกลและสมบัติความต้านทานการสึกหรอยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานบางอย่างทางวิศวกรรม พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานคือ พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์ เช่น นำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนรองลื่นที่เป็นส่วนประกอบของข้อต่อเทียมต่างๆ (Total Joint Replacement) สำหรับงานศัลยกรรมกระดูกและกล้ามเนื้อ การพัฒนาขาเทียมเพื่อทดแทนกระดูกอ่อนที่เสียหายในข้อสะโพกและข้อเข่า [1]-[3] หรือการนำเอา UHMWPE ที่ทำการขึ้นรูปแล้วมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม นำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อาทิเช่น เพื่อง์ เกียร์ แบร็งค์ ชิ้นส่วนรองลื่นสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่าง ๆ [4]

เนื่องจาก UHMWPE เป็นวัสดุพอลิเมอร์หรือพลาสติกวิศวกรรมในกลุ่มพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ที่มีสมบัติเป็นวัสดุกึ่งผลึก (Semi Crystalline) มีสมบัติโดดเด่นทางด้านความต้านทานการสึกหรอ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ มีความลื่นตัวสูง ทนต่อแรงกระแทก มีความเหนียวต่อปฏิกิริยาเคมีและสารเคมีต่าง ๆ [4], [5] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับปรุงสมบัติต่างๆ เหล่านี้ด้วยการผสมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ เข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้สูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะทาง เนื่องจากการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเหล่านี้ต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันและสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ความสึกหรอที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นหากชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และการทำงานที่อยู่ภายใต้สภาวะที่มีความดันและความเครียดสูง เครื่องจักรต้องได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็น

ประจำและชิ้นส่วนจะถูกเปลี่ยนบ่อยขึ้น และนอกจากนี้ยังมีการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูป ซึ่งพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูปนี้โดยทั่วไปจะถูกเรียกว่า พอลิเมอร์คอมปาวด์ (Polymer Compound) สารเติมแต่งที่ใช้ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คือ ฟิลเลอร์ (Filler) ซึ่งหมายถึงสารเติมแต่งที่ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มเนื้อหรือปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์และนอกจากนี้ในบางกรณีฟิลเลอร์ยังมีส่วนช่วยลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานที่ทำจากพอลิเมอร์เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มเนื้อแต่จะส่งผลต่อสมบัติบางประการที่เปลี่ยนไปในทางลบหรือบวกก็เป็นได้ Al_2O_3 เป็นเซรามิกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มสมบัติทางกล ด้วยสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุเซรามิกทำให้มีความเหมาะสมเป็นพิเศษ เช่น ค่าความแข็งที่สูง สามารถต้านทานสูงต่อการขีดขูด มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ มีความต้านทานต่อสารเคมีที่ดี และความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิสูง

O. Hussain et al. [1] นำเสนอวัสดุผสมไฮบริด UHMWPE/nano- Al_2O_3 /Vitamin-C ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นกระดูกอ่อนเทียมในข้อต่อเทียม Al_2O_3 ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งต่อต้านการสึกหรอใน UHMWPE พบว่าเมื่อผสม Al_2O_3 2 wt% จะมีประสิทธิภาพต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุผสมอื่นๆ สารเติมแต่งจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของพอลิเมอร์คอมโพสิต UHMWPE [6], [7] ด้วยการเสริมแรงกระจายสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของ UHMWPE [2], [8], [9] ได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามต้องให้ความสนใจกับการก่อตัวของโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้น F.S. Senatov et al. [10] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม UHMWPE ที่เติมด้วยอนุภาคนาโน Al_2O_3 และไมโครสเฟียร์หลังการเปิดใช้งานเชิงกล เนื่องจาก UHMWPE มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่

