



การเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด
ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

Improving Tribological Performance of Ultra-High Molecular Weight
Polyethylene by Combining Lightweight Metal Reinforcements

วิชาญชัย ปลีนารัมย์

Wichanchai Pleenaram

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2566



การเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด
ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

Improving Tribological Performance of Ultra-High Molecular Weight
Polyethylene by Combining Lightweight Metal Reinforcements

วิชาญชัย ปลีนารมย์
Wichanchai Pleenaram

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพทางโทรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง
ที่ยืดด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

ชื่อ นามสกุล วิชาญชัย ปลืณารมย์

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)


สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ประกอบ ขาติภักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค)

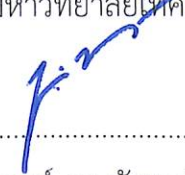

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประกอบ ขาติภักดิ์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ)

วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2567

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา
ชื่อ นามสกุล	วิชาญชัย ปลีนารัมย์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาและศึกษาประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา วัสดุสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นวัสดุหลักและผงอลูมิเนียมเป็นสารเติมแต่ง ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเพื่อให้ได้ก้อนวัสดุสำหรับการทดลองประกอบด้วย แรงอัดขึ้นรูป อุณหภูมิ เวลา รวมถึงอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดกับผงอลูมิเนียมที่ร้อยละ 2.5, 0.5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก การทดสอบสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี ประกอบด้วย การทดสอบแรงกระแทก ขึ้นงานพอลิเมอร์แบบ Izod ตามมาตรฐาน ASTM D256 การทดสอบ ความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 type I การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 ขึ้นทดสอบอัดขึ้นรูปร้อนภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ 140°C นาน 3 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัด ขึ้นรูปร้อนด้วยส่วนผสม UHMWPE กับผงอลูมิเนียม พบว่าที่อัตราส่วนผสมผงอลูมิเนียมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดประกอบด้วย ค่า Yield Stress เท่ากับ 27.55 MPa, ค่า Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 32.76 MPa, ค่า Breaking Strength เท่ากับ 22.83 MPa, ค่าElongation at Break เท่ากับร้อยละ 287.80, ค่า Modulus of Elasticity เท่ากับ 740.60 MPa, ค่าความแข็ง Shore D เท่ากับ 62 แต่ที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวนี้พบว่า ค่าความทนต่อแรงกระแทกลดต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.80 kJ/m² และผลการศึกษาประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยส่วนผสม UHMWPE กับผงอลูมิเนียม พบว่าอัตราส่วนผสมผงอลูมิเนียมอยู่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าความหนาแน่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 และ 1.865654 g/cm³ ตามลำดับ แต่ที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวนี้พบว่าค่าอัตราการสึกหรอมีค่าลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 6.89E-10 mm³/N m

คำสำคัญ : สมบัติทางกล, ไตรโบโลยี, พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด, ผงอลูมิเนียม

Thesis Title	Improving Tribological Performance of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene by Combining Lightweight Metal Reinforcements
Author	Wichanchai Pleenaram
Degree	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
Program / Faculty	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2023

ABSTRACT

The objectives of this research were to study mechanical properties of ultra-high molecular weight polyethylene mixed with lightweight metal reinforcements and to study tribological performance of ultra-high molecular weight polyethylene mixed with lightweight metal reinforcements. The two materials used in the research included ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) as the main material and aluminum powder as an additive. The variables used in the hot extrusion process to obtain the material for the experiment consisted of extrusion force, temperature, time, and mixing ratio between ultra-high molecular weight polyethylene and aluminum powder at 2.5, 0.5, 7.5, and 10 percent by weight. The testing of mechanical properties and tribological performance included Izod polymer impact testing according to ASTM D256 standard, hardness testing according to ASTM D2240 standard, tensile testing according to ASTM D638 type I standard, wear testing according to ASTM G77 standard, the hot extruded test piece under the pressure of 5 MPa at the temperature of 140 °C for 3 hours. The testing results of mechanical properties on the hot-extruded test piece with UHMWPE and aluminum powder mixture demonstrated that at aluminum powder mixing ratio at 10 percent by weight showed the highest average increase, consisting of Yield Stress at 27.55 MPa, Ultimate Tensile Strength at 32.76 MPa, Breaking Strength at 22.83 MPa, Elongation at Break at 287.80 percent, Modulus of Elasticity at 740.60 MPa and Shore D hardness at 62. However, at this mixing ratio, it was found that the lowest impact strength was at 35.80 kJ/m². The results of tribology performance of the hot-extruded test piece with UHMWPE and aluminum powder mixture showed that the aluminum powder mixing ratio at 10 percent by weight yielded the highest increase. The average values of the coefficient of friction and the density were 0.15 and 1.865654 g/cm³, respectively. At this mixing ratio, it was found that the wear rate decreased on the average of 6.89E-10 mm³/N m.

Keywords : Mechanical Properties, Tribology, Ultra-high Molecular Weight Polyethylene, Aluminum Powder

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณา ช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากอาจารย์ ดร.ประกอบ ชาตฤกษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้าน ตั้งแต่ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย การแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนาจรณ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ชี้แนะแนวทาง ให้ความรู้ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้ความรู้ ชี้แนะแนวทาง ช่วยเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและช่วยเหลือในการทดสอบจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์แจ๊ค ชุ่มอินทร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือจัดสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบ การให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและร่วมทดสอบ วิเคราะห์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว และครูอาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้ความรู้ อนุเคราะห์ ส่งเสริม สนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ แล้วคอยอบรมสั่งสอนจนประสบความสำเร็จ ในด้านการศึกษา

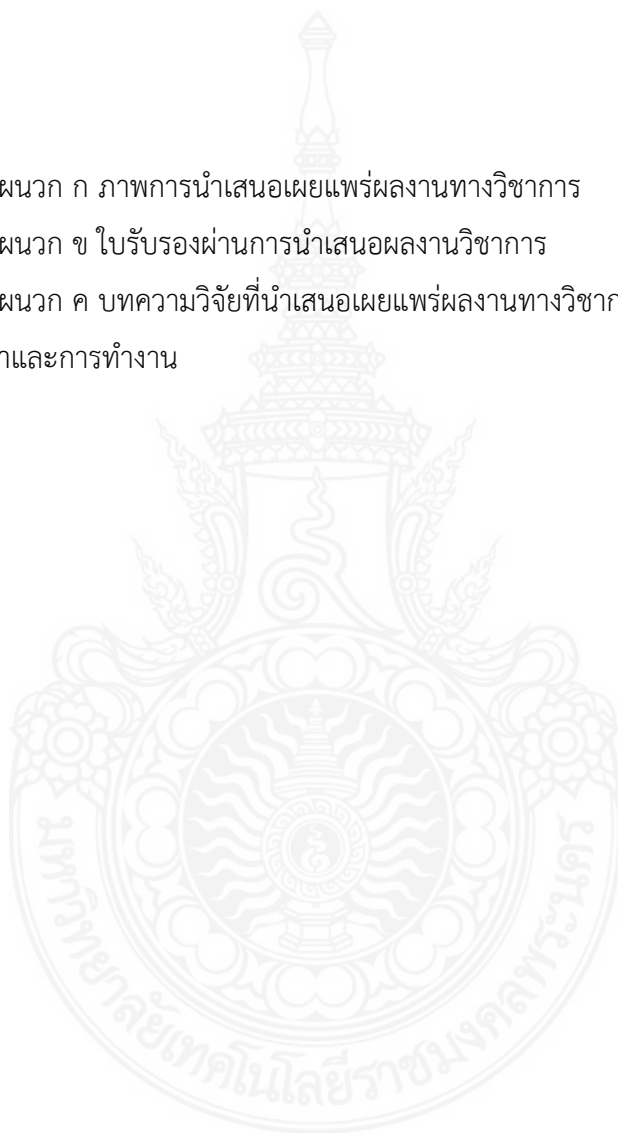
ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากนักน้อยต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.5 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 กรอบการวิจัย	32
2.3 การทบทวนวรรณกรรม	33
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	43
3.2 การดำเนินการเตรียมผงวัสดุ UHMWPE ผสมกับอนุภาคอลูมิเนียม (Al)	46
3.3 การอัดขึ้นรูปขึ้นทดสอบวัสดุก้อน UHMWPE ผสมอนุภาคอลูมิเนียม (Al)	48
3.4 การศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับ UHMWPE และอลูมิเนียม (Al)	57
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก ภาพการนำเสนอเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	82
ภาคผนวก ข ใบรับรองผ่านการนำเสนอผลงานวิชาการ	85
ภาคผนวก ค บทความวิจัยที่นำเสนอเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	87
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	102



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	14
3.1	45
3.2	47
3.3	50
4.1	60
4.2	61
4.3	63
4.4	64
4.5	65
4.6	66
4.7	68
4.8	69
4.9	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4	8
2.5	10
2.6	11
2.7	16
2.8	18
2.9	20
2.10	21
2.11	22
2.12	23
2.13	24
2.14	25
2.15	26
2.16	26
2.17	27
2.18	28
2.19	28
2.20	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Block On Ring	31
2.22 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดต่างๆ	31
2.23 กรอบการวิจัย	32
2.24 ส่วนประกอบสะโพก	35
2.25 สะโพกเทียมแบบโททอล	35
2.26 แสดงลักษณะของวัสดุและเครื่องทดสอบของงานวิจัย	36
2.27 ไมโครกราฟ SEM ของฟิล์มถ่ายที่ใช้โหลด 30 N และที่ความเร็ว 0.2094 m/s (a) UHMWPE, (b) แบ่ง 10 % โดยน้ำหนัก / UHMWPE, (c) แบ่ง 20 % โดย น้ำหนักร/UHMWPE	37
2.28 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด(SEM) ของพื้นผิวแตกหัก จากการผสม UHMWPE ละลายด้วยน้ำมันพาราฟิน	40
2.29 หมุดสำหรับการทดสอบไดรโบลยีของแผ่นดิสก์	40
2.30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (SEM) ของพื้นที่ผิวที่แตกหักของคอมโพสิต FG/UHMWPE ที่มีปริมาณ FG ต่างกัน	41
3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	44
3.2 ภาพถ่ายขยายลักษณะของผงอลูมิเนียมเบอร์ SST-A0050	45
3.3 แสดงการเตรียมอุปกรณ์และการชั่งน้ำหนักผง UHMWPE ด้วยเครื่องชั่ง ละเอียด 0.1 mg	47
3.4 แสดงการชั่งตวงน้ำหนักของ UHMWP กับผงอลูมิเนียม (Al)	48
3.5 แสดงลักษณะแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปขนาด 300x350x10 mm	48
3.6 แสดงเครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์สำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบวัสดุก้อนผงอนุภาค UHMWPEผสมกับผงอนุภาคอลูมิเนียม (Al)	49
3.7 แสดงลักษณะของหลักการทดสอบความแข็งแบบ Shore A และ แบบ Shore D	50
3.8 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D และลักษณะการ ทดสอบความแข็ง	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.9	แสดงลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึงและลักษณะการจับยึดชิ้นงาน	51
3.10	ค่าพิคต์ของส่วนต่างๆของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638	52
3.11	ชิ้นทดสอบที่เตรียมสำหรับการทดสอบแรงดึง	52
3.12.	ตัวอย่างลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแรงดึง	53
3.13	เครื่องทดสอบแรงกระแทกชิ้นงานพอลิเมอร์ แบบ Izod ตามมาตรฐาน ASTM D256	54
3.14	ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอทดสอบแบบ Block on Ring ตามมาตรฐาน ASTM G77	54
3.15	เครื่องชั่งน้ำหนัก Shimadzu digital รุ่น ATX224 ความละเอียด 0.1 mg (0.0001 g) สำหรับชั่งตวงหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบ	55
3.16	ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพรอยสึกหรอของชิ้นทดสอบ	55
3.17	ลักษณะการสึกหรอของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการทดสอบ	56
4.1	รูปลักษณะพื้นฐานของ UHMWPE จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 30 ไมครอน	58
4.2	รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 300 ไมครอน	58
4.3	รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 80 ไมครอน	58
4.4	รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 100 ไมครอน	59
4.5	กราฟแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของUHMWPEผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	60
4.6	กราฟแสดงผลการทดสอบความแข็งของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	62
4.7	กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่า Yield Strength ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่าUltimate Tensile Strength ของ UHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	65
4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่าElongation at Break ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	66
4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่า Modulus of elasticity ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	67
4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหา ค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	69
4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหา ค่า Coefficient of friction ของ UHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	70
4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหา ค่า Density ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ	71
ก-1 แสดงการเข้าร่วมการนำเสนอผลงานทางวิชาการ	83
ก-2 แสดงการนำเสนอผลงานทางวิชาการด้วยการนำเสนอแบบปากเปล่า	83
ก-3 แสดงการนำเสนอผลงานทางวิชาการด้วยการนำเสนอแบบโปสเตอร์	84
ก-4 แสดงการรับเกียรติบัตรจากการนำเสนอผลงานทางวิชาการ	84
ข-1 แสดงเกียรติบัตรการนำเสนอบทความวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทีลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมเรงน้ำหนักเบา	86
ข-2 แสดงเกียรติบัตรการนำเสนอบทความวิจัยเรื่องการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของพอลิเอทีลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมเรงน้ำหนักเบา	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พอลิเมอร์ [1] เป็นวัสดุพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักมากที่สุดในกลุ่มของพลาสติกเป็นวัสดุที่มีราคาต่ำ มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมในช่วงความถี่ที่หลากหลาย ทนต่อสารเคมีได้ดีมาก ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี ความเหนียว ความยืดหยุ่น และมีความโปร่งใส มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่น ได้แก่ ความเหนียวทางเคมี การหล่อลื่น ความทนทานต่อแรงกระแทก และความต้านทานต่อการเสียดสี พอลิเมอร์แบ่งออกตามการเกิดได้ 2 แบบ คือพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural polymer) และพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ (Synthetic polymer) สำหรับพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีต้นกำเนิดจากแหล่งอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โปรตีน เซลลูโลส กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเกิดจากปฏิกิริยาประเภทต่างๆ ไฮโดรคาร์บอนเชิงเดี่ยวหลายชนิด เช่น เอทิลีนและโพรพิลีนที่สามารถเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ได้โดยการเติมโมโนเมอร์ในห่วงโซ่มีลักษณะเป็นวัสดุ เช่น โฟม พลาสติก เส้นใยและกาว ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิดเพื่อนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ สู่ท้องตลาดที่ตรงต่อความต้องการการใช้งานของมนุษย์ในชีวิตประจำวัน และในส่วนของงานด้านวิศวกรรมนั้นพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติกรูปแบบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ซึ่งโดยทั่วไปพอลิเมอร์บริสุทธิ์นั้นจะมีสมบัติทางกลและสมบัติความต้านทานการสึกหรอที่ยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานบางอย่างทางด้านวิศวกรรม โดยในช่วงปี ค.ศ.1950 [2] ได้มีการนำพอลิเมอร์ ชนิดหนึ่งมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่น เช่น ทนต่อแรงกระแทกสูง หล่อลื่นได้เอง มีความเหนียวต่อสารเคมี และความต้านทานการสึกหรอสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานด้านวิศวกรรม นั่นก็คือ พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra-high Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) [3] เป็นวัสดุที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุเสริมแรงขั้นสูงสุด มีเส้นใยหรือสายโซ่ที่พันกันอยู่คล้ายๆเส้นสปาเกตตี้ที่มีความยาวมากกว่าหนึ่งกิโลเมตร มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาที่อุณหภูมิสูง สามารถดูดซับพลังงานความร้อนภายในตลอดเวลาส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิด

การเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คุณสมบัติที่โดดเด่นของคอมโพสิตไฟเบอร์/พอลิเมอร์ UHMWPE จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าในการพัฒนาคอมโพสิตไฟเบอร์พอลิเมอร์ UHMWPE ที่มีประสิทธิภาพสูงยังถูกจำกัดโดยพื้นผิวที่เรียบและเฉื่อยทางเคมีของไฟเบอร์ ส่งผลให้ส่วนต่อประสานระหว่าง UHMWPE และเมทริกซ์พอลิเมอร์อ่อนแอ จึงทำให้มีเทคนิคมากมายที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย UHMWPE โดยมีเป้าหมายเพื่อเสริมส่วนต่อประสานเมทริกซ์ของไฟเบอร์และพอลิเมอร์ชนิดนี้ให้มีการปรับเปลี่ยน ขยายปฏิกิริยาทางเคมีของพื้นผิวและความหยابที่จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อบริเวณทางไตรโบโลยีและพันธะเคมีที่แข็งแกร่งยิ่งขึ้นซึ่งการปรับปรุงสมบัติต่างๆ เหล่านี้ด้วยการผสมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ เข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้สูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะทางเหล่านี้เพื่อให้วัสดุที่จะต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันและสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ความสึกหรอที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นหากชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้นและการใช้งานที่อยู่ภายใต้สภาวะที่มีความเค้นและความเครียดสูงวัสดุจะต้องได้รับการตรวจสอบให้มีสมบัติสอดคล้องกับหลักการด้านวิศวกรรมเกี่ยวกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลต่างๆ ที่จะต้องถูกซ่อมแซมและบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำและชิ้นส่วนอาจจะถูกเปลี่ยนบ่อยขึ้น และนอกจากนี้ในการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูปนี้โดยทั่วไปจะถูกเรียกว่า พอลิเมอร์คอมพาวด์ (Polymer Compound) สารเติมแต่งที่ใช้ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ คือ ฟิลเลอร์ (Filler) ซึ่งหมายถึงสารเติมแต่งที่ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มเนื้อหรือปรับปรุงสมบัติทางกลหรือทางไตรโบโลยีของพอลิเมอร์ นอกจากนี้ในบางกรณีฟิลเลอร์ยังมีส่วนช่วยลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานที่ทำจากพอลิเมอร์เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มเนื้อแต่จะส่งผลต่อสมบัติบางประการที่เปลี่ยนไปในทางลบหรือบวกก็เป็นได้ สำหรับสารเติมแต่งที่ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มเนื้อหรือปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ในครั้งนี้นั้นจะนำเอาผงอลูมิเนียม (Aluminum) มาเป็นฟิลเลอร์ (Filler) เนื่องจากอลูมิเนียม [4] เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่สามารถเพิ่มสมบัติทางกลและไตรโบโลยีด้วยสมบัติที่โดดเด่นของอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสียดร้อร้าว และการแตกหักไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆแล้วจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาโดยการนำวัสดุตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันเพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ขึ้นมาที่มีสมบัติเหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ในการผลิตของภาคอุตสาหกรรมของประเทศได้ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมวัสดุฟิลเลอร์ โดยการใช้ผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) เป็น

ส่วนผสมหลักทำการผสมวัสดุฟิลเลอร์อัดขึ้นรูปร้อนและสร้างตัวแผ่นขึ้นทดสอบเพื่อทดสอบการ ค่าต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมโลหะเสริมแรง น้ำหนักเบา

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางไดรโพลีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 วัสดุตั้งต้น คือ ผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด

1.3.2 วัสดุฟิลเลอร์ คือ ผงอลูมิเนียม (Aluminum) เป็นโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาที่มีขนาด ในระดับไมครอน

1.3.3 ทำการผสมวัสดุทั้ง 2 ชนิด ด้วยเครื่องผสมวัสดุแบบแห้งและหาระยะเวลาของการ คลุกเคล้ากันได้ดีจึงทำการผสมวัสดุทั้งสองตามอัตราส่วนในการศึกษาวิจัย

1.3.4 ทำการขึ้นรูป UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม (Aluminum) ด้วยกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อนที่ประกอบด้วยตัวแปร คือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาต่างๆ

1.3.5 ศึกษาเฉพาะไดรโพลีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมโลหะเสริมแรง น้ำหนักเบา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

1.4.2 ได้ส่วนผสมของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

1.4.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ UHMWPE ในงานอุตสาหกรรมได้

1.4.4 ได้ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงาน การเก็บข้อมูล หลักการวิเคราะห์ข้อมูลวิธีการสรุปผลและหลักการนำเสนองาน

1.5 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

- 1.5.1 สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์/โทรสาร: 0 2836 3000 ต่อ 4138 โทรศัพท์มือถือ: 09 8279 5855
- 1.5.2 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์/โทรสาร: 0 2836 3000 ต่อ 4138 โทรศัพท์มือถือ: 09 8279 5855
- 1.5.3 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์/โทรสาร: 0 2836 3000 ต่อ 4138 โทรศัพท์มือถือ: 09 8279 5855
- 1.5.4 สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
60 หมู่ 3 ถนนสายเอเชีย ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000
โทรศัพท์ 0 3570 9103 โทรสาร: 0 3570 9083

บทที่ 2

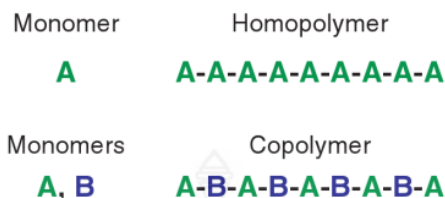
ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE)

พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) เป็นวัสดุพอลิเมอร์หรือพลาสติกวิศวกรรมในกลุ่มพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ที่มีสมบัติเป็นวัสดุกึ่งผลึก(Semi crystalline) เป็นส่วนหนึ่งของเทอร์โมพลาสติกหรือเรียกว่าพลาสติกสูงโมดูลัส (HMPE) แต่ก็มีโซ่ยาวมากมีมวลโมเลกุลปกติจะอยู่ระหว่าง 3.5 และ 7.5 ล้านAmu โซ่ที่ยาวกว่าทำหน้าที่ในการถ่ายโอนภาระไปยังกระดูกสันหลังของพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการเสริมสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลส่งผลให้ได้วัสดุที่มีความเหนียวมากและทนต่อแรงกระแทกสูงสุดของเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตในปัจจุบันเป็นวัสดุที่ไม่มีกลิ่น มีรสจืดและปลอดสารพิษ ซึ่งวัสดุชนิดนี้มันจะรวบรวมสมบัติทั้งหมดของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พร้อมสมบัติเพิ่มเติมในการทนต่อกรดและด่างเข้มข้นรวมถึงตัวทำละลายอินทรีย์จำนวนมาก สามารถทนต่อสารเคมีที่มีฤทธิ์กัดกร่อนได้สูงมากยกเว้นการออกซิไดซ์กรด มีการดูดซึมความชื้นต่ำมากและต่ำมากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำมากหรือหล่อลื่นตัวเองได้ดี และมีความทนทานต่อการขัดถูในบางรูปแบบเป็น 15 ครั้ง ทนต่อการขีดขูดดีกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่าไนลอนและอะซีทัลอย่างมีนัยสำคัญและเทียบได้กับ Polytetrafluoroethylene (PTFE, Teflon) แต่ UHMWPE มีความทนทานต่อการขัดถูดีกว่า UHMWPE ถูกนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ อาทิเช่น เฟือง เกียร์ แบริ่ง ชิ้นส่วนร่องลื่นสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร โดยมีการนำไปใช้เป็นวัสดุบุพื้นหรือบุภายในรางลำเลียงถ่านหินหรือพื้นกระบะรถบรรทุกเป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านการแพทย์ UHMWPE ถูกนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนร่องลื่นที่เป็นส่วนประกอบของข้อต่อเทียมต่างๆ (Total joint replacement) สำหรับงานศัลยกรรมกระดูกและกล้ามเนื้อ [5],[6] พอลิเมอร์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยโมเลกุลย่อยของไฮโดรเจนและคาร์บอนหลายๆโมเลกุล (Poly) เชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ซึ่งแต่โมเลกุลย่อยหรือที่เรียกว่า “โมโนเมอร์ (Monomer)” ของพอลิเมอร์ที่มีรูปแบบเหมือนกันเชื่อมต่อเข้าด้วยกันจะเรียกว่า Homopolymer แต่ถ้าแต่ละส่วนหรือแต่ละโมโนเมอร์ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันมีความแตกต่างกันจะเรียกว่า Copolymer

ดังลักษณะแผนภาพการเชื่อมต่อของสายโซ่โพลีเมอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2 โดยที่สัญลักษณ์ A, B คือ โมโนเมอร์ที่แตกต่างกัน [2], [5], [7]



รูปที่ 2.1 โพลีเมอร์แบ่งตามชนิดของโมโนเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ [2]



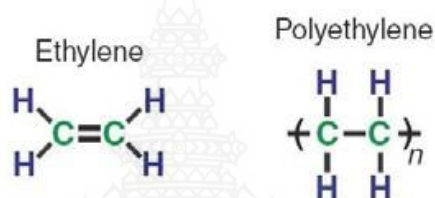
รูปที่ 2.2 แผนผังโครงสร้างของโพลีเมอร์แบบเส้นและแบบกิ่งก้านสาขา [2]

โมโนเมอร์ของโพลีเมอร์[2], [5], [7]สามารถจัดเรียงตัวกันเป็นแบบเส้นตรง (Linear) หรือแบบกิ่งก้านสาขา (Branched) ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งการเกิดการจัดเรียงตัวแบบกิ่งก้านสาขานี้ขึ้นอยู่กับควบคุมสภาวะของขบวนการสังเคราะห์ ฉะนั้นสิ่งที่ควรจำและทำความเข้าใจก็คือรูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของโพลีเมอร์ตามลักษณะการจัดเรียงตัวของสายโซ่โพลีเมอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2 ที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างง่าย ๆ ของโครงสร้างโพลีเมอร์ ตัวอย่างเช่น Copolymer มีความเป็นไปได้ที่จะมีโครงสร้างย่อยหรือโมโนเมอร์ย่อยต่างชนิดกันตามชนิดของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบที่ผสมเข้าไป แต่ในทางปฏิบัติในอุตสาหกรรมโพลีเอทิลีนรวมทั้ง UHMWPE จะเป็น Copolymer ที่เกิดร่วมกับโมโนเมอร์อื่นๆ (ตัวอย่างเช่น โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหรือเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของโพลีเมอร์ สมบัติพื้นฐานที่โดดเด่นและเห็นได้ชัดของโพลีเมอร์ที่แตกต่างจากวัสดุอื่นๆ (เช่น โลหะชนิดต่างๆ และเซรามิกส์) คือขนาดโมเลกุล (Molecular size) ในกรณีที่เป็นโลหะผสมและเซรามิกองค์ประกอบย่อยที่เป็นส่วนประกอบคืออะตอมของธาตุโลหะชนิดต่างๆ (ตัวอย่างเช่น Co, Cr, Mo และอื่นๆ) หรืออาจจะเป็นพันธะโมเลกุลเล็กๆเช่น คาร์ไบด์หรือออกไซด์ของโลหะแต่สำหรับขนาดโมเลกุลของโพลีเมอร์อาจประกอบด้วยโมโนเมอร์หลายๆชนิดรวมกันมากกว่า 100,000 โมโนเมอร์ซึ่งมีผลทำให้มวลโมเลกุล (Molecular weights) ของโพลีเมอร์

สามารถปรับขนาดเพิ่มขึ้นเป็นล้านกรัมต่อโมล (10^6 g/mol) และนอกจากนี้รูปแบบการก่อตัวของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ย่อยๆเชื่อมต่อเข้าด้วยกันทำให้พอลิเมอร์มีคุณลักษณะพิเศษจำเพาะที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของพอลิเมอร์

2.1.1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene)

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ก่อตัวหรือสังเคราะห์จากแก๊สเอทิลีนโมโนเมอร์ (Ethylene monomer (C_2H_4)) ที่มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 28 กรัม/โมล, สูตรเคมีโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีน คือ $-(C_2H_4)_n-$ โดยที่ n คือ degree of polymerization ซึ่งแผนภาพแสดงโครงสร้างทางเคมีของเอทิลีนและ พอลิเอทิลีน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3 [2], [5], [7]

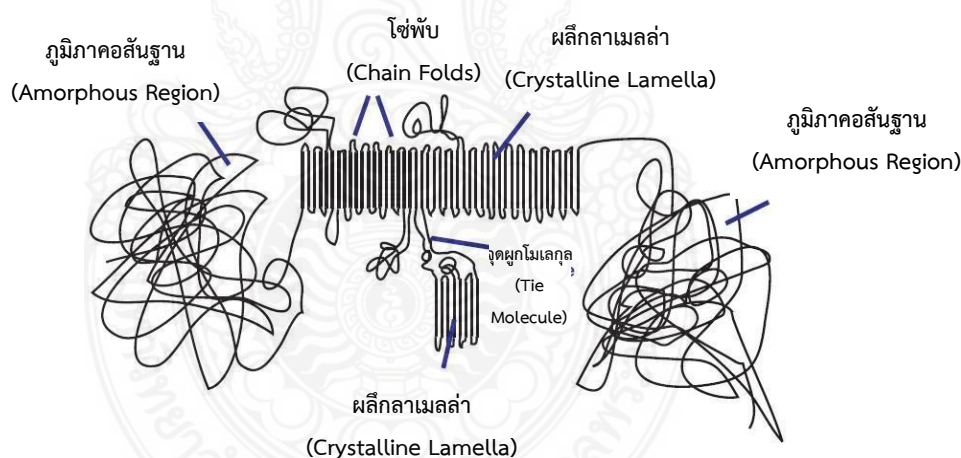


รูปที่ 2.3 แผนผังโครงสร้างทางเคมีของเอทิลีนโมโนเมอร์และพอลิเอทิลีน [2], [5], [7]

สำหรับพอลิเอทิลีนสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยเอทิลีนโมโนเมอร์ตั้งแต่ 200,000 หน่วยเรียงต่อกันซ้ำๆหรือในอีกหนึ่งความหมายสายโซ่โมเลกุลของ UHMWPE ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนมากถึง 400,000 อะตอม ซึ่งพอลิเอทิลีนยังสามารถแบ่งชนิดแยกย่อยออกได้หลายชนิด (LDPE, LLDPE, HDPE, PE1000 และ UHMWPE) ตามขบวนการสังเคราะห์ โดยพอลิเอทิลีนแต่ละชนิดถูกสังเคราะห์ขึ้นมาด้วยขนาดของมวลโมเลกุลและรูปแบบการจัดเรียงตัวของโมโนเมอร์ภายในสายโซ่โมเลกุลที่แตกต่างกัน สำหรับในส่วนของ LDPE and LLDPE จะหมายถึง พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตามลำดับ ลักษณะการจัดเรียงโมโนเมอร์ภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นแบบกิ่งก้านสาขาและเป็นเส้นตรงตามลำดับและนอกจากนี้มวลโมเลกุลของพอลิเอทิลีนแต่ละชนิดจะต่ำกว่า 50,000 กรัม/โมล HDPE สายโซ่โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีมวลโมเลกุลสูงถึง 200,000 กรัม/โมล สำหรับในส่วนของ PE1000 และ UHMWPE เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดอื่นๆพบว่า PE1000 และ UHMWPE จะมีมวลโมเลกุลสูงประมาณ 1×10^6 กรัม/โมล แต่ในความเป็นจริงมวลโมเลกุลที่สูงมากๆเช่นนี้ไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรงด้วยวิธีการธรรมดาต่างๆไปแต่จะทำการวัดเปรียบเทียบกับอนุมาณแทนด้วยค่า intrinsic viscosity (IV) [2], [5], [7]

2.1.1.2 สภาพความเป็นผลึกของ UHMWPE (Crystallinity of UHMWPE)

พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) สายโซ่โมเลกุลจะมีลักษณะเป็นเส้นเชือกหรือสายโซ่ที่พันกันอยู่คล้ายๆเส้นสปาเกตตี้ที่มีความยาวมากกว่าหนึ่งกิโลเมตร มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาที่อุณหภูมิสูง สามารถดูดซับพลังงานความร้อนภายในตลอดเวลาส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และเมื่อถูกทำให้เย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting point) สายโซ่โมเลกุลของ UHMWPE มีแนวโน้มที่จะเกิดการหมุนรอบๆ พันระของ C-C และทำให้เกิดการพับของสายโซ่ (Chain fold) ในทางตรงกันข้ามการพับของสายโซ่แผ่นนี้จะเรียกว่า “ผลึกลามลล่า (Crystalline lamella)” ที่มีลักษณะเป็นแผ่นผลึกบางๆ ซึ่งมีการฝังตัวอยู่ในบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered) และสามารถที่จะเชื่อมต่อกับผลึกลามลล่าที่อยู่รอบๆ ด้วยพันธะโมเลกุล (Tie molecule) ซึ่งแผ่นผลึกลามลล่านั้นจะมีขนาดเล็กมากและไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า แผ่นจะมีการหักเหของแสงที่มองเห็นได้ ทำให้ UHMWPE มีลักษณะเป็นสีขาวโปร่งแสง สามารถเรืองแสงที่อุณหภูมิห้องที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว รูปร่างของสายโซ่โมเลกุลและความเป็นผลึกลามลล่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [2], [5], [7]



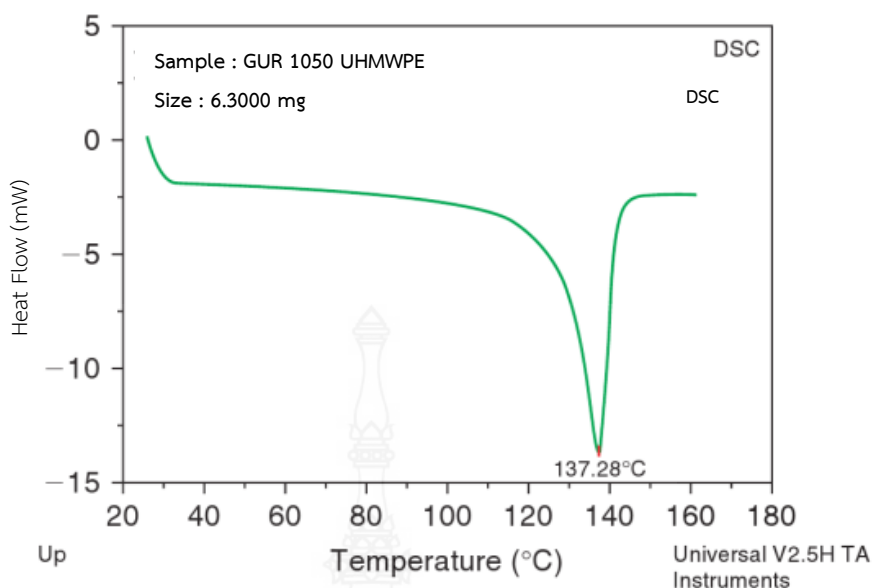
รูปที่ 2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ UHMWPE [2], [5], [7]

2.1.1.3 การเปลี่ยนผ่านความร้อนของ UHMWPE (Thermal transition of UHMWPE)

พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง สามารถจำแนกตามความแตกต่างของลักษณะจำเพาะของพอลิเมอร์แต่ละชนิดคือ อุณหภูมิที่แตกต่างกันที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ ซึ่ง UHMWPE มีรูปแบบของสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเป็นคล้าย ๆ เส้นสปาเกตตี้ที่ยาวและพันกันยุ่งเหยิง สามารถ

จินตนาการได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกลับไปกลับมาและมีการบิดด้วยพลังงานความร้อนหรือ อาจจะถูกกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะต้องเผชิญกับผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน 3 ประการหลักๆ คือ อุณหภูมิที่มีสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g), อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting point temperature; T_m) และอุณหภูมิการไหลตัว (Flow temperature; T_f) อุณหภูมิที่มีเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) คือ อุณหภูมิต่ำสุดของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีลักษณะเหมือนแก้วที่เปราะบางที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g จะมีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนไม่เพียงพอที่จะเลื่อนผ่านสายโซ่อื่นได้และมีวิธีเดียวที่วัสดุจะตอบสนองต่อความเค้นทางกลได้ก็คือ การยืดออกหรือการแตกออกจากพันธะที่ประกอบกันเป็นสายโซ่โมเลกุล ในส่วนของ UHMWPE, T_g จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 160°C เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิ T_g บริเวณพื้นที่ที่เป็นอสัณฐานภายในพอลิเมอร์จะเคลื่อนที่ที่คล่องตัวได้เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของ UHMWPE เพิ่มขึ้นสูงกว่า $60-90^\circ\text{C}$ ผลึกที่มีขนาดเล็กกว่าผลึกในพอลิเมอร์จะเริ่มหลอมละลาย ซึ่งพฤติกรรมหลอมละลายของพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi crystalline polymer) รวมทั้ง UHMWPE ถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดปริมาณของผลึกของพอลิเมอร์หรือที่เรียกว่า “สภาพความเป็นผลึก (Crystallinity)” และสามารถวัดได้ด้วยการใช้ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Colorimeter, DSC) โดย DSC จะวัดปริมาณความร้อนจำเพาะที่จำเป็นในการเพิ่มอุณหภูมิของพอลิเมอร์ ตัวอย่าง DSC data สำหรับ UHMWPE มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งในส่วนของ DSC สำหรับ UHMWPE มีลักษณะประกอบด้วย 2 ประการ ได้แก่ ประการแรกนั้นจะเป็นส่วนของเส้นโค้ง DSC คือของอุณหภูมิหลอมละลายสูงสุด (T_m) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 137°C และสอดคล้องกับจุดที่เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของบริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline regions) ที่มีการหลอมละลาย ซึ่งอุณหภูมิหลอมละลายของ UHMWPE สะท้อนให้เห็นถึงความหนาของผลึกหรือความสมบูรณ์ของผลึกนั่นเอง ซึ่งถ้าหากพอลิเอทิลีนที่ความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของผลึก UHMWPE ยิ่งมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิหลอมละลายสูงกว่าผลึกที่ไม่สมบูรณ์หรือผลึกที่มีขนาดเล็กกว่าบริเวณพื้นที่ด้านล่างภายใต้จุดหลอมละลายสูงสุด นั่นก็คือ สัดส่วนของสภาพความเป็นผลึกหรือปริมาณผลึกที่เรียกว่า “ปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity)”

