

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๓๓
รายการรูปประกอบ	๓๓
รายการสัญลักษณ์	๓๓
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๓๓

บทที่

1. บทนำ

1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3	ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
1.4	ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5	ขั้นตอนการดำเนินงาน	4

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1	วัสดุเชิงประกอบ	5
2.1.1	ความหมายของวัสดุเชิงประกอบ	5
2.1.2	ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ	6
2.1.2.1	วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์	7
2.1.2.2	สารตัวเติมชนิดอนุภาค	7
2.1.3	การยึดเกาะระหว่างวัสดุหลักและสารตัวเติมของวัสดุเชิงประกอบ	8
2.1.3.1	การดูดซับและการเปียก	8
2.1.3.2	การแพร่เข้าหากัน	8
2.1.3.3	แรงดึงดูดของประจุหรือไฟฟ้าสถิต	9
2.1.3.4	พันธะเคมี	9

	หน้า
2.1.3.5 การยึดเกาะทางกล	9
2.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	9
2.2.1 พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	9
2.2.2 เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์	10
2.2.3 คาร์บอนนาโนทิวบ์	13
2.3 ไตรโบโลยี	14
2.3.1 สารหล่อลื่น	14
2.3.1.1 สารหล่อลื่นของแข็งโครงสร้างแบบชั้น	17
2.3.2 แรงเสียดทาน	18
2.3.2.1 การคำนวณเกี่ยวกับแรงเสียดทาน	19
2.3.2.2 แรงเสียดทานของพอลิเมอร์	19
2.3.3 การสึกหรอ	22
2.3.3.1 ความหมายและประเภทของการสึกหรอ	22
2.3.3.2 การทดสอบการสึกหรอ	28
2.3.3.2.1 การทดสอบการสึกหรอแบบลื่นไถลชนิดหัวกดบนแผ่นทดสอบ แบบ Pin-on-Disc	28
2.3.3.2.2 การวัดความเสียหายจากการสึกหรอ	29
2.3.3.2.3 อัตราการสึกหรอ	29
2.3.3.3 การสึกหรอของพอลิเมอร์	30
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติไตรโบโลยีของพอลิเมอร์และวัสดุเชิงประกอบ พอลิเมอร์	32
2.4.1 ปัจจัยที่เกิดจากวัสดุที่ทำการทดสอบ	33
2.4.1.1 อิทธิพลของชนิดสารตัวเติม	33
2.4.1.2 อิทธิพลของขนาดและปริมาณสารเสริมแรง	33
2.4.2 ปัจจัยที่เกิดจากสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ	38
2.4.2.1 อิทธิพลของระยะทางทดสอบ	38
2.4.2.2 อิทธิพลของน้ำหนักกด	38
2.4.2.3 อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบ	39
2.4.2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิในการทดสอบ	40
2.4.2.5 อิทธิพลของการใช้และไม่ใช้สารหล่อลื่น	42
2.4.2.5 อิทธิพลของวัสดุคู่สัมผัส	42

2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
3. การดำเนินงานวิจัย		
3.1	แผนการดำเนินงานโดยรวม	46
3.2	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	50
3.2.1	พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	50
3.2.2	เฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์	50
3.2.3	คาร์บอนนาโนทิวบ์	50
3.3	ขั้นตอนการผสม	51
3.4	กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน	52
3.5	วิเคราะห์และตรวจสอบ ส่วนผสมและวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	54
3.5.1	การตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	54
3.5.2	การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของส่วนผสมและวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	54
3.5.2.1	การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของส่วนผสม	54
3.5.2.2	การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	54
3.5.3	การวัดความหยาบผิวของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตนด้วยเครื่อง Profilometer	55
3.5.3.1	การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบ	55
3.5.3.2	การวัดความหยาบผิวของชิ้นงานก่อนทดสอบ	55
3.6	ทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	57
3.6.1	ความต้านทานแรงดึง	57
3.6.2	ความแข็งระดับจุลภาค	57
3.6.3	ความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง	57
3.7	ทดสอบความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเฮกซะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	60
3.7.1	การทดสอบการสึกหรอ	60

3.7.2	การวัดผลจากการทดสอบการสึกหรอ	60
3.7.2.1	ปริมาตรการสูญเสียเนื้อวัสดุ	60
3.7.2.2	อัตราการสึกหรอ	61
3.7.2.3	อัตราจำเพาะของการสึกหรอ	61
3.7.3	การตรวจสอบและวิเคราะห์รอยสึกหรอ	61
3.7.3.1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	61

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1	ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบ	62
4.1.1	ผงเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์	62
4.1.2	ผงพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	62
4.1.3	วัสดุเชิงประกอบเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์/ผงพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	65
4.2	สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์/ พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	66
4.2.1	อิทธิพลของปริมาณและขนาดของอนุภาคเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มี ผลต่อความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	67
4.2.1.1	ค่าอึลัสติกมอดุลัส	67
4.2.1.2	ความต้านทานแรงดึง	68
4.2.1.3	ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด	69
4.2.2	อิทธิพลของปริมาณและขนาดของอนุภาคเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์ ที่มีผลต่อความต้านทานต่อการคดงอของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์ อีเทอร์คีโตน	71
4.2.2.1	ค่ามอดุลัสการคดงอ	71
4.2.2.2	ความต้านทานต่อการคดงอ	72
4.2.1	อิทธิพลของปริมาณและขนาดของอนุภาคเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์ที่มี ผลต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	73
4.3	สมบัติความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเซกซ์โกนอลโบรอนไนไตรด์/ พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	74
4.3.1	ความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเซกซ์โกนอลโบรอน ไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	75
4.3.1.1	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	75

หน้า

4.3.1.1.1	ผลของปริมาณอนุภาคเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์	75
4.3.1.1.2	ผลของน้ำหนักกด	81
4.3.1.1.3	ผลของระยะทางการทดสอบ	82
4.3.1.2	ความต้านทานการสึกหรอ	82
4.3.1.2.1	ผลของปริมาณอนุภาคเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์	82
4.3.1.2.2	ผลของน้ำหนักกด	90
4.3.1.2.3	ผลของระยะทางทดสอบ	91
4.3.2	ความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน ทดสอบที่อุณหภูมิสูง	94
4.3.2.1	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	94
4.3.2.1.1	ผลของอุณหภูมิทดสอบ	94
4.3.2.1.2	ผลของปริมาณอนุภาคเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์	100
4.3.2.1.3	ผลของน้ำหนักกด	101
4.3.2.2	ความต้านทานการสึกหรอ	101
4.3.2.2.1	ผลของอุณหภูมิทดสอบ	101
4.3.2.2.2	ผลของปริมาณอนุภาคเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์	102
4.3.2.2.3	ผลของน้ำหนักกด	106
4.3.3	ความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์/คาร์บอนนาโนทิวป์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	106
4.3.3.1	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	106
4.3.3.2	ความต้านทานการสึกหรอ	107

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1	สรุปผลการทดลอง	110
5.1.1	ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบ	110
5.1.2	สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	110
5.1.3	สมบัติความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	110
5.2	ข้อเสนอแนะ	113

เอกสารอ้างอิง	114
---------------	-----

ภาคผนวก

ก. การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเสกชะโกนอลโบรอนไนไตรด์/ พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	125
ข. การศึกษาความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเสกชะโกนอลโบรอน ไนไตรด์/พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน	132
ค. การศึกษารอยสึกหรอจาก SEM	142

ประวัติผู้วิจัย	150
-----------------	-----