จุดหลอมเหลวจึงมีความหนืดสูงมากและพารามิเตอร์การแพร่ตัวเองของสายโซ่โมเลกุลต่ำมาก ซึ่งนำไปสู่ความยากลำบากในการรวมตัวและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการเผาผนึกเป็นผลให้เกิดข้อบกพร่องทางโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ UHMWPE ได้ J.J. Wu et al. [11] จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับบทบาทสำคัญของลำดับอุณหภูมิ-เวลาในสถานะหลอมเหลวระหว่างกระบวนการผลิต สำหรับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวคือ 145–200°C เป็นเวลา 10–90 นาที โดยพื้นฐานแล้วจะมีเส้นทางความเค้น-ความเครียดเหมือนกัน ซึ่งสะท้อนความไม่แปรเปลี่ยนของระดับความเป็นผลึก

ดังนั้นในบทความนี้ได้เลือกใช้สารเติมแต่งที่เป็นผงอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มุ่งเน้นหาสูตรสำหรับการผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมของ UHMWPE ที่ถูกผสมด้วย Al_2O_3 เพื่อให้ทราบสมบัติทางกลและนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบในการขึ้นรูปล้อรันแฟลท (Run-Flat) สำหรับรถยนต์นั่งและรถบรรทุกขนาดเล็กต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในระเบียบวิธีวิจัยได้กำหนดวัสดุเป็น UHMWPE และ Al_2O_3 ที่นำมาใช้ในการวิจัย ซึ่ง UHMWPE มีขนาดอนุภาคในช่วง 80-100 μm ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่ามีความบริสุทธิ์และในการดำเนินงานสร้างขึ้นทดสอบจะปราศจากการปนเปื้อนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตจะผลิตชิ้นงานทดสอบด้วยการอัดขึ้นรูปร้อน และได้วัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Material) มีการกระจายตัวของอนุภาค Al_2O_3 ทั่วทั้งปริมาตรของชิ้นทดสอบ และมีสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทุกทาง (Isotropic Materials)

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุผง UHMWPE U511 เป็นพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด พร้อมตัวกันการกัดกร่อน (CS) ในรูปแบบผงโดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 5.5

ล้านกรัมต่อโมล มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 125 μm น้ำหนักโมเลกุลที่สูงมากให้คุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์หลายประการ รวมถึงความต้านทานต่อการเสียดสีสูง ความต้านทานแรงกระแทก และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ที่ผลิตโดยบริษัท IRPC Public Company Limited ประเทศไทย มีสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) [12]

Properties	Method	Unit	Value
Density	ISO 1183	g/cm^3	0.93
Bulk density	ISO 60	g/cm^3	≥ 0.40
Intrinsic viscosity $[\eta]$	ISO 1628-3	mL/g	2300
Average molecular weight (cal.)	Margolies's Eq.	g/mol	5.5×10^6
Average particle size, X50	Laser Scattering	μm	150
Tensile strength at yield	ISO527	MPa	22
Tensile strength at break	ISO527	MPa	35
Ultimate elongation	ISO527	%	≥ 300
Izod impact strength	ASTM D256	J/m	NB
Hardness	ISO 868	Shore D	63
Melting temperature (10°C/min)	ASTM D3418	$^\circ\text{C}$	130–135
Vicat softening point (1 kg)	ISO 306	$^\circ\text{C}$	125–128

ตารางที่ 2 สมบัติของอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) [13]

Property	Al_2O_3
Molecular weight (10^6 g/mol)	101.96
Melting temperature ($^\circ\text{C}$)	2072
Poisson's ratio	0.22
Specific gravity (g/cm^3)	3.96
Tensile modulus of elasticity (GPa)	370
Compressive Strength (MPa)	2600
Tensile ultimate strength (MPa)	260
Fracture Toughness $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$	4
Density (g/cc)	3.9

2. Al_2O_3 มีสมบัติดังตารางที่ 2 และผ่านการตรวจสอบรูปลักษณะพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ประกอบด้วย

- 0.05 μm (50 nm) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท BUEHLER จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 0.3 μm (300 nm) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท
BUEHLER จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา

- 2-5 μm เป็น Al_2O_3 99.5%, HTM30 Grade,
Alpha Phase ผ่านการ Calcined ผลิตโดยบริษัท
Indian Aluminium Co.,Ltd.