นอกจากนี้พื้นที่ใต้จุดหลอมละลายยังเป็นสัดส่วนในการตกผลึกของ UHMWPE DSC โดยเราสามารถวัดปริมาณพลังงานความร้อนสุทธิต่อหน่วยมวล หรือเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในเอนทัลปี (Enthalpy) ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการหลอมละลายบริเวณส่วนที่เป็นผลึกภายในขึ้นทดสอบโดยเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี (Enthalpy) ของขึ้นทดสอบที่มีความสมบูรณ์ของผลึก 100% (Enthalpy ของ UHMWPE บริสุทธิ์ $H_f = 291 \text{ J/g}$) และคำนวณออกมาเป็นปริมาณผลึกสำหรับก้อนวัสดุ UHMWPE ส่วนใหญ่จะมีปริมาณผลึกประมาณ 50-55%



รูปที่ 2.5 กราฟ Differential Scanning Colorimeter(DSC) สำหรับ UHMWPE [2]

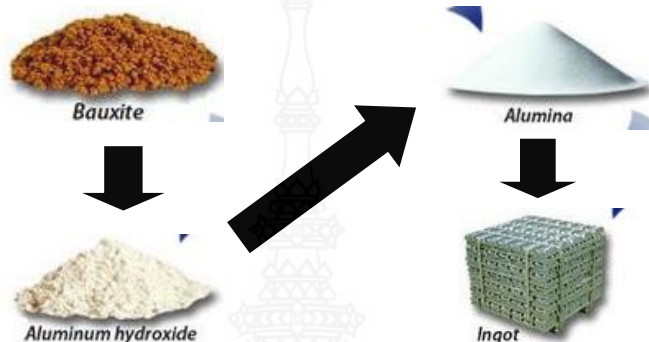
นอกจากนี้พื้นที่ใต้จุดหลอมละลายยังเป็นสัดส่วนในการตกผลึกของ UHMWPE DSC โดยเราสามารถวัดปริมาณพลังงานความร้อนต่อหน่วยมวล หรือเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในเอนทัลปี (Enthalpy) ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการหลอมละลายบริเวณส่วนที่เป็นผลึกภายในชิ้นทดสอบโดยเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี (Enthalpy) ของชิ้นทดสอบที่มีความสมบูรณ์ของผลึก 100% (Enthalpy ของ UHMWPE บริสุทธิ์ $H_f = 291 \text{ J/g}$) และคำนวณออกมาเป็นปริมาณผลึกสำหรับก้อนวัสดุ UHMWPE ส่วนใหญ่จะมีปริมาณผลึกประมาณ 50-55%

เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิของพอลิเมอร์ถึงผลึกถูกทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเหนืออุณหภูมิหลอมละลาย จะทำให้พอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดการไหลตัว (Flow transition, T_f) และกลายเป็นของเหลว ในส่วนของพอลิเอทิลีนที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 500,000 g/mol สามารถสังเกตเห็นได้ว่ามีลักษณะการไหลได้ง่ายแต่พอลิเอทิลีนที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 500,000 g/mol ด้วยสายโซ่โมเลกุลที่มีปริมาณมากกว่าและซับซ้อนมากกว่าจะเป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดการไหลส่งผลให้ UHMWPE ไม่แสดงลักษณะการไหลตัวหรืออาจกล่าวได้ว่า “ไม่มีจุดไหลตัว” เหมือนพอลิเอทิลีนชนิดอื่น ๆ [2], [5], [17]

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียมเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่พบในธรรมชาติในรูปของแร่อลูมิน่า และมีการสกัดออกมาให้ได้อลูมิเนียมที่บริสุทธิ์ที่สุด โดยเริ่มต้นที่ประเทศออสเตรเลียมีการทำเหมืองบ็อกไซต์ขึ้นมาและนำบ็อกไซต์ที่ได้มาผ่านกระบวนการจนได้อลูมิน่าที่เป็นเม็ดกลมๆ สีขาว จากนั้นก็นำอลูมิน่าที่ได้มาสกัดเป็นอลูมิเนียมจนได้รับการรู้จักอย่างแพร่หลาย [9] เนื่องจากอลูมิเนียมจะลักษณะเป็นสีขาวคล้ายๆ กับเงิน มี

ความมันวาว สามารถชุบสีเพื่อเพิ่มความสวยงามได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6. เป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมจะใช้ในการผลิตอลูมิเนียมผสมและผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม ภาคครัวเรือนมีใช้มากในการก่อสร้างและตกแต่งบ้าน ทดแทนไม้และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการหัก ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสงและความร้อนได้ดี



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการถลุงแร่บอกไซต์จนได้แท่งอลูมิเนียมบริสุทธิ์ [4]

2.1.2.1 สมบัติของอลูมิเนียม

อลูมิเนียม [4] เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา สามารถรับภาระน้ำหนักได้สูง ขึ้นรูปได้ง่าย มีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียสและการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆแล้วจะทำให้คุณสมบัติต่างๆเพิ่มมากขึ้น เช่น จุดหลอมเหลวของอลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1,140-1,205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่า อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบบนชั้นผิวอลูมิเนียมป้องกันการเกิดปฏิกิริยาอื่นๆได้ดี การทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนจะทำให้เกิดไนไตรต์ที่อุณหภูมิสูง ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถัน ถ้าหากทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะแทรกซึมเข้าสู่ชั้นในของอลูมิเนียม จึงจำเป็นต้องกำจัดออก สามารถทนต่อกรดอนินทรีย์เข้มข้นได้ปานกลาง ทนต่อปฏิกิริยาของด่างได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ในสถานะที่เป็นด่างเข้มข้นสามารถเกิดปฏิกิริยากับเกลือได้ทำให้เกิดการกัดกร่อน

2.1.2.2 ประเภทของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมสามารถแบ่งเกรดตามที่สมาคมอลูมิเนียมแห่งสหรัฐอเมริกา (AISI) กำหนดขึ้น ได้แก่ 1.อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า90-99.90% AL แทนด้วย 1XXX เหมาะสำหรับนำแผ่นมาสะท้อนแสง และเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์มีระดับความทนทานต่ำทำให้ง่ายต่อการแปรรูปทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เช่น AA1100, AA1050

2.อลูมิเนียมผสมทองแดง Copper(Cu) Al-Cu แทนด้วย 2XXX เหมาะสำหรับนำไปใช้งานทางด้านความร้อนซึ่งทองแดงสามารถละลายได้อลูมิเนียมสูงสุด 5.65% ณ อุณหภูมิ 548 องศาเซลเซียสและความสามารถในการละลายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดย ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสความสามารถในการละลายของทองแดงจะลดลงเหลือประมาณ 0.5% ได้แก่ เกรด A2001, A2014, A2017, A2024

3.อลูมิเนียมผสมแมงกานีส Manganese(Mn) Al-Mn แทนด้วย 3XXX ซึ่งหากเพิ่มแร่แมงกานีสที่ 1.2% จะได้วัสดุโลหะผสมที่ค่อนข้างมีความแข็งแรง แต่เข้ากระบวนการแปรรูปได้ไม่ดีเหมาะกับการนำไปใช้งานด้านการผลิตโครงสร้างที่ต้องการความทนทาน ได้แก่ A3003

4.อลูมิเนียมผสมซิลิกอน Silicon(Si) Al-Si แทนด้วย 4XXX เหมาะในการนำไปใช้สำหรับงานที่ต้องการความทนทานต่อความร้อนได้แก่ ลูกสูบ ระบายสูบ ห้องเครื่องและก้านสูบ เป็นต้น ได้แก่ A4032

5.อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม Magnesium(Mg) Al-Mg แทนด้วย 5XXX แร่แมกนีเซียมมีความสามารถในการละลายรวมถึงการหลอมรวมกับอลูมิเนียมต่ำ หากนำมาผสมมากจะทำให้วัสดุเปราะแตกหักง่ายและแข็งจึงพบอลูมิเนียมที่ผสมในอัตราส่วนที่มากที่สุดค่อนข้างน้อย ได้แก่ A5052, A5056, A5083

6.อลูมิเนียมผสม Magnesium(Mg) แมกนีเซียม และ Silicon(Si) Al-Mg-Si แทนด้วย 6XXX เป็นอลูมิเนียมผสมที่มีสัดส่วนและปริมาณโดยทั่วไปคือแมกนีเซียม 0.6-1.2% และซิลิกอน 0.4-1.3% ซึ่งถือว่าเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้อย ซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเติมสัดส่วนโครเมียมหรือทองแดงเข้าไปได้ ได้แก่ A6061, A6063

7.อลูมิเนียมผสมสังกะสี Zinc(Zn) AL-Zn-Mg แทนด้วย 7XXX มีคุณสมบัติเด่นในด้านความแข็งแรงและมีความทนทานสูงสุดในกลุ่มอลูมิเนียมอัลลอยทั้งหมดนำไปใช้งานด้านการผลิตยานอวกาศและโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ A7075

8.อลูมิเนียมผสมธาตุอื่น ๆ เช่น Nickel(Ni) นิกเกิล, Titanium(Ti) ไททาเนียม, Chromium(Cr) โครเมียม, Bismuth(Bi) บิสมัท และ Lead(Pb) ตะกั่ว แทนด้วย 8XXX

9.อลูมิเนียม 9XXX หมายถึงยังไม่มีใช้

2.1.3.3 ความหมายของแต่ละหลักของเกรด

➤ หลักที่ 1 แสดงหมวดหมู่ของโลหะผสม ตัวเลขหลักแรกถือว่าเป็นสัญลักษณ์ที่มีความสำคัญมากที่สุดเช่น 1XXX แทนถึง โลหะอลูมิเนียมหมวดที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.00 ดยน้ำหนัก

➤ หลักที่ 2 ตัวเลขหลักนี้เป็นหลักที่ใช้แทนโลหะอลูมิเนียมถูกเปลี่ยนแปลงปริมาณโดยการนำไปผสมเข้ากับโลหะชนิดอื่นๆ เช่น 2024 มีส่วนผสมของส่วนผสมคือ 4.5Cu, 1.5Mg, 0.5Si และ

0.1Cr เมื่อเปลี่ยนตัวเลขเป็น 2218 ปริมาณสัดส่วนเป็น 4.0Cu, 2.0Ni, 1.5Mg และ 0.2Si ซึ่งเป็นการผสมด้วย Ni แทนการใช้ Cr

➤ หลักที่ 3 และ 4 เป็นตัวเลขชี้แสดงถึงชนิดย่อยของโลหะผสมชนิดเดียวกันใน ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมที่มีค่าต่างกันเช่น 2014 มีสัดส่วนของส่วนผสมคือ 4.4Cu, 0.8Si, 0.8Mn และ 0.4Mg เมื่อเปลี่ยนตัวเลขเป็น 2017 ปริมาณสัดส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็น 4.0Cu, 0.8Si, 0.5Mn, 0.1Cr

2.1.3 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์บริสุทธิ์ส่วนใหญ่มีสมบัติทางกลและสมบัติความต้านทานการสึกหรอต่ำซึ่งบางครั้งไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานบางประเภท ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับปรุงสมบัติต่างๆเหล่านี้ด้วยการผสมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆให้สูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานและนอกจากนี้ยังมีการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูป ซึ่งพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านการขึ้นรูปนี้โดยทั่วไปจะถูกเรียกว่าพอลิเมอร์คอมพาวด์ (Polymer compound) สารเติมแต่งที่ใช้ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ประกอบด้วยฟิลเลอร์ (Filler) สารประสาน (Coupling agents) สารเพิ่มความทนแรงกระแทก (Impact modifiers) สารก่อผลึก (Nucleating agents) พลาสติไซเซอร์ [10], [11]

2.1.3.1 ฟิลเลอร์ (Filler)

ฟิลเลอร์หมายถึง สารเติมแต่งที่ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มเนื้อหรือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ (บางครั้งเรียกว่า สารเพิ่มเนื้อ (Insert fillers)) และปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ (หรือเรียกว่าสารเสริมแรง (Reinforcing fillers)) และนอกจากนี้ฟิลเลอร์ยังมีส่วนในการช่วยลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานที่ทำจากพอลิเมอร์ได้ด้วยซึ่งเรียกฟิลเลอร์ชนิดนี้ว่า เอกเทนเดอร์ (Extenders) [10], [11]

2.1.3.2 สารประสาน (Coupling agents)

สารประสานทำหน้าที่เป็นสะพานหรือตัวกลางเชื่อมการเกาะยึดระหว่างฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์ ซึ่งบางครั้งเรียกว่าสารช่วยยึด (Adhesion promoters) และนอกจากนี้ในการใช้สารประสานบางครั้งอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้สารปรับปรุงพื้นผิวฟิลเลอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือความแข็งแรงของการเกาะยึดระหว่างฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์ สารประสานที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปประกอบด้วย สารโครเมียมเชิงซ้อน (Chromium complexes) ซิลเลน (Silanes) ไททานเนต (Titanates) และเซอร์โคเนียมอะลูมินเนต (Zirconium aluminates) [10], [11]

ตารางที่ 2.1 สารเพิ่มความทนแรงกระแทกที่สำคัญทางการค้า [10], [11]

สารเพิ่มความทนแรงกระแทก	องค์ประกอบ / สัณฐานวิทยา	ใช้งานกับ
EPDM	เอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน เทอร์พอลิเมอร์	PP ,PS
Functionalized polyolefins	พอลิโอเลฟินส์ถูกดัดแปลงด้วยกรด	PA,PC
เทอร์โมพลาสติก-พอลิเอสเทอร์ อี ลาสโตเมอร์	โคพอลิเมอร์แบบบล็อก (soft polyether/hard polyester)	PET,PBT
SBS	สไตรีน-บิวตะไดอีน บล็อกโคพอลิเมอร์ (triblock, soft polybutadiene /hard PS)	PS,PP,PPO
Acrylic (core-shell)	Polyacrylic 'core'/polymethacrylic 'shell'	PVC,PC,PET
MBS (core-shell)	Polybutadiene or polybutadiene/styrene 'core' Polymeethacrylic 'shell'	PVC, PC, PET,PBT
ABS	อะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีน เทอร์พอลิเมอร์	PVC,PC, PUR,PET
EVA	เอทิลีน-ไวนิลแอสซิเตตโคพอลิเมอร์	PVC
SBR	ยางสไตรีน-บิวตะไดอีน	PS
NBR	อะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีนโคพอลิเมอร์	PVC
CPE	คลอรีเนตโคพอลิเอทิลีน	PVC

2.1.3.3 สารเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact modifiers)

พอลิเมอร์บางชนิดมีสมบัติเปราะและขาดความเหนียว (Toughness) และความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ต่ำการทำให้พอลิเมอร์มีความเปราะลดลงและมีความทนทานต่อแรงกระแทกหรือมีความเหนียวเพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการผสมสารเติมแต่งที่เรียกว่า สารเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact modifiers) ตัวอย่างสารเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ ที่แสดงในตารางที่ 2.1 [10], [11]

2.1.3.4 ก่อผลึก (Nucleating agents)

เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกให้กับพอลิเมอร์ โดยทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสเทียมหรือนิวเคลียสก่อผลึกซึ่งมีผลทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติทางกลสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ (โครงสร้างผลึกมีความละเอียด) ส่งผลให้แสงผ่านได้มากขึ้นพอลิเมอร์จึงมีสมบัติโปร่งแสงขึ้น [10], [11]

2.1.2.5 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)

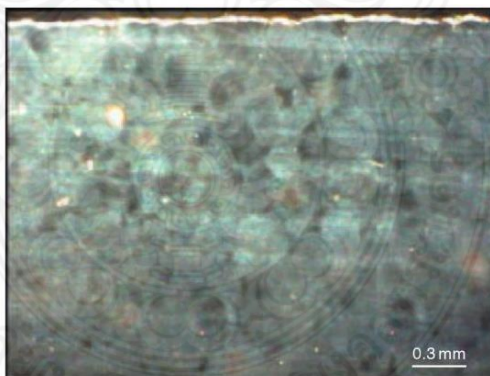
กระบวนการเพิ่มความอ่อนนุ่มให้กับพอลิเมอร์หรือที่เรียกว่าพลาสติกไซเซชัน (Plasticization) และสารเติมแต่งที่ผสมเข้าไปเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวนี้เรียกว่าพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่ง

พลาสติกไฮเซออร์จะเพิ่มความอ่อนตัว ความสามารถในการหักงอ (Flexibility) และความสามารถในการยืดออก (Extensibility or stretchability) ของพอลิเมอร์ [10], [11]

2.1.4 กระบวนการขึ้นรูป UHMWPE [10], [12]

จากความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบของพอลิเอทิลีนชนิดต่างๆที่ประกอบไปด้วย C และ H ดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นเพียงแค่ว่าความรู้พื้นฐานขององค์ประกอบทางเคมีเท่านั้น แต่ถ้าต้องการอธิบายให้ลึกซึ้งจนสามารถจินตนาการออกมาเป็นก้อนวัสดุ UHMWPE ที่สามารถจับต้องและนำไปใช้งานได้จะต้องอธิบายให้เห็นภาพขั้นตอนต่างๆ ของกรรมวิธีการผลิต โดยขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตขึ้นงาน UHMWPE นั้นมี 3 ขั้นตอนที่สำคัญซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนแรกคือการเปลี่ยน ethylene gas ให้เป็นผง UHMWPE ด้วยกระบวนการ polymerization ขั้นตอนที่สองคือผง UHMWPE ถูกทำให้อยู่ในรูปของแข็งเป็นแผ่น แท่ง ก้อนหรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ (Semi-Finished Product) และขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำเร็จด้วยวิธีการตัดเฉือน สำหรับในกรณีของชิ้นงานหรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กอาจจะทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำเร็จได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีการตัดเฉือนซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปนี้เรียกว่า “direct compression molding (DCM)” แต่ละขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตพื้นฐานทั้ง 3 ขั้นตอนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของ UHMWPE ตัวอย่างเช่นในกรณีของการตัดเฉือนขึ้นรูปการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะรูปร่างภายนอกและปรากฏที่ผิวเท่านั้น แต่การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ polymerization จะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของ UHMWPE และผลิตภัณฑ์ทั้งหมดการขึ้นรูปชิ้นงานหรือวัสดุก้อน UHMWPE จะต้องทำการขึ้นรูปภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง เนื่องจาก UHMWPE มีความหนืดสูงดังที่ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 2.1 ซึ่ง UHMWPE จะไม่มีจุดไหลตัวเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายเหมือนกับพอลิเอทิลีนชนิดอื่นๆ จากเหตุผลนี้ทำให้ UHMWPE ไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปทั่วไปที่ใช้สำหรับเทอร์โมพลาสติก เช่น การฉีดขึ้นรูปการอัดรีดด้วยสกรู หรือการเป่าขึ้นรูป แต่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกรรมวิธี compression molding และ ram extrusion การก่อตัวเป็นของแข็งจากการขึ้นรูปวัสดุก้อน UHMWPE ด้วยกรรมวิธี compression molding และ ram extrusion เกิดขึ้นภายใต้สภาวะของการรวมกันของอุณหภูมิความดันและเวลาที่เหมาะสม โดยความแม่นยำเที่ยงตรงของการรวมกันของตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรที่เป็นค่าเฉพาะของ UHMWPE ถูก นำมาใช้ในการผลิตวัสดุก้อน UHMWPE เชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปตามหลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ [1], [7]-[21] ว่ากลไกที่ควบคุมการก่อตัวเป็นของแข็งคือการแพร่ของอะตอมที่เป็นเนื้อหลัก (Self-diffusion) ในขณะที่สายโซ่โมเลกุล UHMWPE (หรือบางส่วนของสายโซ่) ของอนุภาคเกิดการแทรกตัวเข้าหากันในระดับโมเลกุล โดยจลศาสตร์ของการแพร่บริเวณขอบเกรนที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานของขอบเกรนบริเวณที่อยู่ติด(ที่ความดันสูง) และความร้อนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์

(ที่อุณหภูมิสูง) ซึ่งส่งผลให้ขบวนการแพร่มีข้อจำกัดเนื่องจากการก่อตัวเป็นของแข็ง UHMWPE จะเกิดขึ้นด้วยภายใต้อุณหภูมิ ความดันและเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการแพร่ข้ามขอบเกรนของเม็ดอนุภาคผง UHMWPE หลังจากการก่อตัวขึ้นรูปเป็นของแข็งผง UHMWPE จะยังคงรักษาสภาพการเป็นเม็ดอนุภาคภายในโครงสร้างเม็ดเกรน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการผสม calcium-stearate ในผง UHMWPE [5], [13], [14], [15], [16] จะสังเกตเห็นโครงสร้างจุลภาคหรือโครงสร้างเกรนที่มีลักษณะจำเพาะของ UHMWPE ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงหรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด โดยขั้นตอนทดสอบจะต้องผ่านการเตรียมด้วยวิธีการเฉพาะที่แตกต่างกัน วิธีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบได้มีการอธิบายไว้อย่างละเอียดในมาตรฐานความหนา 100 μm จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง [17]ASTM F648 โดยขั้นตอนทดสอบจะถูกเตรียมให้เป็นแผ่นบางๆคล้ายแผ่นฟิล์มที่มีความหนาในหน่วยไมโครเมตรจากนั้นจึงนำไปทำการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงในโหมด dark field [5], [16] แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันไม่มีการผสม calcium-stearate ในผง UHMWPE ส่งผลให้การวิเคราะห์ตรวจโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงทำได้ยากขึ้น ดังลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคจากการก่อตัวเป็นของแข็งของผง UHMWPE เกรด GUR 1020 (ของ Rolf Kaldeweier, Ticona, Inc.) โดยชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆความหนาประมาณ 100 μm [5], [14]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบวัสดุก้อน UHMWPE เกรด GUR 1020

นอกจากนี้โครงสร้างจุลภาคของก้อนวัสดุ UHMWPE ยังสามารถทำการตรวจสอบได้โดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่แข็งในไนโตรเจนเหลวแล้วทำการหักทำลายชิ้นทดสอบ [5], [13] หรือตามด้วยการกัดด้วยกรดเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นอาณาบริเวณขอบเกรนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น [5], [16] หลังจากนั้นจึงนำชิ้นทดสอบไปทำการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดโดยการตรวจสอบพื้นผิวรอยแตกหักหลังจากผ่านการแช่แข็งหรือพื้นผิว

หลังจากผ่านการกัดกรวด ความแตกต่างของขอบเกรนที่เกิดขึ้นเป็นตัวสะท้อนลักษณะโครงสร้างจุลภาคหรือโครงสร้างเกรนของ UHMWPE โดยความบกพร่องของก้อนวัสดุ UHMWPE จะเพิ่มขึ้นถ้าสถานะของการก่อตัวขึ้นรูปเป็นก้อนของแข็งไม่เหมาะสม (อุณหภูมิ ความดันและเวลาที่ไม่เหมาะสม) [5], [18] ซึ่งโดยส่วนใหญ่ความบกพร่องที่พบจะอยู่ในรูปของเม็ดอนุภาคเดี่ยวๆที่ไม่มีการเกาะยึดเชื่อมประสานติดกับเม็ดอนุภาคอื่นๆหรือมีบางอาณาบริเวณของการก่อตัวเป็นของแข็งแยกตัวหรือไม่มีการเชื่อมประสานกับอาณาบริเวณข้างเคียงสำหรับในส่วนของเทคนิคและวิธีการมาตรฐาน (ASTM F648) เกี่ยวกับการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุก้อน UHMWPE ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ตรวจสอบความบกพร่องของการหลอมรวมผง UHMWPE และนอกจากนี้วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายซึ่งประกอบด้วย laser candling และ ultrasound ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบในอุตสาหกรรมได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบวัสดุก้อน UHMWPE เกรดทางการแพทย์ด้วยเช่นกันแต่เทคนิคการตรวจสอบดังกล่าวไม่ใช่วิธีการมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ

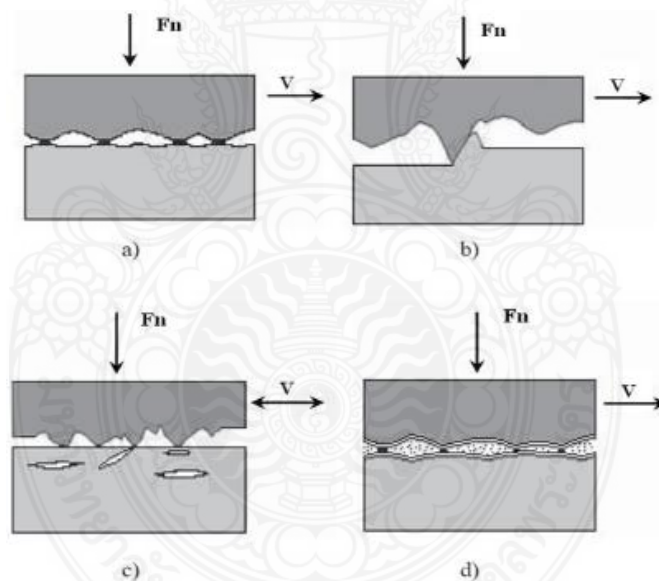
2.1.5 การสึกหรอของวัสดุพอลิเมอร์

พื้นผิวของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เมื่อถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรองเลื่อน (Bearing materials) ที่ต้องสัมผัสกับการเสียดสีจะเกิดการสึกหรอจากการเสียดสีกับพื้นผิวคู่สัมผัสที่แข็งกว่า การประยุกต์ใช้งานวัสดุคู่สัมผัสโลหะแข็งขัดถูเสียดสีกับพื้นผิวพอลิเมอร์นั้นถูกกำหนดตามความต้องการของการออกแบบทางกลและรวมถึงข้อเท็จจริงที่ว่าพอลิเมอร์สามารถต้านทานการเสียดสีกับพื้นผิวโลหะคู่สัมผัสได้ดีกว่าการลื่นไถลเสียดสีตัวมันเองโดยรูปแบบพื้นฐานการสึกหรอของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เริ่มต้นจากก่อตัวของชั้นฟิล์มพอลิเมอร์บางๆ ถ่ายเนื้อ (Transfer film) ลงบนพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสโลหะที่แข็งกว่า ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มนี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติทางด้านโทรโบเคมีคอลของพอลิเมอร์ [5], [24] การสึกหรอของพอลิเมอร์โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มรูปแบบการสึกหรอออกได้เป็น 4 รูปแบบประกอบด้วย การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear) การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear) การสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue wear) และการสึกหรอแบบไตรโบเคมีคอล (Tribochemical wear) [5], [20]-[22] ดังลักษณะรูปแบบการสึกหรอที่แสดงในรูปที่ 2.8 [5], [14]

2.1.5.1 การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)

การสึกหรอแบบยึดติดเป็นรูปแบบการสึกหรอที่มีลักษณะปรากฏเป็นจุดเชื่อมประสาน (Micro welds) ระหว่างพื้นผิวของวัสดุสองชิ้นที่นำไปสู่การเสียดทานดังกล่าวลักษณะรูปแบบการสึกหรอที่แสดงในรูปที่ 2.8a โดยจุดเชื่อมประสานเหล่านี้อ่อนแอและเกิดการฉีกขาดบริเวณรอยต่อเชื่อมประสานของพื้นผิวทั้งสอง ซึ่งเมื่อไหร่ก็ตามที่จุดเชื่อมประสานมีความแข็งแรงสูงพื้นผิวของวัสดุที่อ่อนกว่าจะถูกฉีกและส่งผลให้เกิดการถ่ายเนื้อวัสดุไปยังพื้นผิววัสดุที่แข็งกว่า กลไกการสึกหรอของพอลิเมอร์แบบนี้เกิดขึ้นจากการไถลเสียดทานของพื้นผิวพอลิเมอร์บนพื้นผิววัสดุต่างกัน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะ) ซึ่งเมื่อไหร่ก็ตามที่ความแข็งแรงของการยึดติด (adhesive bonds) ที่ก่อตัวขึ้นระหว่าง

พื้นผิววัสดุทั้งสองที่สัมผัสกันมีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงเหนียวแน่น (cohesive strength) ของเนื้อพอลิเมอร์จะมีผลทำให้เกิดการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์เกาะยึดติดบนพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสและส่งผลให้เกิดการก่อตัวเป็นชั้นฟิล์มพอลิเมอร์บางๆถ่ายเนื้อ (Transfer film) ลงบนพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสและในขณะเดียวกันฟิล์มพอลิเมอร์บางส่วนเกิดการหลุดร่อนออกจากอาณาบริเวณของความเสียหาย กลายเป็นอนุภาคการสึกหรอ (wear debris) [7], [21] ผลของการสึกหรอแบบยึดติดที่เกิดจากการเฉือนขาดของจุดเชื่อมประสานความเสียหายจะค่อยๆขยายขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกลายเป็นรอยร้าวที่มีขนาดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการสึกหรอที่เกี่ยวข้องกับการเสีรูปของจุดเชื่อมประสานที่ยึดติดกันซึ่ง Belyi และคณะได้เสนอแนวคิดไว้ว่า “การถ่ายเนื้อพอลิเมอร์เป็นลักษณะจำเพาะที่สำคัญของการสึกหรอแบบยึดติดของวัสดุที่มีพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบฐาน” [5], [57] ปรากฏการณ์การถ่ายเทความเสียหายนั้นสามารถสังเกตเห็นได้จากวัสดุเกือบทุกชนิด โดยผลที่ตามมาของปรากฏการณ์การถ่ายเนื้อวัสดุอาจมีความแตกต่างกันถ้าขนาดของอนุภาคการถ่ายเนื้อวัสดุจากพื้นผิววัสดุหนึ่งไปยังวัสดุอื่น ๆ มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรอัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นก็จะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น [5], [29], [35]



รูปที่ 2.8 รูปแบบการสึกหรอของพอลิเมอร์; a) การสึกหรอแบบยึดติด b) การสึกหรอแบบขัดถู
c) การสึกหรอแบบล้าตัว d) การสึกหรอแบบไทรโบเคมีคอล [20]

ในกรณีของการสึกหรอภายใต้สภาวะการควบคุมคงที่การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะปรากฏเป็นชั้นฟิล์มบางๆของวัสดุที่อ่อนกว่าถ่ายเนื้อไปยังพื้นผิววัสดุที่แข็งกว่า ตัวอย่างเช่นการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ลงบนพื้นผิวโลหะในขณะที่เกิดการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ลงบนพื้นผิวโลหะนี้จะเกิดการหลุดออกของชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ออกจากพื้นผิวโลหะควบคู่กันไปด้วย ถ้าชั้นฟิล์มพอลิเมอร์หลุดออกจากพื้นผิวโลหะเกิดขึ้น

อย่างต่อเนื่องจะมีผลทำให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ยังคงเกาะยึดติดบนพื้นผิวโลหะความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวคู่สัมผัสที่กล่าวถึงนี้อาจมีผลต่อการเกาะยึดของชั้นฟิล์มซึ่งการแพร่กระจายของชั้นฟิล์มพอลิเมอร์บนพื้นผิวโลหะ จะส่งผลทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดแต่การสึกหรอเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

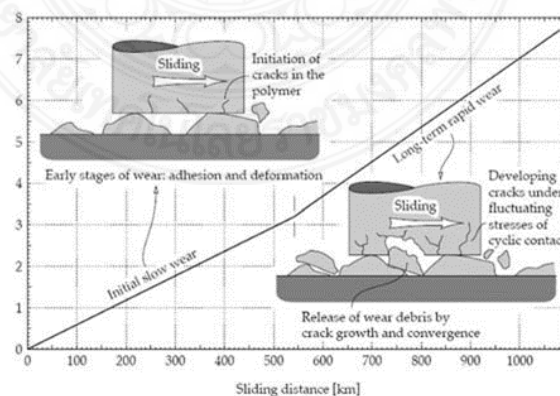
2.1.5.2 การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear)

การสึกหรอแบบขัดถูเป็นรูปแบบการสึกหรอที่มีการตัดเฉือนเนื้อวัสดุเกิดขึ้นโดยเกิดจากวัสดุที่แข็งกว่าตัดเฉือนวัสดุที่อ่อนกว่า ดังลักษณะรูปแบบการสึกหรอที่แสดงในรูปที่ 2.8b ซึ่งหลักฐานการสึกหรอแบบนี้จะปรากฏเป็นรอยขีดข่วน ร่องรอยการครูดหรือขูดออกของเนื้อวัสดุที่นำไปสู่การสูญเสียเนื้อวัสดุ กลไกการสึกหรอของพอลิเมอร์แบบขัดถูนี้เกิดขึ้นจากจุดปลายความหยาบพื้นผิวที่แข็ง (Hard asperities) บนพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสและหรืออนุภาคแข็งเคลื่อนที่ตัดเฉือนพื้นผิวพอลิเมอร์โดยความหยาบพื้นผิวหรือความขรุขระของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่กำหนดแรงเสียดทานซึ่งผลของการขัดถูจะแสดงออกมาในรูปของรอยขีดข่วน รอยแฉะและร่องบนพื้นผิวรอยสึกหรอ อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการขัดถูส่วนใหญ่จะมีลักษณะรูปร่างเป็นเศษที่ถูกตัดเฉือนออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ คล้ายๆ กับเศษที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือตัดในงานตัดเฉือนด้วยเครื่องมือกลแต่จะมีขนาดเล็กกว่า การสึกหรอแบบขัดถูมีความสัมพันธ์กับลักษณะรูปร่างเรขาคณิตของจุดปลายความหยาบพื้นผิว (Asperity) ของวัสดุคู่สัมผัสที่แข็งกว่าและส่งผลต่ออัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นโดยขึ้นอยู่กับรูปร่างและมุมปลายของจุดหรือบริเวณที่เกิดการขัดถูบนพื้นผิวของวัสดุคู่สัมผัส [5], [21] ในขณะที่เกิดการขัดถูเมื่อจุดปลายความหยาบพื้นผิวหรืออนุภาคขัดถูกระทำกับพื้นผิวพอลิเมอร์มีผลทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียดซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบที่สำคัญคือ แบบที่หนึ่งเกิดการเซาะเป็นร่องบนพื้นผิวพอลิเมอร์ซึ่งบ่อยครั้งจะมีการกล่าวอ้างถึงการไถครูดที่เกิดจากการผลึกหรือตันอนุภาคและวัสดุไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่องเกิดเป็นรอยไถครูดทางยาวและตันเนื้อวัสดุออกด้านข้างที่ส่งผลให้เกิดการก่อตัวเป็นสันใกล้เคียงกับรอยไถครูดและต่อมามีการพัฒนาเกิดเป็นร่องโดยไม่มีเนื้อวัสดุถูกเคลื่อนย้ายออกจากพื้นผิว แบบที่สองเรียกว่า “เกิดการตัดเฉือน” เนื่องจากมีลักษณะคล้ายๆกับการตัดเฉือนในระดับไมโครซึ่งเนื้อวัสดุถูกตัดเฉือนออกเป็นอนุภาคการสึกหรอขนาดเล็กที่ถูกขจัดออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ (Chip)

2.1.4.3 การสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue wear)