- 5 μm เป็น Al_2O_3 99.4%, Calcined B-grade
ผลิตโดยบริษัท Indian Aluminium Co., Ltd.

2.2 เครื่องมือและมาตรฐานการทดสอบ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.0001 g /0.1 mg ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น ATX224R
2. เตาอบลมร้อนยี่ห้อ Binder รุ่น FD 53L
3. เครื่องโฮโมจีไนส์แบบความเร็วรอบสูง (High Speed Homogenizer) และเครื่องกระจายอัลตราโซนิค (Ultrasonic Disperser)
4. แม่พิมพ์และเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน
5. เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ สำหรับตัดแต่งชิ้นทดสอบได้ขนาดตามที่ต้องการ ได้แก่ เลื่อยสายพาน เครื่องกัด และกระดาษทรายสำหรับขัดเตรียมชิ้นงาน
6. เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง (Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 638
7. เครื่องทดสอบความแข็ง Shore D แบบ Shore D ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D
8. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วย 1) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscopy) 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL model JSM-IT300 3) Differential Scanning Calorimeter และ 4) FT-IR spectroscopy ยี่ห้อ Bruker รุ่น Tensor 27 การตรวจพิสูจน์เกี่ยวกับโมเลกุลของสารด้วยเครื่อง FT-IR Spectroscopy สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ของเหลว และ

ก๊าซ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดในช่วงประมาณ 12,800 ถึง 10 cm^{-1} ซึ่งความยาวคลื่น (Wave Number) สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วง Far IR (200 ถึง 10 cm^{-1}) Mid IR (4,000 ถึง 200 cm^{-1}) และ Near IR (12,800 ถึง 4,000 cm^{-1})

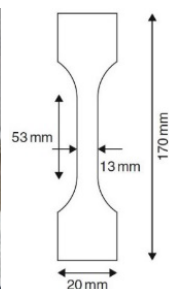
2.3 กระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำผง UHMWPE บริสุทธิ์ มาทำการผสมกับผงอลูมิเนียมออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาด 0.05 μm (50 nm), 0.3 μm (300 nm), 2-5 μm HTM30 grade และ 5 μm Calcined B-grade สำหรับในส่วนของกระบวนการเตรียมผง UHMWPE ผสมฟิลเลอร์อนุภาค Al_2O_3 จะต้องทำการผสม UHMWPE กับฟิลเลอร์อนุภาค Al_2O_3 โดยเริ่มจากการนำฟิลเลอร์อนุภาค Al_2O_3 ไปทำให้เกิดการกระจายตัว (De-agglomerate) ด้วยเครื่อง Ultrasonic Disperser เป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อแยกฟิลเลอร์อนุภาค Al_2O_3 ออกจากกันและป้องกันไม่ให้เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวกลางในการทำให้เกิดการกระจายตัว จากนั้นจึงทำการปั่นผสมฟิลเลอร์อนุภาค Al_2O_3 รวมกับผง UHMWPE ด้วยเครื่อง High Speed Homogenizer ที่มีความเร็วรอบ 32,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที (ในการใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวกลางช่วยในการปั่นผสมนี้เนื่องจากผง UHMWPE มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเมทิลแอลกอฮอล์จึงส่งผลให้ UHMWPE สามารถจมลงในเมทิลแอลกอฮอล์ได้) และนำไปวางในที่โล่งไม่มีความชื้นเพื่อให้เมทิลแอลกอฮอล์เกิดการระเหยจนหมดแล้วจึงนำผงที่ได้ไปเข้าเตาอบลมร้อนยี่ห้อ Binder รุ่น FD 53L จนได้ผงที่มีส่วนผสมของ UHMWPE+ Al_2O_3 หลังจากนั้นจึงทำการสร้างชิ้นงานทดสอบด้วยการอัดขึ้นรูปร้อนผ่านกระบวนการ Hot Compression Molding โดยแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปมีขนาด 160x80x50 mm ภายใต้การอัดขึ้นรูปร้อนที่แรงอัด 10 MPa ที่อุณหภูมิ 140 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 45 min ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์และปัจจัยอื่นๆ จะได้ชิ้นงานตามขนาด