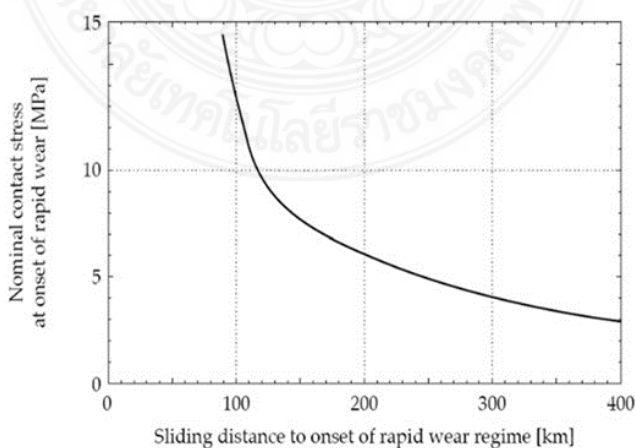
การสึกหรอแบบล้าตัวเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความเค้นวัฏจักรส่งผลให้เกิดความเครียด (Strain) ภายในเนื้อวัสดุบริเวณใต้ชั้นผิวและก่อให้เกิดเป็นรอยร้าวเล็กๆภายในเนื้อวัสดุขนานกับพื้นผิวดังลักษณะรูปแบบการสึกหรอที่แสดงในรูปที่ 2.8c และเมื่อไหร่ก็ตามที่รอยร้าวเหล่านี้มีขนาดเพิ่มขึ้นจนถึงขนาดวิกฤติจะทำให้เกิดการหลุดออกมาของแผ่นชั้นส่วนย่อยหรือเกล็ดที่เป็นอนุภาคการสึกหรอ ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้มักถูกกล่าวถึงว่าเป็นการสึกหรอที่เกิดจากการแตกออกของชั้นพื้นผิว (Delamination wear) กลไกการสึกหรอของพอลิเมอร์แบบนี้เกิดขึ้นจากการแพร่ขยายของรอยร้าว

บริเวณที่มีการแปรรูปซ้ำๆจากการเสียดทานโดยอนุภาคการสึกหรอ (Wear debris) เกิดจากการขยายตัวและการฉีกขาดของรอยร้าวขนาดเล็กบนพื้นผิวพอลิเมอร์ที่ตั้งฉากกับทิศทางการสั่นไถล โดยการสึกหรอแบบล้าตัวนี้เกิดขึ้นหลังจากพอลิเมอร์สัมผัสกับการเสียดทานเป็นเวลานานซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อพอลิเมอร์เนื่องจากความเค้นภายในที่เกิดขึ้นซ้ำๆและสะสมภายใน โดยความเค้นที่เกิดขึ้นซ้ำๆและสะสมอยู่ภายในไม่สามารถขจัดออกให้หมดไปได้แต่จะมีปริมาณสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเป็นตัวเร่งที่พัฒนาไปสู่การเกิดการแตกร้าวของพอลิเมอร์ การแตกร้าวที่เกิดขึ้นจะขยายอาณาบริเวณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณความเค้นสะสมที่เพิ่มขึ้นซึ่งขบวนการที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เรียกว่า “ความล้าเสียดทาน (Friction fatigue)” และมีความแตกต่างจากความล้าของวัสดุก่อนเนื่องจากความล้าเสียดทานเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณพื้นผิวและใต้พื้นผิวของวัสดุเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าการแตกร้าวจากความล้านี้จะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณจุดเล็กๆบนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นจุดสัมผัสความเค้นหรือเกิดการดึงแปรรูปสูงสุดจากทฤษฎีและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้อาณาบริเวณที่รับภาระจะเป็นตำแหน่งจุดสัมผัสความเค้นสูงสุดที่ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งวัสดุพอลิเมอร์จะทนต่อวัฏจักรความเค้นจากการสั่นไถลกลับไปกลับมาซ้ำๆ จำนวนหลายรอบและต่อมาส่งผลให้บริเวณผิวสัมผัสเกิดการสึกหรอแบบล้าตัวโดยพฤติกรรมการสึกหรอแบบล้าตัวนี้สามารถสังเกตเห็นได้จากตัวอย่าง UHMWPE ที่มีการสั่นไถลต้านกับพื้นผิวคู่สัมผัสโลหะที่มีความเรียบผิวสูง โดยอัตราการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการสั่นไถลเสียดสีเป็นระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร [5], [41], ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.9 ความเสียหายหรือการสึกหรอของพื้นผิวจากการสึกหรอแบบล้าตัวพบว่าเป็นการเกิดขึ้นหลังจากพื้นผิวพอลิเมอร์สั่นไถลเป็นระยะทางไกลๆ โดยอัตราการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นพร้อมๆกับการขยายตัวของรอยร้าวและอนุภาคการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะของการสึกหรอจะอยู่ในรูปของเศษอนุภาคการสึกหรอที่แตกออกเป็นเศษลอนขึ้นเล็กๆบนชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ถ่ายเนื้อลงบนพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของขบวนการสึกหรอแบบยึดติด [5], [41]



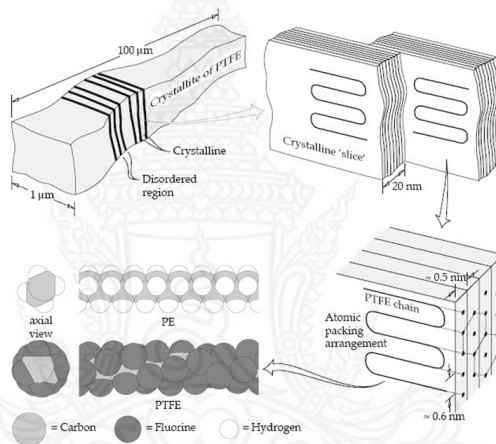
รูปที่ 2.9 อัตราการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นของวัสดุ UHMWPE เนื่องจากเริ่มเกิดการสึกหรอแบบล้าตัว หลังจากผ่านการสั่นไถลต้านกับวัสดุคู่สัมผัสโลหะด้วยระยะทางต่างๆ [41]

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสึกหรอจากการสึกหรอแบบยึดติดเป็นการสึกหรอแบบล้าตัว นั้นถูกควบคุมด้วยความเค้นสัมผัส (Contact stress) ตัวอย่างเช่นในกรณีที่มีความเค้นสัมผัสต่ำกว่า 1 MPa การลื่นไถลเป็นระยะทางอนันต์จะทำให้การสึกหรอแบบล้าตัวเกิดขึ้นเสมอและนอกจากนี้การสึกหรอแบบล้าตัวมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นกับการรับภาระที่สูงลื่นไถลบนพื้นผิวที่เรียบและไถลด้วยระยะทางไกลๆ อีกด้วยซึ่งรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการทดสอบการล้าตัวของวัสดุ UHMWPE ที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการสึกหรอแบบล้าตัวภายใต้ความเค้นสัมผัสที่เกิดขึ้นต่อ ระยะทางของการไถล การสึกหรอของวัสดุโดยทั่วไปจะมีความแตกต่างของปรากฏการณ์ของการสึกหรอที่เกิดขึ้น 3 ระยะ [5], [23] คือการสึกหรอระยะเริ่มต้น (Running-in) การสึกหรอระยะคงตัวหรือสม่ำเสมอคงที่ (Steady state) การสึกหรอระยะรุนแรง (Wear out) สำหรับในกรณีของการสึกหรอที่เกิดขึ้นในระบบการเสียดทานของวัสดุพื้นผิวคู่สัมผัสระหว่างโลหะ-พอลิเมอร์ ในระยะแรกจะหมายถึงการสร้างชั้นฟิล์มพอลิเมอร์บางๆ ถ่ายเนื้อลงบนพื้นผิวโลหะโดยสมบัติทางด้านไทรโบโลยีของระบบการเสียดทานของวัสดุพื้นผิวคู่สัมผัสนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ถ่ายเนื้อลงบนพื้นผิวโลหะซึ่งประกอบด้วยสมบัติพื้นฐานทางกายภาพ ทางเคมี และทางกลของวัสดุ ความแข็งแรงของการเชื่อมประสานหรือเกาะยึดแนบติดกับพื้นผิวของโลหะบริเวณหรือส่วนของพื้นที่พื้นผิวโลหะที่ถูกปกคลุมด้วยชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ ความรุนแรงของปฏิกิริยาเกาะยึดติดบนพื้นผิวโลหะซึ่งสมบัติจำเพาะต่างๆ เหล่านี้ถูกยืนยันด้วยผลการทดลองและรายงานผลการศึกษาวิจัยที่น่าเสนอโดยนักวิจัยหลายๆท่าน [1], [24], [25], [26] ดังที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าพอลิเมอร์เกาะยึดแนบติดกับพื้นผิวแข็งของโลหะด้วยวิธีการดูดซับ [1], [27] ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าส่วนประกอบที่เกาะยึดติดแน่นอยู่ด้วยกันของแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับสารดูดซับในระดับไมโครโมเลกุล (Micro molecules) ที่จำกัดการเคลื่อนที่ของหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) โดยการจำกัดการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อพฤติกรรมทางด้านไทรโบโลยีของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอแบบล้าตัวและความเค้นสัมผัสที่เกิดขึ้น [41]

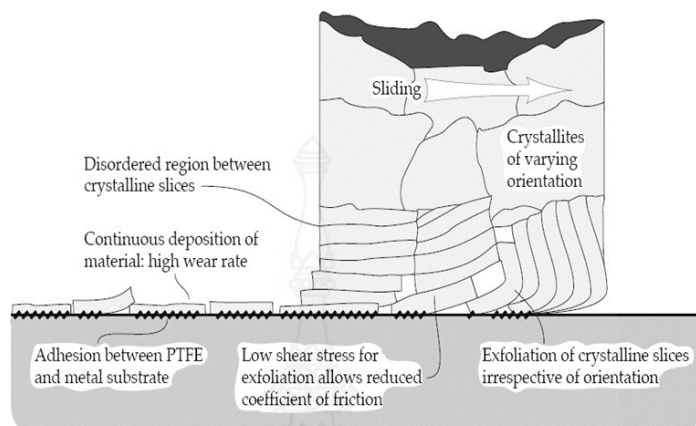
สำหรับการอธิบายการเกิดขึ้นของชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ถ่ายเนือบนพื้นผิวโลหะคู่สัมผัสของการลื่นไถลแล้วส่งผลให้เกิดการสึกหรอของพอลิเมอร์ ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการก่อตัวของชั้นฟิล์มพอลิเตตราฟลูออโรเอทิลีนหรือเทฟลอน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลและโครงผลึกดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ถ่ายเนือบนพื้นผิวโลหะที่แสดงในรูปเป็นตัวอย่างชั้นฟิล์ม PTFE ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะสุญญากาศที่มีการยึดเกาะแนบติดกับพื้นผิวโลหะอย่างแข็งแรง [5], [30] ปรัชญาการณั้เกาะยึดแนบติดที่เกิดขึ้นนี้มีความเข้าใจว่าเป็นปฏิกิริยาทางเคมีของบริเวณจุดที่สัมผัสกันระหว่างฟลูออรีน (Fluorine) และคาร์บอนกับพื้นผิวโลหะที่ลื่นไถลต่อกัน [5], [30], [31]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างผลึกของ PTFE และโครงสร้างโมเลกุลของ PTFE และ PE [38]-[41]

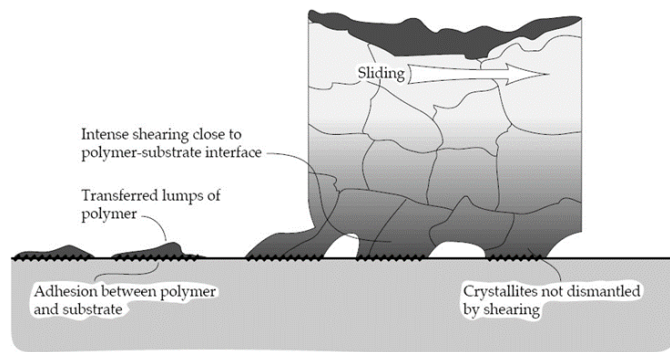
แม้ว่าอาจจะมีความเป็นไปได้ที่ว่าการเกาะยึดแนบติดที่แข็งแรงสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างพื้นผิวคู่สัมผัสโลหะกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ แต่โครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะเฉพาะของ PTFE ทำให้เกิดกลไกของการถ่ายเนือฟิล์มพอลิเมอร์ที่เป็นลักษณะเฉพาะสำหรับ PTFE จากการที่มีช่องว่างหรือการขาดแคลนกลุ่มอะตอมที่อยู่ด้านข้างโครงสร้างโมเลกุลและโครงสร้างโมเลกุลของ PTFE ที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกทำให้มั่นใจได้ว่าโมเลกุลของ PTFE สามารถเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ PTFE ที่อยู่ภายใต้ความเค้นสำหรับในส่วนของโครงผลึกของ PTFE จะประกอบด้วยชั้นของส่วนที่เป็นผลึกถูกชั้นกลางด้วยชั้นของเนือวัสดุอสัณฐาน (Amorphous) ที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered) ซึ่งอ่อนแอและเสถียรรูปได้ง่ายส่งผลให้ PTFE เกิดการแปรรูปได้ง่ายในชุดของชั้นแผ่นผลึกและอสัณฐานที่ต่อเนื่องกัน [5], [32] โดยบริเวณของ PTFE ที่ลื่นไถลสัมผัสกับพื้นผิวที่แข็งกว่าจะเกิดการสูญเสียเนือวัสดุในรูปของชั้นแผ่นเนือวัสดุที่ลื่นไถลออกมา ซึ่ง

ส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำแต่มีอัตราการสึกหรอสูง [5], [29], [30] กลไกการสึกหรอของ PTFE มีลักษณะดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การสึกหรอและชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่ถ่ายโอนบนพื้นผิวโลหะคู่สัมผัสของวัสดุ PTFE [20]

กลไกการถ่ายชั้นฟิล์ม (Film transfer mechanism) พอลิเมอร์บนพื้นผิวโลหะคู่สัมผัสมีพฤติกรรมคล้ายๆ กับการถ่ายชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ของ PTFE ซึ่งปัจจุบันยังไม่พบในพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่นๆ โดยปริมาณชั้นฟิล์มพอลิเมอร์และพอลิเมอร์คอมโพสิตที่สะสมบนพื้นผิวโลหะที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นจะกระตุ้นให้เกิดขบวนการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ออกมาเป็นก้อน (Lumpy transfer) เมื่อมีการลื่นไถลด้านกับพื้นผิวของแข็ง [5], [33] แต่กลไกที่ทำให้เกิดการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ออกมาเป็นก้อนมีข้อยกเว้นสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene, HDPE) และ Ultra-High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) [5, 25] เนื่องพฤติกรรมการสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะคล้ายกับ PTFE ทำให้เป็นที่เข้าใจว่ามีสาเหตุมาจากลักษณะจำเพาะของรูปแบบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เรียบ (Smooth molecular profile) หรือการขาดแคลนกลุ่มอะตอมที่อยู่ด้านข้างโครงสร้างโมเลกุลและการเชื่อมต่อของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ [5], [34] แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการลื่นไถลของ PTFE HDPE และ UHMWPE มีอิทธิพลมาจากสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (Static coefficient of friction) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (Kinetic coefficient of friction) ประมาณ 50% [1], [35] เนื่องจากในช่วงแรกของการเริ่มต้นการลื่นไถลมีความจำเป็นต้องใช้แรงที่สูงกว่าเป็นพิเศษสำหรับการเริ่มก่อตัวเพื่อสร้างชั้นฟิล์มพอลิเมอร์และถ่ายเนื้อลงบนพื้นผิวโลหะคู่สัมผัส สำหรับในส่วนของกลไกการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ออกมาเป็นก้อน (Lumpy transfer) จะมีลักษณะของการเกิดพฤติกรรมการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยก้อนพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นเป็นก้อนพอลิเมอร์ที่เกิดจากการหลุดออกมาของแผ่นผลึกและเกิดการเกาะยึดแน่นติดกับพื้นผิวโลหะคู่สัมผัส



รูปที่ 2.13 กลไกการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ออกมาเป็นก้อน (Lumpy transfer) ที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่ [36]

ขนาดของก้อนเนื้อพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจากกลไกการถ่ายเนื้อพอลิเมอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ $1\ \mu\text{m}$ [5], [35] เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่เกิดการสัมผัสมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับขนาดของฟิล์มของ PTFE ที่ถ่ายเนื้อลงบนพื้นผิวโลหะคู่สัมผัส ดังนั้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการรับภาระของก้อนพอลิเมอร์เป็นการรับภาระของฟิล์ม PTFE ที่มีขนาดเล็ก ลักษณะหรือรูปแบบของการถ่ายเนื้อชั้นฟิล์มพอลิเมอร์นี้ไม่ทำให้ลักษณะจำเพาะของการสึกหรอและความเสียดทานของการลื่นไถลสัมผัสดีขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่แสดงพฤติกรรมถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ออกมาเป็นก้อนจะไม่ใช่วัสดุรองลื่น (Bearing materials) ที่มีประสิทธิภาพมากนัก เมื่อไหร่ก็ตามที่วัสดุพอลิเมอร์ลื่นไถลต้านกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆพอลิเมอร์ที่มีการเกาะยึดแนบติดกันอย่างอ่อนแอหรืออ่อนแอกว่า จะเกิดการสึกหรอมากกว่า โดยเกิดการก่อดัวถ่ายเนื้อเป็นชั้นฟิล์มบนพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงของการเกาะยึดแนบติดเข้าด้วยกันมากกว่า ซึ่งพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสึกหรอที่สังเกตพบในวัสดุที่ไม่ใช่พอลิเมอร์ [1], [37]

2.1.5.4 การสึกหรอแบบไตรโบเคมี (Tribocchemical wear)

การสึกหรอแบบไตรโบเคมีเป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์การขยายตัวของชั้นฟิล์มถ่ายเนื้อพอลิเมอร์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างพื้นผิวต่างๆ ที่มีการสัมผัสกันและสภาพแวดล้อมที่ล้อมรอบหนึ่งในรูปแบบส่วนใหญ่ของการสึกหรอแบบแบบไตรโบเคมีคือ การสึกหรอในลักษณะไตรโบออกซิเดชัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เกิดจากการเสียดทานเป็นตัวเร่งให้เกิดการขยายปริมาณออกไซด์ฟิล์มโดยออกไซด์ฟิล์มแยกออกจากพื้นผิววัสดุเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้นจนถึงความหนาวิกฤตกลายเป็นอนุภาคการสึกหรอ ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.13 กลไกการสึกหรอแบบไตรโบเคมีเกิดจากการขาดหรือแยกตัวของสายโซ่พอลิเมอร์และหมู่เคมีที่อยู่บริเวณด้านข้างของสายโซ่หลักและต่อมาจะเกิดการก่อดัวของอนุมูลอิสระและไฮโดรเจนเข้ามาแทนที่การก่อดัวของอนุมูลอิสระและไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะและกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการ

เกิดปฏิกิริยาไตรโบออกซิเดชัน (Tribo oxidation) บนพื้นผิวโลหะแล้วถ่ายทอดไปยังพื้นผิวพอลิเมอร์ โดยอยู่ในรูปของอนุภาคที่ถ่ายทอดในระดับไมโครและนอกจากนี้ปฏิกิริยาไตรโบเคมีที่เกิดขึ้นนี้จะเป็น ตัวขัดขวางการเกาะยึดติดของอนุภาคที่เกิดการถ่ายทอดในระดับไมโครกับพื้นผิวสัมผัสของลูกกลิ้ง [1], [39]

2.1.6 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติทางกล

2.1.6.1 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์สามารถทำได้ 2 แบบขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุกล่าวคือการทดสอบแบบ Rockwell จะใช้กับพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง เช่น พอลิสไตรีน พอลิเมธิลเมทาคริเลต และไนลอน เป็นต้น ในขณะที่การทดสอบแบบ Durometer จะใช้กับพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนตัวมากกว่าตัวอย่างเช่น ยางชนิดต่างๆรวมทั้งพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดที่เติมสารเพิ่มสภาพพลาสติก (Plasticized PVC) และพอลิเอทิลีน



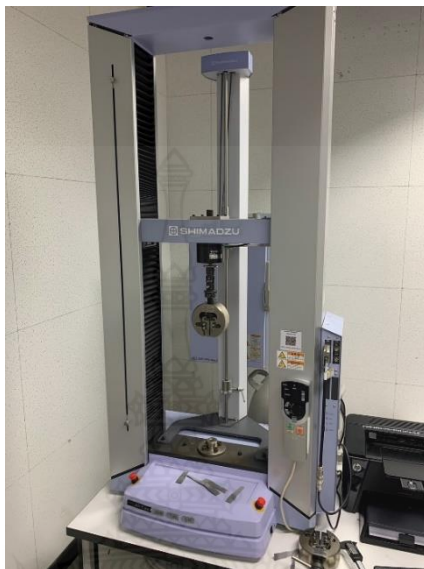
รูปที่ 2.14 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D

สำหรับการทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยเลือกการทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.1.6.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเค้นคราก ความต้านแรงดึงสูงสุดและความยืดของชิ้นทดสอบ โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 10 kN ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR 10K plus ของห้องปฏิบัติการห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ลักษณะของชิ้นทดสอบ

ที่เตรียมขึ้นสำหรับการทดสอบแรงดึงมีลักษณะเป็นแผ่นแบนความหนาไม่เกิน 7 mm โดยขนาดของ
 ชิ้นทดสอบอ้างอิงขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638



รูปที่ 2.15 เครื่องทดสอบแรงดึง

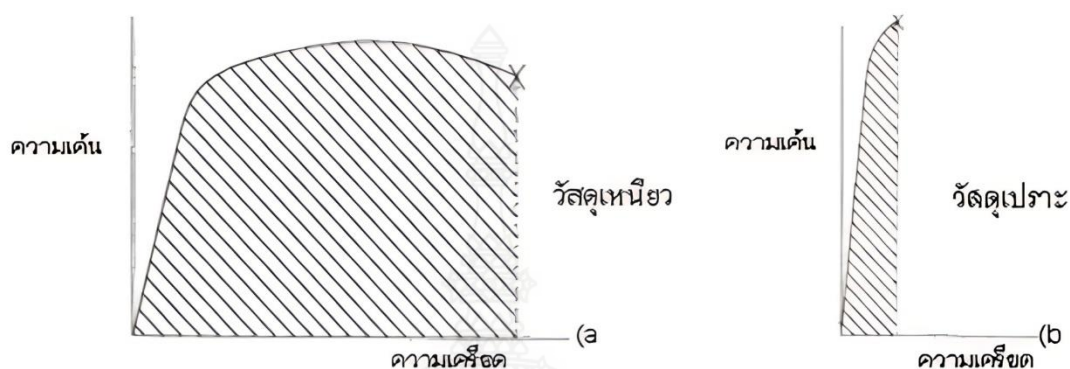
2.1.6.3 การทดสอบแรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทกเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเหนียวที่ทนต่อการต้านทานแรง
 กระแทกของชิ้นทดสอบโดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ GOTECH TESTING
 MACHINES INC ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และ
 เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดังแสดงในรูปที่ 2.16 [40]



รูปที่ 2.16 เครื่องทดสอบแรงกระแทก

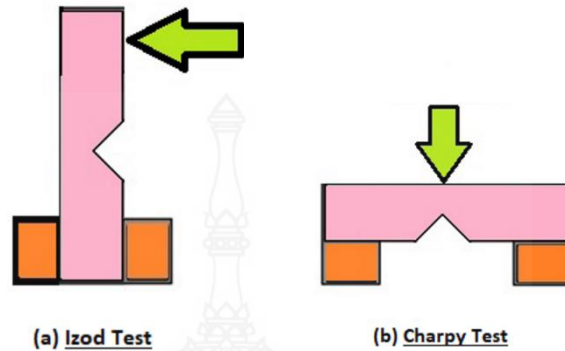
ในการเลือกใช้วัสดุสำหรับงานบางประเภทวิศวกรจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติความเหนียว (Toughness) ของวัสดุเพื่อประเมินโอกาสการแตกหักเสียหายและความปลอดภัยในขณะใช้งานในสภาวะต่างๆ เช่น การใช้งานเหล็กกล้าทนล้าของรถดัมพ์ที่ต้องรับแรงกระแทกจากการบรรทุกหิน เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนหรือเหล็กสำหรับงานท่อความดันที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.17 (a) Modulus of Toughness ของวัสดุเหนียว และ (b)วัสดุเปราะ [41]

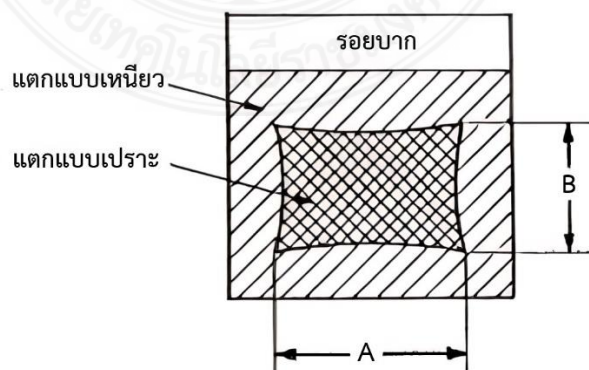
ความเหนียว (Toughness) คือ ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหักความเหนียวมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ เนื่องจากโดยทั่วไปเรามักจะประเมินค่าความเหนียวจาก Modulus of Toughness ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งความเค้น - ความเครียด ที่ได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งค่า Modulus of Toughness นี้จะแสดงถึงพลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่ต้องใช้ในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหายวัสดุที่มีความเหนียวสูงกว่าจะใช้พลังงานต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุที่สูงกว่าในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักเสียหาย วิธีการทดสอบความเหนียวที่นิยมใช้มี 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดค่า Impact Energy, Impact Transition Temperature (ITT) และการศึกษาผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของวัสดุ โดยการตีขึ้นทดสอบขนาดมาตรฐานจนเกิดการแตกหัก จุดประสงค์ในการทำการทดสอบเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกระแทก (Dynamic Load) ของวัสดุ สำหรับค่าที่นิยมวัดมากที่สุดในการทดสอบแรงกระแทกคือ ค่า Impact Energy ซึ่งเป็นพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงกระแทก (Dynamic Impact Force) จนเกิดการแตกหัก โดยมีวิธีการทดสอบมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ Charpy Impact Test และ Izod Impact Test เครื่องมือทดสอบทั้ง 2 ชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 วิธีการทดสอบของทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกันคือจะวางชิ้นงานทดสอบไว้รับแรงกระแทกจากการเหวี่ยงของลูกตุ้มที่น้ำหนักค่าหนึ่ง (น้ำหนักและขนาดของตุ้มน้ำหนักจะต้องเป็นไปตามที่มาตรฐานที่เลือกใช้ในการทำการทดสอบระบุไว้) พลังงานที่กระแทกขึ้นทดสอบขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม และความเร็วของ

มันขณะกระแทก จุดกระแทกจะเป็นจุดต่ำสุดของการเหวี่ยง ซึ่งเป็นจุดที่ลูกตุ้มมีความเร็วสูงที่สุด เมื่อลูกตุ้มกระทบชิ้นทดสอบ ลูกตุ้มจะเสียพลังงานไปจำนวนหนึ่งในการทำให้ชิ้นทดสอบหัก ค่าพลังงานที่เสียไปนี้ก็คือ ค่า Impact Energy นั่นเอง มีหน่วยเป็น ฟุต-ปอนด์ หรือ จูล



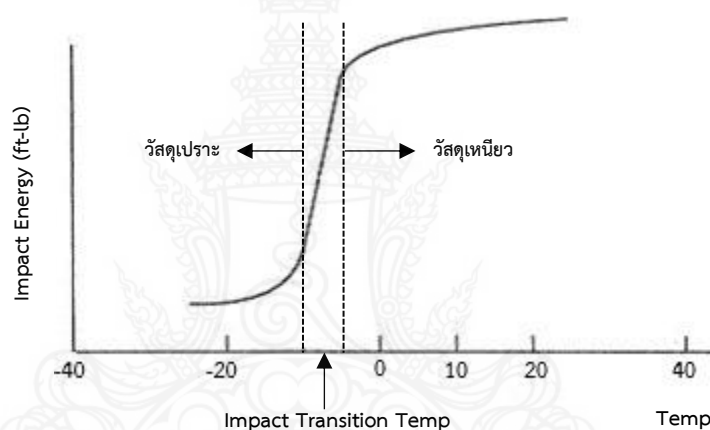
รูปที่ 2.18 รูปแบบการทดสอบแรงกระแทก (a) Izod Test (b) Charpy Test

ข้อแตกต่างระหว่าง Charpy และ Izod ก็คือ การวางชิ้นงานทดสอบ โดย Charpy test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวระดับ และให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วน Izod Test จะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้งและให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก ชิ้นทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีรอยบากอยู่ตรงกลางรอยบากนี้จะทำเป็นรูปตัว V, U หรือรูปรูกุญแจขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและมาตรฐานการทดสอบที่เลือกใช้อุณหภูมิมีผลต่อความเหนียวอย่างมาก วัสดุเหนียวอาจจะเปลี่ยนเป็นวัสดุเปราะได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ถ้านำค่า Impact Energy มาพลอตกับอุณหภูมิจะพบว่ามีอุณหภูมิอยู่ช่วงหนึ่งซึ่งมีค่าของ Impact Energy ลดลงอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.19 ค่าอุณหภูมิในช่วงนี้เรียกว่า Impact Transition Temperature (ITT) โดยค่า ITT นี้เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุจากวัสดุเหนียวมาเป็นวัสดุเปราะคือ เปลี่ยนจากวัสดุเหนียวที่มีค่าพลังงานสูงมาเป็นวัสดุเปราะซึ่งมีพลังงานต่ำ



รูปที่ 2.19 ลักษณะพื้นที่รอยแตกแบบเปราะและแบบเหนียวในการทดสอบแรงกระแทก [41]

ค่า Impact energy จะไม่นำมาใช้โดยตรงในการออกแบบแต่มันมีประโยชน์ที่จะใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณสมบัติของวัสดุโดยเฉพาะพวกเหล็กที่มีค่า ITT อยู่ใกล้กับอุณหภูมิห้องเราจะต้องระมัดระวัง ไม่ใช่ใช้งานวัสดุที่อุณหภูมิต่ำกว่า ITT ของมัน โดยทั่วไปเราจะกำหนดค่า ITT เป็นค่าเดียว (ไม่ใช่ช่วงอุณหภูมิดังที่แสดงในรูป 2.20) โดยวิธีในการกำหนดค่า ITT มีอยู่หลายวิธี เช่น การตรวจสอบผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่แตกหักจากการทดสอบแรงกระแทกหรือการกำหนดค่า ITT โดยใช้อุณหภูมิที่ผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกมีส่วนของพื้นที่ที่เกิดการแตกแบบเปราะ (Brittle Fracture) กับพื้นที่ที่แสดงการแตกแบบเหนียว (Ductile Fracture) เป็น 50:50 พอดี (ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Fracture Appearance Transition Temperature - FATT)



รูปที่ 2.20 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ Impact Transition Temperature และอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเหนียว (ความเหนียว-เปราะ) ของวัสดุ [41]

สำหรับวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ กำหนดค่า Impact Energy ค่าหนึ่งขึ้นมาเป็นเกณฑ์ โดยควรจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่วัสดุจะได้รับในระหว่างการใช้งาน ถ้าวัสดุใดทดสอบแล้วมีค่า Impact Energy ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดก็ถือว่าเป็นวัสดุเปราะซึ่งอาจเกิดการแตกหักได้ง่ายจึงไม่ควรจะนำมาใช้งานและกำหนดค่า ITT โดยให้มีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ทดสอบได้ค่า Impact Energy เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดพอดี (ITT ที่กำหนดโดยวิธีนี้เรียกว่า Ductility Transition Temperature) ค่าพลังงานแรงกระแทกที่ใช้เป็นเกณฑ์ คือ 20 J สำหรับการทดสอบ Charpy V-Notch (ชิ้นงานมีรอยบากรูปตัว V) ดังนั้นวัสดุที่จะนำไปใช้งานจึงควรมีค่า Impact Energy ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรืออาจใช้ค่า Ductility Transition Temperature ในการกำหนดสถานะการใช้งาน คือควรจะใช้งานวัสดุในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า Ductility Transition Temperature

เนื่องจากแต่ละมาตรฐานการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดและลักษณะรอยบากที่ต่างกัน ตลอดจนพลังงานที่ใช้ในการทดสอบก็ต่างกัน ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเลือกใช้มาตรฐานต่างๆในการทดสอบ

2.1.6.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นทดสอบวิเคราะห์จากอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Block On Ring [5] ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 ซึ่งมีหลักการของการทดสอบดังลักษณะไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 2.19a โดยกำหนดขนาดมิติของชิ้นทดสอบเท่ากับ $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ ดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.19b วงแหวนที่ใช้ในการทดสอบทำจากเหล็กกล้า Bearing Steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 mm ความหยาบพื้นผิววงแหวน $0.2 \text{ }\mu\text{m}$ ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอ IE-Wear1 ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยสภาวะของการทดสอบเป็นการทดสอบแบบแห้งปราศจากสารหล่อลื่น กำหนดความเร็วของการเสียดทาน 0.3 m/sec แรงกดลงบนชิ้นทดสอบ 150 N และทำการทดสอบด้วยระยะเวลา 180 นาที วิเคราะห์อัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบจากการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 mg และนำค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบมาคำนวณหาอัตราการสึกหรอในหน่วยของปริมาตรที่สูญเสียต่อน้ำหนักที่กดชิ้นทดสอบและระยะทางของการทดสอบ ซึ่งสามารถหาค่าออกมาได้จากสมการที่ 2.1 – 2.4

$$W = \frac{V_{loss}}{N \cdot d} \quad (2.1)$$

โดยที่

W = อัตราการสึกหรอ ในหน่วย $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

V_{loss} = ปริมาตรที่สูญเสีย หน่วย mm^3

N = แรงกดชิ้นทดสอบขณะที่ทำการทดสอบการสึกหรอ หน่วย N

d = ระยะทางที่ทำการทดสอบ หน่วย m

ซึ่ง V_{loss} ได้จากสมการ

$$V_{loss} = V_o - V_f \quad (2.2)$$

โดยที่

V_o = ปริมาตรชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบการสึกหรอ

V_f = ปริมาตรชิ้นทดสอบหลังจากผ่านการทดสอบการสึกหรอ

จากปริมาตร (V) ของชิ้นทดสอบได้จากสมการ

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2.3)$$

ดังนั้น สมการอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบคือ

$$W = \frac{m_o - m_f}{\rho \cdot N \cdot d} \quad (2.4)$$

โดยที่

m_o = มวลของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบการสึกหรอ หน่วย g

m_f = มวลของชิ้นทดสอบหลังจากผ่านการทดสอบการสึกหรอ หน่วย g

ρ = ค่าความถ่วงจำเพาะของชิ้นทดสอบ หน่วย g/cm³

N = แรงกดชิ้นทดสอบขณะที่ทำการทดสอบการสึกหรอ หน่วย N

d = ระยะทางที่ทำการทดสอบ หน่วย mm



a) ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ

b) ลักษณะการจับยึดชิ้นทดสอบ

รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Block On Ring



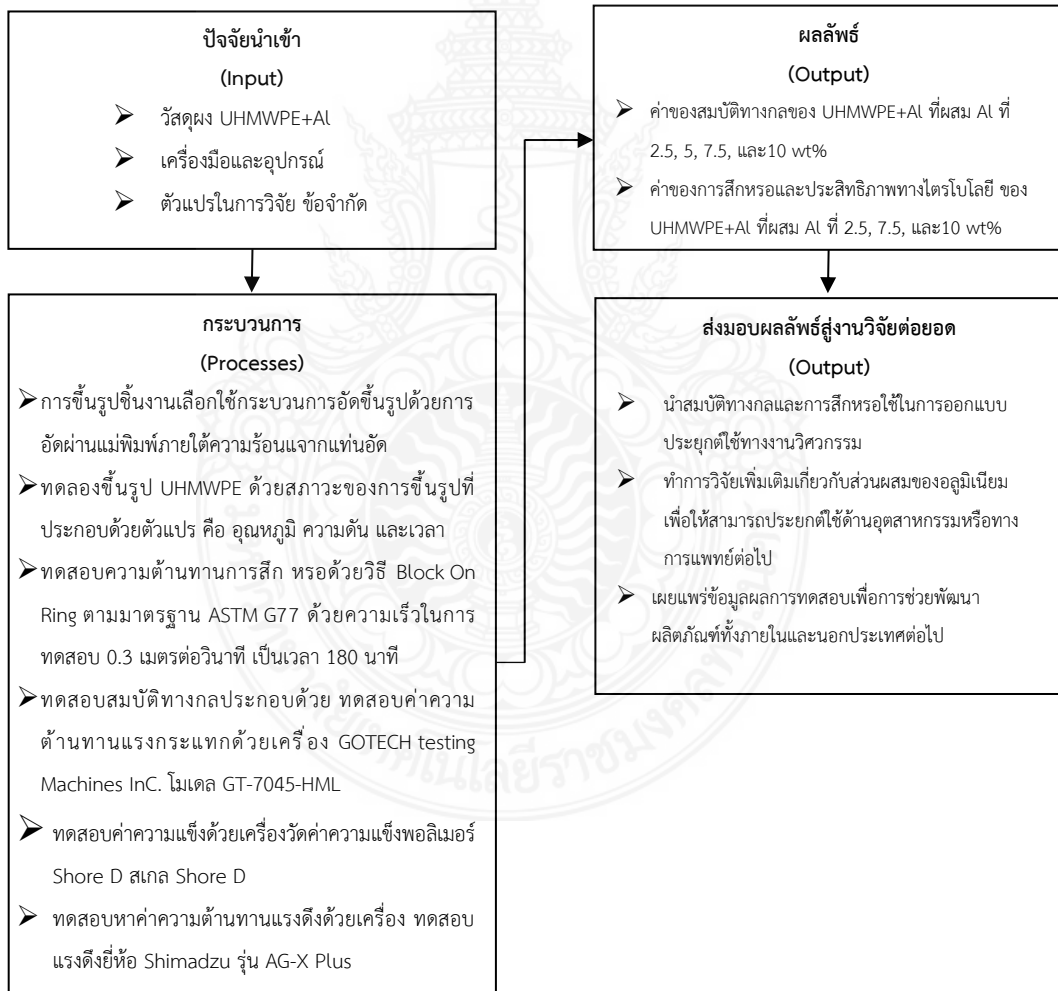
a) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 mg (0.0001 g)

b) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 g

รูปที่ 2.22 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดต่าง ๆ

2.2 กรอบการวิจัย

สำหรับกรอบการวิจัย (Conceptual Framework) จะเป็นการวางแนวความคิดของกระบวนการการทำการวิจัยที่จะต้องกล่าวถึงตัวแปรต้นและตัวแปรตามต่างๆ ที่ใช้ในแต่ละกรอบ ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันที่จะต้องสอดคล้องกับระเบียบวิธีวิจัยบนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆ มุ่งเน้นไปที่ การทดสอบสมบัติทางกลและการทดสอบความต้านทานการสึกหรอในการหาประสิทธิภาพทางไดรฟ์โบลีย์ โดยกระบวนการเริ่มต้นจากการทำการเตรียมผง UHMWPE ที่ผสมผงอลูมิเนียม(AL) ตามขั้นตอนเสร็จแล้วนำมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Hot Compression Molding ในแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปหลังจากนั้นทำการตัดแต่งชิ้นงานทดสอบตามลักษณะมาตรฐานการทดสอบความแข็ง, การทดสอบความต้านแรงดึง, การทดสอบแรงกระแทก, การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ จากนั้นนำไปทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลซึ่งจะมีแนวคิดดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 กรอบการวิจัย

2.3 การทบทวนวรรณกรรม

O. Hussain et al. [42] นำเสนอวัสดุผสมไฮบริด UHMWPE/nano- Al_2O_3 /Vitamin-C ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นกระดูกอ่อนเทียมในข้อต่อเทียม Al_2O_3 ถูกใช้เป็น สารเติมแต่งต่อต้านการสึกหรอ ใน UHMWPE พบว่าเมื่อ ผสม Al_2O_3 2 wt% จะมีประสิทธิภาพต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุผสมอื่นๆ สารเติมแต่งจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต UHMWPE

F.S. Senatov et al. [43] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม UHMWPE ที่เติมด้วย อนุภาคนาโน Al_2O_3 และไมโครสเฟียร์หลังการเปิดใช้งานเชิงกล เนื่องจาก UHMWPE มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่จุดหลอมเหลวจึงมีความหนืดสูงมากและพารามิเตอร์ การแพร่กระจายตัวเองของสายโซ่โมเลกุลต่ำมาก ซึ่งนำสามารถผสมกันได้อย่างมากไม่สามารถทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการเผาผนึกเป็นผลให้เกิดข้อบกพร่องทางโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ UHMWPE ได้

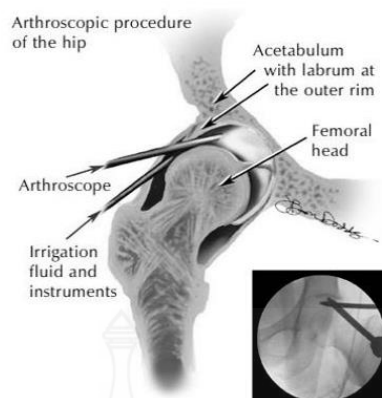
J.J. Wu et al. [44] จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับบทบาทสำคัญของลำดับอุณหภูมิ-เวลาในสถานะ หลอมเหลวระหว่าง กระบวนการผลิต สำหรับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวคือ $145\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10–90 นาที โดยพื้นฐานแล้วจะมีเส้นทางความเค้น-ความเครียดเหมือนกัน ซึ่งสะท้อนความไม่แปรเปลี่ยนของระดับความเป็นผลึก

งามพรรณ ชะโล และคณะ [45] ได้ทดสอบสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นส่วนผสมหลักผสมกับบอลูมิเนียม ออกไซด์ ในการผลิตล้อรันแพลท และให้ทราบสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมภายใต้กระบวนการขึ้นรูป ล้อรันแพลท วัสดุสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นวัสดุหลักและมีสารเติมแต่งเป็นบอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ตัวแปรที่ใช้ใน กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเพื่อให้ได้ก้อนวัสดุสำหรับการทดลองประกอบด้วย แรงอัดขึ้นรูป อุณหภูมิ เวลา รวมถึงสัดส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดกับบอลูมิเนียมออกไซด์ การทดสอบ สมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 type I การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 ผลที่ได้คือสภาวะการอัดขึ้นรูปร้อนภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 90 นาที ด้วย Al_2O_3 เกรด HTM 30 ร้อยละ 5 ซึ่งมีขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอในช่วง 2 ถึง 5 μm ผลการทดสอบทางแรงดึงประกอบด้วยความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) เท่ากับ 20.52 MPa, Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 29.96 MPa, Breaking Strength เท่ากับ 22.83 MPa, Elongation at Break เท่ากับ 265.8% และ Modulus of elasticity เท่ากับ 784.46 MPa มีค่า

ความแข็งสูงสุดเท่ากับ 62 shore D มีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงเท่ากับ 586.8 J/m และมีอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยส่วนผสม UHMWPE ผสมกับ Al_2O_3 เกรด HTM-30 ที่ 5% มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าอัตราการสึกหรอ และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.12, $8.66E-11$ mm³/N.m, และ 1.2446958 g/cm³

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม และคณะ [46] ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิ, แรงกดอัด และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค, สมบัติทางกล และพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง จากการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธี hot compression process เพื่อหาสภาวะของการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมซึ่งกำหนดอุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 170, 190, 210 °C ความดันกดอัด 5, 12.5, 20 MPa เวลาของการคงอุณหภูมิและความดันกดอัด 30, 60, 90 นาที ผลจากการศึกษาพบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยหลักของการทดลองอัดขึ้นรูปไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบมากนักสำหรับพฤติกรรมการสึกหรอพบว่า การสึกหรอของชิ้นทดสอบเกิดจากกลไกการถ่ายโอนชั้นฟิล์มพอลิเมอร์โดยปัจจัยด้านอุณหภูมิและระยะเวลาของการคงอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบและจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์ทดสอบต่างๆ พบว่าสภาวะของการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 202 °C ความดันกดอัด 10 MPa และระยะเวลาของการคงอุณหภูมิ 78 นาที เป็นสภาวะการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม

นพนัช พวงมาลีและคณะ [47] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแรงกระทำความเร็วผิวสัมผัสและความหยาบผิวคู่สัมผัสที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงภายใต้การลื่นไถลแบบแห้ง โดยชิ้นทดสอบถูกอัดขึ้นรูปด้วยกรรมวิธี hot compression process ภายใต้ อุณหภูมิ 202 °C ความดันกดอัด 10 MPa และเวลาการคงอุณหภูมิและความดันกดอัด 77 นาที และดำเนินการทดสอบการสึกหรอด้วยวิธี Block-on-ring ตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยทำการทดสอบภายใต้แรงกระทำที่กดลงบนชิ้นทดสอบ 50, 100, 150 N ความเร็วผิวสัมผัส 0.1, 0.3, 0.5 m/s และความหยาบผิวของวงแหวนคู่สัมผัส 0.12, 0.19, 0.27 μ m ผลจากการศึกษาพบว่าแรงกระทำที่กดลงบนชิ้นทดสอบและความเร็วผิวสัมผัสไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบแต่ค่าความหยาบผิวของวงแหวนคู่สัมผัสมีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบสะโพก [48]



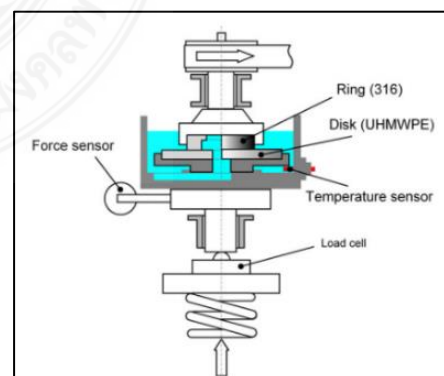
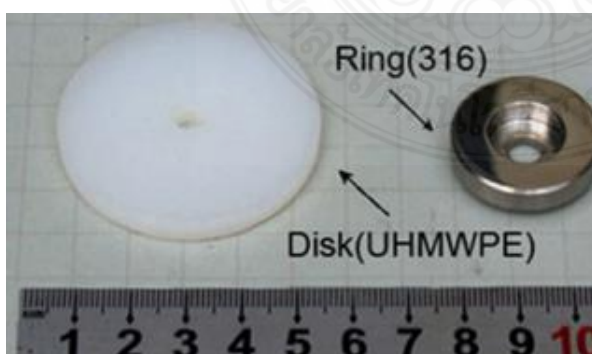
รูปที่ 2.25 สะโพกเทียมแบบโททอล [48]

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ และ ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี [48] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของ ผิวด้านการแพทย์เพื่อลดการสึกหรอเนื่องจากผู้ป่วยจากการผ่าตัดเปลี่ยนสะโพกเทียมส่วนใหญ่ ต้องประสบปัญหาการผ่าตัดซ้ำเนื่องจากเกิดการหลุดหลวมบริเวณหัวสะโพกเทียมซึ่งมีสาเหตุหลักจากการสึกหรอของคู่สัมผัสโลหะที่สามารถใช้ในร่างกายมนุษย์ ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสึกหรอในหัวสะโพกเทียมคือการสึกหรอเนื่องจากการขัดเสียดกันของวัสดุ (Abrasive wear) และการสึกหรอเนื่องจากการยึดติดกันของวัสดุ (Adhesive wear) จากการศึกษาพบว่า การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีจุดที่เหมาะสม (Optimum point) ทำให้เกิดการสึกหรอของพลาสติก UHMWPE น้อยที่สุด เมื่อทำการทดสอบโดยใช้คู่สัมผัสคือสแตนเลสสตีลและพลาสติก UHMWPE พบว่าจุดที่เหมาะสมนี้เกิดเมื่อสแตนเลสสตีลมีค่าความหยาบผิว (Roughness) ประมาณ $0.13 \mu\text{m}$ เมื่อใช้พลาสติก UHMWPE ที่ค่าความหยาบผิว $1.3 \mu\text{m}$ เมื่อลดค่าความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลให้มีค่าน้อยกว่า $0.13 \mu\text{m}$ จะเกิดการสึกหรอมากขึ้นเนื่องจากการสึกหรอแบบยึดติดในขณะที่เพิ่มค่าความหยาบผิวของสแตนเลสสตีล

ให้มีค่ามากกว่า $0.13 \mu\text{m}$ จะเกิดการสึกหรอมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากเกิดการสึกหรอแบบตัดเฉือน นอกจากนี้เมื่อทดสอบโดยกำหนดค่าความหยาบผิวของพลาสติก UHMWPE ให้มากขึ้นและน้อยลง ในช่วงที่เกิดการสึกหรอแบบยึดติดพบว่าค่าความหยาบผิวที่มากขึ้นส่งผลต่อการสึกหรอของคู่สัมผัส โดยเกิดการสึกหรอน้อยกว่า Optimum point ซึ่งเป็นผลดีในการลดการสึกหรอที่เกิดกับหัวสะโพกเทียมได้มากขึ้นไปอีกอันเป็นการลดโอกาสในการหลุดหลวมและลดปัญหาการผ่าตัดซ้ำ

วิจารณ์ ฉัตรเกษ [49] ได้ทำการทดลองทดสอบการหาสภาวะอุณหภูมิ แรงดัน และเวลาของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปร้อนของพอลิเมอร์ UHMWPE และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการอัดขึ้นรูปร้อนที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ UHMWPE วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือผงพอลิเมอร์ UHMWPE บริสุทธิ์ผงวัสดุถูกนำมาทำการอัดขึ้นรูปร้อนให้เป็นแผ่นขนาดกว้าง 160 mm ยาว 80 mm และหนา 10 mm ตัวแปรการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170-210 °C แรงดัน 5-20 MPa และเวลาของอุณหภูมิ 30-90 นาที และนำวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกลและทางเคมี จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวัสดุ UHMWPE ที่นำเข้าจากต่างประเทศจากการทดสอบพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอัดขึ้นรูปร้อนวัสดุ UHMWPE คือต้องใช้อุณหภูมิ 190 °C แรงดัน 20 MPa และเวลาของอุณหภูมิ 30 นาที วัสดุที่จากการขึ้นรูปจะมีอัตราการยึดตัวสูงและอัตราการสึกหรอต่ำ

B. Zhong et. Al [50] ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของพื้นผิวบนเหล็กและ UHMWPE [54] ที่เป็นวัสดุแข็งและวัสดุอ่อนเพื่อที่จะหาด้านที่ดีกว่าสำหรับพื้นผิวซึ่งการทดสอบแรงเสียดทานระหว่างเหล็กและ UHMWPE ดำเนินการเพื่อประเมินผลของรูปแบบร่องรอยการสึกหรอที่เงื่อนไขความเร็วโหลดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.26 น้ำหนัก 100 N พื้นผิวของเหล็กหรือ UHMWPE สามารถลดแรงเสียดทานได้ความหนาแน่นของพื้นที่ที่เหมาะสมแตกต่างกันอย่างไรก็ตามที่น้ำหนัก 700 N เฉพาะลวดลายพื้นผิว UHMWPE สามารถลดแรงเสียดทานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความหนาแน่น



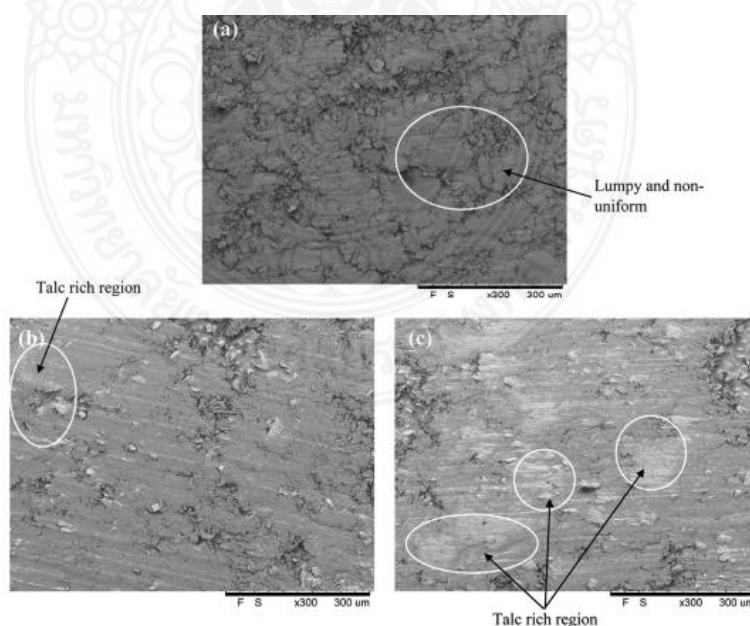
ก. แผ่น UHMWPE and เหล็กสแตนเลส 316

ข. เครื่องทดสอบ Schematic diagram

รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะของวัสดุและเครื่องทดสอบของงานวิจัย [54]

ของพื้นที่ตั้งแต่ 16% ถึง 30% สามารถลดความสึกกร่อนหรือเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพอัตราการลดสูงสุดของความสึกกร่อนหรือเฉลี่ยคือ 36% ของ Tribo-pair ซึ่งได้มาจากรูปแบบที่มีความหนาแน่นของพื้นที่ 30% ในขณะที่เดียวกันก็มีผลลดการสึกกร่อนหรือเฉลี่ยความสึกเฉพาะเมื่อความหนาแน่นของพื้นที่ 40% สูงสุดอัตราการลดลงของความสึกกร่อนหรือเฉลี่ยคือ 20% ผลการทดสอบจะถูกวิเคราะห์เพิ่มเติมในแง่ของความเครียดต่อไป

Boon Peng Chang et al [51] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสึกกร่อนของคอมโพสิตโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (UHMWPE) โดยใช้วิธีการตอบสนองบนพื้นผิว [55] ด้วยการเติมแป้งลงบนพื้นผิวของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (UHMWPE) แล้วทำการตรวจสอบลักษณะการสึกกร่อนของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (UHMWPE) เพื่อวิเคราะห์อัตราการสึกกร่อนและสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของแรงเสียดทาน (COF) ของพื้นผิว UHMWPE โดยวิธีการตอบสนองบนพื้นผิว (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อฉายภาพปรับตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดการสึกกร่อนของ UHMWPE พบว่าเมื่อผสมแป้งลงบนพื้นผิวทำให้อัตราการสึกกร่อนและ COF เฉลี่ยของ UHMWPE สามารถลดลงได้โดยรวม การวิเคราะห์ SEM ของพื้นผิวที่สึกกร่อนและฟิล์มถ่ายโอนระบุว่าระดับของการสึกกร่อนบนพื้นผิวของ UHMWPE ลดลงเฉลี่ยในช่วงทดสอบสำหรับ UHMWPE ผสมแป้ง 20 % โดยน้ำหนัก โหลด 12.020 N และที่ความเร็ว 0.3786 m/s จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าสามารถใช้อนุภาคของแป้งที่ทาบนพื้นผิวสามารถช่วยลดการสึกกร่อนและแรงเสียดทานอย่างรุนแรงในการใช้งานคอมโพสิต UHMWPE ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ไมโครกราฟ SEM ของฟิล์มถ่ายที่ใช้โหลด 30 N และที่ความเร็ว 0.2094 m/s (a) UHMWPE, (b) แป้ง 10 wt% / UHMWPE, (c) แป้ง 20 wt % / UHMWPE [51]

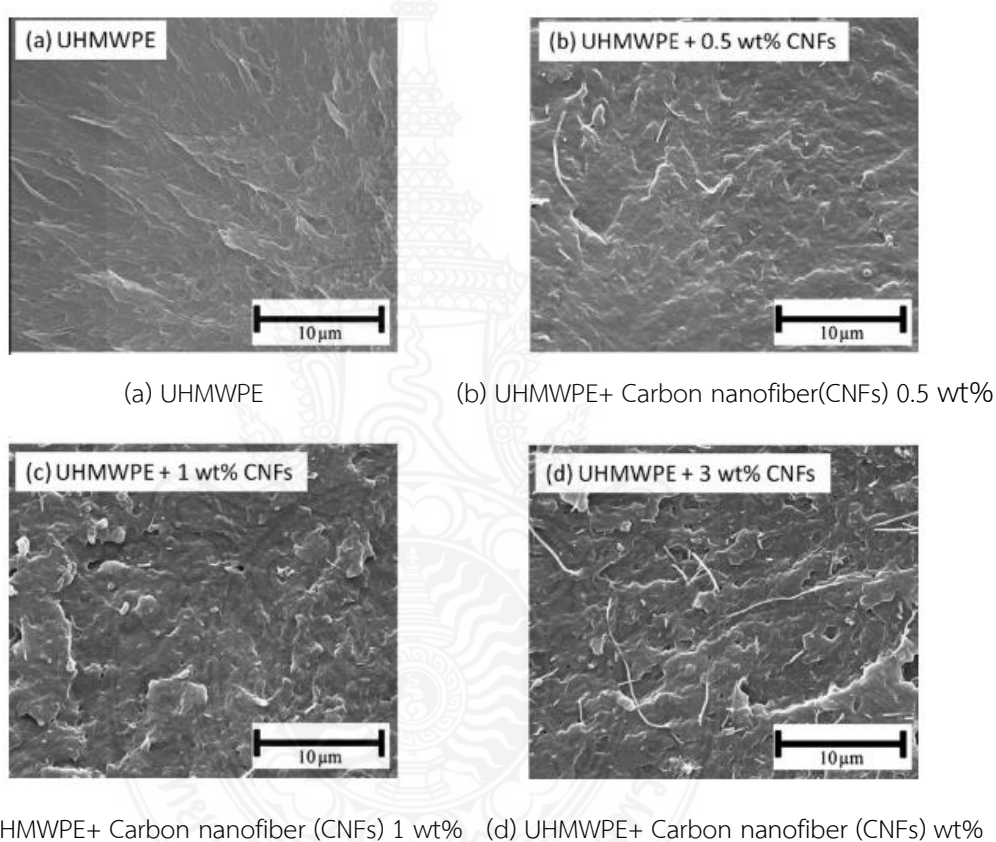
F.S. Senatov et al. [52] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล โครงสร้างจุลภาค และความเข้ากันได้ทางชีวภาพของสารประกอบนาโนที่ได้จากการกระตุ้นเชิงกลของผง UHMWPE ที่เติมด้วยผงอลูมินา (Al_2O_3) และไมโครสเฟียร์หลังการเปิดใช้งานเชิงกล เนื่องจาก UHMWPE มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่จุดหลอมเหลวจึงมีความเหนียวสูงมากและพารามิเตอร์ การแพร่ตัวเองของสายโซ่โมเลกุลต่ำมากซึ่งนำไปสู่การรวมตัวได้ยากและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการเผาผนึกจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องทางโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ UHMWPE ได้

Zirui Wang และคณะ [53] ได้แปรรูปผง UHMWPE ให้เป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อนและการเผาผนึก และได้ทำการเลือกผงที่เพิ่งเกิดใหม่ที่มีลักษณะการพันของสายโซ่โมเลกุลต่ำเป็นวัตถุดิบ และมีสมบัติทางความร้อนของการขึ้นรูปแบบซินเลอร์ที่แตกต่างกันไปตามขั้นตอนการทดสอบที่แตกต่างกัน ต่อจากนั้นผ่านการฉายรังสี Y-ray การเชื่อมขวางของสายโซ่โมเลกุลเกิดขึ้นในเฟสอสัณฐาน ซึ่งพบว่าผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างจุลภาคของเฟสผลึกต่อประสิทธิภาพการป้องกันการสึกหรอของ UHMWPE แบบเชื่อมขวางและเปิดเผยกลไกที่เกี่ยวข้อง การระบุปัจจัยทางโครงสร้างที่สำคัญให้ชัดเจนจะช่วยกำหนดทิศทางการปรับเปลี่ยนที่ถูกต้องเพื่อให้ความทนทานต่อการสึกหรอที่ดีเยี่ยมยิ่งขึ้น

Alaleh Safari และคณะ [54] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบผลกระทบของการโหลดแบบไดนามิกในการเปรียบเทียบที่มีการโหลดแบบคงที่ในพฤติกรรมทางไตรโบโลยีของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) โมลิตินัม (COCFMO) พื้นผิวเคาน์เตอร์ด้วยสารหล่อลื่นที่แตกต่างกันซึ่งผลกระทบของกรดไฮยาลูโรนิก (HA) และปริมาณโปรตีนในสารหล่อลื่นถูกตรวจสอบ ซึ่งจากการวัดในหลอดทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของการปลูกถ่ายของวัสดุฝังข้อต่อพารามิเตอร์การวัดจะต้องจำลองในสภาพร่างกายถึงแม้ว่าลักษณะของข้อต่อของมนุษย์นั้นเป็นแบบไดนามิก ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าถึงแม้การขนถ่ายแบบไดนามิกจะไม่ส่งผลกระทบต่อวิวัฒนาการของแรงเสียดทานสำหรับสารหล่อลื่นใด ๆ ก็ตามค่าความเสียดทานลดลงสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่มีส่วนผสมของ HA ผลการวิจัยพบว่าปริมาณโปรตีนในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนั้นให้การป้องกันสูงสุดกับการสึกหรอสำหรับพื้นผิวเลื่อนโคบอลต์โครเมียมได้

Weston J. Wood และคณะ [54] มีความต้องการปรับปรุงคุณสมบัติของโพลีเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพิเศษ (UHMWPE) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานด้านชีวการแพทย์ซึ่งผู้รับการเปลี่ยนข้อต่อมักจะประสบปัญหาจากการเสื่อมสภาพก่อนกำหนดของความสมบูรณ์ของข้อต่อ ซึ่งเทคโนโลยีคอมโพสิตโดยทั่วไปเป็นตัวเลือกที่ทำงานได้สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้ แต่อย่างไรก็ตาม UHMWPE ก็มีความเหนียวสูงมากและการประมวลผลของวัสดุผสมจำนวนมากนั้นจำกัดอยู่ที่การผสมแบบแห้งก่อนการอัดขึ้นรูปทำให้การกระจายตัวของฟิลเลอร์ไม่ดีและคาดเดาไม่ได้ ในการศึกษา Carbon nanofiber (CNF)-UHMWPE คอมโพสิตถูกจัดทำขึ้นโดยการผสมละลายด้วย

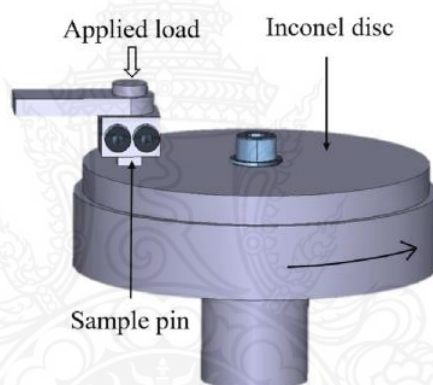
น้ำมันพาราฟิน พาราฟินช่วยการผสมแบบละลายนั้นส่งผลให้การกระจายของฟิลเลอร์ดีขึ้นอย่างมาก เมื่อทำการโหลดต่ำ เมื่อทำการผสมเทียบกับวิธีการประมวลผลทั่วไปของ UHMWPE อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวที่โหลดสูงเริ่มแรกไม่เป็นที่น่าพอใจต่อจากนั้นความเข้มข้นของน้ำมันพาราฟินก็ถูกปรับให้เหมาะสมและให้ผลเป็นคอมโพสิต UHMWPE สุดท้ายได้รับการปรับปรุงการทดสอบการสึกหรอที่การโหลดต่ำ 1 wt.% ส่งผลให้ปริมาณพาราฟินที่เหมาะสมและคุณสมบัติการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นที่ 35 wt% โดยปริมาณ UHMWPE ไปจนถึงพาราฟินซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายคอมโพสิตให้ผลผลิตสูงกว่าที่พบในวรรณกรรมโดยใช้เทคนิคการประมวลผลที่คล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด(SEM) ของพื้นผิวแตกหักจากการผสม UHMWPE ละลายด้วยน้ำมันพาราฟิน [54]

Hari Shankar Vadivel และคณะ [55] ได้ทำศึกษาเกี่ยวกับขนาดอนุภาคน้ำหนักโมเลกุล และการประมวลผลของ UHMWPE ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนเชิงกลและไตรโบโลยีหรือไม่ โดยผู้ศึกษาได้สร้างชิ้นงานจาก UHMWPE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคต่างกันในรูปแบบแผ่นดิสก์ UHMWPE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค $140 \mu\text{m}$ ได้มาจาก Celanese Corporation สหรัฐอเมริกา

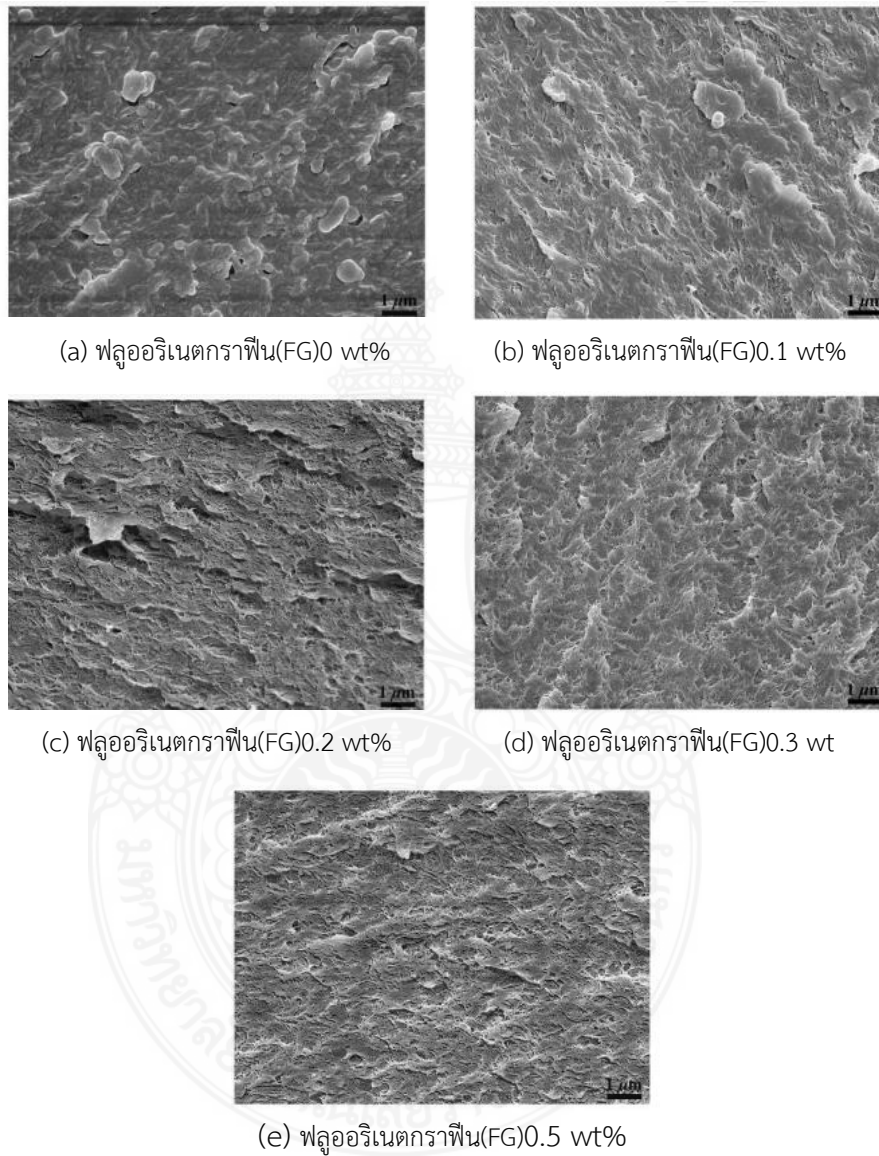
ในขณะที่ส่วนที่เหลือได้มาจาก Mitsui Chemicals GmbH ประเทศเยอรมันนี้ ทั้งหมดมีความหนาแน่น ค่าน้ำหนักโมเลกุลและคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุลต่อสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์และไตรโบโลยี จากการวิเคราะห์เชิงกลแบบไดนามิกในการกวาดล้างแอมพลิฟิเคชันตามความถี่และการทดสอบอุณหภูมิพบว่าขนาดอนุภาคและน้ำหนักโมเลกุลไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดเก็บ การสูญเสีย และโมดูลัสที่ซับซ้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของคุณสมบัติไตรโบโลยี ในทำนองเดียวกัน ไม่พบความแตกต่างในด้านพฤติกรรมระหว่าง ตัวอย่างที่บดและตามที่ได้รับซึ่งหมายความว่าผลกระทบไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนเชิงกลของเกรด UHMWPE ต่างๆ การวัด DSC และ TGA สนับสนุนข้อสรุปนี้ การทดสอบทางไตรโบโลยีสามารถระบุว่าจะไม่มีความแตกต่างหรือไม่มีความสำคัญในประสิทธิภาพของเกรด UHMWPE ต่างๆ



รูปที่ 2.29 หมุดสำหรับการทดสอบไตรโบโลยีของแผ่นดิสก์ [55]

L. Xu Y และคณะ [56] ได้นำวัสดุ 2 ชนิดมารวมกัน ได้แก่ ฟลูออรีเนตกราฟีน(Fluorinated graphene ,FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ultra-high molecular weight polyethylene,UHMWPE) โดยใช้วิธีการกระจายตัวแบบอัลตราโซนิกและวิธีเทอร์โมฟอร์มของเหลว ในการตรวจสอบสมบัติทางกลและไตรโบโลยีของฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งระดับไมโครและเครื่องทดสอบแรงเสียดทานแบบลูกสูบความเร็วสูง ผลการวิจัยพบว่า: การเติมฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) ไม่เพียงแต่จะเพิ่มความแข็งระดับไมโครของทั้งวัสดุ 2 ชนิด (composites)เท่านั้น แต่ยังลดปริมาณการสึกหรอของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ลงได้เป็นอย่างมากอีกด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดสีของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ก็ลดลงเช่นกัน เมื่อมีปริมาณฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เซลล์ MC3T3-E1 ยังเกาะติดและเติบโตได้ดีบนพื้นผิวของฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) ตามที่

สังเกตโดย SEM และกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) ไม่ส่งผลกระทบต่อสัณฐานวิทยาและปฏิกิริยาของเซลล์ฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม สมบัติไตรโบโลยีและความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนข้อต่อเทียมที่มีศักยภาพ



รูปที่ 2.30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (SEM) ของพื้นที่ผิวที่แตกหักของคอมโพสิต FG/UHMWPE ที่มีปริมาณ FG ต่างกัน [56]

พีรศิษฐ์ จุลละโพธิ และคณะ [57] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางความร้อนและทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด โดยพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเป็นส่วนผสมหลัก และนำการเพิ่มสารเติมแต่งอลูมิเนียมออกไซด์ด้วยสัดส่วน 10 wt% มาเป็นฟิลเลอร์ นำมาผสมกันโดยผ่านกระบวนการผสมแบบแยก ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อนในแม่พิมพ์และทำการทดสอบสมบัติทางกลและทางความร้อน แล้วดำเนินการเปรียบเทียบคุณสมบัติ กับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ไม่มีการเติมแต่งสารใดๆ ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสาร อลูมิเนียมออกไซด์ด้วยสัดส่วน 10 wt% สามารถส่งผลให้ค่าความแข็ง Shore D ค่าความเค้นคราก ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าความต้านทานแรงกระแทก มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนัก โมเลกุลสูงยิ่งยวดบริสุทธิ์ และมีค่าการนำความร้อนของคอมโพสิต UHMWPE/Al₂O₃ เพิ่มขึ้นจาก 0.33 เป็น 0.48 W/(mK)

พีรศิษฐ์ จุลละโพธิ และคณะ [58] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อไทรโบโลยีและการสึกหรอของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด :ซึ่งได้นำพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเป็นส่วนผสมหลักและเพิ่มสารเติมแต่งอลูมิเนียมออกไซด์ด้วยสัดส่วน 10 wt% มาเป็นฟิลเลอร์ นำมาผสมกันโดยผ่านกระบวนการผสมแบบแยกขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อนในแม่พิมพ์ที่ความดัน 5 MPa ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 90 นาที และทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ความแข็ง, อัตราการสึกหรอ และปริมาณการสึกหรอของคอมโพสิตสังเคราะห์ โพลีเมอร์ ตามมาตรฐาน ASTM G77 ดำเนินการเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ไม่มีการเติมแต่งสารใดๆ ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอลูมิเนียมออกไซด์ด้วยสัดส่วน 10 wt% ส่งผลให้ค่าความแข็ง Shore D ค่าความเค้นคราก ค่าความต้านทานแรงดึง สูงสุด ค่าความต้านทานแรงกระแทก ประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดบริสุทธิ์