แม่พิมพ์และมีความหนา 10 mm พร้อมทั้งจะนำไปทดสอบสมบัติทางกลต่างๆ ต่อไป จากรูปที่ 1 (ก) เป็นการขึ้นรูปเพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบแรงดึงที่มีขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 มีขนาดดังรูปที่ 1 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (ก) การขึ้นรูปชิ้นงาน และ (ข) ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638

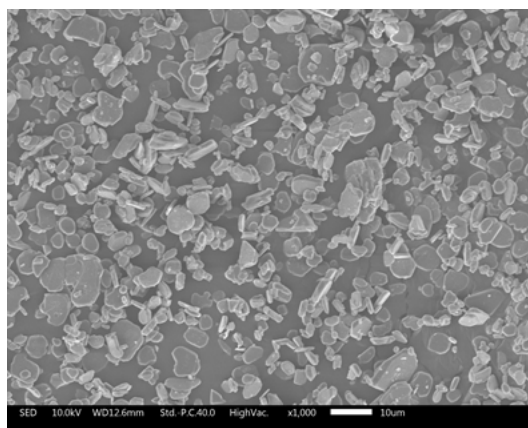
3. ผลการวิเคราะห์และผลการทดสอบ

3.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้าง

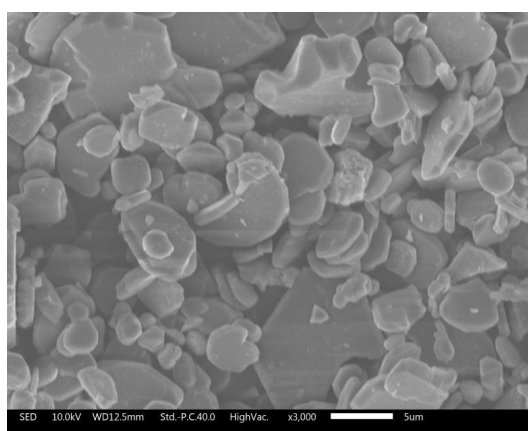
จุลภาคของผงวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผงอลูมิเนียมออกไซด์ Al_2O_3 เป็นวัสดุฟิลเลอร์ที่ใช้ในการทำวิจัย ก่อนการอัดขึ้นรูปแผ่นเซรามิกได้ทำการศึกษากระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างของผงวัสดุที่ทดสอบก่อนจะนำชิ้นงานเข้าวิเคราะห์ จะต้องทำการเคลือบทองคำลงบนผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Sputter Coaters ยี่ห้อ QUORUM รุ่น Q150R ES และขั้นตอนสุดท้ายคือการเคลือบผิวเพื่อเตรียมตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าในสภาวะความเป็นสุญญากาศสูง (HV) จากนั้นนำไปตรวจสอบรูปลักษณะพื้นฐานที่กำลังขยายต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT300 ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดเล็กมาก ๆ ของตัวอย่างทางชีวภาพ เป็นการถ่ายภาพด้วยแสงต้นตำ

และการถ่ายภาพในโหมดสุญญากาศต่ำและยังช่วยให้ภาพมีคุณภาพสูงดังรูปที่ 2 และ 3 จากนั้นนำชิ้นงานมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Rigaku-Miniflex ซึ่งเป็นเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แบบตั้งโต๊ะ วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของผงอนุภาคที่สามารรถระบุเฟสของผลึก (Phase ID) และการหาปริมาณ เปอร์เซ็นต์ (%) ความเป็นผลึก ขนาดและความเครียดของผลึก การปรับแต่งพารามิเตอร์แลตทิซ การปรับแต่ง Rietveld และโมเลกุล โครงสร้าง มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัย ซึ่งเป็นการตรวจสอบวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการวิจัยนี้

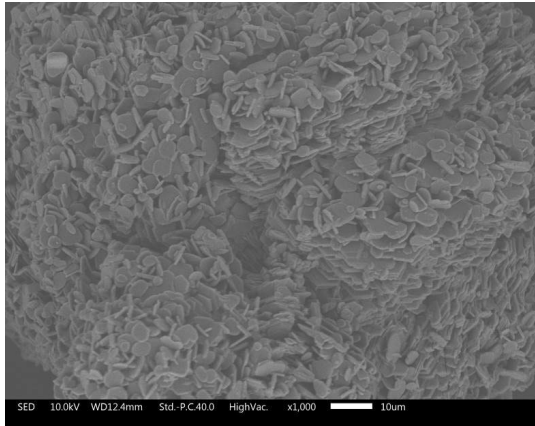


(ก)

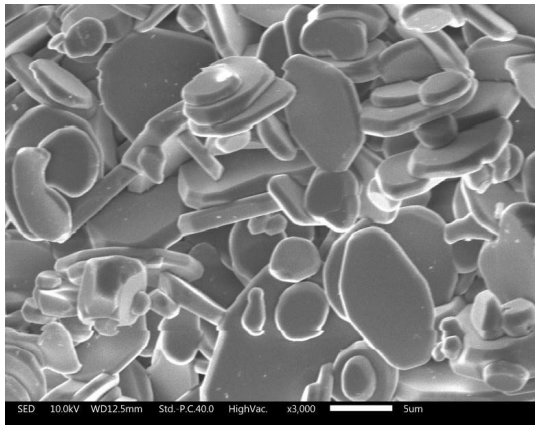


(ข)

รูปที่ 2 รูปลักษณะพื้นฐานของ Al_2O_3 HTM 30 grade ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, (ก) ที่กำลังขยาย $\times 1000$ และ (ข) ที่กำลังขยาย $\times 3000$



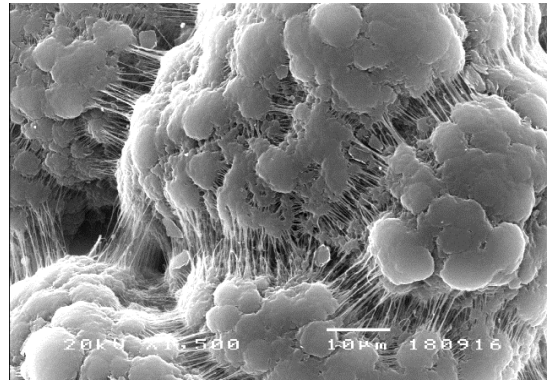
(ก)



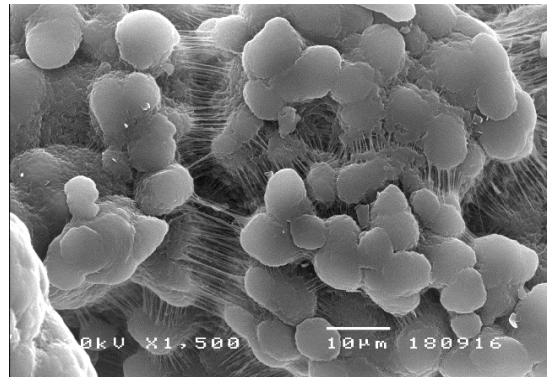
(ข)

รูปที่ 3 รูปลักษณะพื้นฐานของ Al_2O_3 Calcined B grade ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, (ก) ที่กำลังขยาย $\times 1000$ และ (ข) ที่กำลังขยาย $\times 3000$

จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงได้ภาพที่แสดงลักษณะพื้นฐานของผงอลูมิเนียมออกไซด์ Al_2O_3 และ UHMWPE ซึ่งใช้ในการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 2, 3 และ 4 ด้วยกำลังขยายที่ 1,000 และ 3,000 เท่า จากการศึกษาโครงสร้างพบว่า Alumina Al_2O_3 B-Grade จะมีขนาดอนุภาคผงอยู่ที่ประมาณ 5 μm และอนุภาคผงจะมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่สำหรับ Alumina Al_2O_3 HTM 30 จะมีขนาดอนุภาคผงอยู่ที่ประมาณ 2-5 μm มีขนาดไม่สม่ำเสมอเคล้ากันไป จากผลการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้รังสีเอกซ์ X-Ray Diffractometer: (XRD) จะบอกชนิดของสารประกอบ



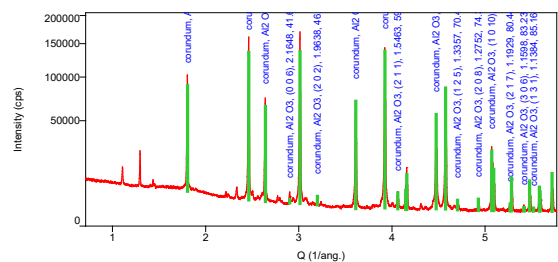
(ก)



(ข)

รูปที่ 4 รูปลักษณะพื้นฐานของ UHMWPE ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้ ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนางานวิจัย งานในกระบวนการผลิต จากรูปที่ 5-6 แสดงให้เห็นถึง XRD Pattern ของอลูมิเนียมออกไซด์ และ UHMWPE ได้อย่างชัดเจน เป็น Corundum Al_2O_3 มีรูปผลึกระบบเฮกซะโกนอล คือรูปหกเหลี่ยม



รูปที่ 5 Calcined Al_2O_3 B grade



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งเฉลี่ยที่ร้อยละของ Al_2O_3

Specimens	Durometer Hardness (Shore D)	SD
B-grade 5%	56.6	0.92
B-grade 8%	58.4	1.02
B-grade 10%	59.2	0.75
HTM-30 5%	58.8	1.72
HTM-30 8%	59.2	1.60
HTM-30 10%	59.4	0.49
Alumina 0.3 μm 5%	60.8	1.66
Alumina 0.3 μm II 8%	59.7	0.90
Alumina 0.05 μm 8%	61.9	2.47

ผลของค่าที่เพิ่มขึ้นจะหมายถึงวัสดุนั้นมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4 พบว่าขนาดอนุภาคผงอลูมิเนียมออกไซด์ที่มีขนาดเล็กกว่าและมีปริมาณร้อยละของส่วนผสมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยอลูมิเนียมออกไซด์มีความแข็งเมื่อผสมลงไปจึงก่อให้เกิดเนื้อของ UHMWPE ที่แข็งขึ้น สำหรับชนิดของ Calcined Al_2O_3 B-grade 5 μm และ Al_2O_3 HTM 2-5 μm เมื่อผสมลงไป ใน UHMWPE แล้วจะไม่เห็นความแตกต่างของค่าความแข็ง ทั้งนี้ความแตกต่างของอนุภาคที่เล็กลง คือ 0.3 μm หรือ 0.05 μm จะไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 5 และ 8 ของ Calcined Al_2O_3 B-grade 5 μm และ Al_2O_3 HTM 2-5 μm เป็นสิ่งที่ควรนำไปประกอบการพิจารณาเลือกใช้

3.4 ผลการทดสอบแรงดึง

ในการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง UTM จะได้ค่าต่างๆ ประกอบด้วยค่า Yield Strength ในช่วง Linear Elastic และ Ultimate Tensile Strength ดังตารางที่ 5 สำหรับค่า Elongation at Break (ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด คิดเป็นร้อยละการยืดตัวของวัตถุที่จุดขาดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้น) และ Modulus of Elasticity แสดงดังตารางที่ 6 ด้วยการเตรียมชิ้นงานทดสอบชุดละ 5 ชิ้นงานและนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละค่าโดยพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นสำคัญ จากการทดสอบพบว่าที่ส่วนผสมระหว่าง UHMWPE และอลูมิเนียมออกไซด์ที่เหมาะสมในภาพรวมทั้งสมบัติทางกลและต้นทุนของอลูมิเนียมออกไซด์ที่นำมาผสมและนำไปประยุกต์ใช้งานทางกลนั้นคือ UHMWPE+HTM-30 5% ค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ความเค้นที่จุดครากและความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ UHMWPE + Al_2O_3 ร้อยละ 5, 8 และ 10