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้นี้จะมีกระบวนการวิจัยประกอบไปด้วย วิธีการดำเนินการวิจัย ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ หลักการวิเคราะห์สมบัติทางกลและการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเชิงประกอบและหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุเชิงประกอบที่มี UHMWPE เป็นส่วนผสมหลักและมีผงอลูมิเนียมเป็นฟิลเลอร์ โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.1.1 ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดขึ้นรูปผง UHMWPE การทดสอบสมบัติทางกลและการทดสอบความต้านทานการสึกหรอที่มี UHMWPE เป็นส่วนผสมหลักและศึกษาเกี่ยวกับผงอลูมิเนียม(AL) จากวารสารวิชาการและวิจัย หนังสือ อินเทอร์เน็ต และสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรต่างๆ

3.1.1.2 การกำหนดตัวแปร ระเบียบวิธีวิจัย แนวทางวิจัย กรอบการวิจัย และการวางแผน การเตรียมการดำเนินงาน

3.1.1.3 จัดหาซื้อวัสดุผงโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง UHMWPE และสารเพิ่มสมบัติทางกล คือ ผงอลูมิเนียม (AL) เพื่อสร้างวัสดุเชิงประกอบแบบใหม่ ด้วยอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

3.1.1.4 วิเคราะห์อนุภาคผงโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงและผงอลูมิเนียม (AL) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดตั้งโต๊ะพร้อมชุดวิเคราะห์ธาตุ (FESEM with EDS) ประสิทธิภาพสูง ถ่ายภาพด้วย SEM เพื่อศึกษารายละเอียดพื้นผิว โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ วิเคราะห์ธาตุด้วย EDS เพื่อหาขนาดและปริมาณธาตุของตัวอย่าง

3.1.1.5 สร้างแม่พิมพ์สี่เหลี่ยมสำหรับการขึ้นรูปผงให้เป็นแผ่นชิ้นงานคอมโพสิต

3.1.1.6 ทำการผสมผง UHMWPE และผงอลูมิเนียม (AL) ตามอัตราส่วนที่กำหนดด้วยเครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์

3.1.1.7 ทำการตัดชิ้นงานทดสอบตามลักษณะการทดสอบเครื่องตัดชิ้นงานยี่ห้อ BUEHLER รุ่น IsoMet และเครื่องกัดชิ้นงาน สำหรับตัวอย่างชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638

3.1.1.8 ทำการทดสอบสมบัติทางกลและทดสอบความต้านทานการสึกหรอของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม (Al)

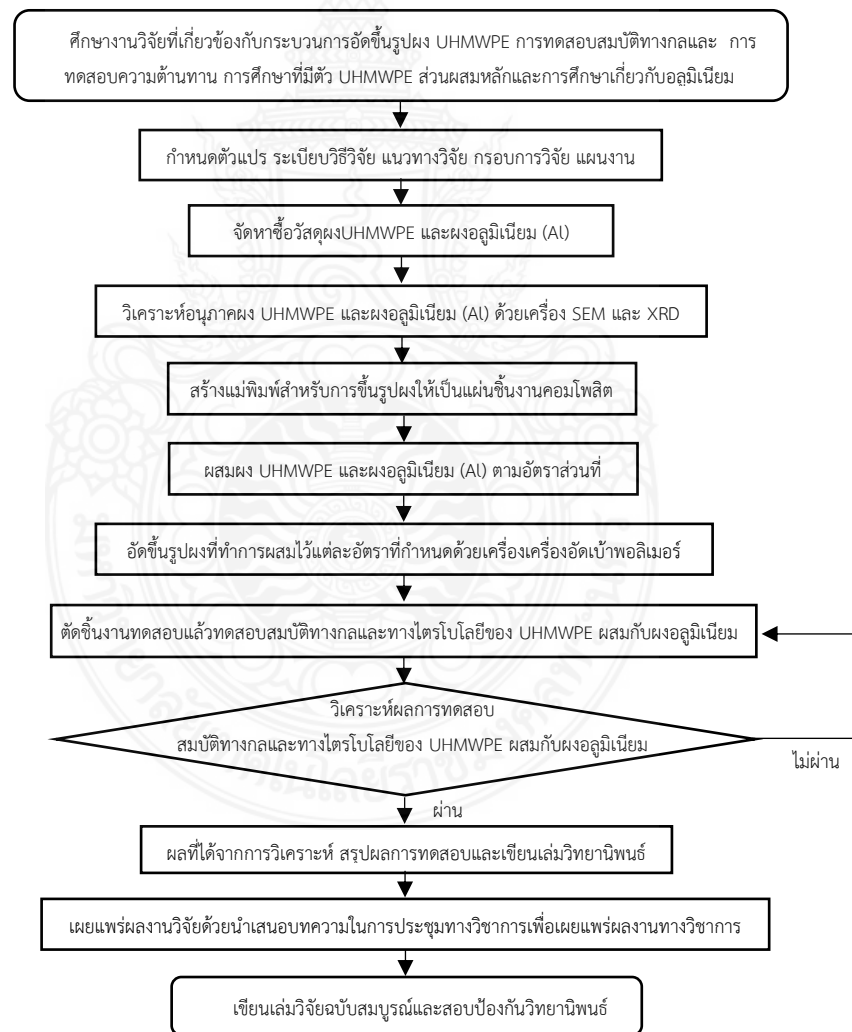
3.1.1.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติทางกลและทางไตรโบโลยีของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม (Al)

3.1.1.10 วิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของ UHMWPE composite

3.1.1.11 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผลการทดสอบ และเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

3.1.1.12 เผยแพร่ผลงานวิจัยด้วยนำเสนอบทความในการประชุมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

3.1.1.13 สอบป้องกันวิทยานิพนธ์



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

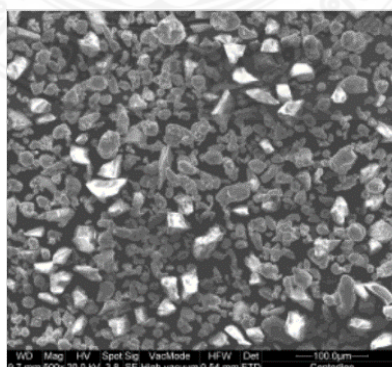
3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลองศึกษาวิจัย

3.1.2.1 วัสดุผง UHMWPE U511 เป็นโพลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพิเศษ พร้อมตัวกันการกัดกร่อน (CS) ในรูปแบบผงโดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 5.5 ล้านกรัมต่อโมล มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 125 μm น้ำหนักโมเลกุลที่สูงมากให้คุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์หลายประการ รวมถึงความต้านทานต่อการเสียดสีสูง ความต้านทานแรงกระแทก และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ของบริษัท IRPC Public Company Limited ประเทศไทย ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของ UHMWPE U511 [5]

Properties	Unit	Value
Density	g/cm^3	0.93
Bulk density	g/cm^3	≥ 0.40
Intrinsic viscosity $[\eta]$	mL/g	2300
Average molecular weight (cal.)	g/mol	5.5×10^6
Average particle size, X50	μm	150
Tensile strength at yield	MPa	22
Tensile strength at break	MPa	35
Ultimate elongation	%	≥ 300
Izod impact strength	J/m	NB
Hardness	Shore D	63
Melting temperature (10°C/min)	°C	130 – 135
Vicat softening point (1Kg)	°C	125 – 128

3.1.2.2 อลูมิเนียม หมายเลข SST-A0050 ของบริษัท CenterLine(Windsor) จำกัด มีองค์ประกอบของอลูมิเนียม(Al) 99.5 % ขนาดอนุภาค -45 ถึง +5 μm มีอนุภาครูปทรงที่ไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายขยายลักษณะของผงอลูมิเนียมเบอร์ SST-A0050 [59]

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองศึกษาวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยมีดังนี้

3.1.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Shimadzu รุ่น ATX224R ชั่งวัสดุแบบชั่งจากด้านบน ชนิดอ่านละเอียด แสดงผลเป็นตัวเลข ความละเอียดในการอ่านได้ 0.0001 กรัม ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 220 กรัม จานขนาดกว้าง×ยาว 180×180 มิลลิเมตร ได้รับมาตรฐาน: ISO 9001

3.1.3.2 เครื่องผสมสารแบบตัววี ตัวเครื่องทำจากสแตนเลส ใช้สำหรับการผสมพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเข้ากับผงอลูมิเนียมด้วยการผสมแบบแห้ง

3.1.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดตั้งโต๊ะพร้อมชุดวิเคราะห์ธาตุ (FESEM with EDS) ยี่ห้อ Thermo Scientific ประสิทธิภาพสูง มีกำลังขยายสูงสุด 1,000,000 เท่า

3.1.3.4 เครื่องขัดเตรียมผิวชิ้นงานจานคู่ Metaserv 250 สามารถปรับความเร็วรอบที่ปรับได้ ตั้งแต่ 50–500 รอบต่อนาที

3.1.3.5 อุปกรณ์ในการเตรียมผงเพื่อผสมผง UHMWPE และผงอลูมิเนียมเข้าด้วยกัน

3.1.3.6 ตู้อบความร้อน เป็นตู้เตาอบลมร้อน ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 53L สามารถปรับอุณหภูมิได้ถึง 300 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาการทำงานได้

3.1.3.7 เครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์ เป็นเครื่องอัดเข้าขึ้นรูปพอลิเมอร์แบบไฮดรอลิค ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า สามารถใช้แรงดันการอัดสูงสุด 55 ตัน ทำความร้อนสูงสุดได้ 400 องศาเซลเซียส แทนอัดเข้าประจำเครื่องมีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร

3.1.3.8 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปขนาดความกว้าง 80 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร สามารถอัดขึ้นงานให้มีความหนาในช่วง 5-30 มิลลิเมตร

3.1.3.9 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล ซึ่งประกอบด้วย เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง เครื่องทดสอบแรงกระแทก และเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore D

3.1.3.10 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับทดสอบและวิเคราะห์สมบัติความต้านทานการสึกหรอเป็นเครื่องทดสอบการสึกหรอวิธีการ Block on ring ใช้สำหรับหาประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี

3.2 การดำเนินการเตรียมผงวัสดุ UHMWPE ผสมกับอนุภาคอลูมิเนียม (Al)

ในการทดลองมีการกำหนดอัตราส่วนผสมของผงอนุภาคอลูมิเนียม (Al) ต่อผง UHMWPE เท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% โดยทำการผสมด้วยน้ำหนักรวม 100 g ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดน้ำหนักรวม 100 กรัม ของผงอนุภาคอลูมิเนียม(AL) ต่อผง UHMWPE

ชั้นทดสอบ	อัตราส่วนผสม (wt%)		ปริมาณการผสมรวม (กรัม)		น้ำหนักรวม (กรัม)
	ผงอลูมิเนียม(AL)	ผง UHMWPE	ผงอลูมิเนียม(AL)	ผง UHMWPE	
1	2.5 %	97.50 %	2.5	97.50	100
2	5 %	95.00 %	5	95.00	100
3	7.5 %	92.50 %	7.5	92.50	100
4	10 %	90.00 %	10	90.00	100

ขั้นตอนการเตรียมผง UHMWPE สำหรับการอัดขึ้นรูปชั้นทดสอบที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักผง UHMWPE ด้วยปริมาณต่างๆ ตามอัตราส่วนการผสมที่กำหนดในตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 mg ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมอุปกรณ์และการชั่งน้ำหนักผง UHMWPE ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 mg

2. ชั่งน้ำหนักผงอนุภาคอลูมิเนียม (AL) ด้วยปริมาณตามอัตราส่วนที่กำหนด ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 mg ดังรูปที่ 3.3

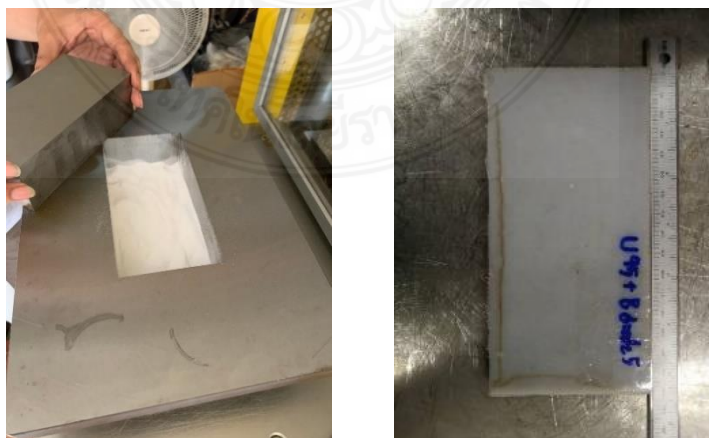
3. เทผงอนุภาคอลูมิเนียม (AL) กับผง UHMWPE ตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วปั่นผสมด้วยเครื่องผสมสารตัววี เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นการผสมแบบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการชั่งตวงน้ำหนักของ UHMWPE กับผงอลูมิเนียม (Al)

3.3 การอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบวัสดุก้อน UHMWPE ผสมอนุภาคอลูมิเนียม (Al)

นำ UHMWPE ผสมอลูมิเนียม (Al) หลังจากผ่านการอบแห้งแล้วจะนำไปทำการอัดขึ้นรูปทันที เพื่อป้องกันไม่เกิดการรวมตัวกับความชื้นในบรรยากาศที่ทำให้ผง UHMWPE ผสมฟิลเลอร์อนุภาค อลูมิเนียม (Al) ด้วยเครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์ เป็นเครื่องอัดเข้าขึ้นรูปพอลิเมอร์ด้วยไฮดรอลิค ควบคุม ด้วยระบบไฟฟ้า สามารถใช้แรงดันการอัดสูงสุด 55 ตัน ทำความร้อนสูงสุดได้ 400 องศาเซลเซียส แทนอัดเข้าประจำเครื่องมีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร มี ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปขนาด 300x350x10 mm



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์สำหรับขึ้นรูปขึ้นทดสอบวัสดุก่อนผงอนุภาคUHMWPE ผสมกับผงอนุภาคอลูมิเนียม (Al)

3.4 การศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี

3.4.1 การทดสอบความแข็ง

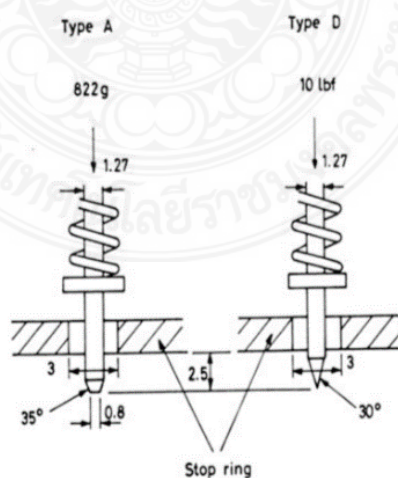
ความแข็ง (Hardness) ในที่นี้หมายถึงการต้านทานการเปลี่ยนรูป (deformation) ของวัสดุ ซึ่งค่าที่วัดได้จากการทดสอบจะไม่ใช่ค่าสัมบูรณ์แต่จะเป็นค่าในเชิงเปรียบเทียบ (relative term) การทดสอบความแข็งสำหรับพอลิเมอร์ที่นิยมทำการทดสอบโดยทั่วไปสามารถทำการทดสอบได้ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ (ตารางที่ 3.3) กล่าวคือ การทดสอบแบบ Rockwell จะใช้กับพอลิเมอร์หรือพลาสติกที่มีลักษณะแข็งหรือมีความแข็งสูง เช่น พอลิสไตรีน พอลิเมธิลเมทาคริเลต และไนลอน เป็นต้น ในขณะที่การทดสอบแบบ Durometer จะใช้กับพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนตัวมากกว่า ตัวอย่างเช่น ยางชนิดต่างๆ รวมทั้งพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดที่เติมสารเพิ่มสภาพพลาสติก (plasticized PVC) และพอลิเอทิลีน หลักการพื้นฐานของการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell คือ การวัดความลึกของลูกบอล เหล็กกล้าที่ใช้เป็นตัวกดวัด (indenter) โดยในการทดสอบจะมี 3 ขั้นตอนหลักๆ โดยเริ่มจากการวางน้ำหนักรอง (minor load) ประมาณ 10 kg ลงบนลูกบอลเหล็กกล้าเพื่อให้เกิดแรงกดลงสัมผัสกับผิวชิ้นงานทดสอบจากนั้นจึงทำการ set zero (ภายในเวลา 10 วินาที มิฉะนั้นค่าความแข็งอาจจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเป็น viscoelastic ของพอลิเมอร์) หลังจากนั้นจึงเพิ่มแรงหลัก (Major load) ให้กับลูกบอลเหล็กกล้าและทำการกดแช่เป็นเวลานาน 15 นาที เพื่อให้ชิ้นงานเกิดการคืนตัว (recover) แล้วจึงอ่านค่าความแข็งจากสเกลของเครื่องวัดโดยจะมีหน่วยกำกับเป็นสัญลักษณ์ R, L, M, E อยู่ข้างหลังตัวเลข โดยขึ้นอยู่กับชนิดของลูกบอลเหล็กกล้าและแรงที่ใช้กดตั้งรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ชนิดของลูกบอลเหล็กกล้าและแรงกดที่ใช้ในการทดสอบค่าความแข็งแบบต่างๆ

Scale	Major load (kg)	Diameter of indenter (in)
R	60	1/2
L	60	1/4
M	100	1/4
E	100	1/8

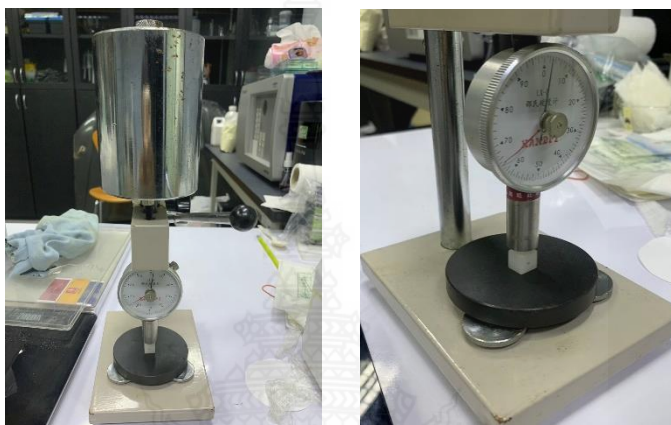
สเกล R และ L จะใช้สำหรับพลาสติกที่มีค่าความแข็งต่ำสำหรับในส่วนของสเกล M และ E จะใช้ สำหรับพลาสติกที่มีความแข็งสูงโดยในแต่ละสเกลที่ใช้ในการทดสอบนั้นถ้าหากตัวเลขที่อ่านได้จากหน้าปัดมีค่าเกิน 115 จะถือว่าความไว (sensitivity) ของการวัดนั้นสูญเสียไปและจำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้สเกลทดสอบถัดไป หลักการพื้นฐานของการทดสอบความแข็งแบบ Durometer การใช้ durometer วัดความแข็งพอลิเมอร์สามารถทำได้โดยการวางชิ้นงานบนผิวเรียบกดเข็มหัววัดลงบนชิ้นงานจนกระทั่งสุดระยะของเข็มหัววัด (ถึงจุด stop ring) แล้วทำการอ่านค่าความแข็งจากหน้าปัดภายในระยะเวลาคงที่ (เช่นประมาณ 10 วินาที) ซึ่งตัวเลขที่อ่านค่าได้จาก durometer นี้จะไม่มีหน่วย

Durometer ที่ใช้ในการทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบ Shore A และ แบบ Shore D ดังลักษณะของวิธีการที่แสดงในแผนภาพในรูปที่ 3.7 ซึ่งวิธีการทดสอบความแข็ง Durometer ทั้ง 2 แบบนี้จะแตกต่างกันในแง่ของรูปทรงและขนาดของหัวกด โดยทั่วไปแล้ว Shore A จะใช้กับวัสดุที่อ่อนกว่าในขณะที่ Shore D จะใช้กับวัสดุที่แข็งกว่าเล็กน้อย [5]



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของหลักการทดสอบความแข็งแบบ Shore A และ แบบ Shore D [5]

สำหรับการทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบในโครงการนี้ ผู้วิจัยเลือกการทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยแรงกดหรือน้ำหนักที่กดลงบนชิ้นทดสอบเท่ากับ 4,450 กรัม การทดสอบทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความแข็ง Durometer แบบ Shore D และลักษณะการทดสอบความแข็ง

3.4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลที่ทำการศึกษานี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเค้นคราก ความต้านแรงดึงสูงสุดและความยืดของชิ้นทดสอบ โดยทำการทดสอบด้วยการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR 10K plus ที่มีขนาดแรงดึงสูงสุด 10 kN ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.9

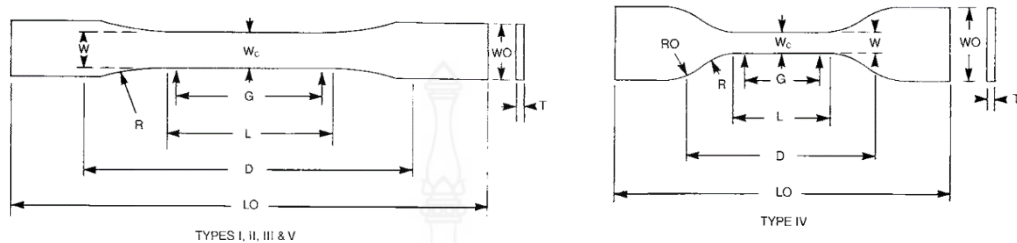


(ก) เครื่องทดสอบแรงดึง

(ข) ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึงและลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

ขนาดของชิ้นทดสอบอ้างอิงชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 type I ซึ่งมีลักษณะกำหนดค่าพิกัดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ในการทดสอบแรงดึงกำหนดความเร็วในการดึงทดสอบเท่ากับ 50 mm/min ลักษณะของชิ้นทดสอบที่เตรียมขึ้นสำหรับการทดสอบแรงดึงมีลักษณะเป็นแผ่นแบนความหนาไม่เกิน 7 mm มีลักษณะแสดงในรูปที่ 3.11



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm [in.]^A

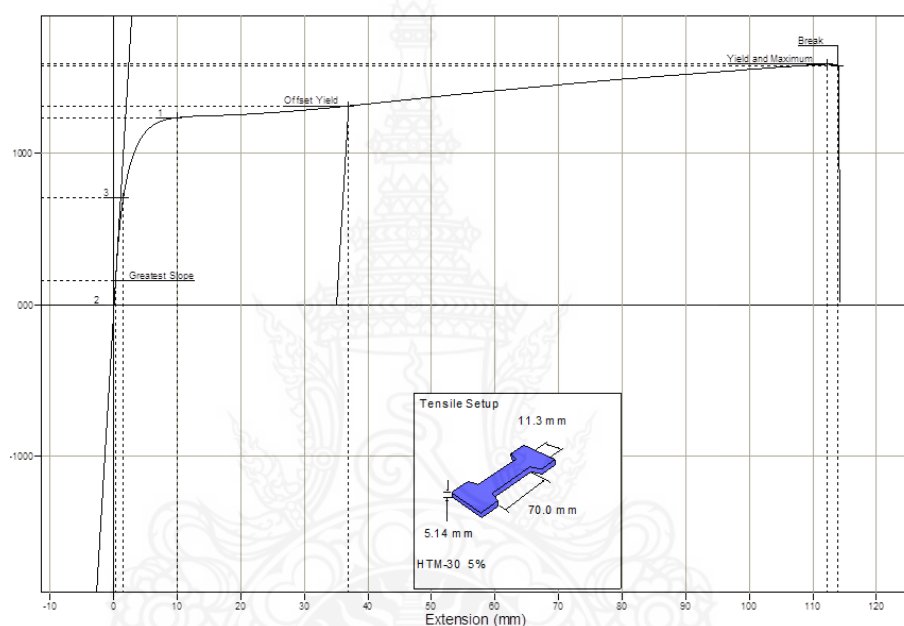
Dimensions (see drawings)	7 [0.28]	Tolerances
	Type I	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 [0.50]	± 0.5 [± 0.02] ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 [2.25]	± 0.5 [± 0.02] ^C
W_O —Width overall, min ^G	19 [0.75]	+ 6.4 [+ 0.25]
W_O —Width overall, min ^G
L_O —Length overall, min ^H	165 [6.5]	no max [no max]
G —Gage length ^I	50 [2.00]	± 0.25 [± 0.010] ^C
G —Gage length ^I	...	± 0.13 [± 0.005]
D —Distance between grips	115 [4.5]	± 5 [± 0.2]
R —Radius of fillet	76 [3.00]	± 1 [± 0.04] ^C
R_O —Outer radius (Type IV)	...	± 1 [± 0.04]

รูปที่ 3.10 ค่าพิกัดของส่วนต่างๆ ของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638



รูปที่ 3.11 ชิ้นทดสอบที่เตรียมสำหรับการทดสอบแรงดึง

หลังจากนั้นจึงทำการดึงขึ้นทดสอบให้แยกออกจากกันด้วยความเร็วของการดึงคงที่เท่ากับ 50 mm/min การทดสอบแรงดึงจะต้องเฝ้าติดตามและบันทึกแรงดึง (F) อัตราการยืดตัวของวัสดุ (ΔL) แล้วทำการแปลงกลับเป็นค่า Engineering stress และ strain ดังตัวอย่างกราฟผลการทดสอบแรงดึงที่แสดงในรูปที่ 3.12 ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงสามารถนำมาคำนวณย้อนกลับหาค่าความเค้นคราก (Yield strength, σ_y) ความเค้นแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength, σ_u) ความเค้น ณ จุดแตกหัก (breaking strength, σ_b) และความยืด ณ จุดแตกหัก (elongation at break, %E)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแรงดึง [5]

3.4.3 การทดสอบแรงกระแทก

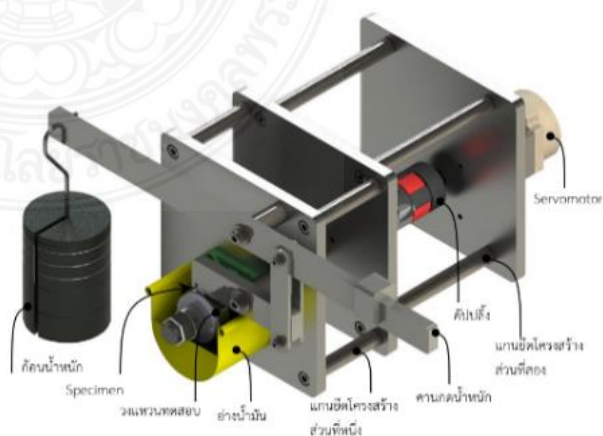
การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลที่ทำการศึกษานี้เป็นการทดสอบความเหนียวหรือการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นทดสอบ โดยทำการทดสอบแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกชิ้นงานพอลิเมอร์ แบบ Izod ตามมาตรฐาน ASTM D256 พลังงานกระแทก 1, 2.75 และ 5.5 จูล มุมทดสอบของค้อน 150 องศา สามารถแปลงหน่วยในการแสดงผลเป็น J, kg-cm, และ lb-in ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และมีข้อควรระวังในการทดสอบนั้น คือขนาดของรอยบาก (notch) ต้องคงที่เพราะขนาดจะมีผลต่อค่าแรงกระแทกหรือค่าความเหนียวได้ นอกจากนี้ความเหนียวของชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบแรงดึงกับค่าที่จากแรงกระแทกอาจจะให้ผลไม่สอดคล้องกันก็ได้เนื่องจากการทดสอบที่สภาวะต่างกัน



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบแรงกระแทกชิ้นงานพอลิเมอร์ แบบ Izod ตามมาตรฐาน ASTM D256

3.4.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติความต้านทานการสึกหรอของชิ้นทดสอบ เป็นการวิเคราะห์จาก อัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Block on Ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 ซึ่งมีหลักการของการทดสอบ ดังลักษณะเครื่องที่แสดงในรูปที่ 3.14 ด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอ ของห้องปฏิบัติการไดรฟ์โพลีสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ โดยกำหนดขนาดความกว้าง x ความยาว x ความหนาเท่ากับ 10x10x10 มิลลิเมตร ซึ่งพื้นผิวของชิ้นทดสอบถูกเตรียมขึ้นด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 2000 พื้นผิววงแหวนมีความหยาบเท่ากับ 0.2 ไมครอน ทำจากเหล็กกล้าแข็ง (AISI 52100) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 มิลลิเมตร ที่ผ่านการชุบแข็งที่ค่าความแข็ง 60 HRC แรงที่ใช้กดลงบนชิ้นทดสอบเท่ากับ 150 นิวตัน เวลาที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 180 นาที ความเร็วของการหมุนวงแหวนเท่ากับ 300 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยระยะทางของการหมุนทดสอบ 5,000 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะของการทดสอบแบบแห้ง



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบการสึกหรอทดสอบแบบ Block on Ringตามมาตรฐาน ASTM G77 [60]



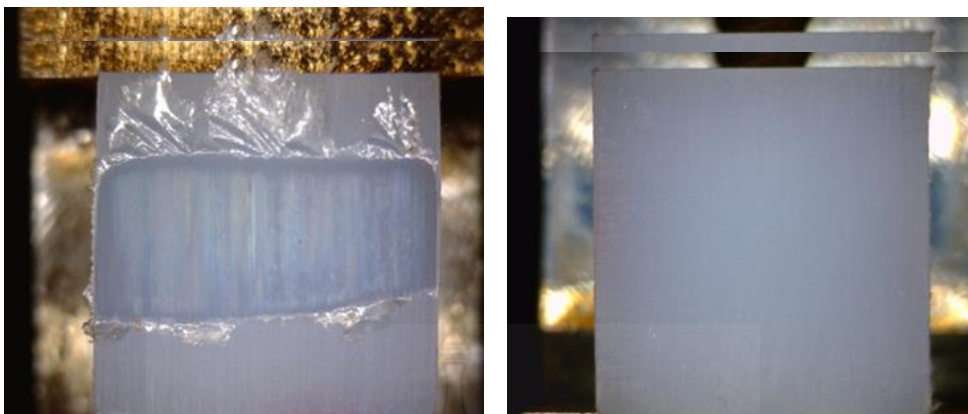
รูปที่ 3.15 เครื่องชั่งน้ำหนัก Shimadzu digital รุ่น ATX224 ความละเอียด 0.1 mg (0.0001 g) สำหรับชั่งตวงหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบ

สำหรับในส่วนของการวิเคราะห์อัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบนั้น วิเคราะห์จากการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการทดสอบ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลที่มีความละเอียดด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง แสดงในรูปที่ 3.15 คำนวณอัตราการสึกหรอด้วยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเพื่อหาปริมาณที่สูญเสีย และนำไปหารกับผลคูณระหว่างแรงที่ใช้ในการกดบน Block กับระยะทางที่ใช้ในการทดสอบ [7]

หลังจากชิ้นทดสอบผ่านการหมุนทดสอบจนได้ระยะทาง 5,000 เมตร ตามที่กำหนดแล้ว นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบและฟิกเจอร์จับยึดชิ้นทดสอบไปทำการบันทึกภาพหลักฐานรอยสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการสึกหรอ ดังตัวอย่างการถ่ายภาพรอยสึกหรอที่แสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งลักษณะรอยสึกหรอของชิ้นทดสอบหลังจากการทดสอบมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพรอยสึกหรอของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.17 ลักษณะการสึกหรอของชิ้นทดสอบหลังและก่อนการทดสอบ

3.4.4.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการทดสอบการสึกหรอ

ขั้นตอนการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการทดสอบการสึกหรอประกอบด้วย

1. เตรียมชิ้นทดสอบทดสอบการสึกหรอให้ได้ขนาด 10×10×10 มิลลิเมตร
2. นำชิ้นทดสอบทดสอบการสึกหรอมาชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ยี่ห้อ Shimadzu digital รุ่น ATX224
3. จับยึดชิ้นทดสอบด้วยฟิกเจอร์จับยึดชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบการสึกหรอ
4. นำฟิกเจอร์ที่ได้จับยึดชิ้นทดสอบมาจับยึดเข้าเครื่องทดสอบการสึกหรอ ภายใต้แรงกดชิ้นทดสอบ 150 นิวตัน
5. เปิดเครื่องทดสอบให้ทำการหมุนเสียดสีชิ้นทดสอบด้วยความเร็วของการเสียดทาน 0.3 เมตรต่อวินาที เป็นระยะทาง 5000 เมตร
6. นำฟิกเจอร์จับยึดชิ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ และบันทึกภาพรอยสึกหรอ
7. นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญหายไปของชิ้นทดสอบ

3.4.4.2 การคำนวณและวิเคราะห์อัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบ

เมื่อนำชิ้นทดสอบชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญหายไปของชิ้นทดสอบเรียบร้อยแล้ว ให้ดำเนินการคำนวณหาอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบได้จากการคำนวณหาอัตราการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบเทียบกับแรงกดชิ้นทดสอบคูณระยะทางของการทดสอบ ตามที่แสดงบทที่ 2 ข้อที่

2.1.5.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

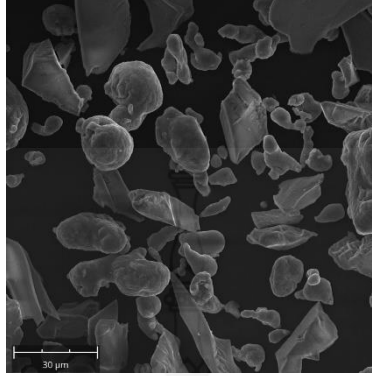
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัยทั้งหมดที่ได้ดำเนินการด้วยกระบวนการที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ประกอบด้วยการวิเคราะห์ผลของการทดสอบสมบัติทางกลและผลของการทดสอบหาประสิทธิภาพทางไดรโพลีของผง UHMWPE โดยพิจารณาจากสมบัติทางกลและการทดสอบหาประสิทธิภาพทางไดรโพลีที่มีความเหมาะสมที่สุดในการผสมฟิลเลอร์ที่เป็นผงอลูมิเนียม (Al) ตามอัตราการผสมร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบหาปริมาณฟิลเลอร์อลูมิเนียมที่มีผลต่อสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไดรโพลี โดยรายละเอียดผลการดำเนินการได้มีการแยกอธิบายตามกลุ่มการทดลองที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับ UHMWPE และ อลูมิเนียม (Al)

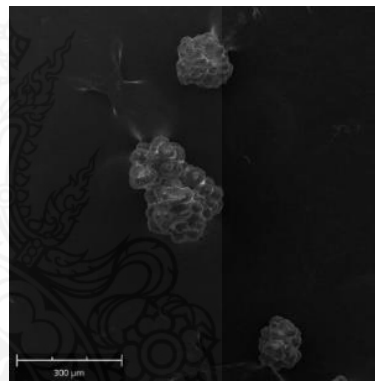
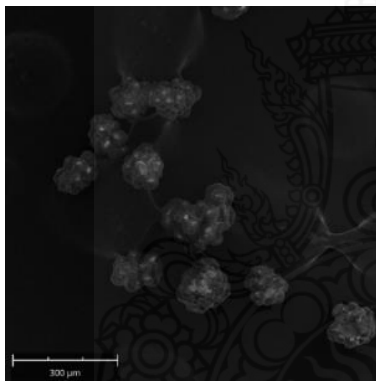
วัสดุฟิลเลอร์ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นผงอลูมิเนียม (Al) ก่อนทำการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างของวัสดุที่ทดสอบ จะต้องทำการเคลือบผิวทองคำขาวลงบนผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Sputter Coaters ยี่ห้อ QUORUM รุ่น Q150R ES ซึ่งใช้สำหรับการเคลือบผิวเป็นขั้นตอนสุดท้ายการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าในสภาวะความเป็นสุญญากาศสูง (HV) ซึ่งจะใช้โลหะฉาบลงบนตัวอย่างภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อทำให้เกิดสภาพการนำไฟฟ้า จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope : (SEM) ยี่ห้อ Thermo Scientific ประสิทธิภาพสูง มีกำลังขยายสูงสุด 1,000,000 เท่า ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดเล็กมาก ๆ ของตัวอย่างทางชีวภาพ โดยเครื่องวิเคราะห์ที่ใช้ศึกษาโครงสร้างภาคพื้นวัสดุทดสอบของสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จากรูปที่ 4.1 –4.4 เป็นการนำพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดและผงอลูมิเนียมเข้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้วิเคราะห์พื้นผิวของตัวอย่างโดยลำแสงอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 2 และ 3 มิติ อนุภาคผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดจะมีลักษณะกลมขนาด 30 ไมครอน เกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนหนึ่งๆ และมีฟุ้งยึดเกาะเข้าด้วยกันที่มีขนาดกลุ่มก้อนขนาดประมาณ 150-200 ไมครอน สำหรับผงอลูมิเนียมจะมีลักษณะเป็นแท่งปริซึมและกลมเคล้า