Specimens	Yield Strength (MPa)		Ultimate Tensile Strength (MPa)	
	Average	SD	Average	SD
UHMWPE+ B-grad 5%	12.41	0.25	29.2	0.6
UHMWPE + B- grad 8%	12.21	0.05	29.16	0.42
UHMWPE+ B-grad 10%	10.88	0.27	29.57	1
UHMWPE+ HTM-30 5%	20.52	0.43	29.96	0.71
UHMWPE+ HTM-30 8%	11.01	0.33	28.63	0.87
UHMWPE+ HTM-30 10%	11.36	0.46	29.19	0.69
UHMWPE+ Al_2O_3 0.3 5%	12.5	0.33	29.91	0.71
UHMWPE+ Al_2O_3 0.3 8%	21.86	0.22	29.15	0.82
UHMWPE+ Al_2O_3 0.05 8%	11.26	0.48	29.85	0.78

ตารางที่ 6 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และโมดูลัสความยืดหยุ่นของ UHMWPE + Al_2O_3 ร้อยละ 5, 8 และ 10

Specimens	Elongation at Break (%)		Modulus of Elasticity (MPa)	
	Average	SD	Average	SD
UHMWPE+ B-grad 5%	254.24	1.95	796.62	3.13
UHMWPE + B-grad 8%	256.42	1.54	847.66	3.77
UHMWPE+ B-grad 10%	239.52	1.60	907.99	3.35
UHMWPE+ HTM-30 5%	265.80	3.20	784.46	3.28
UHMWPE+ HTM-30 8%	227.33	3.79	836.05	2.50
UHMWPE+ HTM-30 10%	251.22	2.46	865.54	2.79
UHMWPE+ Al_2O_3 0.3 5%	260.34	1.81	854.75	2.23
UHMWPE+ Al_2O_3 0.3II 8%	258.09	3.77	885.04	2.94
UHMWPE+ Al_2O_3 0.05 8%	253.42	1.41	889.09	4.84

4. สรุปและอภิปรายผล

พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) ใช้เป็นผงวัสดุหลัก และมีผงอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 เป็นวัสดุเสริม อัตราส่วนระหว่าง UHMWPE และ Al_2O_3 จะอยู่ที่ 95:5 ถึง 92:8 ตามลำดับ ซึ่งรูปลักษณะพื้นฐานจะแบนกลม ขนาดอนุภาคของผง Al_2O_3 จะอยู่ที่ 5 μm ภายใต้การอัดขึ้นรูปร้อนที่แรงอัด 10 MPa ที่อุณหภูมิ 140 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 45 min พบว่า Al_2O_3 HTM 2-5 μm จะให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าอลูมิเนียมออกไซด์เกรดอื่นๆ ด้วยค่าที่สูงถึง 586.8 J/m ที่ส่วนผสมอลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 5 การทดสอบค่าความแข็งของ UHMWPE+ Al_2O_3 HTM 2-5 μm พบว่าให้ค่าความแข็งอยู่ที่ 58.8 ด้วยเครื่องมือมาตรฐาน Durometer

จากการทดสอบแรงดึงจะได้ค่าต่างๆ ประกอบด้วย Yield Strength = 20.52 MPa, Ultimate Tensile Strength = 29.96 MPa, Breaking Strength = 22.83 MPa, Elongation at Break = 265.8 % และ Modulus of Elasticity = 784.46 MPa (ค่าต่างๆ เหล่านี้ซึ่งได้จากการทดลองจะสามารถนำไปใช้ต่อไปในการวิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์) ผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวสอดคล้องกับ F. S. Senatov et al. [2] จึงกล่าวได้ว่าสูตรในการผสมและกระบวนการผลิตในห้องทดลองทำให้ได้ตัวอย่างสูตรที่จะนำไปใช้ในการทดลองสร้างล้อนิรภัยรันแฟลท (Run-Flat) ที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งกระบวนการออกแบบและสร้างล้อรันแฟลทจะเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องใช้กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยเข้ามาแก้ไขปัญหา และจะต้องดำเนินการทดสอบการใช้งานจริงทั้งในห้องปฏิบัติการและบนสนามทดสอบจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2561 ตามสัญญาเลขที่ กบง./2559-194 คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือเครื่องจักร สาธารณูปโภคต่างๆ ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ วรรณศรี ที่ปรึกษาห้องปฏิบัติการวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. บรรณานุกรม

- [1] O. Hussain, B. Ahmad and S. Saleem, "Tribological performance of biomedical grade UHMWPE/nano- Al_2O_3 /Vitamin-C hybrid

- composite for cartilage replacements,” *Mater. Lett.*, vol. 291, p. 129515, May 2021.
- [2] F. S. Senatov et al., “Biocompatible polymer composites based on ultrahigh molecular weight polyethylene perspective for cartilage defects replacement,” *J. Alloys Compd.*, vol. 586, pp. S544–S547, Feb. 2014.
- [3] N. N. Mallikarjuna, A. Venkataraman and T. M. Aminabhavi, “A study on γ - Fe_2O_3 loaded poly (methyl methacrylate) nanocomposites,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 94, no. 6, pp. 2551–2554, 2004.
- [4] S. M. Kurtz. UHMWPE Biomaterials Handbook, Elsevier Ins., China, 2009.
- [5] M. Hussain et al., “Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review,” *Polymers*, vol. 12, no. 2, p. 323, Feb. 2020.
- [6] Z. Tai, Y. Chen, Y. An, X. Yan, and Q. Xue, “Tribological Behavior of UHMWPE Reinforced with Graphene Oxide Nanosheets,” *Tribol. Lett.*, vol. 46, no. 1, pp. 55–63, Apr. 2012.
- [7] S. Gürgen, O. N. Çelik and M. C. Kuşhan, “Tribological behavior of UHMWPE matrix composites reinforced with PTFE particles and aramid fibers,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 173, p. 106949, Sep. 2019.
- [8] A. V. Maksimkin, S. D. Kaloshkin, V. V. Tcherdyntsev, F. S. Senatov and V. D. Danilov, “Structure and properties of ultra-high molecular weight polyethylene filled with disperse hydroxyapatite,” *Inorg. Mater. Appl. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 288–295, 2012.
- [9] A. V. Maksimkin et al., “Ultra-high molecular weight polyethylene reinforced with multi-walled carbon nanotubes: Fabrication method and properties,” *J. Alloys Compd.*, vol. 536, pp. S538–S540, Sep. 2012.
- [10] F. S. Senatov, A. A. Baranov, D. S. Muratov, M. V. Gorshenkov, S. D. Kaloshkin and V. V. Tcherdyntsev, “Microstructure and properties of composite materials based on UHMWPE after mechanical activation,” *J. Alloys Compd.*, vol. 615, pp. S573–S577, Dec. 2014.
- [11] J. J. Wu, C. P. Buckley and J. J. O’Connor, “Mechanical integrity of compression-moulded ultra-high molecular weight polyethylene: effects of varying process conditions,” *Biomaterials*, vol. 23, no. 17, pp. 3773–3783, Sep. 2002.
- [12] POLIMAXX, Safety data sheet, (2017 May), IRPC Public Company Limited, Bangkok.
- [13] Alumina, alpha Al_2O_3 , 99.5%, Matweb Material property data, [Online]. Available: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=0654701067d147e88e8a38c646dda195&n=1&ckck=1>
- [14] N. K. Myshkin and A. V. Kovalev, “Adhesion and Friction of Polymers, in Polymer Tribology, editors: Sujeet K Sinha and Brian J Briscoe, Imperial College Press, 2009, pp. 3–32.