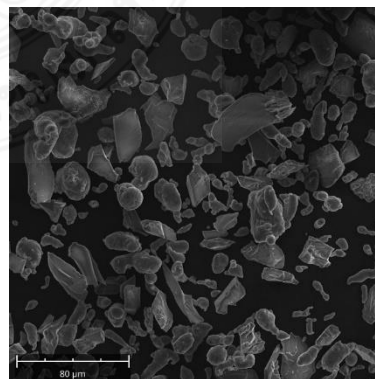
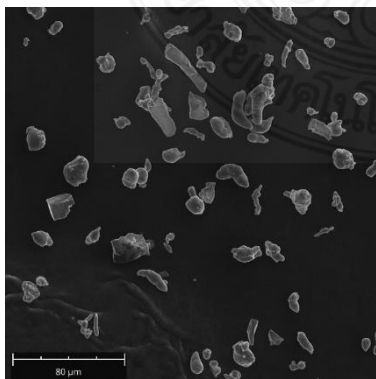
กันที่มีขนาดเฉลี่ย 10-50 ไมครอน ผลลัพธ์ที่ได้คือการยืนยันว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็น UHMWPE และ อลูมิเนียม (Al) อย่างแท้จริง



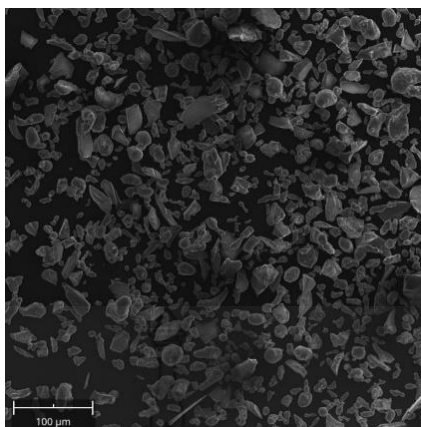
รูปที่ 4.1 รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 30 ไมครอน



รูปที่ 4.2 รูปลักษณะพื้นฐานของ UHMWPE จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 ไมครอน



รูปที่ 4.3 รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 80 ไมครอน



รูปที่ 4.4 รูปลักษณะพื้นฐานของอลูมิเนียม (Al) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยาย 100 ไมครอน

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี

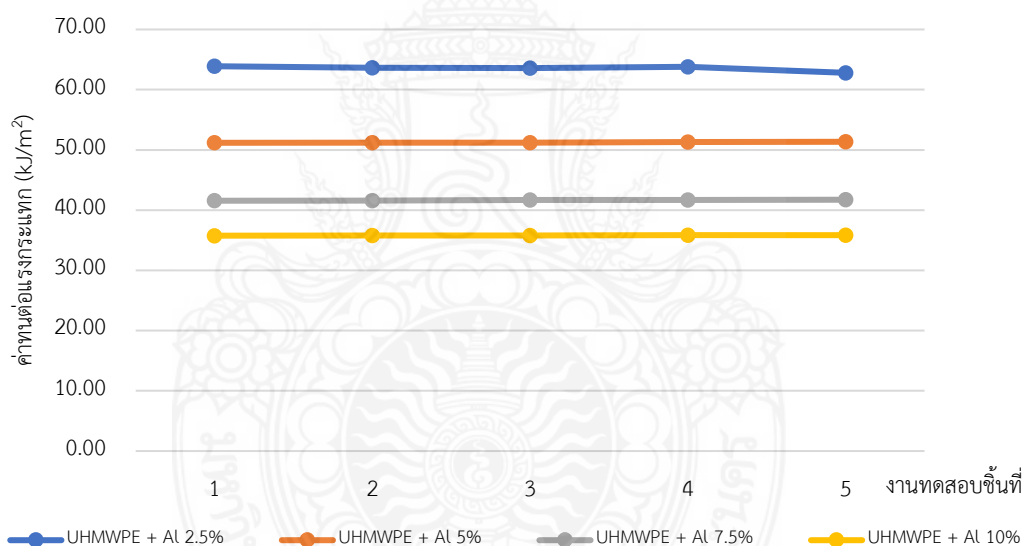
4.2.1 การทดสอบการกระแทก

การทดสอบแรงกระแทกหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าทดสอบความเหนียวเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการรับแรงกระแทก (Dynamic Load) ของวัสดุ โดยได้ใช้เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ GOTECH testing Machines Inc. โมเดล GT-7045- HML เป็นงานทดสอบแบบ Charpy Impact Test ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ชิ้นงานทดสอบในครั้งนี้มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความหนา โดยประมาณเท่ากับ 2.5x55x10 มิลลิเมตร มีความลึกของรอยบาก 2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E23 ชิ้นงานทดสอบมีการผสมระหว่าง UHMWPE ที่เป็นวัสดุหลักและผสมฟิลเลอร์ที่เป็นอลูมิเนียม (Al) ที่อัตราส่วนผสมอลูมิเนียมร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% ในแต่ละอัตราส่วนผสมผ่านการทดสอบแรงกระแทกด้วยชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นทดสอบ ทำให้ได้ผลการทดสอบคือค่าความทนต่อแรงกระแทก (เป็น kJ/m^2) ตามตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าทนต่อแรงกระแทกชิ้นทดสอบจำนวน 5 ชิ้นทดสอบ ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE กับอลูมิเนียมที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกต่ำลง โดยมีค่าทนต่อแรงกระแทกเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 63.54 kJ/m^2 , 51.25 kJ/m^2 , 41.65 kJ/m^2 และ 35.80 kJ/m^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในด้านค่าความทนต่อแรงกระแทกเบื้องต้นนี้ ที่อัตราส่วนผสมอลูมิเนียมยิ่งเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกตกลงอย่างเป็นนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.1 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมอลูมิเนียมที่ร้อยละของอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่าทนต่อแรงกระแทก (kJ/m ²) ชั้นทดสอบชั้นที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	63.89	63.65	63.58	63.78	62.80	63.54
UHMWPE + Al 5%	51.18	51.22	51.20	51.30	51.35	51.25
UHMWPE + Al 7.5%	41.56	41.58	41.70	41.68	41.73	41.65
UHMWPE + Al 10%	35.76	35.78	35.81	35.85	35.82	35.80



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของUHMWPEผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชั้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงค่าความทนต่อแรงกระแทกของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) ตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPEผสมกับอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชั้นงานทดสอบซึ่งพบว่างานชั้นทดสอบในแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน แล้วเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมอลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าทนต่อแรงกระแทกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2 การทดสอบความแข็ง

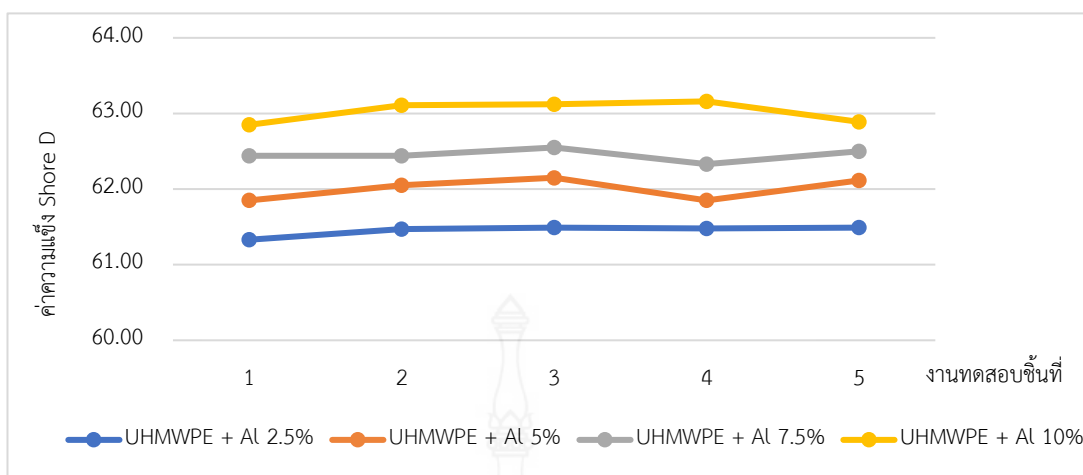
การทดสอบความแข็งเป็นการแสดงสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานในการเกิดรอยกุดที่พื้นผิว ซึ่งในการทดสอบในครั้งนี้ได้เลือกการทดสอบความแข็งแบบ Durometer แบบ Shore ยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยขึ้นทดสอบวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140 °C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง ใช้การทดสอบแบบ Shore D ที่หัวเข็มมีลักษณะแหลม (หัวเข็มเป็นส่วนสำคัญมากที่จะต้องเลือกให้ถูกต้อง) การวัดความแข็งในหน่วย Shore D นั้นจะวัดความแข็งออกมาด้วยการพิจารณาจากระยะของหัวเข็มที่จมลงไปเนื้อวัสดุแล้วแปลงค่าออกมาเป็นค่าความแข็งในหน่วย Shore ผลการทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 (JIS K 7215 D, ISO R 868 D)

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่าความแข็ง Shore D ขึ้นทดสอบชั้นที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	61.33	61.47	61.49	61.48	61.49	61.45
UHMWPE + Al 5%	61.85	62.05	62.15	61.85	62.12	62.00
UHMWPE + Al 7.5%	62.44	62.44	62.55	62.33	62.50	62.45
UHMWPE + Al 10%	62.85	63.11	63.12	63.16	62.89	63.00

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าความแข็ง Shore D ขึ้นทดสอบจำนวน 5 ขึ้นทดสอบ ที่อัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE กับอลูมิเนียมที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็ง Shore D เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความแข็ง Shore D เฉลี่ยของ UHMWPE ผสมอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 61.45, 62.00, 62.45 และ 63.00 ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าความแข็งสูงสุดเบื้องต้นนี้ ที่อัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียม 10 wt% คือ 63 shore D

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบความแข็ง Shore D ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE ผสมกับผงอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าค่าความแข็ง Shore D ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมอลูมิเนียมมากยิ่งขึ้นจะทำให้ค่าความแข็ง Shore D เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบความแข็งของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

4.2.3 การทดสอบแรงดึง

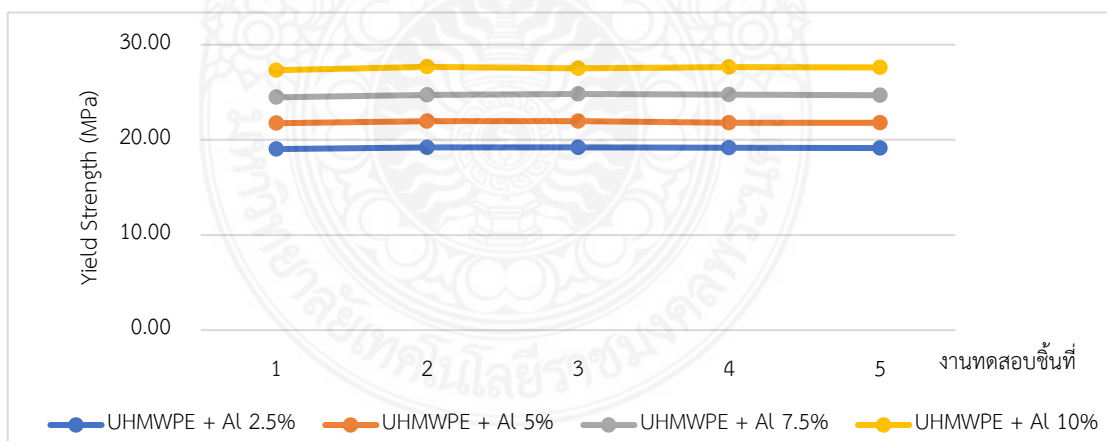
การทดสอบแรงดึงเป็นทดสอบเพื่อหาสมบัติทางกลของวัสดุที่ทดสอบ โดยการทดสอบในครั้งนี้ได้เลือกการทดสอบ Tensile Test ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-X Plus ของห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยใช้ชิ้นงานทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ผสมอลูมิเนียม(Al) ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จะได้ค่าต่างๆ ประกอบด้วย Yield Strength (MPa), Ultimate Tensile Strength (MPa), Breaking Strength (MPa), Elongation at Break (%) และ Modulus of elasticity (MPa) ด้วยการเตรียมชิ้นงานทดสอบชุดละ 5 ชิ้นงานและนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละค่า จากการทดสอบพบว่าได้ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตที่ส่วนผสมระหว่าง UHMWPE และผงอลูมิเนียมตามอัตราส่วนผสมดังแสดงดังตารางที่ 4.3-4.6 และรูปที่ 4.7-4.10

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลการทดสอบแรงดึงได้ค่าYield Strength ของชิ้นทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 19.15 MPa, 21.85 MPa, 24.69 MPa และ 27.55 MPa ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าทดสอบแรงดึงได้ค่าYield Strength สูงสุด ที่อัตราส่วนผสมของอลูมิเนียม 10 wt% คือ 27.55 MPa

ตารางที่ 4.3 ค่าทดสอบแรงดึง ค่า Yield Strength ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่า Yield Strength (MPa) ชั้นทดสอบชั้นที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	19.03	19.20	19.21	19.18	19.14	19.15
UHMWPE + Al 5%	21.75	21.96	21.97	21.78	21.79	21.85
UHMWPE + Al 7.5%	24.47	24.72	24.82	24.76	24.70	24.69
UHMWPE + Al 10%	27.32	27.67	27.5	27.65	27.62	27.55

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลการทดสอบแรงดึงได้ค่า Yield Strength ของชั้นทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ชั้นทดสอบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 19.15 MPa, 21.85 MPa, 24.69 MPa และ 27.55 MPa ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าทดสอบแรงดึงได้ค่า Yield Strength สูงสุด ที่อัตราส่วนผสมของอลูมิเนียม 10 wt% คือ 27.55 MPa



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่า Yield Strength ของ UHMWPE ผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชั้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ได้ค่า Yield Strength ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชั้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE ผสมกับผง

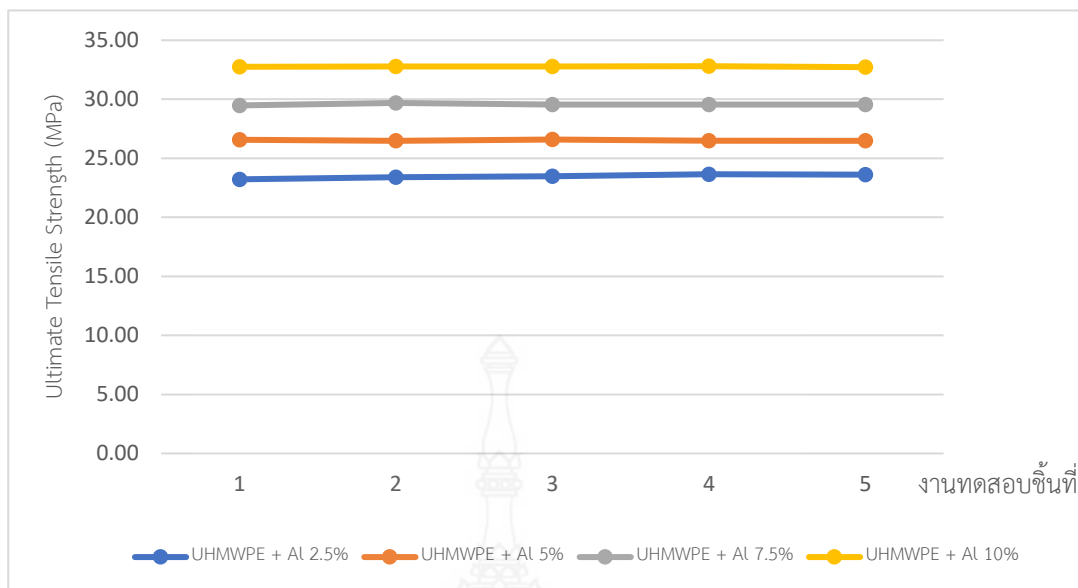
อลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าค่า Yield Strength ของแรงดึงชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงดึง ค่า Yield Strength เพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญแต่มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอลูมิเนียม

ตารางที่ 4.4 ค่าทดสอบแรงดึง ค่าUltimate Tensile Strength ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง ยิงยาวผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่าUltimate Tensile Strength (MPa) ชิ้นทดสอบชิ้นที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	23.22	23.39	23.49	23.65	23.61	23.47
UHMWPE + Al 5%	26.57	26.48	26.59	26.49	26.48	26.52
UHMWPE + Al 7.5%	29.48	29.69	29.55	29.54	29.55	29.56
UHMWPE + Al 10%	32.74	32.78	32.77	32.8	32.72	32.76

จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลการทดสอบแรงดึงได้ค่าUltimate Tensile Strength ของชิ้นทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 23.47MPa, 26.52 MPa, 29.56 MPa และ 32.76 MPa ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าทดสอบแรงดึง ค่าUltimate Tensile Strength สูงสุด ที่อัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียม 10 wt% คือ 32.76 MPa

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงได้ค่าUltimate Tensile Strength ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าแรงดึง ค่าUltimate Tensile Strength ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมผงอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่าUltimate Tensile Strength ของแรงดึงเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างเป็นนัยสำคัญซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปนั้นเป็นไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอลูมิเนียม

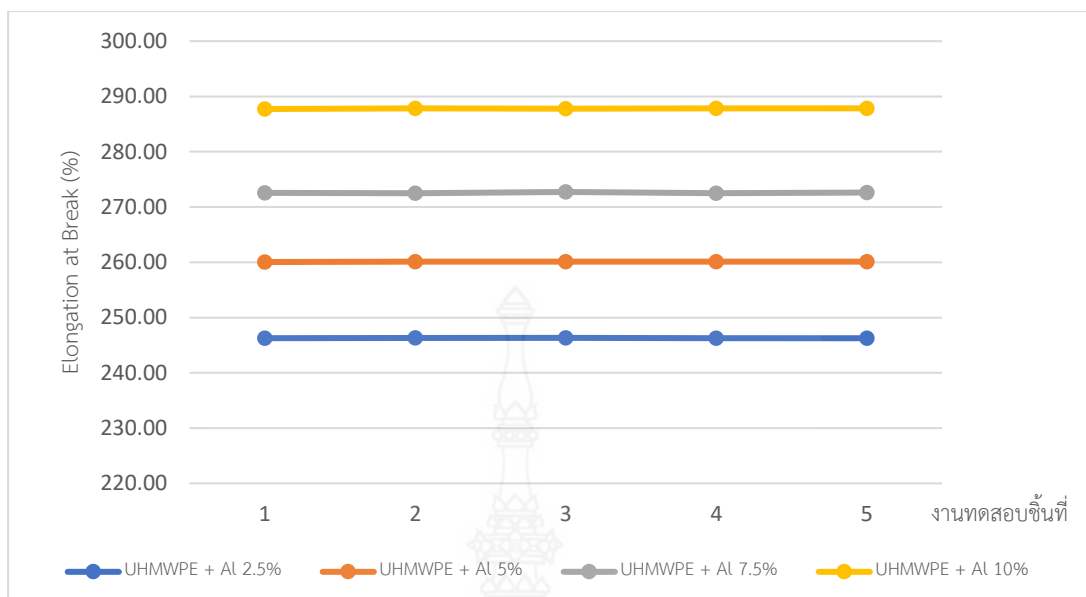


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่าUltimate Tensile Strength ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 4.5 ค่าทดสอบแรงดึง ค่าElongation at Break ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่า Elongation at Break (%) ชิ้นทดสอบชิ้นที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	246.28	246.31	246.30	246.27	246.26	246.28
UHMWPE + Al 5%	260.05	260.12	260.12	260.12	260.12	260.12
UHMWPE + Al 7.5%	272.58	272.49	272.72	272.51	272.62	272.58
UHMWPE + Al 10%	287.73	287.82	287.79	287.82	287.85	287.80

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าทดสอบแรงดึงได้ค่าElongation at Break ชิ้นทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 246.28%, 260.12%, 272.58% และ 287.80% ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าทดสอบแรงดึง ค่าElongation at Break สูงสุดที่อัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียม 10 wt% คือ 287.80%



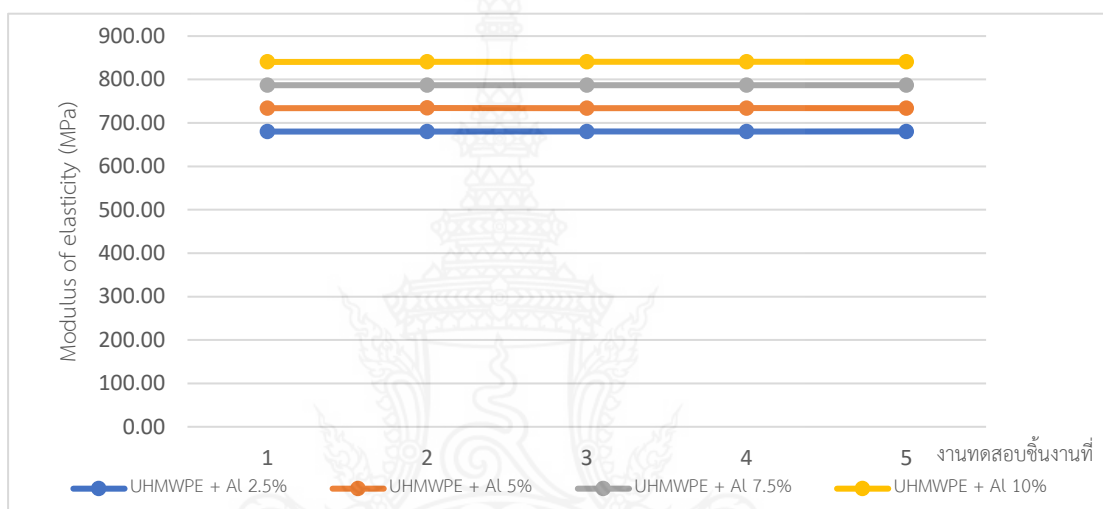
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่าElongation at Break ของUHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงได้ค่าElongation at Break ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPEผสมกับผงอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าแรงดึง ค่าElongation at Break ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่าElongation at Break ของแรงดึงเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างเป็นนัยสำคัญซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอลูมิเนียม

ตารางที่ 4.6 ค่าทดสอบแรงดึง ค่าModulus of elasticity ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่า Modulus of elasticity (MPa) ชิ้นทดสอบชิ้นที่					Average
	1	2	3	4	5	
UHMWPE + Al 2.5%	680.42	680.43	680.35	680.37	680.44	680.40
UHMWPE + Al 5%	734.25	734.30	734.23	734.21	734.23	734.24
UHMWPE + Al 7.5%	786.85	786.85	786.85	786.85	786.85	786.85
UHMWPE + Al 10%	840.48	840.70	840.56	840.65	840.63	840.60

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าทดสอบแรงดึง ค่าModulus of elasticity ขึ้นทดสอบแผ่นวัสดุ UHMWPE ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนในสภาวะอุณหภูมิ 140°C แรงดัน 5 MPa เวลาคงอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ขึ้นทดสอบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 680.40 MPa, 734.24 MPa, 786.85 MPa และ 840.60 MPa ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าทดสอบแรงดึง ค่าModulus of elasticity สูงสุดเบื้องต้นนี้ ที่อัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียม 10 wt% คือ 840.60 MPa



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง ค่า Modulus of elasticity ของUHMWPEผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงได้ค่า Modulus of elasticity ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPEผสมกับอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าแรงดึง มีค่า Modulus of elasticity ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่า Modulus of elasticity ของแรงดึงเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างเป็นนัยสำคัญ ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอลูมิเนียม

4.2.4 การทดสอบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอเป็นการทดสอบสำหรับหาค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานที่เกิดจากการกระทำเชิงกลโดยสัมผัสกับของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส โดยปกติการสึกหรอจะเป็นอันตรายมาก แต่ถ้าหากเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจจะยอมรับได้ ในการทดสอบในครั้งนี้เป็นการทดสอบหาค่า

อัตราการสึกหรอ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และค่าความหนาแน่นของ UHMWPEผสมผงอลูมิเนียม(Al) ที่ค่า 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% จำนวน 5 ชิ้นงานทดสอบ ตามที่แสดงในตารางที่ 4.7-4.9 และรูปที่ 4.11-4.13

ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

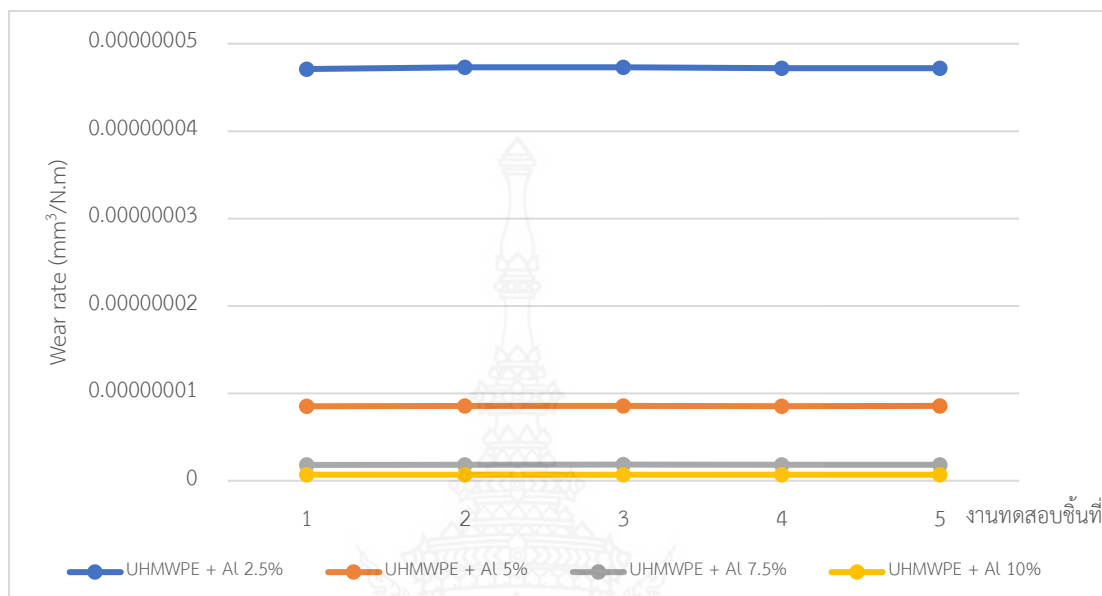
Specimens	ค่า Wear rate (mm ³ /N.m) ชิ้นทดสอบชิ้นที่					Average
	1	2	3	4	5	
UHMWPE + Al 2.5%	4.71E-08	4.73E-08	4.73E-08	4.72E-08	4.72E-08	4.72E-08
UHMWPE + Al 5%	8.52E-09	8.56E-09	8.55E-09	8.53E-09	8.55E-09	8.54E-09
UHMWPE + Al 7.5%	1.81E-09	1.83E-09	1.85E-09	1.84E-09	1.83E-09	1.83E-09
UHMWPE + Al 10%	6.90E-10	6.88E-10	6.88E-10	6.92E-10	6.89E-10	1.83E-09

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น ของจำนวน 5 ชิ้นทดสอบ มีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 4.72E-08 mm³/N.m, 8.54E-09 mm³/N.m, 1.83E-09 mm³/N.m และ 1.83E-09 mm³/N.m ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมของอลูมิเนียม 10 wt% คือ 1.83E-09 mm³/N.m

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าผลการทดสอบและคำนวณหาค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นงานมีใกล้เคียงกันในอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมผงอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ลดลงอย่างเป็นนัยสำคัญ ซึ่งค่าที่ลดลงนั้นเป็นไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของอลูมิเนียมซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของผงอลูมิเนียมที่จะช่วยให้วัสดุที่ผสมลดการสึกหรอลงได้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น ของจำนวน 5 ชิ้นทดสอบ มีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.13, 0.14 และ 0.15 ตามลำดับ

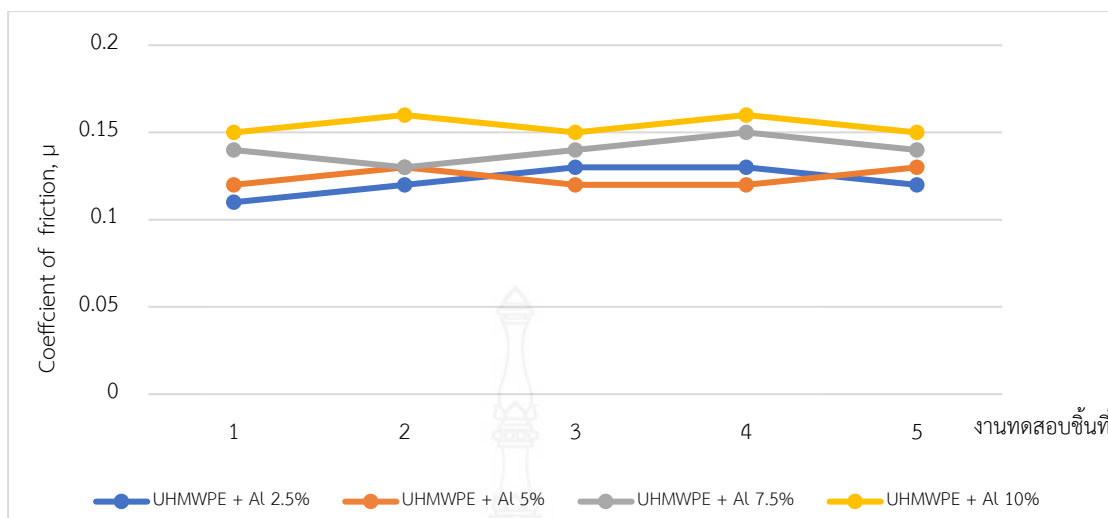
สำหรับการพิจารณาในด้านค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction) สูงสุด ที่อัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมร้อยละ 10 คือ 0.15



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่าอัตราการสึกหรอ (Wear rate) ของ UHMWPE ผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction) ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ยาวผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่า Coefficient of friction, μ ชิ้นทดสอบครั้งที่					
	1	2	3	4	5	Average
UHMWPE + Al 2.5%	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12
UHMWPE + Al 5%	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13
UHMWPE + Al 7.5%	0.14	0.13	0.14	0.15	0.14	0.14
UHMWPE + Al 10%	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15



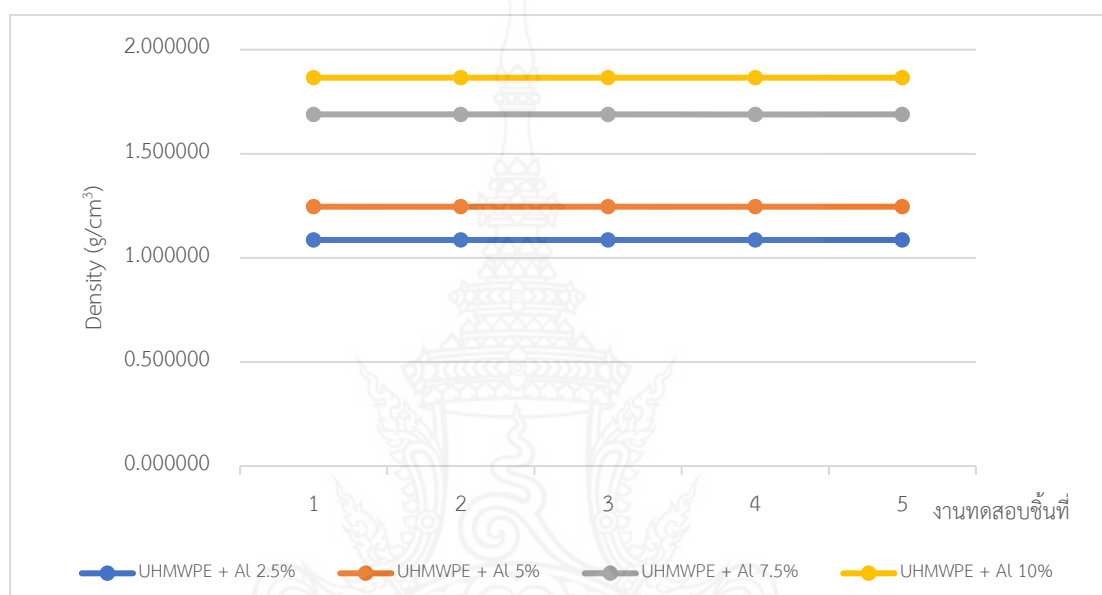
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่า Coefficient of friction ของ UHMWPE ผสมกับผงอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่า Coefficient of friction ของ UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPE ผสมกับอลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าผลทดสอบและคำนวณหาค่า Coefficient of friction ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันตามอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมผงอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่า Coefficient of friction เพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญ ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอลูมิเนียม เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.9 ค่าความหนาแน่น (Density) ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดผสมผงอลูมิเนียมที่ร้อยละของผงอลูมิเนียม (Al)

Specimens	ค่า Density (g/cm ³) ชิ้นทดสอบครั้งที่					Average
	1	2	3	4	5	
UHMWPE + Al 2.5%	1.085875	1.085870	1.085872	1.085874	1.085871	1.085872
UHMWPE + Al 5%	1.245698	1.245699	1.245697	1.245696	1.245697	1.245697
UHMWPE + Al 7.5%	1.689326	1.689329	1.689329	1.689327	1.689329	1.689328
UHMWPE + Al 10%	1.865655	1.865657	1.865656	1.865658	1.865654	1.865656

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความหนาแน่น (Density)จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น ของจำนวน 5 ชิ้นทดสอบ มีค่าเฉลี่ยของ UHMWPE ผสมผงอะลูมิเนียมร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 มีค่าเท่ากับ 1.085872 g/cm^3 , 1.245697 g/cm^3 , 1.689328 g/cm^3 และ 1.865656 g/cm^3 ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาในด้านค่าความหนาแน่น (Density)สูงสุดที่อัตราส่วนผสมของผงอะลูมิเนียมร้อยละ 10 คือ 1.865656 g/cm^3



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่า Density ของUHMWPEผสมกับผงอะลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบ

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงผลการทดสอบและคำนวณหาค่า Density ของ UHMWPE ผสมกับผงอะลูมิเนียม (Al) แต่ละชิ้นงานทดสอบตามอัตราส่วนผสมระหว่าง UHMWPEผสมกับผงอะลูมิเนียมในอัตรา 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% แต่ละชิ้นงานทดสอบพบว่าผลทดสอบและคำนวณหาค่า Density ของชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้นมีค่าใกล้เคียงกันตามอัตราส่วนผสมเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้ ค่า Density เพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญ โดยค่า Density ที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปตามอัตราส่วนเพิ่มขึ้นของผงอะลูมิเนียมซึ่งมีค่า Density สูงกว่า UHMWPE เมื่อมาผสมกันแล้วจึงทำให้คอมโพสิตใหม่ที่ผสมขึ้นมาใหม่มีค่าDensity เพิ่มขึ้นนั่นเอง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการศึกษาสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด(UHMWPE)ผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา โดยใช้ผง UHMWPE เป็นวัสดุตั้งต้นและใช้ผงอลูมิเนียม (Aluminum) เป็นโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาเป็นวัสดุฟิลเลอร์ ขึ้นรูปวัสดุด้วยกรรมวิธี Hot compression molding process ภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ 140°C และเวลาดังอุณหภูมิที่ 3 ชั่วโมง สามารถสรุปผลการดำเนินการศึกษาวิจัยตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกลและประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด(UHMWPE)ผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา โดยใช้ผง UHMWPE เป็นวัสดุตั้งต้นและใช้ผงอลูมิเนียม (Aluminum) เป็นโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาเป็นวัสดุฟิลเลอร์ เป็นการผสมแบบแห้ง ขึ้นรูปวัสดุด้วยกรรมวิธี Hot compression molding process ภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ 140°C และเวลาดังอุณหภูมิ 3 ชั่วโมง ขึ้นงานทดสอบ UHMWPE ผสมอลูมิเนียม 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% ตามลำดับ ใช้จำนวนในแต่ละอัตราส่วนผสมละ 5 ชิ้นงานทดสอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาการทดสอบของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมผงอลูมิเนียมที่ 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% พบว่าสมบัติทางกลประกอบไปด้วย ค่าYield strength, ค่า Ultimate tensile strength, ค่าElongation at Break, และ ค่าModulus of elasticity ตามอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมอยู่ที่ 2.5 wt% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.25 Mpa, 24.15 Mpa, 249.64%และ702.12 Mpa และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมเป็น 5, 7.5 และ 10 wt% จะมีค่าต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญ ซึ่งอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมสูงสุดที่ 10 wt% มีค่าเท่ากับ 27.55 Mpa, 32.76 Mpa, 287.80%และ840.60 Mpa ตามลำดับ และความต้านทานแรงกระแทกตามอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมอยู่ที่ 2.5 wt% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.54 kJ/m² และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของอลูมิเนียมเป็น 5, 7.5 และ 10 wt% จะมีค่าต้านทานแรงกระแทกลดลงอย่างเป็นนัยสำคัญ โดยอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมสูงสุดที่ 10 wt% ของการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าต้านทานแรงกระแทกมีค่าเท่ากับ -35.80 kJ/m² มีค่าต่ำสุดในการทดสอบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าของสมบัติทางกล

ประกอบไปด้วยค่าYield strength, ค่า Ultimate tensile strength, ค่าElongation at Break, และค่าModulus of elasticity จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญ แต่ค่าต้านทานแรงแทกมีค่าลดลงนั้น แสดงถึงว่าเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมได้ในบางกรณี และขั้นตอนที่สำคัญที่ต้องให้ความสำคัญคือกระบวนการผสมสารทั้งสองเข้าด้วยกันให้สามารถสอดแทรกและกระจายอนุภาคผงได้ทั่วถึง รวมทั้งกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่จะส่งผลให้สมบัติทางกลจากการทดสอบในแต่ละสมบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2. ผลการศึกษาการทดสอบของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมผงอลูมิเนียมที่ 2.5, 5, 7.5 และ 10 wt% เพื่อหาประสิทธิภาพทางไตรโบโลยี ประกอบไปด้วย ค่าอัตราการสึกหรอ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิต ตามอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมอยู่ที่ 2.5 wt% พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4.72E-08 \text{ mm}^3/\text{N.m}$, 0.12 และ 1.085872 g/cm^3 ตามลำดับ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นไม่มากนัก และเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมเป็น 5, 7.5 และ 10 wt% ซึ่งอัตราส่วนผสมของผงอลูมิเนียมสูงสุดที่ 10 wt% มีค่าเท่ากับ มีค่าเท่ากับ $6.89E-10 \text{ mm}^3/\text{N.m}$, 0.15 และ 1.865656 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีมีค่าเพิ่มขึ้นสังเกตได้จากค่าอัตราการสึกหรอของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลงอย่างเป็นนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตมีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้นเกิดจากปริมาณอัตราส่วนผสมของอลูมิเนียมซึ่งผงอลูมิเนียมนั้นจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) จึงทำให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตนี้เพิ่มขึ้นอย่างเป็นนัยสำคัญ ดังนั้นเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมได้ตามความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตเพื่อจำหน่ายในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เลือกใช้ผสมวัสดุระหว่างพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด(UHMWPE)กับผงอลูมิเนียมด้วยการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ซึ่งยังมีกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอื่นๆ ที่อาจส่งผลให้สมบัติทางกลเปลี่ยนไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection) หรือ การอัดรีดขึ้นรูปร้อน (Hot Extrusion) โดยกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อนจะเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ต้นทุนต่ำกว่าการฉีดขึ้นรูปร้อน มีความเป็นไปได้ในการทำการทดสอบและทดลองเพื่อพิสูจน์สมบัติทางกลที่อาจส่งผลในทางบวกก็เป็นได้

ในการทดลองขึ้นรูป UHMWPE ผสมผงอลูมิเนียม (Al) ด้วยสภาวะของการขึ้นรูปที่ประกอบด้วยตัวแปร คือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาต่างๆ นั้น เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล แต่อาจยังมีตัวแปรอื่นๆอีกที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลด้วย เช่น ชนิดของสารเพิ่มคุณภาพหรือฟิลเลอร์

อื่นๆ อีกทั้งในกระบวนการเย็นตัวของวัสดุหลังการอัดขึ้นรูปร้อนที่มีรูปแบบการเย็นตัวอย่างเร็วหรือการเย็นตัวอย่างช้าก็ยังคงส่งผลต่อสมบัติทางกลด้วยเช่นกัน

เนื่องด้วยผงอลูมิเนียมมีมากมายหลายชนิดดังนั้นการเลือกใช้ฟิลเลอร์ที่เป็นผงอลูมิเนียมก็มีผลอย่างมากต่อสมบัติทางกลด้วยเช่นกัน



เอกสารอ้างอิง

- [1] Steven M. Kurtz, “ UHMWPE Biomaterials Handbook” Ultra High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices.,Vol.3r, pp. 1-6, 2016.
- [2] S.M. Kurtz, “UHMWPE Biomaterials Handbook,” 2 nd., Elsevier Ins., China, 2009.
- [3] Daksh Shelly,Seul-Yi Lee,Soo-Jin Park., “Compatibilization of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fibers and their composites for superior mechanical performance: A concise review”, Composites Part B: Engineering, Elsevier, 15 April 2024
- [4] Trinity Dynamic Corporation. “อลูมิเนียม(Aluminium) ” [ออนไลน์], Available:; <https://www.scimath.org/lesson-https://trinitydynamic.com>
- [5] ประกอบ ชาติภักดิ์ และคณะ, “พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงเชิงประกอบเพื่อความต้านทานการสึกหรอภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ สารหล่อลื่นสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 2559.
- [6] Jignesh Sabhadiya. What Is A Run Flat Tire And How They Work?,” [ออนไลน์], Available: <https://www.engineeringchoice.com/run-flat-tires/>
- [7] ประกอบ ชาติภักดิ์, พลรัชต์ บุญมี, วีระวัฒน์ แม้นด่าง และราม ชาติภักดิ์, “ล้อ Run-flat สำหรับรถยนต์บรรทุกทุกประเภทขนาดเล็กติดเกราะ,” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ.2561
- [8] A. Patel, P. Trivedi, and K. Balani, “Processing and Mechanical Characterization of Compression-Molded Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Biocomposite Reinforced with Aluminum Oxide,” *J Nanosci Nanoeng Appl*, vol. 4, Nov.
- [9] _____. “อลูมิเนียม โลหะสีขาวคล้ายกับเงิน น้ำหนักเบาแต่แข็งแรง”, [ออนไลน์], Available :<https://www.chi.co.th/article/article-858/>

- [10] Bastiaansen CWM, Meyer HEH, Lemstra PJ. "Memory effects in polyethylenes: influence of processing and crystallization history," *Polymer*, 1990;31:1435–40.
- [11] Truss RW, Han KS, Wallace JF, Geil PH. "Cold compaction molding and sintering of ultra-high molecular weight polyethylene," *Poly Engr Sci*, 1980; 20:747–55.
- [12] Barnetson A, Hornsby PR. "Observations on the sintering of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) powders," *J aterials Sci Letters*, 1995;14:80–4.
- [13] Gul R. "Improved UHMWPE for use in total joint replacement," *Ph.D. Dissertation. Boston: Massachusetts Institute of Technology*, 1997.
- [14] Bastiaansen CWM, Meyer HEH, Lemstra PJ. "Memory effects in polyethylenes: influence of processing and crystallization history," *Polymer*, 1990;31:1435–40.
- [15] Farrar DF, Brain AA. "The microstructure of ultra-high molecular weight polyethylene used in total joint replacements," *Biomaterials*, 1997; 18:1677–85.
- [16] Olley RH, Hosier IL, Bassett DC, Smith NG. "On morphology of consolidated UHMWPE resin in hip cups," *Biomaterials*, 1999; 20:2037–46.
- [17] Halldin GW, Kamel IL. "Powder processing of ultra-high molecular weight polyethylene. I. Powder characterization and compaction," *Poly Eng Sci*, 1977; 17:21–6.
- [18] Lykins MD, Evans MA. "A comparison of extruded and molded UHMWPE," *Trans 21st Soc Biomater*, 1995; 18:385.
- [19] J.R. Atkinson, K.J. Brown and D. Dowson, "The Wear of High Molecular Weight Polyethylene, Part 1: The Wear of Isotropic Polyethylene against Dry Steel in Unidirectional Motion," *Transactions ASME, Journal of Lubrication Technology*, vol. 100, pp. 208–218, 1978.
- [20] Jamal Takadoum. "Materials and Surface Engineering in Tribology, CPI Antony Rowe Ltd, Chippenham," *Wiltshire, Great Britain*, 2008.

- [21] S. Bahadur, "The development of transfer layers and their role in polymer tribology," *Wear*, no.245, pp. 92, 2000.
- {[22] amal Takadoun. "Materials and Surface Engineering in Tribology, CPI Antony Rowe Ltd, Chippenham," *Wiltshire, Great Britain*, 2008.
- [22] S. Bahadur, "The development of transfer layers and their role in polymer tribology," *Wear*, no.245, pp. 92, 2000.
- [23] V. Kragelskii, M. N. Dobychin and V. S. Kombalov, "Friction and Wear Calculation Methods," *Oxford, Pergamon Press*, 1982.
- [24] S. Bahadur, "The development of transfer layers and their role in polymer tribology," *Wear*, no.245, pp. 92, 2000.
- [25] S. P. Gubin, Yu. A. Koksharov, G. B. Khomutov and G. Yu. Yurkov, *Russ. Chem. Rev.*, 2005, vol. 74, pp. 489.
- [26] Yu and S. Bahadur, *Wear*, vol. 214, pp. 245, 1998.
- [27] V. L. Vakula and L. M. Pritykin, "Physical Chemistry of Polymer Adhesion," (*Khimia, Moscow*) (in Russian), 1984.
- [28] C.W. Bunn and E.R. Howells, "Structures of Molecules and Crystals of Fluorocarbons," *Nature*, vol. 174, pp. 549–551, 1954.
- [29] K. R. Makinson and D. Tabor. "The Friction and Transfer of Polytetrafluoroethylene," *Proc. Roy. Soc., London, Series A*, vol. 281, pp. 49–61, 1964.
- [30] D.H. Buckley, "Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication," *Elsevier, Amsterdam*, 1981.
- [31] D. Gong, Q. Xue and H. Wang, "ESCA Study on Tribochemical Characteristics of Filled PTFE," *Wear*, vol. 148, pp. 161–169, 1991.
- [32] C.M.T. Miyata, "Studies on the Friction and Transfer of Semi-Crystalline Polymers," *Wear*, vol. 41, pp. 383–398, 1977.
- [33] Pooley and D. Tabor, "Friction and Molecular Structure: the Behaviour of some Thermoplastics," *Proc. Roy. Soc., London, Series A*, vol. 329, pp. 251–274, 1972.
- [34] B. Briscoe, "Wear of Polymers: an Essay on Fundamental Aspects," *Tribology International*, vol. 14, pp. 231–243, 1981

- [35] K. Tanaka and T. Miyata, "Studies on the Friction and Transfer of Semi-Crystalline Polymers," *Wear*, vol. 41, pp. 383–398, 1977.
- [36] Gwidon W. Stachowiak and Andrew W. "Batchelor, Tribology Series 24, Engineering Tribology," *Butterworth Heinemann*, 1993
- [37] V.K. Jain and S. Bahadur, "Material Transfer in Polymer–Polymer Sliding," *Wear*, vol. 46, pp. 177–198, 1978.
- [38] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, "การวัดคุณสมบัติความเหนียว (Toughness) ของวัสดุด้วยการทดสอบแรงกระแทก (Impact test)," [ออนไลน์], Available:;https://old.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th/2014-09-12-03-39-42/45-toughness-impact-test
- [39] Shyam Bahadur and Cris Schwartz, "Mechanical and tribological behavior of polymer filled with inorganic particulate fillers, in Polymer Tribology," editors: Sujeet K Sinha and Brian J Briscoe, *Imperial College Press*, pp 416–448, 2009.
- [40] K. R. Makinson and D. Tabor. "The Friction and Transfer of Polytetrafluoroethylene," *Proc. Roy. Soc., London, Series A*, vol. 281, pp. 49–61, 1964.
- [41] J.R. Atkinson, K.J. Brown and D. Dowson, "The Wear of High Molecular Weight Polyethylene, Part 1: The Wear of Isotropic Polyethylene against Dry Steel in Unidirectional Motion," *Transactions ASME, Journal of Lubrication Technology*, vol. 100, pp. 208–218, 1978.
- [42] O. Hussain, B. Ahmad and S. Saleem, "Tribological performance of biomedical grade UHMWPE/nano-Al₂O₃/Vitamin-C hybrid composite for cartilage replacements," *Mater. Lett.*, vol. 291, p. 129515, May 2021
- [43] 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
- [44] J. J. Wu, C. P. Buckley and J. J. O'Connor, "Mechanical integrity of compressionmoulded ultra-high molecular weight polyethylene: effects of varying process conditions," *Biomaterials*, vol. 23, no. 17, pp. 3773–3783, Sep. 2002

- [45] Ngampan Chalo and Prakorb Chartpuk, “Mechanical Properties of UHMWPE Composite with Al₂O₃ for Application in Engineering,” *RMUTP Research Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 192-202, Jan.-Jun. 2022.
- [46] ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรมและคณะ, “อิทธิพลของอุณหภูมิ ความดันกดอัดและเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคสมบัติทางกลและพฤติกรรมการสึกหรอของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง,” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, หน้า 651-656, กรกฎาคม 2561.
- [47] นพณ์ช พวงมาลีและคณะ, “อิทธิพลของแรงกระทำให้ความเร็วผิวสัมผัสและความหยาบผิวคู่สัมผัสที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงภายใต้การลื่นไถลแบบแห้ง,” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, หน้า 657-662, กรกฎาคม 2561.
- [48] ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ, ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี, “การปรับปรุงคุณภาพผิววัสดุทางการแพทย์เพื่อลดการสึกหรอ,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย*, ครั้งที่ 25, ตุลาคม 2554.
- [49] วิโรจน์ ฉัตรเกษ, “อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกลและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุ UHMWPE โดยกรรมวิธีการอัดขึ้นรูปร้อน,” *วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2557.
- [50] Bo Zhang, Wei Huang, Jingqiu Wang, Xiaolei Wang. “Comparison of the effects of surface texture on the surfaces of steel and UHMWPE,” *Tribology International*, Vol. 65, pp. 138-145, Jan. 2013.
- [51] Boon Peng Chang, Hazizan Md Akil, Ramdziah Bt Nasir, Abbas Khan. “Optimization on wear performance of UHMWPE composites using reponse surface methodology,” *Tribology International*, vol. 88, pp. 252-262, 2015.
- [52] 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.
- [53] Alaleh Safari, Montserrat Espanol, Maria-Pau Ginebra, Michel J. Cervantes, Nazanin Emami. “Effect of dynamic loading versus static loading on the

- frictional behavior of a UHMWPE pin in artificial biolubricants,” *Biosurface and Biotribology*, Vol. 3, pp. 35-44, 2017.
- [54] Weston J. Wood, Russ G. Maguire, Wei Hong Zhong, “Improved wear and mechanical properties of UHMWPE-carbon nanofiber composites through an optimized paraffin-assisted melt-mixing process,” *Composites: Part B*, Vol. 42, pp. 584-591, 2011.
- [55] Hari Shankar Vadivel, Marko Bek, Urška Šebenik, Lidija Slemenik Perše, Roland Kádár, Nazanin Emami, Mitjan Kalin, “Do the particle size, molecular weight, and processing of UHMWPE affect its thermomechanical and tribological performance?”, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol.12, pp.1728-1737, May–June 2021.
- [56] L. Xu, Y. Zheng, Z. Yan, W. Zhang, J. Shi, F. Zhou, X. Zhang, J. Wang, J. Zhang, B. Liu, “Preparation, tribological properties and biocompatibility of fluorinated graphene/ultrahigh molecular weight polyethylene composite materials”, *Applied Surface Science*, Vol.370, pp.201-208, 2016.
- [57] พีรศิษฐ์ จุลละโพธิ และคณะ, “อิทธิพลของอลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนและทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด” *การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการครั้งที่ 9*, โรงแรมเฮอริเทจ เชียงราย , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1-3 พฤษภาคม 2567,
- [58] พีรศิษฐ์ จุลละโพธิ และคณะ, “อิทธิพลของอลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อไตรโบโลยีและการสึกหรอของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด” *การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการครั้งที่ 9*, โรงแรมเฮอริเทจ เชียงราย , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1-3 พฤษภาคม 2567,
- [59] Centerline(Windsor) Limited, “Commercial Powder Metal Group-ALUMINUM Coataloué No.SST A0050”, [ออนไลน์], Available : <https://www.supersonicspray.com>
- [60] ศักดิ์พิชิต เฉลยสรรพ และ สุชาครีย์ รัสเอี่ยม, "เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบชิ้นงานวางบนวงแหวน," *ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*. 2560.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ภาพการนำเสนอเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

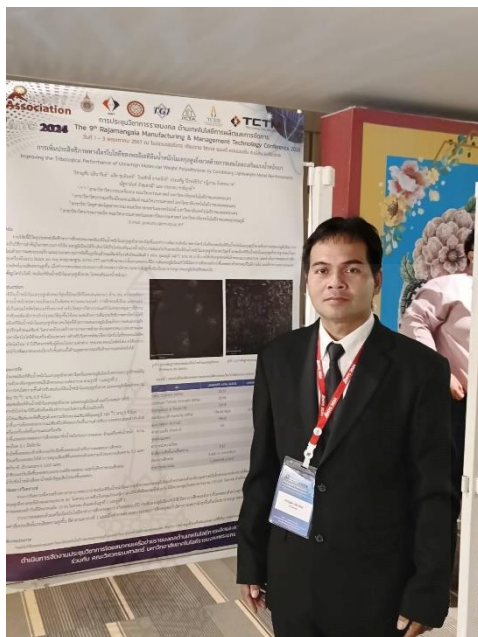




รูปที่ ก-1 แสดงการเข้าร่วมการนำเสนอผลงานทางวิชาการ



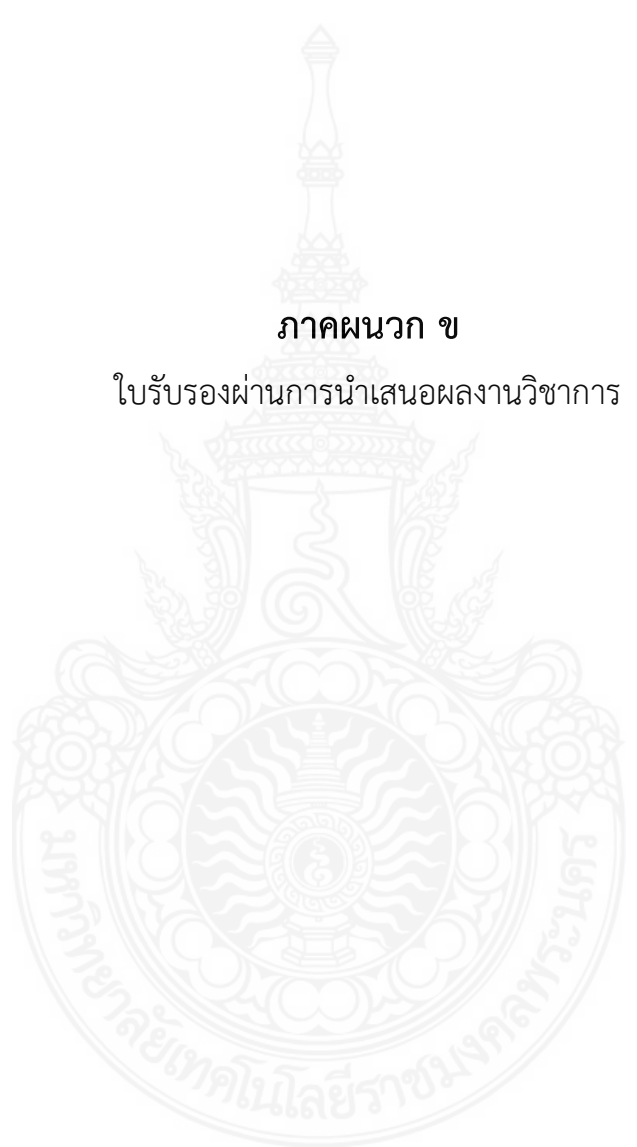
รูปที่ ก-2 แสดงการนำเสนอผลงานทางวิชาการด้วยการนำเสนอแบบปากเปล่า



รูปที่ ก-3 แสดงการนำเสนอผลงานทางวิชาการด้วยการนำเสนอแบบโปสเตอร์



รูปที่ ก-4 แสดงการรับเกียรติบัตรจากการนำเสนอผลงานทางวิชาการ



ภาคผนวก ข

ใบรับรองผ่านการนำเสนอผลงานวิชาการ



รูปที่ ข-1 แสดงเกียรติบัตรการนำเสนอความวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา



รูปที่ ข-2 แสดงเกียรติบัตรการนำเสนอความวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

ภาคผนวก ค

บทความวิจัยที่นำเสนอเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ





การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เฮอริเทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

การศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

Study the Mechanical Properties of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene by Combining Lightweight Metal Reinforcements

วิชาญชัย ปลีนารัมย์¹ แจ็ค ชุมอินทร์² จิระศักดิ์ ธาระจักร์³ ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท⁴ ประเสริฐ วิโรจน์ชิวัน⁵
ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี⁶ และ ประกอบ ชาติภักดิ์^{7*}

^{1, 4, 5, 7} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

⁶ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th*

Wichanchai Pleeenaram¹ Jack Chumin² Jirasuk Tharajak³ Padipan Tinprabath⁴ Prasert Wirocheewan⁵
Natchanun Aagsuseranee⁶ and Prakorb Chartpuk^{7*}

^{1, 4, 5, 7} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon

² Department of Tool and Mold Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon

³ Department of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala
University of Technology Phra Nakhon

⁶ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala
University of Technology Suvarnabhumi

E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติทางกลต่างๆ ของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเปลี่ยนไป เพื่อเป็นทางเลือกให้นำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรม ผงอลูมิเนียมได้รับเลือกให้นำมาใช้เป็นโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาผสมลงไปกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดขนาด 10 wt% พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดและอลูมิเนียมได้รับการตรวจสอบผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทดสอบสมบัติทางกล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเติมผงอลูมิเนียมที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10-50 ไมครอน ลงในพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด จะส่งผลให้ค่าความเค้นคราก ค่าความต้านทานแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น และค่าความแข็งสูงขึ้น แต่ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง

คำสำคัญ: สมบัติทางกล; พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด; โลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา



การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

Abstract

The aim of this article is to investigate the mechanical properties of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) reinforced with lightweight metals. This anticipated approach is expected to alter various mechanical properties of UHMWPE, potentially paving the way for new engineering applications. UHMWPE was mixed with 10 wt% aluminum powder as the lightweight metal reinforcement. Scanning electron microscopy was used to examine the UHMWPE and aluminum, and their mechanical properties were tested. The tests revealed that the addition of aluminum powder, with particles ranging from 10 to 50 microns in size, to UHMWPE increased its hardness, tensile strength, modulus of elasticity, and yield stress. However, a decrease in impact strength was observed.

Keywords: Mechanical Properties; Ultra-high Molecular Weight Polyethylene; Lightweight Metal Reinforcement

1. บทนำ

พอลิเมอร์สังเคราะห์ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาประเภทต่างๆ ไฮโดรคาร์บอนเชิงเดี่ยวหลายชนิด เช่น เอทิลีนและโพรพิลีน สามารถเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ได้โดยการเติมโมโนเมอร์ในห่วงโซ่ พอลิเอทิลีนประกอบด้วยเอทิลีนโมโนเมอร์ที่ซ้ำเป็นพอลิเมอร์เสริม อาจมีโมโนเมอร์มากถึง 10,000 ตัวต่อกันเป็นสายโซ่ยาว โพลีเอทิลีนมีลักษณะเป็นผลึก โปร่งแสง และเป็นเทอร์โมพลาสติก กล่าวคือ จะอ่อนตัวลงเมื่อถูกความร้อน ใช้สำหรับเคลือบ บรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนขึ้นรูป และการผลิตขวดและภาชนะ โพรพิลีนยังเป็นผลึกและเทอร์โมพลาสติก แต่แข็งกว่าพอลิเอทิลีน โมเลกุลอาจประกอบด้วยโมโนเมอร์ตั้งแต่ 50,000 ถึง 200,000 ตัว สารประกอบนี้ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและทำวัตถุขึ้นรูป พอลิเมอร์แบ่งออกเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) สำหรับพอลิเมอร์ธรรมชาติจะประกอบไปด้วย โปรตีน เซลลูโลส กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นวัสดุ เช่น โฟม พลาสติก เส้นใย และกาว ซึ่งในปัจจุบันนี้มนุษย์มีความต้องการใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้นิยมประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด ในส่วนงานด้านวิศวกรรมนั้นได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นพลาสติกในรูปแบบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ซึ่งพอลิเมอร์ บริสุทธิ์นั้นจะมีสมบัติทางกลและสมบัติความ

ต้านทานการสึกหรอยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานบางอย่างทางด้านวิศวกรรม ในช่วงปี ค.ศ.1950 [1] ได้มีการนำพอลิเมอร์ ชนิดหนึ่งมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่น ทนต่อแรงกระแทก มีความเหนียวทางเคมี การหล่อขึ้นและต้านทานการหล่อลื่น ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานด้านวิศวกรรม นั่นก็คือ พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra-high Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) มีการใช้ในเครื่องจักร สิ่งทอ การบุสำหรับร่างถ่านหินและรถดัมพ์ รางเลื่อนสำหรับการผลิตบรรจุขวด ตลอดจนกันชนลงผนังสำหรับเรือและท่าเรือ แล้วจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เช่น นำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนรองลื่นที่เป็นส่วนประกอบของข้อต่อเทียมต่าง ๆ (Total Joint Replacement) สำหรับงานศัลยกรรมกระดูกและ กล้ามเนื้อ การพัฒนาขาเทียมเพื่อทดแทนกระดูกอ่อนที่เสียหายในข้อสะโพกและข้อเข่า และหรือการนำเอา UHMWPE ที่ทำการขึ้นรูปแล้วมาประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรม เนื่องจาก UHMWPE เป็นวัสดุพอลิเมอร์หรือพลาสติกวิศวกรรมในกลุ่มพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ที่มีสมบัติเป็นวัสดุกึ่งผลึก (Semi Crystalline) มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่นตามที่กล่าวไปในข้างต้นนั้น สำหรับอลูมิเนียม (Aluminium) เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่ไม่มีส่วนผสมของเหล็ก มีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้าน เช่น มีน้ำหนักน้อยหรือมีความเบากว่าโลหะอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถ



การประชุมวิชาการราชชมรมทางด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

รับน้ำหนักได้ดี ขึ้นรูปได้ง่าย ด้านทานต่อการเกิดรอยร้าวหรือการแตกหักได้ดี ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน มีจุดหลอมละลายที่ 660°C จึงสามารถนำมาเป็นวัสดุผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี O. Hussain et al. [2] นำเสนอวัสดุผสมไฮบริด UHMWPE/nano- Al_2O_3 /Vitamin-C ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นกระดูกอ่อนเทียมในข้อต่อเทียม Al_2O_3 ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งต่อต้านการสึกหรอใน UHMWPE พบว่าเมื่อ ผสม Al_2O_3 2 wt% จะมีประสิทธิภาพด้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุผสมอื่นๆ สารเติมแต่งจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของพอลิเมอร์คอมโพสิต (UHMWPE Composite)

F.S. Senatov et al. [3] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม UHMWPE ที่เติมด้วยอนุภาคนาโน Al_2O_3 และไมโครสเฟียร์หลังการเปิดใช้งานเชิงกล เนื่องจาก UHMWPE มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่จุดหลอมเหลวจึงมีความหนืดสูงมากและพารามิเตอร์ การแพร่ตัวเองของสายโซ่โมเลกุลต่ำมาก ซึ่งนำไปสู่ ความยากลำบากในการรวมตัวและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการผสมเป็นผลให้เกิด ข้อบกพร่องทางโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ UHMWPE ได้ J.J. Wu et al. [4] จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับบทบาทสำคัญของลำดับอุณหภูมิ-เวลาในสถานะหลอมเหลวระหว่างกระบวนการผลิต สำหรับช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวคือ $145\text{--}200^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10–90 นาที โดยพื้นฐานแล้วจะมีเส้นทางความเค้น-ความเครียดเหมือนกัน ซึ่งสะท้อนความไม่แปรเปลี่ยนของระดับความเป็นผลึก

งามพรพรรณ ชะโล และคณะ [5] ได้ทดสอบสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นส่วนผสมหลักผสมกับบอลูมิเนียมออกไซด์ ในการผลิตล้อรถแทรกเตอร์ และให้ทราบสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมภายใต้กระบวนการขึ้นรูปล้อรถแทรกเตอร์ วัสดุสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นวัสดุหลักและมีสารเติมแต่งเป็นบอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเพื่อให้ได้ก้อนวัสดุสำหรับการทดลองประกอบด้วย แรงอัดขึ้นรูป อุณหภูมิ เวลา รวมถึงสัดส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด

กับบอลูมิเนียมออกไซด์ การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 type I การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 ผลที่ได้คือสภาวะการอัดขึ้นรูปร้อนภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ 210°C นาน 90 นาที ด้วย Al_2O_3 เกรด HTM 30 ร้อยละ 5 ซึ่งมีขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอในช่วง 2 ถึง $5\ \mu\text{m}$ ผลการทดสอบทางแรงดึงประกอบด้วยความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) เท่ากับ 20.52 MPa, Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 29.96 MPa, Breaking Strength เท่ากับ 22.83 MPa, Elongation at Break เท่ากับ 265.8% และ Modulus of elasticity เท่ากับ 784.46 MPa มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 62 shore D มีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงเท่ากับ $586.8\ \text{J/m}$ และมีอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยส่วนผสม UHMWPE ผสมกับ Al_2O_3 เกรด HTM-30 ที่ 5% มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าอัตราการสึกหรอ และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.12, $8.66\text{E-}11\ \text{mm}^3/\text{N.m}$, และ $1.2446958\ \text{g/cm}^3$

วิโรจน์ ฉัตรเกษ [6] ทำการทดลองทดสอบการหาสภาวะอุณหภูมิ แรงดัน และเวลาคงอุณหภูมิ ที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปร้อนผงพอลิเมอร์ UHMWPE และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการอัดขึ้นรูปร้อนที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ UHMWPE วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ผงพอลิเมอร์ UHMWPE บริสุทธิ์ ผงวัสดุถูกนำมาทำการอัดขึ้นรูปร้อนให้เป็นแผ่นขนาดกว้าง 160 mm ยาว 80 mm และหนา 10 mm ตัวแปรการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 - 210°C แรงดัน 5 - 20 MPa และเวลาคงอุณหภูมิ 30 - 90 นาที และนำวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูป มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางเคมี จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวัสดุ UHMWPE ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จากการทดสอบพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอัดขึ้นรูปร้อนวัสดุ UHMWPE คือต้องใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส แรงดัน 20 MPa และเวลาคงอุณหภูมิ 30 นาที วัสดุที่จากการขึ้นรูปจะมีอัตราการยึดตัวสูงสุด 460.49 % และอัตราการสึกหรอต่ำสุด $6.62 \times 10^{-8}\ \text{mm}^3/\text{Nm}$



การประชุมวิชาการราชชมกด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจึงมีความจำเป็นอย่าง
ยิ่งที่จะต้องทำการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีน
น้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra-high Molecular Weight
Polyethylene, UHMWPE) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งด้วย
การผสมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ เข้าไปเพื่อ
ปรับปรุงสมบัติให้สูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้
งานทางวิศวกรรม เนื่องจากการใช้งานของชิ้นส่วน
เครื่องจักรกลเหล่านี้ต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน
และสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ความสึกหรอที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมาก
ขึ้น หากชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และการใช้
งานที่อยู่ภายใต้สภาวะที่มีความเค้นและความเครียดสูง
เครื่องจักรต้องได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นประจำ
และชิ้นส่วนจะถูกเปลี่ยนบ่อยขึ้น

ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติ
ทางกลของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสม
โลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา อันจะทำให้ทราบสมบัติทางกล
ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อเป็นทางเลือกให้นำไปประยุกต์ใช้งาน
ทางวิศวกรรม

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวิจัย

- เครื่องผสมสารแบบตัววี ตัวเครื่องทำจากสแตนเลส
ใช้สำหรับการผสมพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเข้า
กับผงอลูมิเนียม เป็นการดำเนินงานด้วยการผสมแบบแห้ง
- เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-X
Plus ด้วย Load cell ขนาด 1 กิโลนิวตัน
- เครื่องทดสอบแรงกระแทกสำหรับพอลิเมอร์ยี่ห้อ
GOTECH testing Machines InC. โมเดล GT-7045-HML
- เครื่องตัดชิ้นงานความเร็วสูง
- เครื่องขัดเตรียมผิวชิ้นงานจานคู่ Metaserv 250
สามารถปรับความเร็วรอบที่ปรับได้ ตั้งแต่ 50-500 รอบต่อ
นาที
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Shimadzu
รุ่น ATX224R ชั่งวัสดุแบบชั่งจากด้านบน ชนิดอ่านละเอียด
แสดงผลเป็นตัวเลข ความละเอียดในการอ่านได้ 0.0001 กรัม
ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 220 กรัม จานขนาดกว้างxยาว 180x180

มิลลิเมตร ได้รับมาตรฐาน: ISO 9001

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดตั้ง
โต๊ะพร้อมชุดวิเคราะห์ธาตุ (FESEM with EDS) ยี่ห้อ
Thermo Scientific ประสิทธิภาพสูง มีกำลังขยายสูงสุด
1,000,000 เท่า

- ตู้อบความร้อน ปรับอุณหภูมิได้ถึง 300 องศา
เซลเซียส ตั้งเวลาการทำงานได้

- เครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์ อัดเข้าขึ้นรูปพอลิเมอร์
ด้วยไฮดรอลิก ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า แรงดันการอัดสูงสุด
55 ตัน สามารถทำความร้อนสูงสุดได้ 400 องศาเซลเซียส
แท่นอัดเข้า มีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร

- เครื่องวัดค่าความแข็งพอลิเมอร์ยี่ห้อ TECLOCK รุ่น
GS-702G สเกล Shore D มีตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยค่าที่สูงขึ้น
แสดงถึงความแข็งที่มากขึ้น

- แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปขนาดความกว้าง 80 มิลลิเมตร
ยาว 100 มิลลิเมตร สามารถอัดชิ้นงานให้มีความหนาในช่วง
5-30 มิลลิเมตร

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

2.2.1 นำผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด
และผงอลูมิเนียมไปตรวจสอบรูปลักษณ์สัญญาณด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

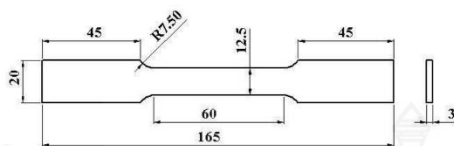
2.2.2 ทำการอบไล่ความชื้นสำหรับพอลิเอทิลีน
น้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดและผงอลูมิเนียมด้วยความร้อน
70°C นาน 0.5 ชั่วโมง

2.2.3 ผสมพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และ
ผงอลูมิเนียมด้วยเครื่องผสมสารแบบตัววี

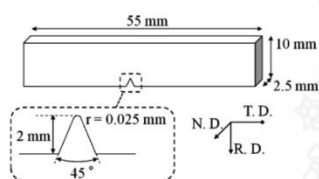
2.2.4 หากยังไม่นำมาใช้ในทันทีจะต้องทำการอบไล่
ความชื้นใหม่อีกครั้ง

2.2.5 นำใส่แม่พิมพ์และอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนของ
แม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 140°C นาน 3 ชั่วโมง

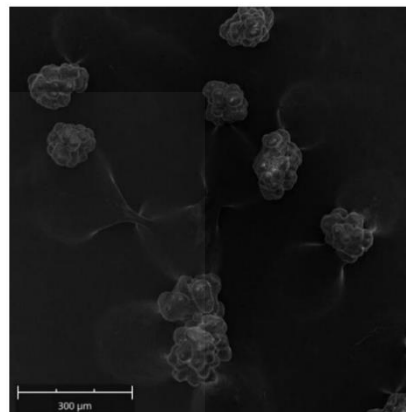
2.2.6 นำชิ้นงานที่ ถอดออกจากแม่พิมพ์ไปตัด
ออกเป็นชิ้นงานสำหรับการทดสอบแบบต่างๆ ด้วยเครื่อง
เครื่องตัดชิ้นงานยี่ห้อ BUEHLER รุ่น IsoMet และเครื่องกัด
ชิ้นงาน สำหรับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงเป็นไปตาม
มาตรฐาน ASTM D638 มีขนาดดังรูปที่ 1 และชิ้นงาน
ทดสอบแรงกระแทกตามรูปที่ 2



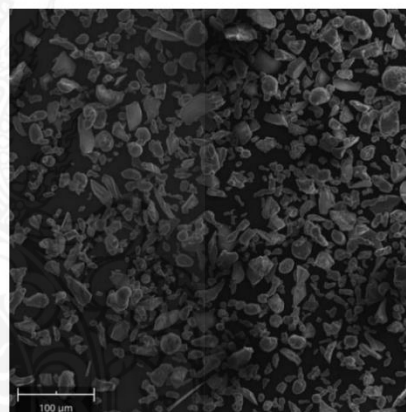
รูปที่ 1 ขนาดและรูปร่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน
ASTM D638



รูปที่ 2 ขนาดและรูปร่างชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกตาม
มาตรฐาน ASTM E23



รูปที่ 3 รูปร่างสัณฐานของผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง
ยิ่งยวดที่กำลังขยาย 300 ไมครอน



รูปที่ 4 รูปร่างสัณฐานของผงลูมิเนียมที่กำลังขยาย 100
ไมครอน

2.2.7 ขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Metaserv 250 Grinder-Polisher โดยเฉพาะพื้นที่ตลอดความยาวทั้ง 4 ด้าน

2.2.8 ทดสอบสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบ Tensile Test ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-X Plus ประกอบด้วย Yield Strength, Ultimate Tensile Strength, Elongation at Break และ Modulus of elasticity

2.2.9 ทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งพอลิเมอร์ Shore D สเกล Shore D

2.2.10 ทดสอบค่าความต้านทานแรงกระแทกด้วยเครื่อง GOTECH testing Machines InC. โมเดล GT-7045-HML ซึ่งเป็นงานทดสอบแบบ Charpy Impact Test

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพ

จากการนำพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และผงลูมิเนียมเข้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังรูปที่ 3-4 อนุภาคพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดจะมีลักษณะกลมขนาด 30 ไมครอน เกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนหนึ่งๆ และมีทั้งผิวยึดเกาะเข้าด้วยกันที่มีขนาดกลุ่มก้อนขนาดประมาณ 150-200 ไมครอน สำหรับผงลูมิเนียมจะมีลักษณะเป็นแท่งปริซึมและกลมคละเคล้ากันที่มีขนาดเฉลี่ย 10-50 ไมครอน

3.2 ผลการทดสอบค่าความแข็ง

จากการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็ง Durometer ยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2240 (JIS K 7215 D, ISO R 868 D) ผลการทดสอบความแข็งมีค่าเฉลี่ยที่ 63 Shore D

3.3 ผลการทดสอบค่าแรงดึง

ผลจากการทดสอบแรงดึงจำนวนชิ้นงานตัวอย่างรวม 5 ชิ้นที่ส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด



การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เสอริเทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

และผงอลูมิเนียมที่ 10 wt% และเฉลี่ยค่าออกมาจะได้ค่าต่างๆ ประกอบด้วย Yield Strength (MPa), Ultimate Tensile Strength (MPa), Elongation at Break (%) และ Modulus of Elasticity (MPa) มีค่าเท่ากับ 27.55 MPa, 32.76 MPa, 287.8%, 840.6 MPa ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ไม่มีการผสมสารเติมแต่งใดๆลงไปก็อ้างอิงจากบทความ A. K.Patel et al. [7] จะมีค่า Yield Strength (MPa), Ultimate Tensile Strength (MPa), Elongation at Break (%) และ Modulus of Elasticity (MPa) เท่ากับ 17.2±0.3 MPa, 36.9±1.1 MPa, 501.6±4.2 และ 472.2±8.6 MPa ตามลำดับ

3.4 ผลการทดสอบแรงกระแทก

ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก มีขนาดชิ้นงานทดสอบความกว้าง×ความหนา โดยประมาณเท่ากับ 2.5×10 มิลลิเมตร มีความลึกของรอยบาก 2 มิลลิเมตร ได้ค่าความทนต่อแรงกระแทกเท่ากับ 35.8 kJ/m²

4. อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพทำให้เห็นรูปลักษณะพื้นฐานของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดและผงอลูมิเนียมที่ผสมกันด้วยเครื่องผสมแบบตัววี ในช่วงของการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปร้อนนั้น ผลการขึ้นรูปแสดงให้เห็นว่าจะมีความร้อนสูญเสียจากแม่พิมพ์ออกไปภายนอกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้วัสดุภายในแม่พิมพ์ไม่หลอมเหลว การตั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ซึ่งจะต้องตั้งให้อุณหภูมิของตัวกดด้านบนอยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ฐานรากของแม่พิมพ์อยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส จึงส่งผลให้ความร้อนสามารถกระจายเข้าไปยังวัสดุที่อยู่ภายในทั้งนี้ยังใช้เวลาในการบ่มความร้อนให้หลอมเหลวนานถึง 3 ชั่วโมง ผลการทดสอบค่าความแข็งพบว่าในแต่ละตำแหน่งที่กดทดสอบอาจมีความแตกต่างที่ไม่มีนัยยะสำคัญระหว่างชิ้นงานที่ทำจากพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดกับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมกับผงอลูมิเนียม สำหรับค่าการทดสอบแรงดึงนั้นพบว่าผลการผสม

อลูมิเนียมเข้ากับพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่มีการผสมนั้นพบว่า การผสมอลูมิเนียมลงไปจะส่งผลให้ Yield Strength, Ultimate Tensile Strength และ Modulus of Elasticity สูงขึ้น ในขณะที่ Elongation at Break มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าการทดสอบแรงกระแทกจะลดลงอย่างมากหากมีการผสมผงอลูมิเนียมลงไป

5. สรุป

ผลการทดสอบของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่ผสมผงอลูมิเนียม 10 wt% นั้นจะส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าเพิ่มขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมได้ในบางกรณี ทั้งนี้ ต้องให้ความสำคัญกับกระบวนการผสมสารทั้งสองเข้าด้วยกัน ให้สามารถสอดแทรกและกระจายอนุภาคผงได้ทั่ว รวมทั้งกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนที่จะส่งผลให้สมบัติทางกลจากการทดสอบในแต่ละสมบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สำหรับการสนับสนุนด้านเครื่องมือและสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบและทดลอง

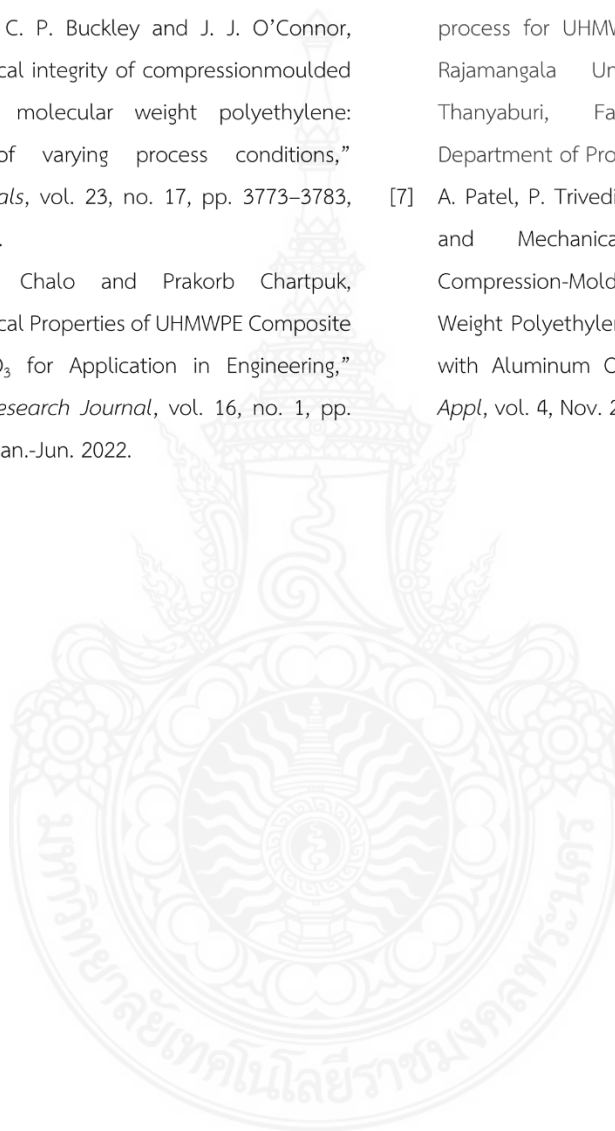
7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.M.Kurtz. UHMWPE Biomaterials Handbook, Elsevier Ins., China, 2009.
- [2] O. Hussain, B. Ahmad and S. Saleem, "Tribological performance of biomedical grade UHMWPE/nano-Al₂O₃/Vitamin-C hybrid composite for cartilage replacements," *Mater. Lett.*, vol. 291, p. 129-515, May 2021.
- [3] F. S. Senatov et al., "Biocompatible polymer composites based on ultrahigh molecular



การประชุมวิชาการราชชมภรณ์ด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์วิเทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

- weight polyethylene perspective for cartilage defects replacement,” *J. Alloys Compd.*, vol. 586, pp. S544–S547, Feb. 2014.
- [4] 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.
- [5] Ngampan Chalo and Prakorb Chartpak, “Mechanical Properties of UHMWPE Composite with Al₂O₃ for Application in Engineering,” *RMUTP Research Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 192-202, Jan.-Jun. 2022.
- [6] Wirot Chudget, “An influence of process parameters on mechanical properties and wear resistance in hot compression molding process for UHMWPE”, M. Eng Thesis, 2014 Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Faculty of Engineering, Department of Production Engineering.
- [7] A. Patel, P. Trivedi, and K. Balani, “Processing and Mechanical Characterization of Compression-Molded Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Biocomposite Reinforced with Aluminum Oxide,” *J Nanosci Nanoeng Appl*, vol. 4, Nov. 2014.





การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

การเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด
ด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

Improving the Tribological Performance of Ultra-high Molecular Weight
Polyethylene by Combining Lightweight Metal Reinforcements

วิชาญชัย ปลีนารัมย์¹ แจ็ค ชุมอินทร์² จิระศักดิ์ ธาระจักร³ ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน⁴ ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท⁵
ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี⁶ และ ประกอบชาติภักดิ์^{7*}

^{1, 4, 5, 7} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

⁶ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th*

Wichanchai Pleenaram¹ Jack Chumin² Jirasuk Tharajak³ Padipan Tinprabath⁴ Prasert Wirocheewan⁵
Natchanun Aagsuseranee⁶ and Prakorb Chartpuk^{7*}

^{1, 4, 5, 7} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon

² Department of Tool and Mold Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon

³ Department of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala
University of Technology Phra Nakhon

⁶ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala
University of Technology Suvarnabhumi

E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสึกหรอของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดบริสุทธิ์และทำการเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรโบโลยีของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมผงอลูมิเนียม การทดลองเป็นวิธีการสำคัญในกระบวนการวิจัย ผงอลูมิเนียมได้รับเลือกให้เป็นโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาผสมลงไปกับผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดบริสุทธิ์ ผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดถูกผสมกับผงอลูมิเนียมด้วยการผสมแบบแห้ง และผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่แรงดันปิดแม่พิมพ์ 5 MPa อุณหภูมิ 140°C นาน 3 ชั่วโมง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และดำเนินการทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องมือแบบ Block on ring ตามมาตรฐาน ASTM G77 ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานทดสอบที่มีการเติมผงอลูมิเนียมทำให้มีอัตราการสึกหรอต่ำกว่าชิ้นทดสอบตัวควบคุมที่ไม่มี การเติม และมีค่าความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงขึ้น เมื่อทำการตรวจสอบร่องรอยการสึกหรอพบว่ามีความหยาบผิวสูงขึ้นเนื่องมาจากอนุภาคผงอลูมิเนียมที่ผสมลงไป



การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

คำสำคัญ: ไตรโบโลยี, พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด, โลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

Abstract

The objective of this research was to investigate the wear of pure ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) and to enhance its tribological performance with the addition of aluminum powder. An experimental approach, employed as a key method in the research process, involved using aluminum powder as the lightweight metal reinforcement to mix with pure UHMWPE powder. UHMWPE powder was combined with aluminum powder through a dry blending process and subsequently subjected to hot pressing under a closed mold with a pressure of 5 MPa and a temperature of 140°C for 3 hours. The mixtures were analyzed under scanning electron microscopy and tested for wear using a block-on-ring apparatus in accordance with ASTM G77 standards. The study results indicated that specimens with added aluminum powder exhibited a lower wear rate compared to control specimens without any additions. However, these specimens also showed higher density and friction coefficients. Upon examining the wear marks, an increase in surface roughness attributed to the presence of mixed aluminum powder particles was observed.

Keywords: Tribology; Ultra-high Molecular Weight Polyethylene; Lightweight Metal Reinforcement

1. บทนำ

พอลิเมอร์[1]เป็นวัสดุพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักมากที่สุดในกลุ่มของพลาสติกมีสมบัติ คือ ราคาที่ต่ำ ความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมในช่วงความถี่ที่หลากหลาย ทนต่อสารเคมีได้ดีมาก ความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี ความเหนียว ความยืดหยุ่น และมีความโปร่งใสคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่โดดเด่น คือความเหนียวทางเคมี การหล่อลื่น ความทนทานต่อแรงกระแทก และความต้านทานต่อการเสียดสี เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น งานด้านเครื่องกล ไตรโบโลยี และชีวการแพทย์ โดยเฉพาะพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) [2] ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกเชิงวิศวกรรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมขั้นสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่น ทนต่อแรงกระแทกสูง หล่อลื่นได้เอง ความเหนียวของสารเคมี และความต้านทานการสึกหรอสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่น [3] พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุเสริมแรงขั้นสูงสุด มีเส้นใยหรือสายโซ่ที่พันกันอยู่

คล้ายๆเส้นสปาเกตตี้ที่มีความยาวมากกว่าหนึ่งกิโลเมตร มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาที่อุณหภูมิสูง สามารถดูดซับพลังงานความร้อนภายในตลอดเวลาส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ด้วยลักษณะที่ไม่มีใครเทียบได้เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ เช่น ความเหนียวที่นำประทับใจ อัตราส่วนน้ำหนักต่อความแข็งแรงเป็นพิเศษ ความหนาแน่นต่ำ การสึกหรอดีเยี่ยม และทนต่อสารเคมี คุณสมบัติที่โดดเด่นของคอมโพสิตไฟเบอร์/พอลิเมอร์ UHMWPE จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าในการพัฒนาคอมโพสิตไฟเบอร์พอลิเมอร์ UHMWPE ที่มีประสิทธิภาพสูงถูกจำกัดโดยพื้นผิวที่เรียบและเหนียวทางเคมีของไฟเบอร์ ส่งผลให้ส่วนต่อประสานระหว่าง UHMWPE และเมทริกซ์พอลิเมอร์อ่อนแอ จึงทำให้มีเทคนิคมากมายที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย UHMWPE โดยมีเป้าหมายเพื่อเสริมส่วนต่อประสานเมทริกซ์ของไฟเบอร์และพอลิเมอร์ชนิดนี้ให้มีการปรับเปลี่ยน ขยายปฏิกิริยาทางเคมีของพื้นผิวและความหยาบที่จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อสมบัติทางไตรโบโลยีและพันธะเคมีที่แข็งแกร่งยิ่งขึ้น



การประชุมวิชาการราชชมรมด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

งามพรรณ ชะโล [4] ได้ทดสอบสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นส่วนผสมหลักผสมกับอลูมิเนียมออกไซด์ ในการผลิตลัทธิแผ่น และให้ทราบสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมภายใต้กระบวนการขึ้นรูปลัทธิแผ่น วัสดุสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (UHMWPE) เป็นวัสดุหลัก และมีสารเติมแต่งเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเพื่อให้ได้ก้อนวัสดุสำหรับการทดลองประกอบด้วย แรงอัดขึ้นรูป อุณหภูมิ เวลา รวมถึงสัดส่วนระหว่างโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดกับอลูมิเนียมออกไซด์ การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 type I การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G77 ผลที่ได้คือสภาวะการอัดขึ้นรูปร้อนภายใต้สภาวะความดัน 5 MPa อุณหภูมิ 210 °C นาน 90 นาที ด้วย Al_2O_3 เกรด HTM 30 ร้อยละ 5 ซึ่งมีขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมออยู่ในช่วง 2 ถึง 5 μm ผลการทดสอบทางแรงดึงประกอบด้วยความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) เท่ากับ 20.52 MPa, Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 29.96 MPa, Breaking Strength เท่ากับ 22.83 MPa, Elongation at Break เท่ากับ 265.8% และ Modulus of elasticity เท่ากับ 784.46 MPa มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 62 shore D มีค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงเท่ากับ 586.8 J/m และมีอัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยส่วนผสม UHMWPE ผสมกับ Al_2O_3 เกรด HTM-30 ที่ 5% มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าอัตราการสึกหรอ และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.12, $8.66E-11 \text{ mm}^3/N.m$, และ 1.2446958 g/cm^3

F.S. Senatov et al. [5] ได้ทำการศึกษาคู่มือสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม UHMWPE ที่เติมด้วยอนุภาคนาโน Al_2O_3 และไมโครสเฟียร์หลังการเปิดใช้งานเชิงกล เนื่องจาก UHMWPE มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่จุดหลอมเหลวจึงมีความหนืดสูงมากและพารามิเตอร์ การแพร่ตัวเองของสายโซ่โมเลกุลต่ำมาก ซึ่งนำไปสู่ ความยากลำบาก

ในการรวมตัวและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการเผาผนึกเป็นผลให้เกิด ข้อบกพร่องทางโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ UHMWPE ได้

Zirui Wang และคณะ [6] ได้แปรรูป UHMWPE ให้เป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อนและการเผาผนึก และได้ทำการเลือกฟังก์ชันที่ใหม่ที่มีลักษณะการพันของสายโซ่โมเลกุลต่ำเป็นวัตถุประสงค์ และมีสมบัติทางความร้อนของการขึ้นรูปแบบซินเลอร์ที่แตกต่างกันไปตามขั้นตอนการทดสอบที่แตกต่างกัน ต่อจากนั้นผ่านการฉายรังสี Y-ray การเชื่อมขวางของสายโซ่โมเลกุลเกิดขึ้นในเฟสอสัณฐาน ซึ่งพบว่าผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุล (MW) ความเป็นผลึก (X) และโครงสร้างจุลภาคของเฟสผลึกต่อประสิทธิภาพการป้องกันการสึกหรอของ UHMWPE แบบเชื่อมขวาง และเปิดเผยกลไกที่เกี่ยวข้อง การระบุปัจจัยทางโครงสร้างที่สำคัญให้ชัดเจนจะช่วยกำหนดทิศทางการปรับเปลี่ยนที่ถูกต้องเพื่อให้มีความทนทานต่อการสึกหรอที่ดีเยี่ยมยิ่งขึ้น

Hari Shankar Vadivel และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับขนาดอนุภาค น้ำหนักโมเลกุล และการประมวลผลของ UHMWPE ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางความร้อนเชิงกลและไทรโบโลยีหรือไม่ โดยผู้ศึกษาได้สร้างชิ้นงานจาก UHMWPE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคต่างกันในรูปแบบเม็ด UHMWPE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค 140 μm ได้มาจาก Celanese Corporation สหรัฐอเมริกา ในขณะที่ส่วนที่เหลือได้มาจาก Mitsui Chemicals GmbH ประเทศเยอรมนี ทั้งหมดมีความหนาแน่น ค่าน้ำหนักโมเลกุลและคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน ตัวเลือกนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของน้ำหนักโมเลกุลต่อสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์และไทรโบโลยี จากการวิเคราะห์เชิงกลแบบไดนามิกในการกวาดล้างแอมฟลิจูด การกวาดความถี่ และการทดสอบอุณหภูมิพบว่าขนาดอนุภาคและน้ำหนักโมเลกุลไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดเก็บ การสูญเสีย และโมดูลัสที่ซับซ้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของคุณสมบัติไทรโบโลยี ในทำนองเดียวกัน ไม่พบความแตกต่างในด้านพฤติกรรมระหว่าง ตัวอย่างที่บิดและตามที่ได้รับซึ่งหมายความว่า การประมวลผลไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางความร้อนเชิงกลของเกรด UHMWPE ต่างๆ



การวัด DSC และ TGA สนับสนุนข้อสรุปนี้ การทดสอบทาง
ไดรโบลีย์ระบุว่าไม่มีความแตกต่างหรือไม่มีความสำคัญใน
ประสิทธิภาพของเกรด UHMWPE ต่างๆ

L. Xu Y และคณะ [8] ได้นำวัสดุ 2 ชนิดมารวมกัน
ได้แก่ ฟลูออรีเนตกราฟีน(Fluorinated graphene ,FG) กับ
โพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (Ultra-high molecular
weight polyethylene,UHMWPE) โดยใช้วิธีการกระจาย
ตัวแบบอัลตราโซนิคและวิธีเทอร์โมฟอร์มของเหลว ในการ
ตรวจสอบสมบัติทางกลและไดรโบลีย์ของฟลูออรีเนตกรา
ฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE)
โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงระดับไมโครและเครื่องทดสอบ
แรงเสียดทานแบบลูกสูบความเร็วสูง ผลการวิจัยพบว่า: การ
เติมฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) ไม่เพียงแต่จะเพิ่มความแข็งแรง
ระดับไมโครของทั้งวัสดุ 2 ชนิด (composites)เท่านั้น แต่ยังมี
ลดปริมาณการสึกหรอของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ลงได้เป็นอย่างดี
มากอีกด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดสีของวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ก็
ลดลงเช่นกันเมื่อมีปริมาณฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) เพิ่มขึ้น
นอกจากนี้ เซลล์ MC3T3-E1 ยังเกาะติดและเติบโตได้ดีบน
พื้นผิวของฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีนน้ำหนัก
โมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) ตามที่สังเกตโดย SEM และ
กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มฟลูออรี
เนตกราฟีน(FG) ไม่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณวิทยาและ
ปฏิกิริยาของเซลล์ฟลูออรีเนตกราฟีน(FG) กับโพลีเอทิลีน
น้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม
คุณสมบัติไดรโบลีย์ และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ซึ่ง
สามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนข้อต่อเทียมที่มีศักยภาพ K.S.
Kanaga Karupiah และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาลักษณะ
การเสียดสี การสึกหรอ และกลไกของพื้นผิวของ โพลีเอทิลีน
น้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ(UHMWPE) (เรซิน GUR 1050)
เกรดทางการแพทย์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเป็นผลึกโพลี
เมอร์ ที่ถูกควบคุมโดยการให้ความร้อน UHMWPE จนถึง
อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลว และการเปลี่ยนแปลงเวลาของ
ตัวและอัตราการเย็นตัว วัดค่าความร้อนด้วยการสแกนดิฟ
เฟอเรนเชียล (Differential scanning calorimetry : DSC)
ของระดับความเป็นผลึกของชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบ
ระดับความเป็นผลึกที่สูงขึ้นใน UHMWPE ส่งผลให้แรงเสียด

ทานลดลง และความต้านทานต่อการขีดข่วนเพิ่มขึ้นที่ระดับ
ไมโครและระดับนาโน ในระดับนาโนโครงสร้างลามลาร์ดู
เหมือนจะส่งผลต่อความต้านทานการสึกหรอที่สังเกตได้ การ
ทดสอบการสึกหรอแบบลูกสูบที่ดำเนินการโดยใช้ไมโครไดร
โบลีเตอร์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกยัง
ส่งผลให้ความลึกและความกว้างของการสึกหรอลดลงอีกด้วย
การทดลองการเยื้องระดับนาโนยังแสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้น
ของค่าความแข็งพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกของ
ตัวอย่าง จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจึงมีความ
จำเป็นอย่างยิ่งในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของโพลีเอทิลีน
น้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra-high Molecular Weight
Polyethylene, UHMWPE) เพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ ๆ ที่มี
ความสมบัติที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรม
ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการนำโพลิ
เมอร์ UHMWPE ผสมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ
เข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติให้สูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับการ
ประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม

ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่ม
ประสิทธิภาพทางไดรโบลีย์ของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุล
สูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบา

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวิจัย

- เครื่องผสมสารแบบตัววี ตัวเครื่องทำจากสแตนเลส
ใช้สำหรับการผสมโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดเข้า
กับผงอลูมิเนียม เป็นการดำเนินงานด้วยการผสมแบบแห้ง
- เครื่องตัดชิ้นงานความเร็วสูง
- เครื่องขัดเตรียมผิวชิ้นงานจานคู่ สามารถปรับ
ความเร็วรอบที่ปรับได้ ตั้งแต่ 50-500 รอบต่อนาที
- เครื่องวัดความหยาบผิว เป็นเครื่องมือวัดความ
หยาบผิวของงาน หัววัดมีระยะในการลากหัววัดในแนวแกน
X ได้ 100 มิลลิเมตร มีความเที่ยงตรง (Traverse Linearity)
ในการลากไม่เกิน (0.05 + 1L/1000) ไมโครเมตร
L: Measured length (mm.) แรงค์ดของหัววัด 0.75 มิลลิ
นิวตัน และมีความเร็วในการลากวัดได้ตั้งแต่ 0.02-5.0
มิลลิเมตร ต่อ วินาที หัววัดสามารถขยับขึ้นลงในแนวตั้งได้ไม่

น้อยกว่า 500 มิลลิเมตร มีความละเอียดของผลการวัด (resolution) 0.05 มิลลิเมตร มีแท่นวางงาน

- เครื่องซิงไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ซิงวัสดุแบบซิง

จากด้านบน ชนิดอ่านละเอียด แสดงผลเป็นตัวเลข ความละเอียดในการอ่านได้ 0.0001 กรัม ซิงน้ำหนักได้สูงสุด 220 กรัม งานขนาดกว้างxยาว 180x180 มิลลิเมตร มาตรฐาน: ISO 9001

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดตั้งโต๊ะพร้อมชุดวิเคราะห์ธาตุ (FESEM with EDS) ยี่ห้อ ประสิทธิภาพสูง มีกำลังขยายสูงสุด 1,000,000 เท่า

- ตู้อบความร้อน ปรับอุณหภูมิได้ถึง 300 องศาเซลเซียส ตั้งเวลาการทำงานได้ในช่วง 1 นาที ถึง 99 วัน 23 ชั่วโมง

- เครื่องอัดเข้าพอลิเมอร์ อัดเข้าขึ้นรูปพอลิเมอร์ ด้วยไฮดรอลิก ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า แรงดันการอัดสูงสุด 55 ตัน สามารถทำความร้อนสูงสุดได้ 400 องศาเซลเซียส แทนอัดเข้า มีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร

- แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปขนาดความกว้าง 80 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร สามารถอัดขึ้นงานให้มีความหนาในช่วง 5-30 มิลลิเมตร

- เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบ สมบัติความต้านทานการสึกหรอ แบบ Block on ring

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

2.2.1 นำผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และ ผงอลูมิเนียมไปตรวจสอบรูปลักษณ์สัญญาณด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.2.2 ทำการอบไล่ความชื้นสำหรับพอลิเอทิลีน น้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และผงอลูมิเนียมด้วยความร้อน 70 °C นาน 0.5 ชั่วโมง

2.2.3 ผสมพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และ ผงอลูมิเนียมด้วยเครื่องผสมสารตัววี

2.2.4 หากยังไม่นำมาใช้ในทันทีจะต้องทำการอบไล่ความชื้นใหม่อีกครั้ง

2.2.5 นำใส่แม่พิมพ์และอัดขึ้นรูปแรงดัน 5 MPa อุณหภูมิ 140 °C นาน 3 ชั่วโมง

2.2.6 นำชิ้นงานที่ถอดออกจากแม่พิมพ์ไปตัดออกเป็นชิ้นงานสำหรับการทดสอบแบบต่างๆ ด้วยเครื่องตัดชิ้นงานยี่ห้อ BUEHLER รุ่น IsoMet และเครื่องกัดขึ้นงานให้ได้ขนาดกว้างxความยาวxความหนาเท่ากับ 10x10x14 มิลลิเมตร

2.2.7 นำชิ้นงานที่ได้ขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Metaserv 250 Grinder-Polisher ด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 2000

2.2.8 นำชิ้นงานเข้าเครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานการสึกหรอและจับยึดขึ้นทดสอบด้วยฟิกเจอร์จับยึดสำหรับการทดสอบการสึกหรอ

2.2.9 กำหนดค่าแรงที่ใช้กดลงบนชิ้นทดสอบเท่ากับ 150 นิวตัน เวลาที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 180 นาที

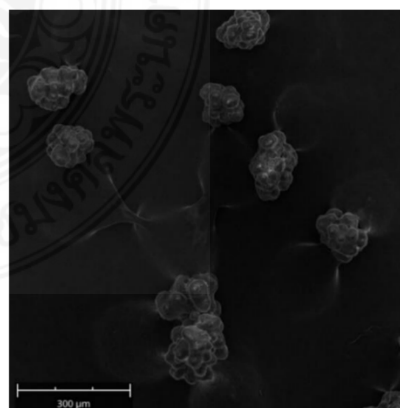
2.2.10 เปิดเครื่องทดสอบให้ทำการหมุนเสียดิสชิ้นทดสอบด้วยความเร็วของการเสียดทาน 0.3 เมตรต่อวินาที เป็นระยะทาง 5,000 เมตร

2.2.11 นำฟิกเจอร์จับยึดชิ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ

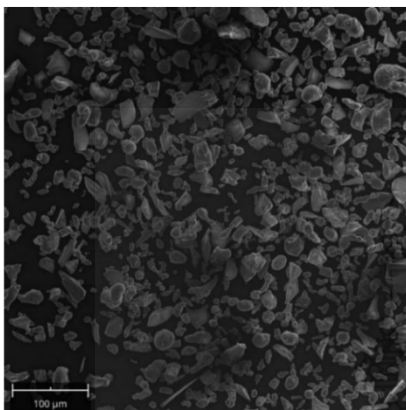
2.2.12 นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าสูญเสียบางของชิ้นทดสอบ บันทึกผลและคำนวณค่าต่างๆ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพ



รูปที่ 1 รูปร่างสัญญาณของผงพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดที่กำลังขยาย 300 ไมครอน



รูปที่ 2 รูปร่างสัณฐานของผงอลูมิเนียมที่กำลังขยาย 100 ไมครอน

จากการนำพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด และผงอลูมิเนียมเข้าตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 อนุภาคพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดจะมีลักษณะกลมขนาด 30 ไมครอน เกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนหนึ่งๆ และมีพังผืดเกาะเข้าด้วยกัน ที่มีขนาดกลุ่มก้อนขนาดประมาณ 150-200 ไมครอน สำหรับผงอลูมิเนียมจะมีลักษณะเป็นแท่งปริซึมและกลมเคลือบเคล้ากันที่มีขนาดเฉลี่ย 10-50 ไมครอน

3.2 ผลการทดสอบการสึกหรอ

ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน อัตราการสึกหรอ และค่าความหนาแน่นของ UHMWPE+อลูมิเนียม พบว่าค่าความหนาแน่นของอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น 5, 7.5 และ 10 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นไม่มากนักหรืออาจจะไม่มีระยะที่สำคัญมากพอ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.865656 g/cm^3 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15 และจะส่งผลให้อัตราการสึกหรอต่ำโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $6.89 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

4. อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพทำให้เห็นรูปลักษณ์สัณฐานของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด

และผงอลูมิเนียมที่ผสมกันด้วยเครื่องผสมแบบวี ในช่วงของการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปร้อนนั้น ผลการขึ้นรูปความร้อนจะสูญเสียจากแม่พิมพ์ออกไปภายนอกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้วัสดุภายในแม่พิมพ์ไม่หลอมเหลว การตั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้ซึ่งจะต้องตั้งให้อุณหภูมิของตัวกดด้านบนอยู่ที่ 250 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ฐานรากของแม่พิมพ์อยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส จึงส่งผลให้ความร้อนสามารถกระจายเข้าไปยังวัสดุที่อยู่ภายในทั้งนี้ยังใช้เวลาในการบ่มความร้อนให้หลอมเหลวนานถึง 3 ชั่วโมง ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน อัตราการสึกหรอ และค่าความหนาแน่นของ UHMWPE+อลูมิเนียม พบว่าค่าความหนาแน่นของอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น 5, 7.5 และ 10 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นไม่มากนักหรืออาจจะไม่มีระยะที่สำคัญมากพอ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการสึกหรอต่ำลง

5. สรุป

ผลการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพทางโทรโพลิของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวดด้วยการผสมโลหะเสริมแรงน้ำหนักเบาพบว่าชิ้นงานทดสอบที่มีการเติมผงอลูมิเนียมทำให้มีอัตราการสึกหรอต่ำกว่าชิ้นทดสอบตัวควบคุมที่ไม่มีการเติม และมีค่าความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการตรวจสอบร่องรอยการสึกหรอพบว่ามีความหยาบผิวสูงขึ้นอันเนื่องมาจากอนุภาคผงอลูมิเนียมที่ผสมลงไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สำหรับการสนับสนุนด้านเครื่องมือและสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบและทดลอง



การประชุมวิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 9
1-3 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม เซอร์เทจ เชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Steven M. Kurtz, “ UHMWPE Biomaterials Handbook” Ultra High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices.,Vol.3r, pp. 1-6, 2016.
- [2] J.O. Berumen,T. De la Mora,N. López-Perrusquia,I. Jiménez-Palomar,S. Muhl,C. Hernández-Navarro,E. García, Structural, chemical and mechanical “Study of TiAlV film on UHMWPE produced by DC magnetron sputtering”, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Vol.93, pp.23-30, 2019.
- [3] Daksh Shelly,Seul-Yi Lee,Soo-Jin Park., “Compatibilization of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fibers and their composites for superior mechanical performance: A concise review”, Composites Part B: Engineering, Elsevier, 15 April 2024
- [4] Ngampan Chalo and Prakorb Chartpuk, “Mechanical Properties of UHMWPE Composite with Al₂O₃ for Application in Engineering,” *RMUTP Research Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 192-202, Jan.-Jun. 2022
- [5] 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.
- [6] Zirui Wang,Quan Li,Xianchun Chen,Qin Zhang,Ke Wan, “High crystallinity makes excellent wear resistance in crosslinked UHMWPE”, *Polymer*, Vol.280 , 2023
- [7] Hari Shankar Vadivel,Marko Bek,Urška Šebenik,Lidija Slemenik Perše,Roland Kádár,Nazanin Emami,Mitjan Kalin, “Do the particle size, molecular weight, and processing of UHMWPE affect its thermomechanical and tribological performance?”, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol.12, pp.1728-1737, May–June 2021.
- [8] L. Xu,Y. Zheng,Z. Yan,W. Zhang,J. Shi,F. Zhou,X. Zhang,J. Wang,J. Zhang,B. Liu, “Preparation, tribological properties and biocompatibility of fluorinated graphene/ultrahigh molecular weight polyethylene composite materials”, *Applied Surface Science*, Vol.370, pp.201-208, 2016.
- [9] K.S. Kanaga Karuppiyah,Angela L. Bruck,Sriram Sundararajan,Jun Wang,Zhiqun Lin,Zhi-Hui Xu,Xiaodong Li, “Friction and wear behavior of ultra-high molecular weight polyethylene as a function of polymer crystallinity”, *Acta Biomaterialia* Vol.4, pp.1401-1410, 2008

ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล นายวิชาญชัย ปลีนารมย์
 วัน เดือน ปีเกิด 23 มิถุนายน 2520
 ภูมิลำเนา 1048 ถ.มหาจักรพรรดิ ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ฉะเชิงเทรา 24000

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์	2538
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์	2540
ระดับประกาศนียบัตรครุเทคนิคชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม	2543
ระดับปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	2548

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ตำแหน่งครู วิทยฐานะชำนาญการ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา