

การศึกษานិងทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางไทรโบโลยี

ของชิ้นต่อทรงกลมในชุดคันค้อรถยนต์

EXPERIMENTAL STUDY ON TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF TIE ROD END BALL JOINT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-084

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางไทรโบโลยี
ของข้อต่อทรงกลมในชุดคันต่อรถยนต์

EXPERIMENTAL STUDY ON TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF TIE ROD END BALL JOINT



T105119



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105119
วัน,เดือน,ปี.....16 พ.ย. 2552

b. 12166192
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-030-084

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPERIMENTAL STUDY ON TRIBOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF TIE ROD END BALL JOINT**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา KMITL-2009-EN-M-030-084 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING




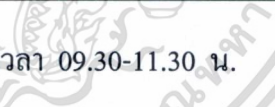

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางไทรโบโลยีของข้อต่อทรงกลมในชุดคันท่อรถยนต์
Thesis Title Experimental Study on Tribological Characteristics of Tie Rod End Ball Joint
นักศึกษา นายสิทธิชัย รัชชโยธิน
รหัสประจำตัว 49060361
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-084

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ	
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	
รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว	
รศ.ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา	
รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.30-11.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางไตรโบโลยีของข้อต่อทรงกลมในชุดคันต่อรถยนต์
นักศึกษา	นายสิทธิชัย รัชชศโยธิน
รหัสนักศึกษา	49060361
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการศึกษาและทดลองทางไตรโบโลยีของสารหล่อลื่นในคันข้อต่อล้อรถยนต์ เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการในการผลิตสารหล่อลื่น และบทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับพฤติกรรมสารหล่อลื่นและพัฒนาชุดทดสอบการสึกหรอของข้อต่อทรงกลม ที่เกิดกับการเสียดสีระหว่างชุดข้อต่อทรงกลมในช่วงล่างรถยนต์ที่เป็น โลหะผสมกับสารหล่อลื่นที่เป็นเทอร์โมพลาสติก อะซีทิล โค พอลิเมอร์ เอ็ม 25-44 (POM M25-44), POM 100P และ PA66 ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความเหนียวที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมยานยนต์ และเป็นการลดการสึกหรอของโลหะผสมข้อต่อทรงกลม ได้ดี จึงทำให้เกิดการลดการสูญเสียเชิงกล การสูญเสียทางทอร์กของรับแรง บทความนี้ได้ทำการแก้ปัญหาโดยทำการทดสอบการเสียดสีกันของ สารหล่อลื่นกับโลหะข้อต่อรถยนต์ ไททานเนียม และศึกษาแนวโน้มของการสึกหรอ ผลการทดลองนี้แสดงถึงการสัมผัสกันที่ภาระต่างๆกัน โดยการทดลองนี้วัดจากอุปกรณ์ส่องขยาย 50 เท่า ของสารหล่อลื่น ซึ่งผลการทดลองถูกเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ กัน พบว่าหลังทำการทดสอบด้วยการทดสอบระยะสั้น โดย ผลจากความแข็ง ความเค้น ความเครียด ความเหนียว และการทดสอบระยะยาว เพื่อดูแนวโน้มของการสึกหรอ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงมวลนั้น สารหล่อลื่นชนิด อะซีทิล โค พอลิเมอร์ พี ไอ เอ็ม 100 พี ที่กระบวนการผลิตอุณหภูมิคงที่ 190 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง พลังงานความเครียด รวมถึงความเสียหายเนื่องจากการสึกหรอแบบ แอดเฮชันซีฟ (Adhesive wear) ดีกว่าผลิตภัณฑ์อื่น โดยรอยสึกหรอมีขนาดเล็กถึง 4.38 % เมื่อเทียบกับสารหล่อลื่นที่เป็นเทอร์โมพลาสติก อะซีทิล โค พอลิเมอร์ เอ็ม 25-44 (POM M25-44) และมีการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียเชิงมวลน้อย อยู่ที่ประมาณ 0.01%

Thesis Title	Experimental Study on Tribological Characteristics of Tie Rod End Ball Joint.
Student	Mr. Sitthichai Ruchayosyothin
Student ID.	49060361
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanicals Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongroj

ABSTRACT

In solid tie rod end ball joint friction, between alloy tie rod material with Acetyl Co-Polymer (POM) M25-44, POM-100P and PA66 Lubricant has significant influence on the wear characteristics of the tie rod ball joint life ; consequently, friction should be reduced to minimize wear and increase service life of the tie rod end ball joint. The experiments were set up to measure wear area and feature of wear of the contact surface with solid lubricant materials to obtain life cycle of tie rod end ball joint solid lubricant materials at various operating conditions pressure ,speed ,frequently ,load and tie rod end material .The wear characteristics can be investigated using microscope 50X zooming and the results are compared from various production parameters.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย จากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่ได้เงินทุน ตลอดถึงการเผยแพร่ผลงานสู่สาธารณชน

ขอขอบคุณภาคอุตสาหกรรม คุณโสภณ บุญเอกรัตน์ จากร้านถาวรการผลิต ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณภาคอุตสาหกรรม คุณณรงค์ เก่าเซ็ง จากบริษัท เอ็น พี วี เอนจิเนียริง จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องมือ และ คำแนะนำในการทำโครงการ

ขอขอบคุณภาคอุตสาหกรรม คุณสุธี แซ่ตั้ง ที่สนับสนุนเครื่องมือวัด ความละเอียดสูง ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ คุณวิรัชดิ เลิศวิทยพันธ์ ที่สนับสนุนงานธุรการในการดำเนินโครงการ กระทั่งจบโครงการ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สิทธิชัย รัชชศโยธิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีปัจจุบัน.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 ความเค้นตั้งฉาก.....	7
2.2.2 ความเค้นสัมผัส.....	8
บทที่ 3 พลาสติกและการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก.....	11
3.1 ประเภทของการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก.....	11
3.2 การศึกษาความเค้นและความเครียด.....	13
3.2.1 ความเค้นและความเครียด.....	14
3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	22
3.3.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบ.....	22
3.3.2 มอดูลัส.....	23
3.3.3 จีดจำกัดความเป็นสัดส่วน.....	24
3.3.4 จุดคราก.....	25
3.3.5 ค่าความต้านทานแรงสูงสุด.....	26
3.3.6 ความเค้นและความเครียด ณ จุดแตกหัก.....	27
3.3.7 ความเหนียว.....	27
3.4 ค่ามอดูลัสและความแข็งแรง.....	27
3.5 ประเภทของพลาสติกตามความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	27
3.5.1 พลาสติกที่มีสมบัตินิ่มและไม่แข็งแรง.....	28
3.5.2 พลาสติกที่มีสมบัตินิ่มและเหนียว.....	28
3.5.3 พลาสติกที่มีสมบัติแข็งเปราะ.....	28
3.5.4 พลาสติกที่มีสมบัติแข็งแรง.....	28
3.5.5 พลาสติกที่มีสมบัติแข็งและเหนียว.....	28
3.6 การปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ด้วยสารเติมแต่ง.....	31
3.6.1 ระบบที่มีวิฎภาคของอิลาสโตเมอร์.....	31
3.6.2 ระบบที่มีวิฎภาคของอิลาสโตเมอร์เป็นทรงกลมกระจายตัว ในเมทริกซ์พอลิเมอร์ชนิดแข็ง.....	31
3.6.3 การเกิดการราน.....	31
3.6.4 การเสีรูปร่างเนื่องจากความเค้นเฉือน.....	31
3.7 ชนิดของสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก.....	32
3.7.1 สารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ในพอลิไวนิลคลอไรด์.....	32
3.7.2 พอลิอะคริเลท.....	33
3.7.3 พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรด์ บิวทาไดอิน สไตรีน.....	33
3.7.4 พอลิพรอพิลีนที่มีสารช่วยปรับปรุงการกระแทก.....	34
3.7.5 พอลิสไตรีนและพอลิเมอร์ร่วมที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทก.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7.6	พอลิสดาไดรียที่มีสารปรับแรงกระแทกชนิดโปร่งใส.....	35
3.7.7	พอลิสดาไดรียที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกชนิดด้านทาน ต่อสภาวะอากาศ.....	35
3.7.8	พอลิเมออร์ร่วมระหว่างอะครีโลไนไครล์ บิวทาไดอิน สไตรีน.....	35
3.7.9	การประยุกต์ใช้สำหรับพอลิสดาไดรียที่มีสารช่วย ปรับปรุงแรงกระแทกและ ABS.....	35
3.7.10	พอลิเอไมด์ที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทก.....	35
บทที่ 4	อุปกรณ์ทดลอง และวิธีการทดลอง.....	37
4.1	เครื่องทดสอบระยะยาว.....	37
4.1.1	ระบบไฮดรอลิก.....	37
บทที่ 5	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	60
5.1	ผลการทดลอง.....	60
5.1.1	การทดลองระยะสั้น.....	60
5.1.2	การทดลองระยะยาว.....	64
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	75
บทที่ 6	บทสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
6.1	บทสรุปงานวิจัย.....	77
6.2	ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....	78
บรรณานุกรม.....		79
ภาคผนวก.....		81
ภาคผนวก ก.	ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	82
ประวัติผู้เขียน.....		95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมบัติทางความเค้นและความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ.....	28
5.1 สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการต่างๆ.....	64



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงผลของข้อต่อทรงกลม โลหะผสมต่างๆ ที่มีการเรียงตัวของอนุภาคโลหะ.....	6
2.2 การเสียหายของโลหะเมื่อเกิดการเสียดสีและกระแทก.....	6
2.3 แสดงถึงการสึกหรอของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (Specimen) บนไททานเนียม.....	7
2.4 แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างการฉาบ MoS_2 บนไททานเนียมกับไม่มี.....	7
2.5 ลักษณะการรับแรงตั้งฉาก.....	8
2.6 ลักษณะการรับแรงสัมผัส.....	8
2.7 ขนาดความเค้นสัมผัสและความเค้นเฉือนภายใต้ค่าต่าง ๆ.....	9
3.1 ประเภทของการทดสอบสมบัติทางกล.....	13
3.2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง.....	15
3.3 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด ของวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้น.....	16
3.4 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของวัสดุยืดหยุ่นแบบไม่เป็นเชิงเส้น.....	17
3.5 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของวัสดุวิสโคอิลาสติก.....	18
3.6 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร.....	18
3.7 การเปลี่ยนแปลงความยาวและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง.....	19
3.8 เปรียบเทียบระหว่างความเค้นเชิงวิศวกรรมและความเค้นจริง.....	21
3.9 แผนภูมิการทดสอบ.....	22
3.10 สมบัติทางกลต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดสอบ.....	23
3.11 แผนภาพแสดงหามอดูลัสด้วยวิธีต่างๆ.....	24
3.12 แผนภาพแสดงขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน.....	25
3.13 แผนภาพแสดงการคำนวณหาจุดคราก โดยวิธีออฟเซต.....	26
3.14 ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	29
3.15 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทีลีน เทอเรฟทาเลต และเอทิลีน พรอพิลีน ไดอิมมอนอเมอร์.....	30
3.16 กระบวนการกระจายพลังงาน.....	32
4.1 เครื่องทดสอบความเค้นสัมผัส ควบคุมด้วยต้นกำลังไฮดรอลิก.....	37
4.2 กระจบอกลูกปืนไฮดรอลิกเสี้ยนผ่านศูนย์กลาง 5 ซม และ ช่วงชัก 5 ซม.	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 กำลังอินพุตของระบบไฮดรอลิก.....	38
4.4 ประเภทมอเตอร์ของมอเตอร์ไฮดรอลิก.....	39
4.5 ลักษณะของมอเตอร์เฟือง.....	40
4.6 ลักษณะมอเตอร์แบบใบพัดสมดุลงานหมุนกลับทางได้.....	40
4.7 ลักษณะโครงสร้างแบบลูกสูบ.....	41
4.8 หลักการเบื้องต้นของปั๊มไฮดรอลิก.....	42
4.9 ประเภทของปั๊มไฮดรอลิก.....	42
4.10 ปั๊มแบบเฟืองฟันนอก.....	43
4.11 ปั๊มแบบเฟืองฟันใน.....	44
4.12 ปั๊มแบบโหลบ.....	45
4.13 ปั๊มแบบสกู.....	45
4.14 ประเภทของปั๊มใบพัด.....	46
4.15 ปั๊มแบบใบพัดไม่สมดุลงาน.....	46
4.16 ปั๊มใบพัดแบบสมดุลงาน.....	48
4.17 ปั๊มแบบลูกสูบวางแนวเฉียงกับแกนเพลลา.....	48
4.18 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบลูกสูบวางขนานกับแกนเพลลา.....	49
4.19 ประเภทของปั๊มแบบลูกสูบวางรอบแนวแกนเพลลา.....	49
4.20 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบชุดกระบอกสูบเคลื่อนที่.....	50
4.21 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบชุดกระบอกสูบอยู่กับที่.....	50
4.22 แผงวงจรไฟฟ้าและวงจรควบคุมอัตโนมัติของเครื่องทดสอบ.....	51
4.23 แสดงส่วนประกอบหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิกด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	52
4.24 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	52
4.25 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์ที่ใช้กับกระแสดรงแบบแห้ง.....	53
4.26 วาล์ว 4/3 ชนิดสั่งงานด้วยโซลินอยด์ทั้งสองด้าน.....	53
4.27 โครงสร้างและการทำงานของสวิทช์ปุ่มกด.....	54
4.28 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของรีเลย์.....	54
4.29 แสดงโครงสร้างและหลักการทำงานของลิมิตสวิทช์.....	55
4.30 สัญลักษณ์และหลักการทำงานของตัวนับ.....	55
4.31 การใช้ PLC ควบคุมระบบไฮดรอลิก.....	56
4.32 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ PLC.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX อัจฉริยะถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33 การต่ออุปกรณ์ภายนอกร่วมกับ PLC.....	58
4.34 หน้าต่างของโปรแกรมเขียนคำสั่ง PLC.....	58
5.1 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการต่าง.....	60
5.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการต่าง.....	61
5.3 แสดงลักษณะของ Specimen เพื่อใช้ทดสอบ.....	62
5.4 แสดงผลการทดสอบ ความเค้นและความเครียดของผลิตภัณฑ์ ต่าง.....	62
5.5 ผลการทดสอบความเค้น และความเครียด (ก) POM 100P ที่กระบวนการฉีด 190 องศาเซลเซียส.....	63
(ข) POM 100P ที่กระบวนการฉีด 210 องศาเซลเซียส.....	63
5.6 ลักษณะสารหล่อลื่นประเภทต่างๆ ความหนา 2 มิลลิเมตร.....	62
5.7 การทดสอบความเค้นปกติของสารหล่อลื่น POM M25-44 ที่กั้นเบ้า.....	65
5.8 แนวโน้มของขนาดรอยสึกหรอ.....	66
5.9 ผลการทดสอบที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM M25-44 ที่ขอบข้าง.....	69
5.10 ผลการทดสอบที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM-100P ที่ขอบข้าง.....	72
5.11 ผลการทดสอบดูความเสียหายที่การใช้สิ้นสุดอายุการใช้งาน.....	73
5.12 ลักษณะความเสียหายที่เกิดกับคั่นข้อต่อ โลหะไททานเนียมปัสเมตติก.....	74
5.13 เปรียบเทียบขนาด Pitch ของรอยสึกหรอที่จำนวนรอบต่างๆ ของสารหล่อลื่น แต่ละผลิตภัณฑ์.....	74
5.14 เปรียบเทียบขนาดการสูญเสียมวลที่จำนวนรอบต่างๆ ของสารหล่อลื่น แต่ละผลิตภัณฑ์.....	75

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการศึกษาหรือของสารหล่อลื่นที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการศึกษา อันเนื่องมาจากการสัมผัสกันระหว่างสองชิ้นงานนั่นคือ ตัวเบ้าฝาครอบ และ ตัวทรงกลมของก้านข้อต่อ ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นเกิดการรับแรงความเค้นแบบสัมผัสกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นทฤษฎีเชิงกล ที่เกิดขึ้น อีกส่วนหนึ่งนั่นคือลักษณะโครงสร้างของ พอลิเมอร์ ที่มาชิดเกาะกัน ซึ่งถ้ายังมีความเป็นร่างแหมากเท่าไรนั้นหมายถึงความแข็งแรงที่เกิดขึ้นจะสูง และสุดท้ายนั่นคือรูปร่างของชิ้นงานมีผลต่อการสึกหรอของสารหล่อลื่น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนั้นเราสามารถแบ่งประเภทการทดลองออกเป็นสองแบบหลัก คือ (1) การทดสอบระยะสั้น คือ การทดสอบคร่าว ๆ เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการเสียดสภาพเชิงกลอย่างง่าย เช่น การทดสอบความแข็งแรง การทดสอบการยืดหยุ่น (2) การทดสอบระยะยาว เป็นการทดสอบที่ศึกษาถึงสภาพการใช้งานจริงในสารหล่อลื่น เพื่อเป็นการทดสอบจริงที่เกิดขึ้นนั่นคือ จะต้องมีส่วนทดลองที่สามารถทดสอบการใช้งานเหมือนสภาพการใช้งานจริง เพื่อเป็นการยืนยันการใช้งานจริง ต่อไป

1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการปัจจุบัน

วิธีการศึกษาแบ่งการทดสอบออกเป็นสองแบบ คือ การทดสอบระยะสั้น ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงของสารหล่อลื่น การทดสอบความเค้นและความเครียดของสารหล่อลื่น ซึ่งผลที่ได้คือความเหนียวที่เกิดขึ้น การทดสอบประเภทนี้ ทำให้เราสามารถทราบถึงสมบัติพื้นฐานของสารหล่อลื่นซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมของสารหล่อลื่นเชิงกลได้เป็นอย่างดี และ การทดสอบระยะยาวเป็นการทดสอบเพื่อทำให้เราทราบถึงคุณสมบัติที่เกิดขึ้นเสมือนการใช้งานจริง เช่นการทดสอบจากเครื่องทดสอบจริง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการวิจัย เพื่อทำการเปรียบเทียบสารหล่อลื่นที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยอาศัยระเบียบการวิจัยเป็นตัวช่วยในการทำงาน และดำเนินการสร้างชุดทดลอง จำลองสภาพการใช้งานจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดนำมาเปรียบเทียบจากสมบัติเชิงกล และจากการจำลองการใช้งานจริง ซึ่งอาศัยผลจากการสึกหรอ การสูญเสียเชิงมวลที่เกิดขึ้นเพื่อทำการหาข้อสรุปและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีในการทำงาน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และงานวิจัยที่ได้เคยทำมาหรือเกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการอ้างอิง

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการทดสอบสารหล่อลื่น รวมทั้งคุณสมบัติพื้นฐานของสารหล่อลื่น

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างชุดทดลองในการทดลอง และวิธีการทดลอง

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 6 บทสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่ได้เคยทำมา รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยเพื่อใช้การอ้างอิงกับการทดลองและเป็นแนวทางในการดำเนินงาน ในอดีตมีผู้ทำการทดลองและทำวิจัยในเรื่องการหล่อลื่นนี้อย่างมากมาย ซึ่งการดำเนินการวิจัยนี้มีการทำมานานมีทั้งการพัฒนาทั้งสารหล่อลื่นและพัฒนาโลหะคั่นข้อต่อควบคู่กัน ซึ่งผลลัพธ์และแนวทางที่ได้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด เนื้อหาต่อไปนี้เป็นบทความที่เกี่ยวข้องกับการทดลองดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุที่มีการเสียดสีกันอย่างต่อเนื่องนั้น ในเบื้องต้นจำเป็นที่จะมีน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาลดแรงเสียดทานซึ่งเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการหล่อลื่น แต่ในปัจจุบันนี้มีสารหล่อลื่นอีกมากมายเพื่อลดการเสียดทานเนื่องจากการเสียดสี แรงเฉือน หรือ แรงกระแทก ซึ่งสารหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นสารหล่อลื่นแบบแข็งนี้ สามารถที่จะลดแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถดูดซับพลังงานความเค้นได้ ในบทความนี้ได้ทำการศึกษายูทูปกรณียานยนต์ช่วงล่างระหว่างชุดคั่นข้อต่อล้อกับชุดบังคับเลี้ยว ซึ่งต้องรับภาระช่วงล่างอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีสารหล่อลื่นแบบแข็งเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อลดความสูญเสียทางกล และ ประสิทธิภาพทางทอร์ก ของชิ้นส่วนข้อต่อทรงกลม สิ่งนี้เป็นสิ่งจำเป็นของ ข้อต่อของช่วงล่างรถยนต์ โดยบทความนี้จะแสดงและเปรียบเทียบการสึกหรอของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุของแข็ง โดยอาศัยวัสดุที่มีความทนทานต่อแรงกระแทก จากการเติมสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุง คือ ชนิดและสัดส่วนของสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก สภาวะที่สารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกเข้าไปเกี่ยวข้อง และ สภาวะของกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก ที่มีสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ผลที่ได้คือวัสดุที่มีความเหนียว ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานทางกลที่ใช้โดยไม่เกิดการแตกหัก และที่อัตราความเค้นที่สูง ความเหนียวสามารถถูกควบคุมโดยขนาดของพลังงานในการเสียดรูปโดยพบว่ายิ่งความเหนียวสูง ต้องการความแข็งแรงดึงของวัสดุสูงมากกว่าความเค้นที่จุดคราก ซึ่งกระบวนการเสียดรูปเริ่มขึ้นเมื่อ โมเมนต์ของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากพอที่จะทำให้เกิดการกระจายความเค้นแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันและจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำหนักมาจากระบบการไหลเฉพาะที่ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถป้องกันการเกิดหรือการแพร่ของรอยแตกขนาดใหญ่ได้ ในสภาพปัจจุบัน เพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของชุดคั่นข้อต่อล้อรถยนต์ ซึ่งเป็น ไททานเนียม จำเป็นต้องมีการหล่อลื่น จาก Jeffrey and Hilton [1] ได้เริ่มทำการเคลือบผิวของโลหะข้อต่อด้วย โมลิบดีนัมซัลไฟด์ (MoS_2) เป็นลักษณะโลหะประสาน ต่อมา Martin *et al.* [2] ได้ทดลองผลการเคลือบผิว โมลิบดีนัมซัลไฟด์ (MoS_2) ภายได้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งพบว่าในช่วงสัมประสิทธิ์ความไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียดทาน 10^{-3} ก่อนข้างเสียดรูปด้วยแรงเฉือนง่าย ตามทิศทางการเคลื่อนที่ ต่อมา Robert *et al.* [3] ได้ทำการศึกษาถึงความหยาบของผิวคั่นข้อต่อล้อรถยนต์ ด้วย โมลิทินัมซัลไฟด์ (MoS_2) แล้วศึกษาพฤติกรรมที่มีผลมาจากสารหล่อลื่นแบบแห้งภายใต้การทดสอบทางกลที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถมองเห็น ขนาดผิวสัมผัสจากทิศทางการแผ่ขยายของเม็ดเกรน ซึ่งแผ่ขยายเป็นวงกว้าง

2.1.1 งานวิจัยของ Jeffrey and Hilton

[1] ได้เริ่มทำการเคลือบผิวของโลหะข้อต่อด้วย โมลิทินัมซัลไฟด์ (MoS_2) เป็นลักษณะโลหะประสาน ซึ่งสามารถลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเหลือ 0.06

2.1.2 งานวิจัยของ Martin

[2] ได้ทดลองผลการเคลือบผิว โมลิทินัมซัลไฟด์ (MoS_2) ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งพบว่าในช่วงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีค่าเท่ากับ 10^{-3} จะเสียดรูปด้วยแรงเฉือนง่าย ตามทิศทางการเคลื่อนที่

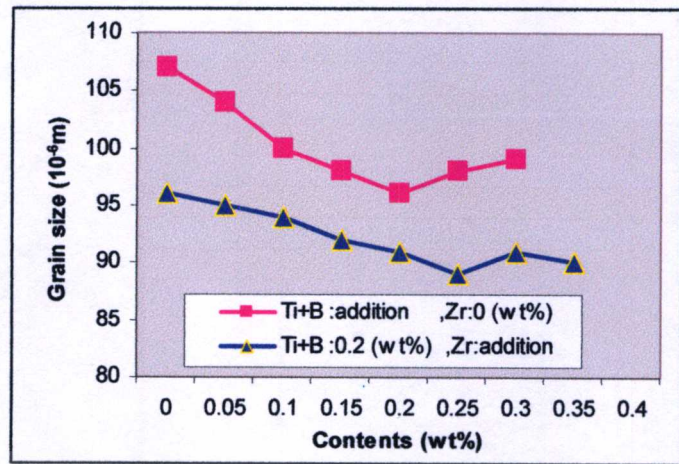
2.1.3 งานวิจัยของ Robert

[3] ได้ทำการศึกษาถึงความหยาบของผิวคั่นข้อต่อล้อรถยนต์ ด้วย โมลิทินัมซัลไฟด์ (MoS_2) แล้วศึกษาพฤติกรรมที่มีผลมาจากสารหล่อลื่นแบบแห้งภายใต้การทดสอบทางกลที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถมองเห็น ขนาดผิวสัมผัสจากทิศทางการแผ่ขยายของเม็ดเกรน

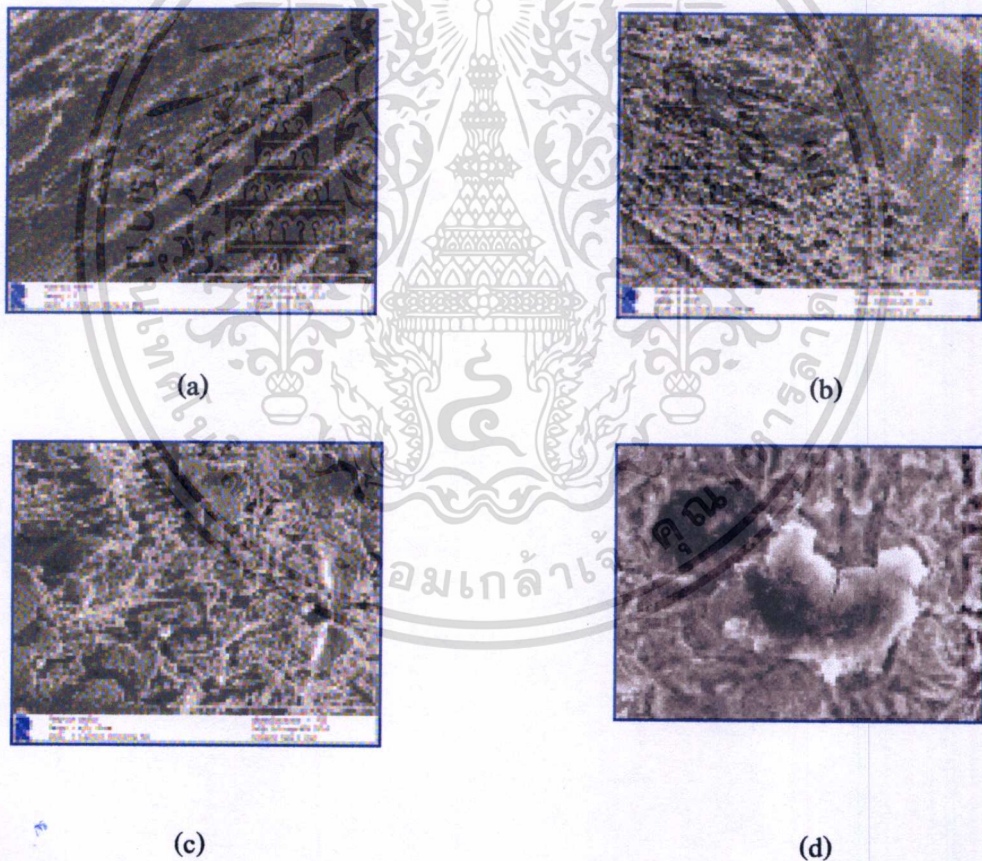
2.1.4 งานวิจัยของ H.R. KIM ปี ค.ศ. 2001-2002

ได้ทำการผสมสารคิบุก และ ไซโครเนียม เพื่อปรับแต่งเม็ดเกรนในการปรับปรุงคั่นข้อต่อโลหะ ซึ่งพบการเริ่มต้นการแตกร้าว ซึ่งเริ่มจากเป็นเส้นตรง และขยายเป็นวงกว้าง รวมทั้งพบว่าโลหะผสมเข้ากับอลูมิเนียมมีผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

จากการทดลองผสมร้อยละของคิบุก และ ไซโครเนียมของ H.R. Kim *et al.* [4] เพื่อปรับแต่งขนาดเม็ดเกรนในโลหะคั่นข้อต่อพบว่า การแตกร้าว จะเริ่มจากการเสียดรูปเป็นแนวเส้นตรง แล้วขยายตัวเป็นวงกว้างก่อนเสียดหยาบสุดท้ายจนขยายวงกว้างต่อไป ซึ่งการทดลองนี้พบว่า การเพิ่มโลหะผสมเข้าไปรวมกับ อะลูมิเนียมมีผลต่อความแข็งแรงขึ้นของข้อต่อทรงกลมในช่วงล่างรถยนต์



รูปที่ 2.1 แสดงผลของข้อต่อทรงกลม โลหะผสมต่างที่มีผลต่อการเรียงตัวของอนุภาคโลหะ [4]



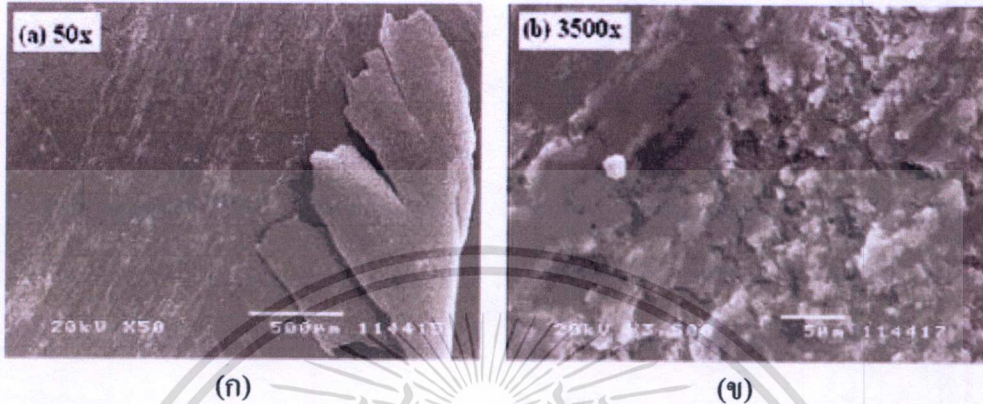
รูปที่ 2.2 การเสียหายของโลหะเมื่อเกิดการเสียดสีและกระแทก [4]

รูปที่ 2.2 เป็นการแสดงการแตกร้าวเนื่องจากแรงเสียดทาน รูป (a) การเริ่มต้นแตกร้าว รูป (b),(c) พื้นที่การขยายตัวการแตกร้าวของโลหะ รูป (d) การเสียหายสุดท้าย

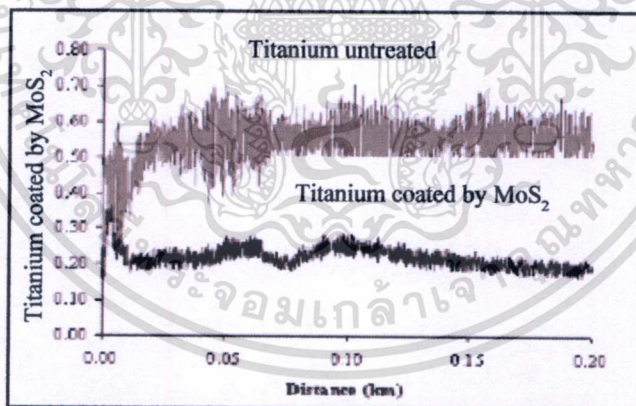
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การทดลองของ Narot and San Young ปี ค.ศ.2007

ได้ทำการศึกษาถึงฟิล์มของการหล่อลื่นบนชุดคันข้อต่อรถยนต์โดยการเคลือบ MoS_2 เป็นสารหล่อลื่นซึ่งมีความถื่นสูง ซึ่งพบว่าจะทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงถึง 36% ในภาวะที่แรงไม่มากประมาณ 1-5 นิวตัน โดยทดลองจาก Specimen หรือ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



รูปที่ 2.3 แสดงถึงการสึกหรอของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (Specimen) บน ไททาเนียม จากรูป (ก) เป็นการศึกษาครอยร้าวโดยโดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า และรูป (ข) เป็นการศึกษาครอยการแตกร้าว ที่ 3,500 เท่า ซึ่งลักษณะการแตกร้าวเป็นแบบ กระจายตัวเป็นวงกลม เป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลการเสียดทาน

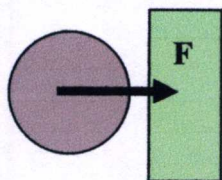


รูปที่ 2.4 แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างการจาย MoS_2 บนไททาเนียมกับไม่มีการเคลือบ ซึ่งพบว่าสามารถลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานหลังจากเคลือบ MoS_2 ได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ความเค้นดึงจาก

จากรูปที่ 2.5 เกิดจากคันข้อต่อเข้ากระแทกกับสารหล่อลื่นในภาวะที่เกิดการรับภาระอย่างกะทันหันเนื่องจากการตกหลุมของรถยนต์ เพราะฉะนั้นสมการที่เกี่ยวข้องคือสมการความเค้นดึงจากปกติ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะการรับแรงตั้งฉาก

$$\sigma_N = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

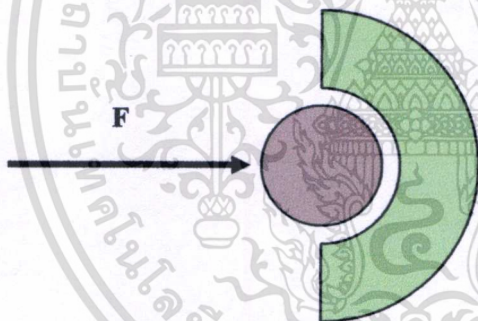
เมื่อ σ_N : ความเค้นตั้งฉาก (Pa, N/m²)

F : แรงที่กระทำ (N)

A : พื้นที่ที่ถูกกระทำ (m²)

2.2.2 ความเค้นสัมผัส

เมื่อผิวของวัตถุแข็งสองวัตถุใดๆ มีการรับแรงเนื่องจากวัตถุใดวัตถุหนึ่งส่งผลให้วัตถุอีกวัตถุหนึ่งรับแรงกระทำ ซึ่งผิวทั้งสองเป็นผิวโค้ง จะเกิดความเค้นสัมผัสเกิดขึ้น



รูปที่ 2.6 ลักษณะการรับแรงสัมผัส

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_x = \sigma_y = -p_{\max} \left[\left(1 - \frac{|z|}{a} \tan^{-1} \frac{1}{|z/a|} \right) (1 + \nu) - \frac{1}{2(1 + \frac{z^2}{a^2})} \right] \quad (2.2)$$

แต่ในการออกแบบนิคมคำนวณจาก σ_z เนื่องจากเกิดความเค้นสัมผัสสูงสุดดังสมการ (2.3)

$$\sigma_3 = \sigma_z = \frac{-P_{\max}}{1 + \frac{z^2}{a^2}} \quad (2.3)$$

$$\text{เมื่อ } a = \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2}{8(1/d_1 + 1/d_2)}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทางงานวิศวกรรมศาสตร์ที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแปลงแรงเป็นความดันสูงสุดได้ดังนี้

$$p_{\max} = \frac{3F}{2\pi a^2} \quad (2.5)$$

ซึ่งสมการ Mohr cycle แสดงสมการที่ (2.2) และ (2.3) จะได้สมการความเค้นเฉือน เมื่อ $\sigma_1 = \sigma_2$ จะได้ $\tau_{\frac{1}{2}} = 0$

$$\tau_{\max} = \tau_{\frac{1}{3}} = \tau_{\frac{2}{3}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อ σ : ความเค้นในแนวแกนใดๆ (Pa, N/m²)

F : แรงที่กระทำ (N)

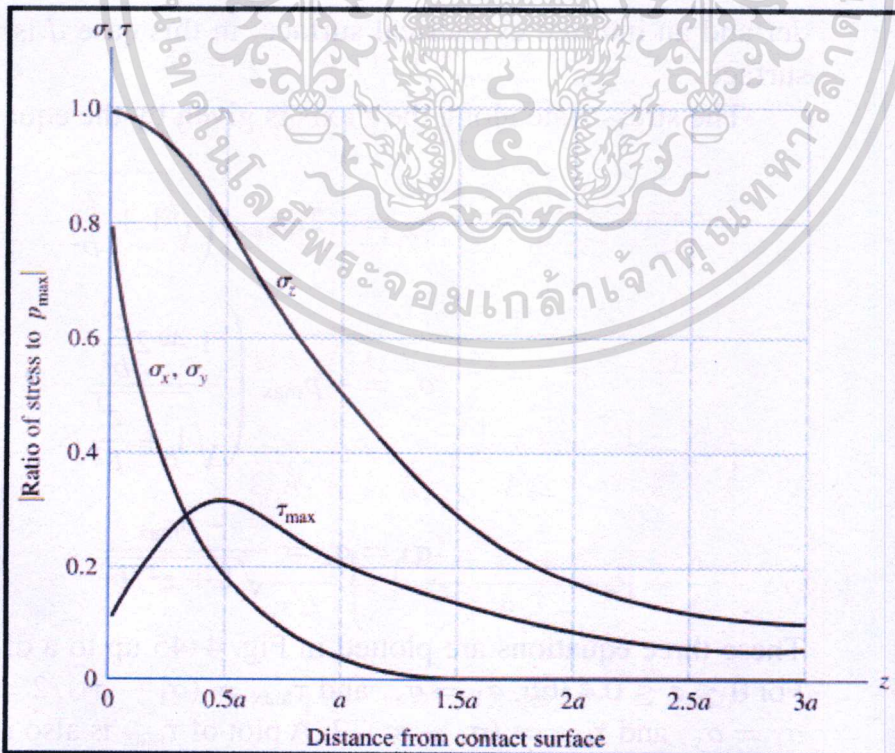
E : โมดูลัสของอิลาสติกซิตี (Pa, N/m²)

ν : อัตราส่วนปัวซองค์

p_{\max} : แรงดันสูงสุด (Pa, N/m²)

d : เส้นผ่านศูนย์กลางของความโค้งแต่ละวัตถุ (m)

z : ระยะสัมผัสตามแนวแกน z (m)



รูปที่ 2.7 ขนาดความเค้นสัมผัสและความเค้นเฉือนภายใต้ค่า ซึ่งค่าความเค้นเฉือนค่อยๆ เพิ่มขึ้น
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขการใช้งานการ
 ในช่วง $z=0.48a$ ประมาณ 0.3 เท่าของค่า p_{\max} [5]
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่พิมพ์แต่เพียงอย่างเดียว และสงวนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ จากสมการ (2.2) ,(2.5) และ (2.6) เมื่อเทียบกับระยะสัมผัส พบว่า ที่ระยะ สามเท่าของระยะสัมผัส (3a) เกิดความเค้นเฉือนที่เข้าใกล้ค่าที่มากที่สุด ซึ่งเกิดจากที่ระยะนี้ มีการรับภาระแบบฉับพลัน (Fatigue failure) ระหว่างผิวสัมผัส เกิดรอยเริ่มแตกร้าว และมีเนื้อสารหลุดออก ดังแสดงในรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

พลาสติกและการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของระบบ การทดลอง ซึ่งในเนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของพลาสติก และชนิดของ พลาสติก รวมถึงข้อดีและข้อเสียของพลาสติกในแต่ละชนิด เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาการหล่อขึ้น โดยอาศัยข้อมูลพฤติกรรมเชิงกลของพลาสติก ซึ่งพลาสติกจะมีความแตกต่างกับโลหะ นั่นคือ โลหะ เป็นวัสดุที่แสดงคุณสมบัติยืดหยุ่น ในขณะที่พลาสติกจะแสดงคุณสมบัติแบบวิสโคอิลาสติก ซึ่งจะ ขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้น วิธีการทดสอบของโลหะ โดยส่วนใหญ่แล้วจึงได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองลักษณะแบบยืดหยุ่นดังกล่าว ทำให้การนำมาตราฐานหรือวิธีการทดสอบ สมบัติทางกลของโลหะมาใช้งานลักษณะแบบยืดหยุ่นดังกล่าว ดังนั้นมาตรฐานหรือวิธีการแก้ไข ปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมหรืออาจต้องพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ ซึ่งในการทดสอบพลาสติกจะต้องมีการ ระบุรายละเอียดอย่างชัดเจน เพื่อให้การทดสอบสามารถสามารถเปรียบเทียบสมบัติกันได้

3.1 ประเภทของการทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก

การทดสอบสมบัติทางกลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การทดสอบสมบัติ ทางกลระยะสั้น (Short-term mechanical tests) และการทดสอบสมบัติทางกลระยะยาว (Long-term mechanical tests) สิ่ง que แบ่งแยกประเภทของการทดสอบสองประเภทนี้ ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้งานในการ ทดสอบตามชื่อเรียก ในการทดสอบระยะสั้น เวลาที่ใช้ในการทดสอบมักจะอยู่ในระดับของวินาทีหรือ นาที ในขณะที่การทดสอบระยะยาวจะใช้เวลาในการทดสอบนานกว่ามาก โดยอาจจะใช้เวลาเป็นวัน เดือน หรือ ปีแล้วแต่ความต้องการของผลการทดสอบ

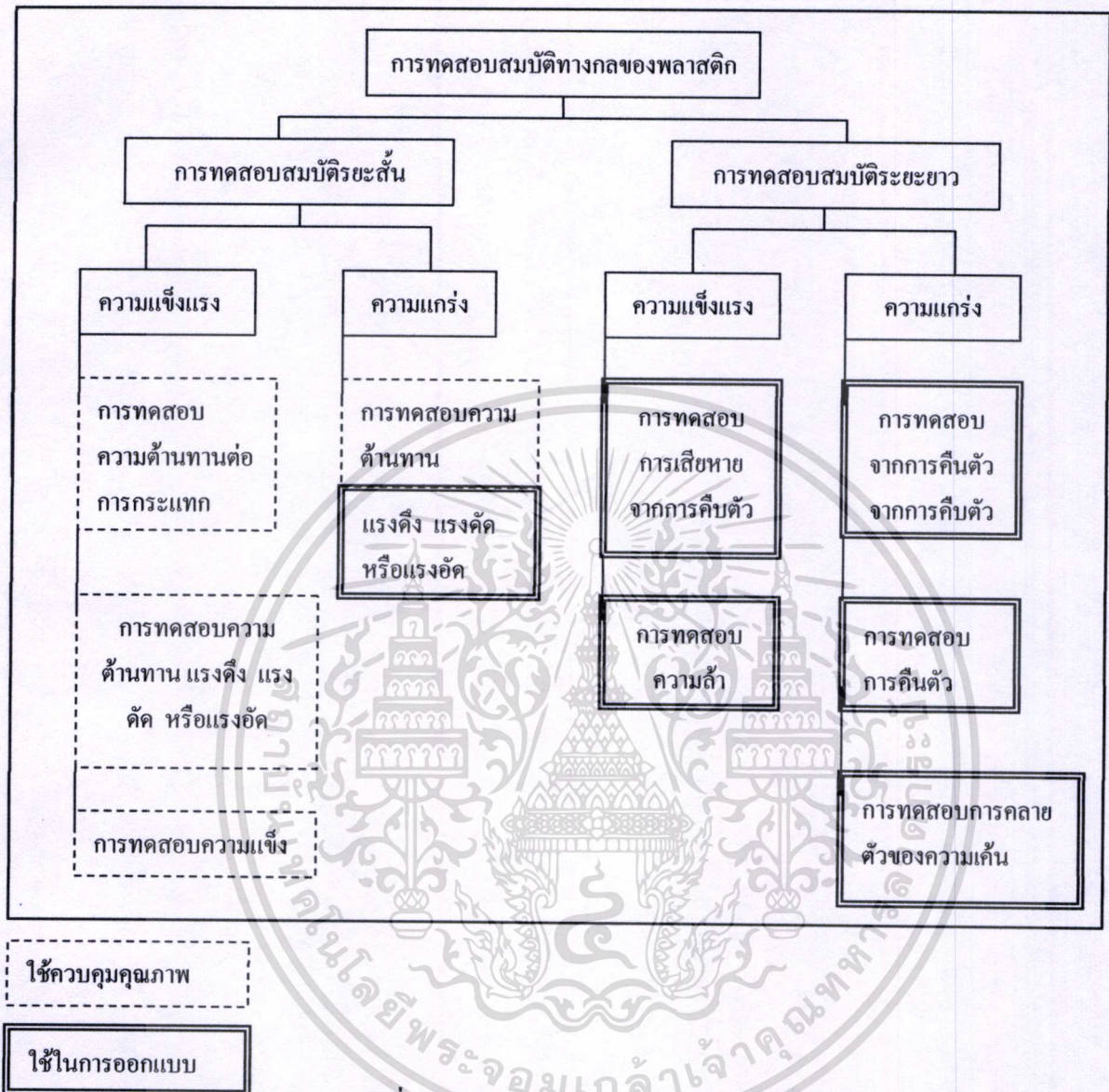
แต่นอกจากความแตกต่างในเรื่องของระยะเวลาในการทดสอบ ซึ่งเป็นสิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจน แล้ว ความแตกต่างของเวลาดังกล่าวที่จะส่งผลถึงลักษณะของการตอบสนองของพลาสติกและการ นำไปใช้งานของการทดสอบในแต่ละประเภทได้ เนื่องจากโดยพื้นฐานแล้ว การทดสอบสมบัติทางกล ระยะสั้น ถูกออกแบบเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อยืนยันความเหมือนและแตกต่างตามสภาวะที่กำหนด โดยใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าในการดำเนินการแต่ให้ข้อมูลเฉพาะที่เพียงพอ ดังนั้น การทดสอบ สมบัติทางกลระยะสั้นนั้น มักจะใช้ในการเปรียบเทียบสมบัติเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้พลาสติกหรือ ใช้ในการควบคุมคุณภาพ (Quality control) โดยอาจจะเป็นการควบคุมของผู้ผลิตว่าวัตถุดิบที่จัดซื้อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ครั้งนั้นแตกต่างไปจากรายละเอียดคงที่หรือไม่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยและพัฒนาสำหรับการเปรียบเทียบเบื้องต้นถึงสมบัติของพลาสติกที่พัฒนาขึ้น แต่ในการทดสอบประเภทนี้จะไม่เหมาะสำหรับการประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานได้โดยตรง (Performance) ตัวอย่างการทดสอบสมบัติทางกลระยะสั้นที่นิยมใช้ ได้แก่ การทดสอบความแข็ง การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก และการทดสอบความเค้นและความเครียด (การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงคด การทดสอบแรงอัด) เป็นต้น

ส่วนผลการทดสอบสมบัติทางกลระยะยาว มักจะใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือการประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานของพลาสติกแต่ละประเภท แต่ไม่เหมาะสำหรับการควบคุมคุณภาพ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เวลานานในการทดสอบทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ตัวอย่างของการทดสอบสมบัติทางกลระยะยาวที่นิยมใช้งาน ได้แก่ การทดสอบการคืบตัว การทดสอบความเสียหายเนื่องจากการคืบตัว และการทดสอบความล้า เป็นต้น

การที่ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลระยะยาวมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่แสดงสมบัติวิสโคอีลาสติก ดังนั้น สมบัติทางกลของพลาสติกจึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่พลาสติกตกอยู่ภายใต้สภาพรับแรง เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป สมบัติทางกลของพลาสติกก็จะเปลี่ยนแปลงตาม ไม่ได้มีค่าคงที่ ดังนั้น การที่จะออกแบบให้พลาสติกมีสมบัติทางกลเหมาะสมและเพียงพอตลอดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ซึ่งมักมีระยะเวลายาวนาน จึงมีความต้องการผลการทดสอบที่ระยะเวลาที่นานเพียงพอเช่นกัน ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมบัติระยะสั้นนั้นจึงเป็นแค่เพียงส่วนหนึ่งของภาพรวมของสมบัติทางกล ที่พลาสติกจะสามารถแสดงออกมาได้เท่านั้น จึงต้องใช้ผลการทดสอบที่มีระยะที่นานเพียงพอจึงจะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเพื่อเป็นข้อมูลสำคัญได้ อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกลระยะสั้นจะไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบหรือประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน แต่หากจะต้องใช้ด้วยความระมัดระวังและความเข้าใจ นอกจากนี้ยังจะต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อให้ครอบคลุมอิทธิพลหรือปัจจัยต่างๆ ในการใช้งานเพิ่มขึ้น เช่น การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการทดสอบ การปรับสภาพให้ชิ้นงานอยู่ในสภาวะต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ สำหรับการใช้งานของผลิตภัณฑ์บางประเภทก็อาจจะเหมาะสมกับการทดสอบสมบัติทางกลระยะสั้นได้ เนื่องจากสภาพของการกระตุ้นอยู่ในลักษณะที่ตรงกัน เช่น การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องรับภาระจากการกระแทก เป็นต้น



รูปที่ 3.1 ประเภทของการทดสอบสมบัติทางกล

3.2 การศึกษาความเค้นและความเครียด (Stress and strain test)

การศึกษาสมบัติความเค้นและความเครียดของวัสดุสามารถทำได้ โดยการให้แรงกระทำแก่วัสดุซึ่งโดยส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดรูปร่างตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด จากนั้นจึงทำการวัดการตอบสนองของวัสดุดังกล่าว ในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากการอยู่ภายใต้ขนาดของแรงกระทำดังกล่าว โดยในการทดสอบนั้นทำโดยการเพิ่มระดับของแรงในชิ้นงานทดสอบไปที่ละน้อยตามลำดับด้วยอัตราคงที่ (Constant rate test) ซึ่งสามารถทำได้ 3 แบบหลัก คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเคลื่อนที่ของครอสเฮดคงที่ (Constant crosshead speed) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดคงที่ (Constant strain rate) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นคงที่ (Constant stress rate) ส่วนลักษณะการใช้แรงกระทำต่อวัสดุในการทดสอบ สามารถทำได้ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ แรงดึง แรงคดงอ แรงเฉือน หรือแรงบิด เป็นต้น

การทดสอบประเภทนี้โดยทั่วไปมักจะรู้จักกันในชื่อของการทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบแรงอัด (Compression test) การทดสอบแรงคดงอ (Flexural or bending test) การทดสอบแรงเฉือน (Shear test) หรือการทดสอบแรงบิด (Torsion test) ตามลักษณะของทิศทางการให้แรงมากกว่าที่จะเรียกว่าการทดสอบด้วยอัตราคงที่ และโดยทั่วไปแล้วการควบคุมอัตราคงที่ในการทดสอบที่นิยม ได้แก่ การทดสอบที่ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ของครอสเฮดให้คงที่เนื่องจากง่ายและสะดวกในการปฏิบัติ

3.2.1 ความเค้นและความเครียด (Stress and strain)

แนวความคิดในการใช้ค่าความเค้นและความเครียดนั้น พัฒนามาจากปัญหาของการที่ใช้แรงและระยะการเปลี่ยนแปลงความยาวสุทธิที่เกิดขึ้นในวัสดุในระหว่างการทดสอบ เป็นค่าในการใช้งาน เนื่องจากค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตและขนาดของวัสดุที่ทำการทดสอบ ดังนั้นเมื่ออธิบายถึงความแข็งแรงหรือความสามารถในการรับภาระในการใช้งานแล้ว ย่อมทำให้เกิดความสับสนขึ้นได้และไม่สามารถที่จะทำการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น

วัสดุประเภทเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ต้องสามารถรับภาระได้มากกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก เช่น โพลีเอทิลีนขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเมตร สามารถรับภาระสูงสุดได้ 20 เมกะนิวตัน ในขณะที่ชิ้นงานโพลีเอทิลีนชิ้นที่สองซึ่งเป็นประเภทเดียวกันกับชิ้นแรกแต่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2 ตารางเมตร จะรับภาระสูงสุดได้ 40 เมกะนิวตัน ถ้าใช้ค่าของการรับภาระสูงสุดของวัสดุแล้วจะเห็นว่า โพลีเอทิลีนชิ้นที่สองจะมีความแข็งแรงกว่าชิ้นแรก 1 เท่า ซึ่งไม่เป็นความจริง

วัสดุต่างประเภทกันที่มีขนาดไม่เท่ากันย่อมไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เช่น ทองแดงขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเมตร สามารถรับภาระสูงสุดได้ 140 เมกะนิวตันในขณะที่ชิ้นงานโพลีเอทิลีน ขนาดพื้นที่หน้าตัด 10 ตารางเมตร จะสามารถรับภาระสูงสุดได้ 200 เมกะนิวตัน ถ้าใช้ค่าของการรับภาระสูงสุดของวัสดุเพียงอย่างเดียวแล้วจะเห็นว่าโพลีเอทิลีน จะมีความแข็งแรงกว่าทองแดง ซึ่งไม่เป็นความจริง

เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้ค่าภาระในการอธิบายสมบัติของวัสดุนี้เอง ทำให้มีการใช้ค่าความเค้นและค่าความเครียดเพื่อเป็นการปรับค่าของภาระให้อยู่ในสภาพที่ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่าง และขนาดของวัสดุ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น (Stress) (N/m^2)

F คือ แรง (N)

A คือ พื้นที่รับแรง (m^2)

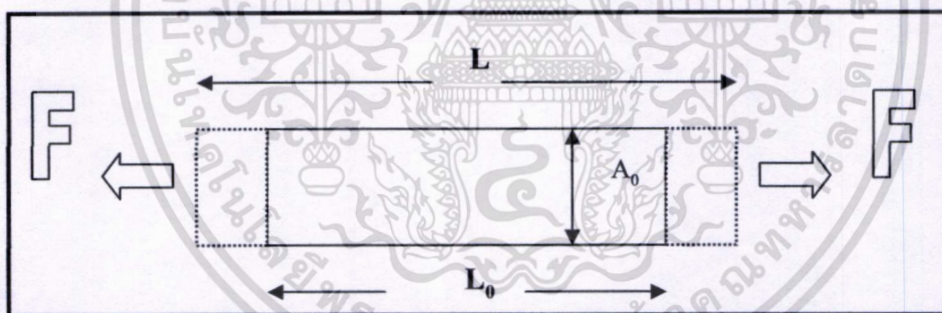
$$\gamma = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.2)$$

เมื่อ γ คือ ความเครียด (Strain)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (m)

L_0 คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

โดยที่ ΔL เท่ากับ ความยาวสุดท้าย (L) - ความยาวเริ่มต้น (L_0)



รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในวัสดุใดๆ นั้นถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) โดยกล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างย่อมเป็นสัดส่วนกับแรง ซึ่งหมายถึงวัสดุจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างยาวขึ้นหรือสั้นลง เป็นสัดส่วนกับแรงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในวัสดุ ตัวอย่างเช่น เส้นใยไนลอนเมื่อถูกดึงด้วยแรง 10 กรัม จะยืดตัวออก 1 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มแรงดึงเป็น 20 กรัม เส้นใยจะยืดตัวออกเป็น 2 มิลลิเมตร เป็นต้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวเขียนเป็นสมการเชิงเส้นที่เรียกว่ากฎของฮุก ดังนี้

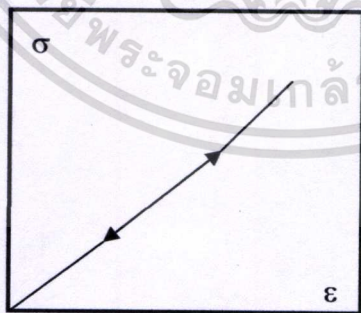
$$\text{แรง} = \text{ค่าคงที่} \times \text{การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง} \quad (3.3)$$

อย่างไรก็ตาม ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการใช้ค่าของภาระแรงในการอธิบายสมบัติของวัสดุนั้นไม่เป็นที่ชัดเจน ซึ่งโธมัส ยัง (Thomas Young) จึงได้แสดงว่าค่าความเค้นและค่าความเครียดก็มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนเช่นเดียวกัน จึงทำให้กฎของฮุกถูกคิดแปลงเป็น

$$\text{ความเค้น} = \text{ค่าคงที่} \times \text{ความเครียด} \quad (3.4)$$

ซึ่งค่าคงที่นี้แสดงถึงความแกร่งของวัสดุหรือความสามารถในการทนทาน ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ ซึ่งได้แก่ ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) นั้นเอง ซึ่งวัสดุที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เช่นนี้ จะถือว่ามีสมบัติยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น (linear elastic behavior) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อเราหยุดให้แรงกระทำแก่วัสดุ วัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างคืนกลับมายังสภาพเดิม โดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและหลังหยุดให้แรงกระทำจะมีลักษณะที่เหมือนกันและซ้อนทับกันพอดี

โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่แสดงสมบัติเช่นนี้มักจะเป็นวัสดุในอุดมคติเท่านั้น อย่างไรก็ตาม วัสดุโดยทั่วไปถึงแม้จะไม่แสดงสมบัติเช่นนี้โดยตลอด แต่จะแสดงสมบัติยืดหยุ่นเช่นนี้ที่ค่าความเครียดต่ำเท่านั้น (โดยมากต่ำกว่าค่าความเครียด 0.1%) และสามารถใช้ได้กับวัสดุที่มีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) เท่านั้น

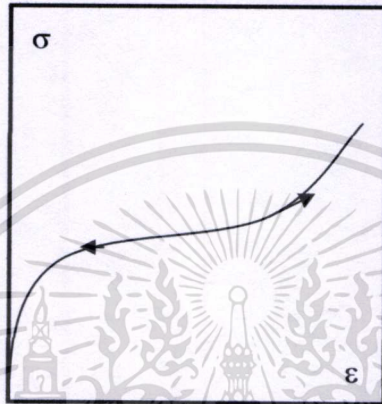


รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด ของวัสดุยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic)

นอกจากสมบัติยืดหยุ่นแบบเชิงเส้นแล้ววัสดุบางประเภท เช่น วัสดุจำพวกยาง สามารถที่จะแสดงสมบัติยืดหยุ่นอีกประเภทเรียกว่า ยืดหยุ่นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear elastic behavior) ได้ ดัง

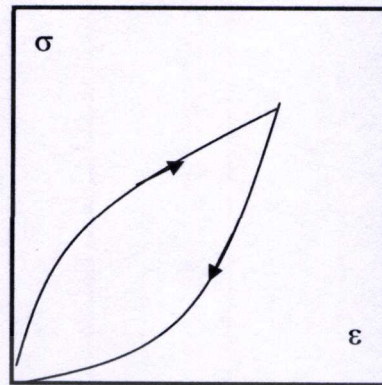
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในรูป 3.4 วัสดุประเภทนี้เมื่อได้รับแรงกระทำ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้สูง แต่ยังคงสมบัติยืดหยุ่นและสามารถที่จะคืนตัวกลับสู่สภาพเริ่มต้นเมื่อยุติการให้แรงกระทำ โดยไม่สูญเสียพลังงานเช่นเดียวกับวัสดุที่แสดงสมบัติยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น หากแต่ระยะของการคงสมบัติความยืดหยุ่นของยางนั้นจะสูงกว่ามาก และไม่จำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเส้นตรงเท่านั้น



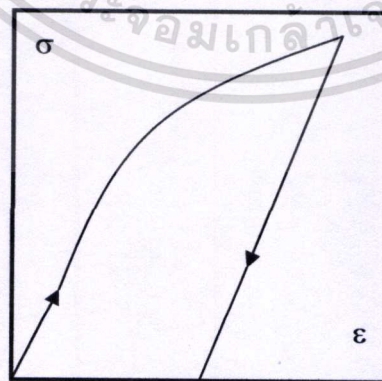
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของวัสดุยืดหยุ่นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear elastic)

นอกจากสมบัติยืดหยุ่นแล้ว วัสดุบางประเภทยังแสดงสมบัติอีกประเภทซึ่งเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับเวลา หรือที่เรียกกันว่า สมบัติวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic behavior) คือ เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำ วัสดุจะสามารถคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมเมื่อยุติการให้แรงกระทำซึ่งงานทดสอบ หากแต่ในการคืนตัวกลับมานี้จะมีการสูญเสียพลังงานและในบางกรณีอาจจะใช้เวลานานในการคืนตัว ดังรูปที่ 3.5 ได้แก่ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในกรณีของการให้แรงกระทำและการยุติการให้แรงกระทำจะมีรูปร่างที่ต่างกัน ไม่ทับซ้อนกัน ดังเช่นในกรณีของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบอีลาสติกเชิงเส้น ซึ่งสมบัติประเภทนี้มักพบได้ในโพลิเมอร์ต่างๆ



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของวัสดุวิสโคอีลาสติก (viscoelastic)

จะเห็นว่าลักษณะที่สำคัญของสมบัติยืดหยุ่น ได้แก่ การที่สามารถคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมได้ เมื่อยุติการให้แรงกระทำ ซึ่งถ้าไม่คำนึงถึงกรณีของวัสดุประเภทยางแล้ว สมบัติความยืดหยุ่นนี้จะจำกัดอยู่เพียงในระดับของค่าความเครียดต่ำเท่านั้น จุดที่วัสดุเปลี่ยนแปลงสมบัติจากยืดหยุ่นไปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรเรียกว่าจุดคราก (yield point) เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเกินจากระดับของค่าความเครียด ณ จุดดังกล่าวนี้ วัสดุดังกล่าวจะไม่สามารถคืนตัวกลับมาสู่สภาพเดิมได้เมื่อยุติการให้แรงกระทำ หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (plastic or permanent deformation) ซึ่งสมบัติของวัสดุหรือความสัมพันธ์ประเภทนี้จะพบได้ในวัสดุทุกประเภทที่ระดับค่าความเครียดสูงๆ ยกเว้นในกรณีของวัสดุประเภทที่จะเกิดการแตกหักขึ้นก่อนที่จะแสดงสมบัติประเภทนี้



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (plastic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัสดุอยู่ในสภาพของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก รูปร่างของวัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการลดหรือเพิ่มขนาดความกว้าง ขึ้นกับว่าวัสดุถูกแรงกระทำให้ยืดตัวหรือยุบตัว ซึ่งในระหว่างการให้แรงกระทำและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนี้ ให้ถือว่าปริมาตรของวัสดุมีค่าคงที่ ดังนั้น

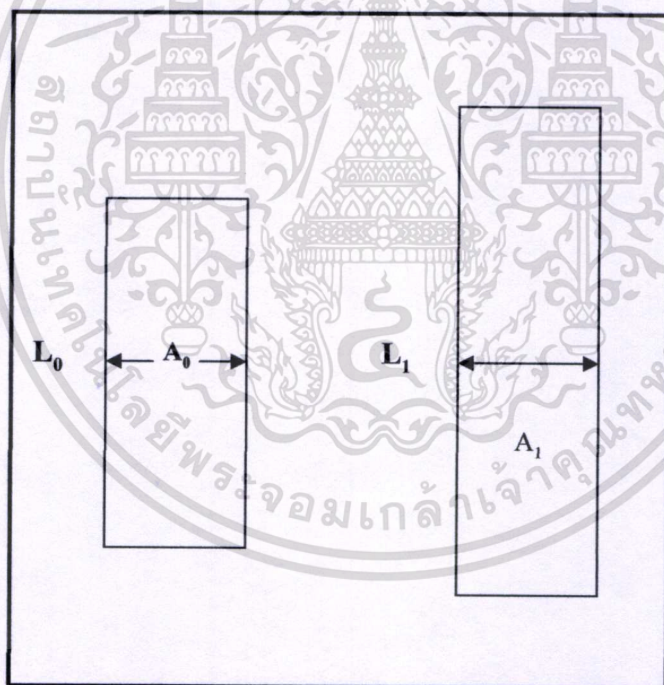
$$A_0 L_0 = A_i L_i \quad (3.5)$$

โดยที่ A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น

L_0 คือ ระยะเริ่มต้น

A_i คือ พื้นที่หน้าตัด ณ เวลาใดๆ

L_i คือ ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ณ เวลาใดๆ



รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงความยาวและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง

จากสมการ จะเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะลดลงเรื่อยๆ ตามแรงดึงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น คำนิยามของความเค้นและความเครียดในสมการ (3.1) และ (3.2) ซึ่งควรจะเรียกว่าความเค้นเชิงวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(engineering or conventional stress) และความเครียดเชิงวิศวกรรม (engineering or conventional strain) เนื่องจากการประมาณจากรูปทรงของวัสดุเริ่มต้น โดยมีได้คำนึงถึงรูปทรงของวัสดุที่เปลี่ยนไปในระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะมีผลต่อภาระการรับแรงที่ย่อมต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามกัน ดังนั้น จึงต้องมีการตัดแปลงเพื่อคำนวณค่าความเค้นและความเครียดจริงที่เกิดขึ้นในวัสดุนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\text{ความเครียดจริง (true strain, } \epsilon_t) = \sum_i \frac{\Delta L}{L_i} \quad (3.6)$$

โดยที่ $L_1 = L_0 + \Delta L$ และ $L_2 = L_1 + \Delta L$ และ $L_3 = L_2 + \Delta L \dots$

ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนในรูปแบบอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$d\epsilon_t = \frac{dL}{L} \quad (3.7)$$

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการ (3.7) ตั้งแต่ $L=L_0$ ถึง $L=L_1$ จะได้

$$\epsilon_t = \ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right) \quad (3.8)$$

เมื่อ $L_1 = L_0 + \Delta L$ ดังนั้น

$$\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon_e) \quad (3.9)$$

เช่นเดียวกับค่าความเครียดจริง สมการของค่าความเค้นจริงสามารถอธิบายได้โดย

$$\text{ความเค้นจริง (True stress, } \sigma_t) = \frac{F}{A_t} \quad (3.10)$$

โดยที่ A_t คือ พื้นที่หน้าตัด ณ เวลาใดๆ

เราสามารถเปลี่ยนค่าความเค้นจริงให้อยู่ในรูปของค่าสัดส่วน ของความเค้นเชิงวิศวกรรม โดยการใช้หลักการเกี่ยวกับการคำนวณค่าความเครียดจริง คือ ถือว่า ปริมาตรของวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลง

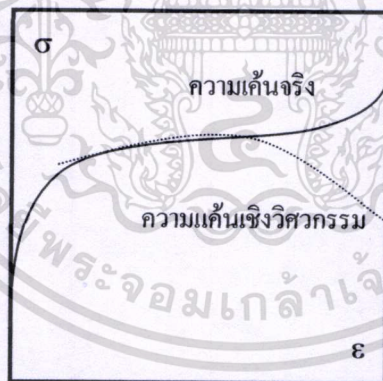
$$\sigma_i = \frac{F}{A_i} \frac{A_o}{A_o} = \sigma_e \frac{A_o}{A_i} \quad (3.11)$$

$$\sigma_i = \sigma_e \frac{L_i}{L_o} \quad (3.12)$$

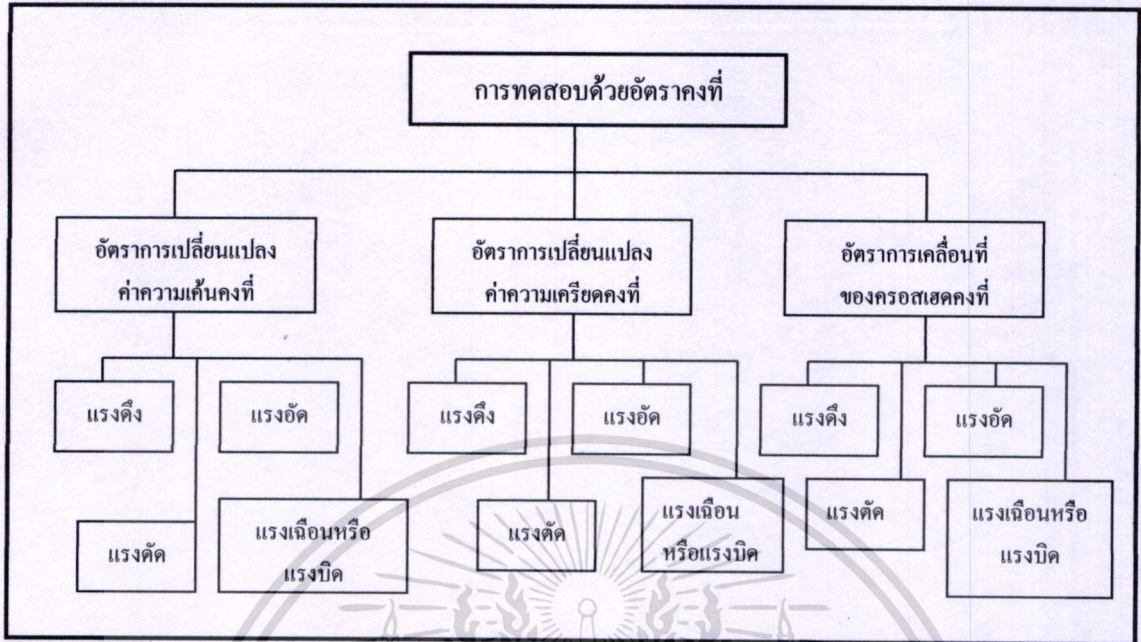
เมื่อ $L_i = L_o + \Delta L$ ดังนั้น

$$\sigma_i = \sigma_e (1 + \epsilon_e) \quad (3.13)$$

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเราสามารถที่จะคำนวณหาค่าความเค้นจริงและความเครียดจริงได้จากความเค้นเชิงวิศวกรรมและความเครียดเชิงวิศวกรรม (สมการ (3.9) และ (3.13)) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยทั่วไปจึงสามารถเปลี่ยนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริงและความเครียดจริงได้เพื่อใช้ในการศึกษาถึงสมบัติของวัสดุที่ระดับความเครียดสูงหรือ เมื่อวัสดุเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเชิงวิศวกรรมและค่าจริงของความเค้น จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของกราฟความสัมพันธ์นั้น ค่าความเค้นทั้งสองประเภทไม่มีความแตกต่างกันแต่อย่างใด หากจะเริ่มมีความแตกต่างเมื่อผ่านจุดครากโดยค่าความเค้นจริงจะมีค่าสูงกว่าค่าความเค้นเชิงวิศวกรรม



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบระหว่างความเค้นเชิงวิศวกรรมและความเค้นจริง

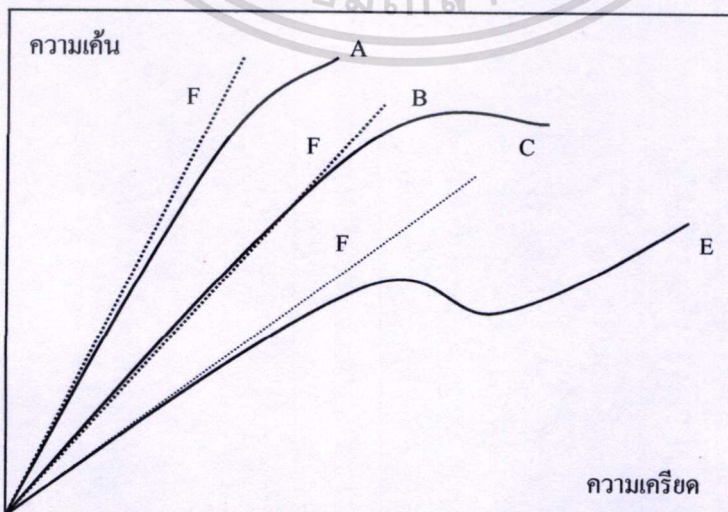


รูปที่ 3.9 แผนภูมิของการทดสอบ

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.3.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบ

โดยพื้นฐานแล้ว สิ่งที่ได้จากการทดสอบแรงดึง แรงอัด หรือ แรงคืบ นั้น จะมีลักษณะที่เหมือนกันคือ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นงานทดสอบที่เกิดขึ้น จากข้อมูลดิบที่ได้นี้เราสามารถที่จะคำนวณ หรือ สร้างกราฟ เพื่อพิจารณาค่าต่างๆ ที่เป็นสมบัติทางกลของพลาสติกซึ่งเกี่ยวข้องกับความเค้นและความเครียด ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A,E : ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ณ จุดขาด , ความเครียด ณ จุดขาด
 B : ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ณ จุดคราก. ความเครียด ณ จุดคราก
 C : ความเค้น ณ จุดขาด, ความเครียด ณ จุดขาด
 D : ความเค้น ณ จุดคราก, ความเครียด ณ จุดคราก
 F : เส้นกราฟมอดูลัสของความยืดหยุ่น

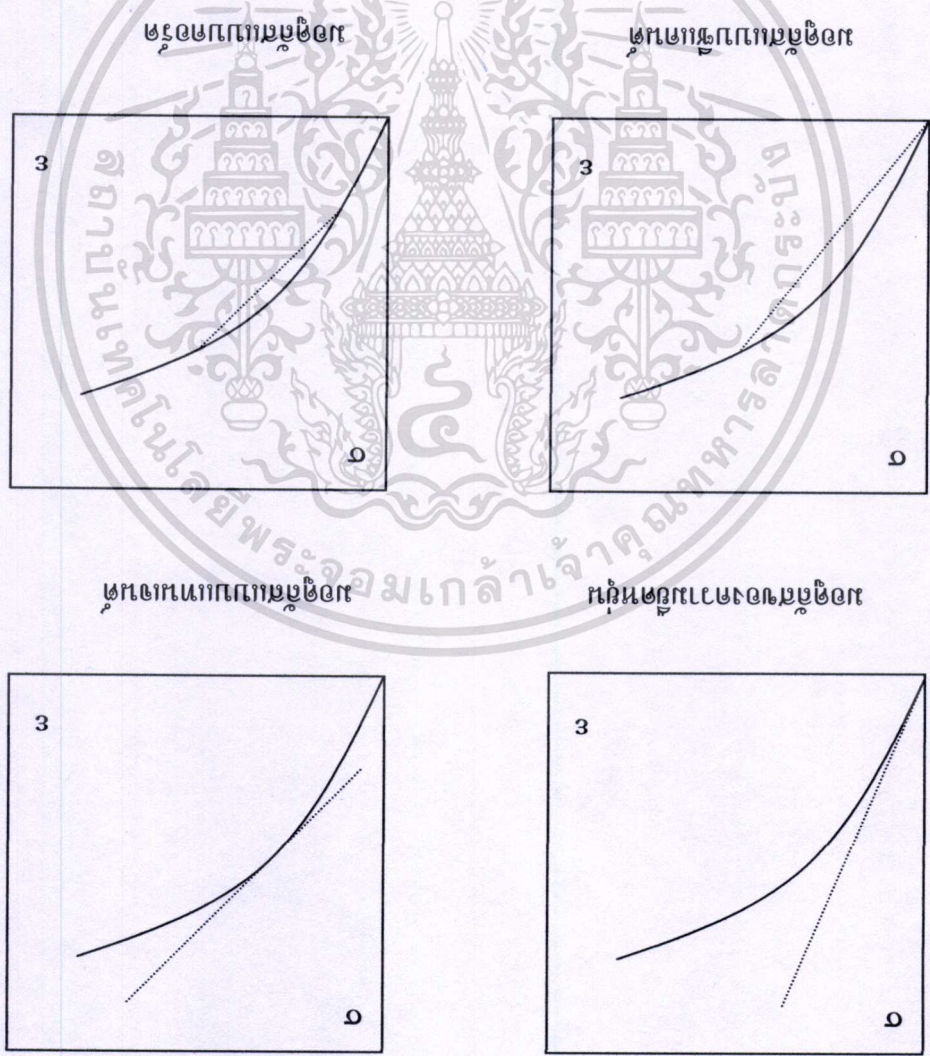
รูปที่ 3.10 สมบัติทางกลต่างๆ ที่คำนวณได้จากการทดสอบ

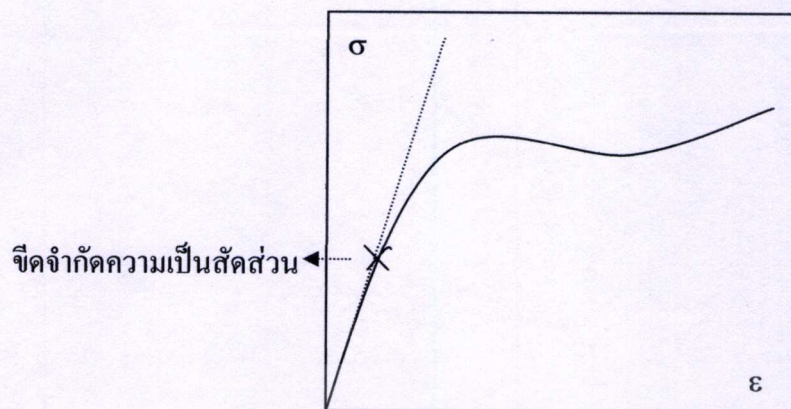
3.3.2) มอดูลัส (modulus)

มอดูลัสเป็นค่าที่แสดงถึงสมบัติการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดที่กำหนด โดยสามารถคำนวณได้หลายวิธี ได้แก่ มอดูลัสแบบแทนเจนต์ (tangent modulus) ซึ่งคำนวณจากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกที่จุดต่างๆ ตามที่กำหนด มอดูลัสของความยืดหยุ่น (elastic modulus) หรือค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ส่วนใหญ่จะใช้วิธีนี้ในการคำนวณ โดยจะหาค่ามอดูลัสแบบแทนเจนต์ที่ช่วงแรกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ค่าความเครียดต่ำในระดับที่วัสดุยังคงแสดงสภาพยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น วิธีนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีความแข็งที่แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงในช่วงแรก แต่ในบางครั้งมอดูลัสพลาสติกอาจจะไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากลักษณะความสัมพันธ์ของพลาสติกบางประเภทไม่มีความเป็นเชิงเส้นอย่างชัดเจนแม้แต่ที่ค่าความเครียดต่ำ เช่น พลาสติกนิ่มหรือยาง จึงมีการใช้ค่ามอดูลัสแบบซีแคนต์ (secant modulus) เข้ามาใช้แทน โดยสามารถคำนวณได้จากการกำหนดค่าความเครียดที่ต้องการหาค่ามอดูลัส ว่ามีค่าเท่าใดและอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด ณ จุดนั้น คือ ค่ามอดูลัสแบบซีแคนต์ นอกจากนี้มอดูลัสแบบคอร์ด (chord modulus) ซึ่งเป็นกรหาค่าความชันระหว่างจุดสองจุดก็มีการนำมาใช้งานในบางกรณีอีกด้วย แต่ไม่ว่าจะใช้วิธีการคำนวณแบบใดก็ตามควรจะต้องมีการระบุไว้และใช้วิธีที่เหมือนกันในการคำนวณค่าที่ต้องการเปรียบเทียบกัน

แต่ผู้ประพันธ์บทความจะระบุไว้ในบทความว่าผู้ประพันธ์บทความนี้เขียนขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ใด
 และจะด้วย ผู้ประพันธ์บทความนี้เขียนขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ใด
 บทความที่ผู้ประพันธ์บทความนี้เขียนขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ใด
 3.3.3) ขีดจำกัดความไม่เป็นสัดส่วน (proportional limit) หมายถึง

รูปที่ 3.11 แสดงการทดลองการหาแรงดึงของวัสดุต่าง ๆ

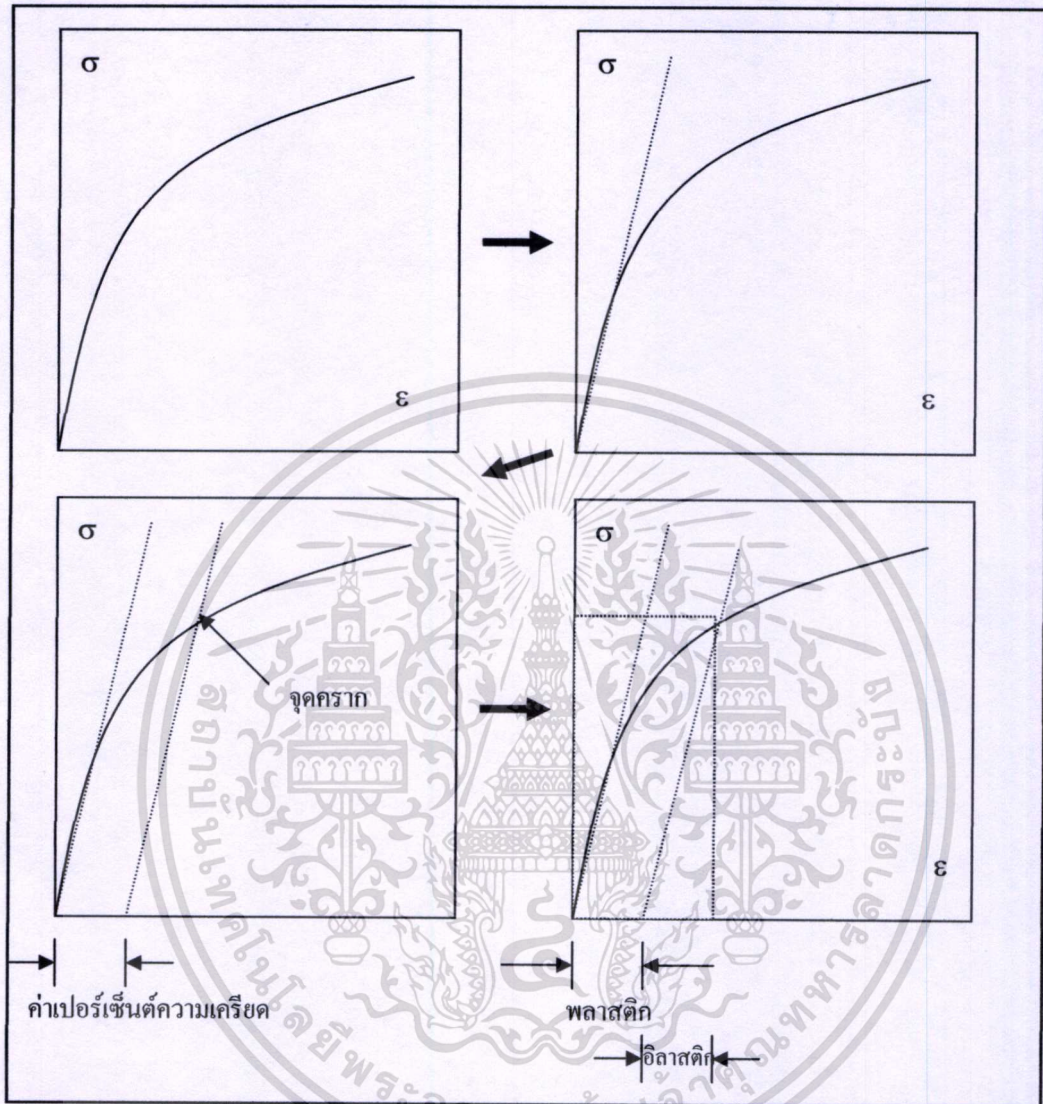




รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน

3.3.4 จุดคราก (yield point)

จุดครากของวัสดุคือได้ว่าเป็นค่าประมาณของจุดที่วัสดุเปลี่ยนสมบัติจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น ไปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร โดยวัสดุที่แสดงจุดครากอย่างชัดเจนสามารถที่จะหาได้จากจุดที่กราฟความสัมพันธ์ มีความชันเท่ากับศูนย์หรือจุดที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงของความเค้นแต่มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด ซึ่งเมื่อทราบถึงจุดครากแล้วค่าความเค้นและค่าความเครียด ณ จุดคราก ก็จะสามารถหาได้จากการลากเส้นตรงไปตัดแกนนอนและแกนตั้ง อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วในบางครั้งเป็นการยากที่จะสามารถกำหนดได้อย่างชัดเจนสำหรับวัสดุบางประเภท ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าจุดครากโดยวิธี ออฟเซต (offset yield) ขึ้นมา โดยถือว่าจุดครากเป็นจุดบนกราฟความสัมพันธ์ที่ห่างจากบริเวณที่ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์หนึ่งๆ ของเปอร์เซ็นต์ความเครียดซึ่งโดยทั่วไปมักจะใช้ค่า 0.1 หรือ 0.2 ของเปอร์เซ็นต์ความเครียด บางครั้งเรียกความเค้น ณ จุดนี้ว่า ความเค้นพิสูจน์ (proof stress)



รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการคำนวณหาจุดครากโดยวิธีออฟเซต

3.3.5) ค่าความต้านทานแรงสูงสุด (strength) หรือความแข็งแรงของวัสดุ

ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงสูงสุดของวัสดุซึ่งอาจจะเป็นที่จุดครากหรือที่จุดเกิดการแตกหักก็ได้ สามารถหาได้จากค่าความเค้น ณ จุดสูงสุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด หากแต่ในการรายงานควรจะต้องระบุว่าเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุด ณ จุดใด เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะสมบัติทางกลของพลาสติกนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6) ความเค้นและความเครียด ณ จุดแตกหัก (stress and strain at break)

ได้แก่ ค่าความเค้นและความเครียดในบริเวณของจุดที่ชิ้นงานเกิดการแตกหักเสียหายในการทดสอบ ซึ่งในบางกรณีถือว่าเป็นค่ากำลังวัสดุหรือความต้านทานแรงสูงสุดได้หากวัสดุแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่จุดนี้ แต่ไม่จำเป็นว่าค่าความเค้น ณ จุดนี้จะต้องเป็นความแข็งแรงของวัสดุ

3.3.7) ความเหนียว (toughness)

ได้แก่ ค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในการทำให้วัสดุเกิดการแตกหักขึ้นได้ ซึ่งโดยประมาณแล้วสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด วัสดุที่มีความเหนียวจะมีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าวัสดุที่มีความเปราะ ค่าความเหนียวที่ได้นี้ไม่สามารถใช้ทดแทนค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (impact strength) ของพลาสติกได้เนื่องจากเป็นผลที่ได้จากการทดสอบที่อัตราค่อนข้างช้ากว่ามาก

3.4 ค่ามอดูลัสและความแข็งแรง

หลายๆ ครั้ง จะพบว่ามีความสับสนในการใช้งานหรือความเข้าใจระหว่างค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงสูงสุดหรือความแข็งแรงของวัสดุ ทำให้มีการใช้สลับกันไปมาหรือใช้ทดแทนกันได้ แต่ในความจริงแล้ว ค่ามอดูลัสนั้นไม่สามารถใช้ในความหมายทดแทนถึงความแข็งแรงของวัสดุได้ ค่ามอดูลัส หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุ ในขณะที่ความแข็งแรงนั้นเป็นความเค้นหรือแรงสูงสุดที่วัสดุจะสามารถต้านทานได้ก่อนที่จะเกิดการแตกหักเสียหายของวัสดุ ด้วยเหตุนี้ วัสดุที่มีค่ามอดูลัสสูงไม่จำเป็นจะต้องมีความแข็งแรงสูงเสมอไป ยกตัวอย่างเช่น ช็อกโกแลต เป็นวัสดุที่มีค่ามอดูลัสสูงหากแต่มีความแข็งแรงต่ำ เมื่อมีแรงมากระทำจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อย แต่ไม่สามารถทนแรงกระทำที่สูงก็เกิดการเสียหายหรือแตกหักในทางตรงกันข้าม ยางธรรมชาติจะมีค่ามอดูลัสที่ต่ำหากแต่จะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าช็อกโกแลต

3.5 ประเภทของพลาสติกตามความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

พลาสติกแต่ละประเภทจะมีสมบัติทางกลหรือการตอบสนอง ต่อแรงกระทำที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากปัจจัยต่างไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางเคมี โครงสร้างทางจุลภาค กระบวนการผลิต เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วพลาสติกสามารถแบ่งประเภทจากความสัมพันธ์ ระหว่างความเค้นและความเครียดหรือลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ได้ออกเป็นกลุ่มหลักดังนี้

(3.5.1) พลาสติกที่มีสมบัตินุ่มและไม่แข็งแรง (soft and weak)

พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดครากที่ต่ำ ค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าปานกลาง ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ เทฟลอนหรือโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน

(3.5.2) พลาสติกที่มีสมบัตินุ่มและเหนียว (soft and tough)

พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสและค่าความเค้น ณ จุดครากที่ต่ำ ค่าความเค้นและความเครียด ณ จุดขาดมีค่าสูง ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีเอทิลีน

(3.5.3) พลาสติกที่มีสมบัติแข็งเปราะ (hard and brittle)

พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสสูงและค่าความเครียด ณ จุดขาดต่ำ วัสดุอาจจะเกิดการครากหรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน

(3.5.4) พลาสติกที่มีสมบัติแข็งแรง (hard and strong)

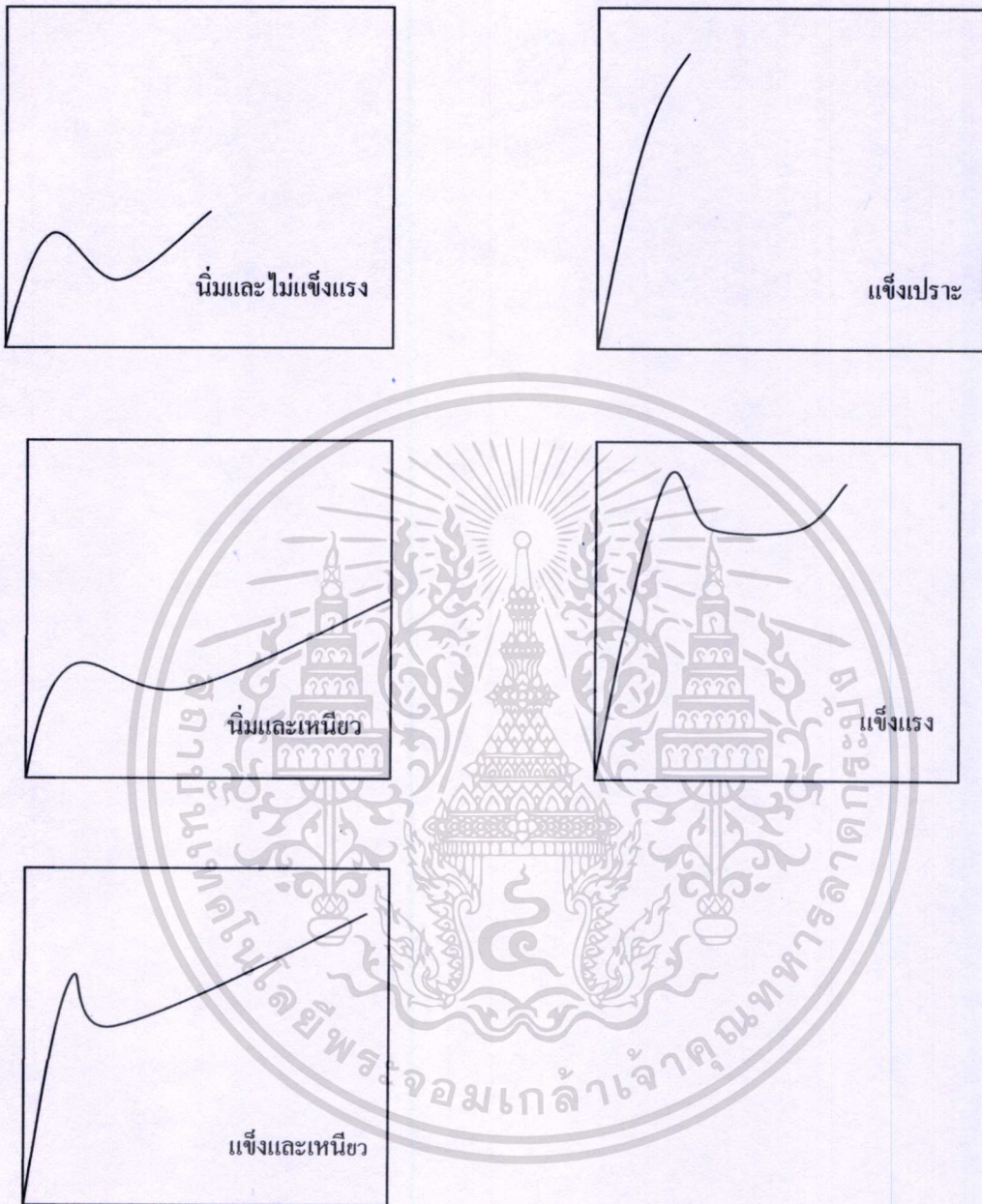
พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัสค่าความเค้น ณ จุดครากและค่าความเค้น ณ จุดขาดสูง แต่มักจะมีค่าความเครียด ณ จุดขาดปานกลาง ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีเอซิทลหรือโพลีออกซีเมทิลีน

(3.5.5) พลาสติกที่มีสมบัติแข็งและเหนียว (hard and tough)

พลาสติกประเภทนี้จะมีค่ามอดูลัส ค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่าความเค้น ณ จุดขาดและค่าความเครียด ณ จุดขาดสูง ตัวอย่างพลาสติกในกลุ่มนี้ ได้แก่ โพลีคาร์บอเนต

ประเภทของพลาสติก	มอดูลัส	ความเค้น ณ จุดคราก	ความเค้นสูงสุด	ระยะการยืดตัว ณ จุดขาด
นุ่มและไม่แข็งแรง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง
นุ่มและเหนียว	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
แข็งเปราะ	สูง	ไม่ชัดเจน	ปานกลาง	ต่ำ
แข็งแรง	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง
แข็งและเหนียว	สูง	สูง	สูง	สูง

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางด้านความเค้นและความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ

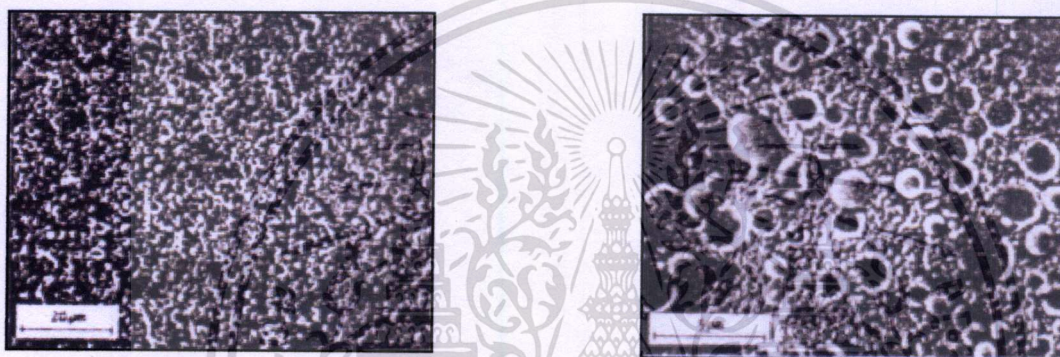


รูปที่ 3.14 ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น
และความเครียดของพลาสติกประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ด้วยสารเติมแต่ง

สารปรับปรุง (Modifier) หมายถึงสารปรับแต่งที่เปลี่ยนพลาสติกที่มีลักษณะเปราะให้เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว โดยที่โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม (Polyblends) ขึ้นอยู่กับการรวมพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแตกต่างกันให้ได้พลาสติกที่สามารถนำไปใช้งานได้มากขึ้น ในปัจจุบันมีการปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกของเทอร์โมพลาสติกด้วยการเติมสารปรับแต่งประเภทที่มีความเป็นพอลิเมอร์สูง เนื่องจากพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ในระดับโมเลกุลเท่านั้น เช่นในระบบหลายวัฏภาคเมื่อเกิดการผสมจะมีมากกว่าหนึ่งวัฏภาค ซึ่งเป็นลักษณะของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 3.15 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบีวทีติน เทอเรฟทาเลต และเอทิลีน พรอพิลีน ไดอินมอนอเมอร์

จากการศึกษาขั้นพื้นฐาน การผสมและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมทำให้ทราบถึงวิธีการการเปลี่ยนวัฏภาคที่มีมากกว่าหนึ่งวัฏภาค ไปเป็นวัสดุที่ได้รับการปรับปรุงซึ่งทำได้โดยการผสมให้ถูกวิธี และศึกษาตัวแปรเพิ่ม เพื่อบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงวัสดุให้มีสมบัติที่ต้องการ สำหรับเทอร์โมพลาสติกที่มีความต้านทานต่อแรงกระแทก เกี่ยวข้องกับ โครงสร้างระหว่างวัฏภาคเทอร์โมพลาสติกของแข็ง และวัฏภาคอิลาสโตเมอร์ชนิดอ่อนที่ไม่สามารถเข้ากันได้ โดยนำวัสดุที่ได้จากพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงแรงกระแทกแล้วมาทำให้สะท้อนและให้ความเค้นกระแทก พบว่าพลังงานกลที่ให้ออกมาจะถูกดูดกลืนโดยเมตริกซ์ซึ่งเป็นวัฏภาคแข็ง (hard phase) ถ้าต้องการป้องกันการแข็งเปราะ (brittle fracture) จะต้องมีการถ่ายโอนพลังงานทำให้เกิดการเบี่ยงเบนไปยังวัฏภาคอิลาสโตเมอร์ และถ้าการถ่ายโอนนี้เป็นไปไม่ได้พลังงานที่ดูดกลืน จะเหลืออยู่ในวัฏภาคแข็งแบบต่อเนื่อง จึงสามารถนำไปสร้างพีกความเค้น (stress peak) ณ ตำแหน่งที่เกิดความไม่เหมาะสมและทำให้เกิดการแตกหักได้

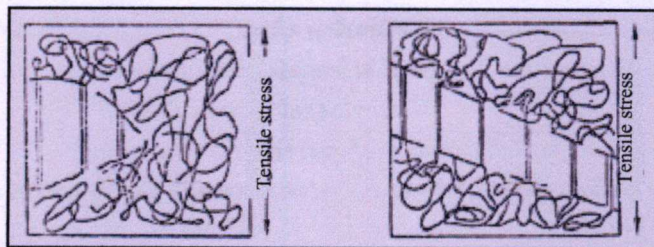
จากการศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ด้านทานแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในหลายๆ แบบ พบว่าการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดที่มีพื้นฐานแตกต่างกันในโครงสร้างมีกลไกการแตกหักดังนี้

(3.6.1) ระบบที่มีวิฎภาคของอิลาสโตเมอร์ กระจายตัวคล้ายกับตาข่ายรังผึ้ง (honeycombed network) เช่นพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับ เอทิลไวนิลอะซิเตท (EVA) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับคลอรีนเทคเตด พอลิเอทิลีน (CPE) เป็นต้น

(3.6.2) ระบบที่มีวิฎภาคของอิลาสโตเมอร์เป็นทรงกลมกระจายตัวในเมตริกซ์พอลิเมอร์ชนิดแข็ง เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับพอลิเอทิลีน (PAE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับ พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะครีโลไนไตรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน (ABS) และ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับพอลิเมอร์สามระหว่างเมทิลอะครีเลท บิวทาไดอีน สไตรีน (MBS) ในระบบเหล่านี้ต้องเกิดการยึดเกาะกันที่ขอบเขตวิฎภาคซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นที่จุดต่างๆ เนื่องจากวิฎภาคแข็ง (ส่วนของเมตริกซ์) และวิฎภาคอ่อน (ส่วนของอิลาสโตเมอร์) มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนไม่เท่ากันทำให้เกิดการหดตัวเนื่องมาจากความเค้นในอนุภาคของยาง เมื่อมีการหล่อเย็นภายหลังกระบวนการ ความเค้นภายใน (internal stresses) ที่อยู่เหนืออุณหภูมิสถานะแก้ว (T_g) ของเมตริกซ์ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของทั้งสองวิฎภาคเท่ากัน ในขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเมตริกซ์จะเล็กน้อย โดยที่ส่วนของอิลาสโตเมอร์ยังคงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อมเพราะฉะนั้น ในการหล่อเย็นยางจึงเกิดการหดตัวมากกว่าเมตริกซ์ ส่งผลให้เกิดความเค้นเนื่องจากแรงดึงระหว่างเมตริกซ์และอนุภาคของอิลาสโตเมอร์ และ เพื่อให้แน่ใจว่าความเค้นที่มากเกินไปทำให้เมตริกซ์มีความเป็นยางต่ำ เช่น โมดูลัสของความเป็นยางสูงจะสอดคล้องกับความแตกต่างทางโมดูลัสระหว่างวิฎภาคอิลาสโตเมอร์และเมตริกซ์สูง สำหรับพอลิเมอร์ พบว่ากระบวนการทางโมเลกุลเหล่านี้ จัดเป็นพื้นฐานสำหรับการกระจายพลังงานภายใต้อิทธิพลของการสั่นสะเทือนและแรงกระแทก ดังต่อไปนี้

(3.6.3) การเกิดการราน (craze formation) เป็นการกระจายพลังงานด้วยการเกิดช่องว่างเล็กๆ ที่มาจากกระบวนการดึงยืด (stretching process) เป็นผลทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น เช่น พอลิสไตรีน มีปริมาตรเพิ่มขึ้นภายใต้ความเครียดที่เกิดจากการราน เป็นต้น

(3.6.4) การเสีรูปร่างเนื่องจากความเค้นเฉือน (shear formation) เป็นการกระจายพลังงานด้วยกระบวนการหลุดลื่น (slip process) ของสายโซ่พอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เช่น พอลิคาร์บอนเนต เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเตอร์ และ พอลิอะครีโลไนไตรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน เป็นต้น



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.16 กระบวนการกระจายพลังงาน ในรูปแบบ (ก) การเกิดการรราน
(ข) การเสียรูปเนื่องจากความเฉือน

พอลิस्टาโรนที่มีการปรับปรุงแรงกระแทก พลังงานจะถูกทำให้กระจายด้วยการเกิดการรรานในขณะที่ พอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิคาร์บอนเนต แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเฉือน (shear yielding) ส่วนพอลิออกซีเมทิลีน และ พอลิเมทิล เมทาอะคริเลท เกิดทั้งสองปรากฏการณ์

3.7 ชนิดของสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก

พอลิเมอร์ในทางการค้าส่วนมากจะมีความทนทานต่อแรงกระแทกค่อนข้างน้อย เช่น พอลิस्टาโรน พอลิไวนิลคลอไรด์ และ พอลิเมทิล เมทาอะคริเลท เป็นต้น เพื่อที่จะทำให้ข้อจำกัดนี้ลดลงจึงมีการใช้สารปรับแต่งที่ช่วยเพิ่มเติมความทนทานต่อแรงกระแทกให้มากขึ้น เช่น การใช้สไตรีน อะคริโลไนไตรล์ (SAN) ในพอลิस्टาโรน และ การเติมยางลงในพอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

3.7.1 สารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกในพอลิไวนิลคลอไรด์

พอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแขวนลอย (suspension PVC) ประกอบด้วยอนุภาครอง (secondary particles) ขนาด 100 ถึง 150 ไมโครเมตร ประกอบอยู่ในอนุภาคหลัก (Primary particles) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ถึง 1.5 ไมโครเมตร โดยในระหว่างกระบวนการแปรรูป (การอัดรีด การรีดกึ่ง และการอัดแบบชนิดฉีด) อนุภาครองจะแตกออกภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความเฉือนจำกัดโดยสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เหมาะสมจะต้องมีโครงสร้างเป็นอนุภาคหลัก การมีแรงเฉือนมากเกินไปหรือไม่เพียงพอ จะทำให้สมบัติทางกลลดลง

ความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็ง สามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการรวมวัสดุภาคอีลาสโตเมอร์เข้ากับเมทริกซ์พอลิไวนิลคลอไรด์ แต่ผลลัพธ์ที่ตามมาคือความไม่สามารถผสมเข้ากันได้ระหว่างยางกับเทอร์โมพลาสติกเกิดเป็นโครงสร้างวัฏภาคและมีสมบัติที่เปราะ การเติมสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทก (impact modifier) ทำให้สารประกอบอัดแบบสามารถดูดกลืนพลังงานทางกลที่เกิดจากการเสียรูปที่มีมากเกินไป (ลักษณะคล้ายยางเทอร์โมพลาสติกบริสุทธิ) โดยพลังงาน

กระแทกที่ให้แก่พอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงจะถูกคุกคามโดยเมตริกซ์เทอร์โมพลาสติกในตอนแรก และจากนั้นจึงถ่ายโอนให้แก่ภูมิภาคอีลาสโตเมอร์เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหัก

3.7.2 พอลิเอคริเลท จัดเป็นสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกที่ดีสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากมีสมบัติดังนี้คือ

3.7.2.1 ไม่เกิดปัญหาใดๆ ในกระบวนการแปรรูป

3.7.2.2 มีความต้านต่อแสงและสภาวะอากาศได้สูง

3.7.2.3 มีความทนทานต่อแรงกระแทกประเภทมีรอยบากอยู่ในระดับสูง

3.7.2.4 เกิดพื้นผิวที่ดี

ความสัมพันธ์ ระหว่างขนาดอนุภาคของสารช่วยปรับปรุงชนิดกระจายตัว และระดับความทนทานต่อแรงกระแทกเมื่อใช้สารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกแตกต่างกัน ในขณะที่ผ่านเครื่องอัดรีดแบบ โปรไฟล์ ทำได้โดยการหาค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของโปรไฟล์เหล่านี้ จาก ชาร์ปี (Charpy Method, ASTM D 256, DIN 53453, ISO 179-1982) ไอซอด (Izod method, ASTM D256, ISO 180-1982) ส่วนการตรวจสอบสัณฐานวิทยาพบว่าเมื่อใช้เครื่องส่งผ่านอิเล็กตรอน (transmission electron microscopy) พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกที่มีสัดส่วนของพอลิบิวทิล อะคริเลทต่างๆ กันจะมีขนาดใกล้เคียงกัน และมีเสถียรภาพความเค้นเฉือนที่ดี เมื่อเทียบกับสารปรับปรุงอื่นๆ

3.7.3 พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน

พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน (ABS) แบบตอกลง นำมาใช้งานต่างๆ มากมาย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเฉพาะและนำมาใช้กับสูตรผสมของพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็งและกึ่งของแข็งแบบทึบแสง และโปร่งแสง ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ทำเป็นแผ่นโลหะหน้าคนขับรถยนต์ (dashboard) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีผลของการปรับปรุงแรงกระแทกน้อยกว่าจะเหมาะกับวัตถุโปร่งใส แต่สำหรับพอลิเมอร์ร่วมระหว่าง อะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน มีผลต่อพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดทึบแสง

สารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกที่มาจากพอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีนสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ผลิตได้โดยการตอกลง อะคริโลไนไตรล์ และสไตรีน (SAN) บนยางบิวทาไดอิน การตอกลงนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการคู่ควบ (coupling) หรือการเกิดพันธะของภูมิภาคอีลาสโตเมอร์ ที่กระจายอยู่กับภูมิภาคพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็ง โดยที่สารปรับปรุงการกระแทกชนิดนี้ให้ความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ดี เนื่องจากมีความสามารถในการผสมเข้ากันได้ดี

การกระจายตัวของมอนอเมอร์แต่ละตัวมีประโยชน์ดังนี้ สไตรีน ช่วยปรับปรุงการไหลในระหว่างกระบวนการ อะคริโลไนไตรล์ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อความร้อนและสารเคมีและเพิ่มความแข็งของวัสดุ บิวทาไดอีนช่วยเพิ่มความต้านทานแรงกระแทก นอกจากนี้สมบัติที่ต้องการอาจเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของมอนอเมอร์ร่วมที่นำมาใช้ด้วย

3.7.4 พอลิพรอพิลีนที่มีสารช่วยปรับปรุงการกระแทก

การใช้ยางเอทิลีนและพรอพิลีน (EPM หรือ EPDM) จัดเป็นกรรมวิธีที่มีความสำคัญในการปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีน การผสมพอลิพรอพิลีนกับยางเอทิลีนและพรอพิลีน (PP/EPDM) ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ (กันชนรถยนต์และแถบป้องกันการชนกระแทก) ซึ่งความทนทานต่อแรงกระแทกประเภทนี้มีรอยบากมีค่าสูงแม้อุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมเหล่านี้เป็นของผสมทางกายภาพ ระหว่างพอลิเมอร์ร่วมอิลาสโตเมอร์เอทิลีน/พรอพิลีน (ไดอีน) และ พอลิพรอพิลีนซึ่งใช้ทั้ง โสโมพอลิเมอร์ ไอโซแทกติก พอลิพรอพิลีน และ บล็อกโคพอลิเมอร์ของพรอพิลีน และ เอทิลีน ปัจจุบันนิยมใช้ EPDM ซึ่งมีความเป็นผลึกบางส่วนและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกันอย่างแพร่หลาย การนำ EPDM ไปใช้เป็นของผสมจัดเป็นเทคนิคที่ดี ในขณะที่การใช้โซโมพอลิพรอพิลีนที่มีลักษณะที่มีดัชนีการหลอมเหลวสูงจะต้องใช้สัดส่วนของยางค่อนข้างสูง เพื่อให้ได้ความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิทำได้เช่นเดียวกับบล็อกโคพอลิเมอร์ของพอลิพรอพิลีน และมีผลทำให้มอดูลัสของความเป็นยางลดต่ำลง นอกจากนี้ EPDM ที่ใช้ในการปรับปรุงพอลิพรอพิลีน และมีผลทำให้มอดูลัสของความเป็นยางลดต่ำลง นอกจากนี้ EPDM ที่ใช้ในการปรับปรุงพอลิพรอพิลีนยังมีเสถียรภาพดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ พบว่ามากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตพอลิพรอพิลีนจะมีสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกอยู่โดยนำมาใช้ในรูปของกันชนรถยนต์ แผงรถยนต์ด้านข้าง โปรีไฟล์ป้องกันการชนชนิดเสริมแรง และแผ่นโลหะหน้าคานขั้วรถยนต์

3.7.5 พอลิสไตรีนและพอลิเมอร์ร่วมที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทก

พอลิสไตรีนนำมาใช้เพื่อต้านทานต่อแรงกระแทก โดยเฉพาะเมื่อนำมาต่อกิ่งกับการพอลิเมอร์ไรซ์เซชันร่วมสไตรีนบนพอลิบิวทาไดอีน การใช้บล็อกโคพอลิเมอร์บิวทาไดอีน/สไตรีน (SBS) แทนพอลิบิวทาไดอีนจัดเป็นโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาใหม่ซึ่งสามารถขยายสาขาการประยุกต์ใช้พอลิสไตรีนต้านทานต่อแรงกระแทกได้ดี

3.7.6 พอลิสไตรีนที่มีสารปรับแรงกระแทกชนิดโปร่งใส

พอลิสไตรีนชนิดนี้จัดเป็นบล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายพอลิสไตรีน ด้านทานต่อแรงกระแทกซึ่งเกิดจากสไตรีนและบิวทาไดอิน โดยสามารถแยกความแตกต่างได้จากการกระจายตัวของวัฏภาคพอลิสไตรีนและพอลิบิวทาไดอิน ซึ่งมีขนาดของอนุภาคน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นด้วยตา ผลที่ได้คือ พอลิเมอร์มีความโปร่งใสนั้น

3.7.7 พอลิสไตรีนที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกชนิดด้านทานต่อสภาวะอากาศ

เนื่องจากพอลิสไตรีนมีแนวโน้มเปราะ ถ้าอยู่ภายใต้อิทธิพลของการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต และอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีนที่ด้านทานต่อแรงกระแทกปกติและพอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน (ABS) พบว่าพอลิสไตรีนที่มี EPDM เป็นสารช่วยปรับปรุงจะมีเสถียรภาพต่อสภาวะอากาศได้มากกว่า 5-20 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความทนทานต่อแรงกระแทกที่เหลืออยู่ว่ามีมากเท่าไร ภายหลังจากการนำไปใช้งานภายนอก

3.7.8 พอลิเมอร์ร่วมระหว่างอะคริโลไนไตรล์ บิวทาไดอิน สไตรีน

พอลิเมอร์ชนิดนี้จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทอสัณฐานที่เกิดจากมอนอเมอร์ หลายชนิด จัดสร้างเป็นบล็อก ประกอบด้วยอะคริโลไนไตรล์ (A) บิวทาไดอิน (B) และสไตรีน (S) อย่างไรก็ตามมอนอเมอร์เหล่านี้ไม่ได้เป็นวัฏภาคเนื้อเดียวแต่แยกออกเป็นสองวัฏภาคซึ่งมีพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแตกต่างทางเคมีแยกอยู่ในแต่ละวัฏภาค เมื่อใช้สารปรับแต่งชนิดช่วยปรับปรุงแรงกระแทก ABS จะก่อให้เกิดประโยชน์คือช่วยเพิ่มจุดอ่อนตัว ไวแคท (vicat softening point) ของเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับการปรับปรุง เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ ส่วนเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ ที่สามารถผสมกับ ABS เพื่อปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกได้แก่ พอลิเมทิล เมททาอะคริเลท พอลิคาร์บอเนต และเทอร์โมพลาสติก พอลิยูรีเทน ASA ที่มีความด้านทานต่อสภาวะอากาศ ได้ดีจะมีเสถียรภาพทางความร้อนดีด้วย จึงสามารถนำมาใช้แทน ABS ได้เมื่อเทอร์โมพลาสติก ต้องนำมาใช้งานภายนอกและการใช้สารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่มีความเค้นทางความร้อนสูง

3.7.9 การประยุกต์ใช้สำหรับพอลิสไตรีนที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกและ ABS

พอลิสไตรีนที่ทนต่อแรงกระแทกนำมาใช้แทนสัดส่วนของเทอร์โมพลาสติกในการผลิตตู้เย็นซึ่งจะใช้รับแรงกระแทกและ มีสารช่วยหน่วงคิดไฟอยู่

3.7.10 พอลิเอไมด์ที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทก

ลักษณะความทนทานต่อแรงกระแทกอาจทดแทนด้วยอะลาติกพอลิเอไมด์ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยใช้องค์ประกอบที่สองให้มีอุณหภูมิคล้ายแก้วต่ำและเกิดการกระจายตัวดีกว่า เรียกลักษณะนี้ว่าเป็นพวกที่มีค่ามอดูลัสต่ำ ทำหน้าที่เหมือนตัวดูดกลืนความดัน ทำให้การเกิดรอยแตกเล็กๆ

(micro cracks) เพิ่มขึ้น และเกิดการเสียรูปอันเนื่องมาจากแรงเฉือนในเมตริกซ์ แต่เป็นเพราะปริมาณของพลังงานกระแทกมีมากจึงสามารถใช้ได้ทั้งสองกระบวนการคือพอลิเอไมด์ที่มีสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกจะแสดงความต้านทานต่อการเกิดรอยแตก (crack propagation) และความล้มเหลวอย่างรุนแรงจากการแตกแยก (fracture) ได้ดี ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงจึงคำนึงถึงความว่องไวของการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังและการเปลี่ยนแปลงรูปทรงทางเรขาคณิตของรอยบากที่เกิดขึ้น

EPDM ที่มีหมู่ฟังก์ชันหมายถึงการต่อกิ่ง EPDM ด้วยกรดอะคริลิก กรดมาลิก และมาลิกอิกแอนไฮไดรด์ โดยทั่วไปจะเหมาะกับสารปรับปรุงแรงกระแทกสำหรับพอลิเอไมด์ องค์ประกอบของพอลิโอฟีนีส ผสมที่มีค่านี้ ถูกควบคุมโดยการต่อกิ่งกับวัสดุเมตริกซ์ในระหว่างการผลิตพอลิเมอร์ผสม ในเครื่องอัดรีดทำสำเร็จได้โดยปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิลของสารช่วยปรับปรุง กับกลุ่มอะมิโนที่อยู่ตอนปลายของพอลิเอไมด์ สารประกอบต่อกิ่งพอลิโอฟีนีสและเอไมด์ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ของโมเลกุลใหญ่ระหว่างผิวและเพิ่มการยึดเกาะระหว่างวัสดุทั้งสอง ทำให้เกิดการเข้ากันได้ที่ดี จึงทำให้พอลิโอฟีนีสที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารช่วยปรับปรุงแรงกระแทกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับอะลึฟาติก พอลิเอไมด์

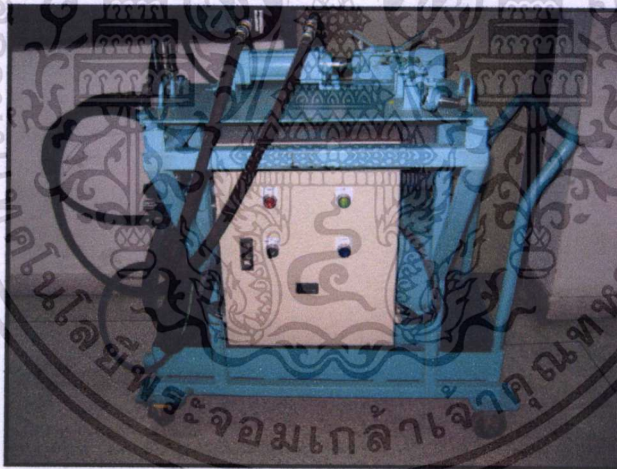
บทที่ 4

อุปกรณ์ทดลอง และ วิธีการทดลอง

เนื้อหาในส่วนนี้แนะนำเสนอเครื่องทดสอบ การออกแบบเครื่องทดสอบ รวมถึงวิธีการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดลอง ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องสร้างชุดทดลองขึ้นมาเพื่อทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์เป็นการทดสอบการใช้งานระยะยาว ในขณะเดียวกันนั้น การทดสอบระยะสั้นเราสามารถที่จะคุณสมบัติพื้นฐานได้คร่าวๆ เพื่อคาดการณ์การทำงานของสารหล่อลื่น เช่น ค่าความแข็ง ความเค้น ความเครียด ซึ่งเราสามารถสร้าง Specimen เพื่อทำการทดสอบซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ในเนื้อหาบทนี้จะได้กล่าวถึงการทดสอบระยะยาว รวมถึงวิธีการทดสอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล

4.1 เครื่องทดสอบระยะยาว

เครื่องทดสอบความเค้นสัมผัส เป็นเครื่องทดสอบอโตเมติก อาศัยแรงกระทำจากชุดไฮดรอลิก ซึ่งเป็นต้นกำลังทำงาน ควบคุมการทำงานจากชุด PLC เพื่อความยืดหยุ่นในการทำงานและการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงาน ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบความเค้นสัมผัส ควบคุมด้วยต้นกำลังไฮดรอลิก

4.1.1 ระบบไฮดรอลิก

4.1.1.1 กระบอกสูบไฮดรอลิก

ความดัน จากทฤษฎีของ Pascal เราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันดังนี้

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

เมื่อ p : ความดัน (Pa)

F : แรงกระทำ (N)

A : พื้นที่รองรับแรง (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (4.1) เราสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบไฮดรอลิกได้ดังนี้

แรงกระทำชิ้นงานที่ต้องการ $F = 10,000$ นิวตัน

ความดันที่ใช้งาน $P = 100 \text{ kgf/cm}^2 = 10,000,000 \text{ Pa}$

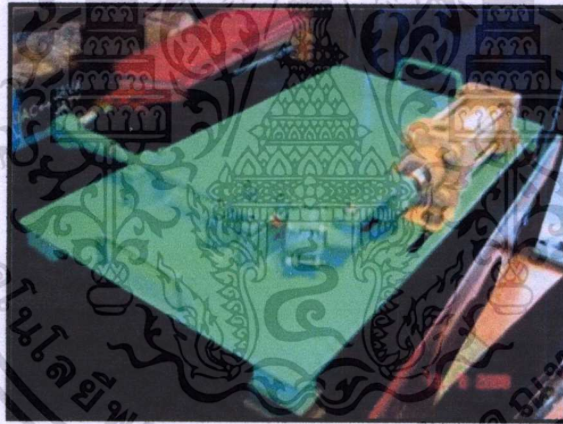
แทนค่าในสมการ (4.1) จะได้

$$p = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (4.2)$$

แทนค่า $10,000,000 = \frac{10,000}{\frac{\pi}{4} d^2}$

$$d = 3 \text{ cm.}$$

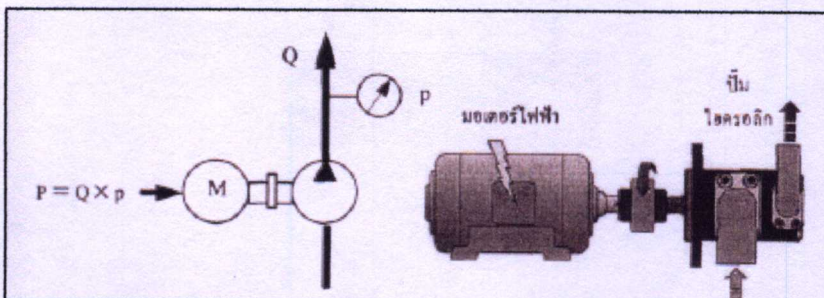
ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบไฮดรอลิก คือ 3 cm แต่เลือกใช้ 5 cm. เนื่องจากเป็นขนาดเล็กที่สุดในท้องตลาด



รูปที่ 4.2 กระบอกสูบไฮดรอลิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. และช่วงชัก 5 ซม.

4.1.1.2 กำลังอินพุตของปั๊มไฮดรอลิก

ในระบบไฮดรอลิก กำลังทางกล ที่อาจได้รับมาจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า จะถูกเปลี่ยนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นที่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 กำลังอินพุตของระบบไฮดรอลิก

เป็นกำลังไฮดรอลิก ซึ่งการส่งถ่ายกำลังไฮดรอลิกดังกล่าวจะถูกบังคับและควบคุมให้กลับกลายเป็นกำลังทางกลอีกครั้งหนึ่ง

$$\begin{aligned} \text{ต้องการอัตราเร็ว} \quad v &= 1.5 \text{ m/s} \\ \text{ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมัน} \quad Q &= vA \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (4.4)$$

เมื่อ Q : อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

d : เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

v : อัตราเร็วของน้ำมัน (m/s)

$$\text{จาก (4.1) และ (4.2)} \quad Q = v \frac{\pi}{4} d^2 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1.5 \frac{\pi}{4} (9.525 \times 10^{-3})^2 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก} \quad Q = 1.0688 \times 10^{-4} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (4.5)$$

พิจารณาหากำลังมอเตอร์ไฟฟ้า

$$P = Q \times p \quad (4.6)$$

เมื่อ P : กำลังไฟฟ้า (watts)

p : ความดัน (Pa)

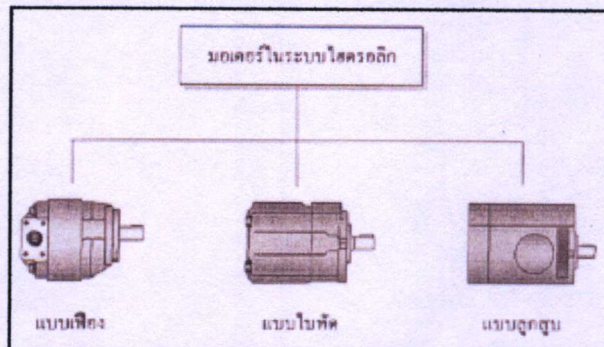
$$P = 1.0688 \times 10^{-4} \times 10,000,000$$

$$P = 1.07 \text{ kW.}$$

ดังนั้นเราสามารถเลือกกำลังของมอเตอร์ไม่น้อยกว่า 1.07 kW. ในที่นี้ใช้ 4 kW.

พิจารณาแรงบิด

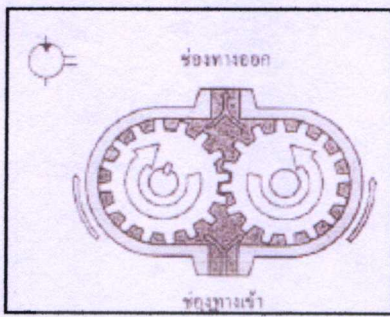
มอเตอร์ไฮดรอลิก เป็นอุปกรณ์ทำงานอีกประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลหรือน้ำมันไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานทางกล โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงมุมและสามารถหมุนได้รอบตัว หากจะกล่าวไปแล้วมอเตอร์และปั๊มไฮดรอลิกจะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นมอเตอร์ไฮดรอลิกก็สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ



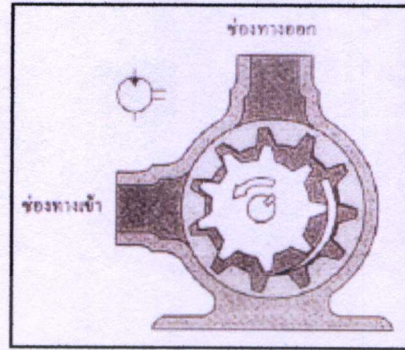
รูปที่ 4.4 ประเภทของมอเตอร์ไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรีเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2.1 มอเตอร์แบบเฟือง แรงบิดของมอเตอร์แบบเฟือง (gear motor) นี้เกิดจากความดันที่กระทำต่อฟองเฟือง ปริมาตรความจุเป็นแบบคงที่ปรับไม่ได้ สามารถหมุนกลับทิศทางได้แต่ต้องกลังชิ้นส่วนภายใน



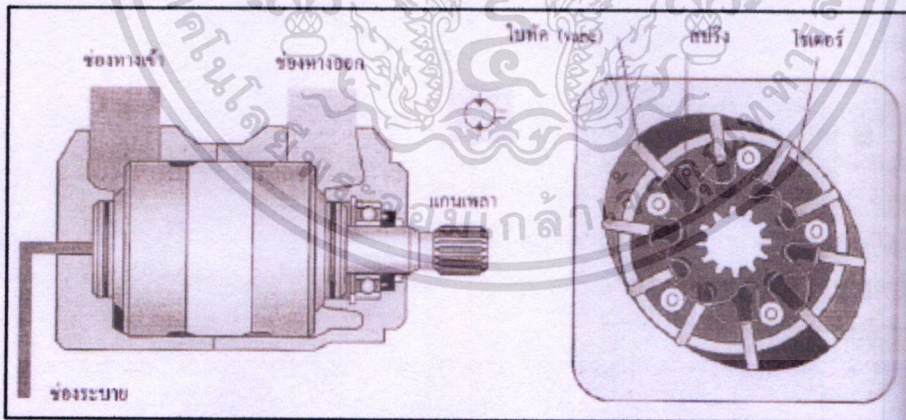
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 ลักษณะมอเตอร์แบบเฟือง (ก)เฟืองฟันนอก (ข) เฟืองฟันใน

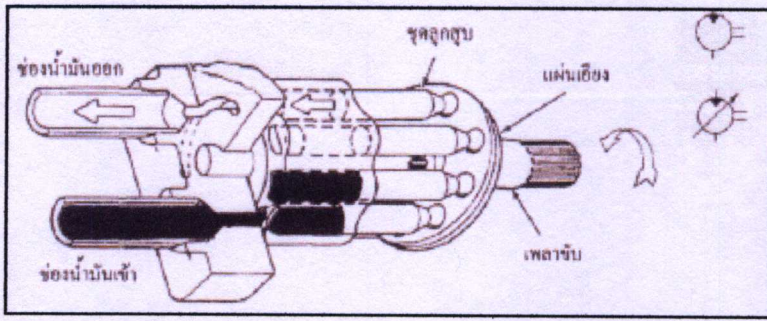
4.1.1.2.2 มอเตอร์แบบใบพัด มอเตอร์ใบพัดแบบสมดุล เป็นมอเตอร์ใบพัดที่นิยมใช้งาน เนื่องจากสามารถหมุนกลับทิศทางได้ เมื่อน้ำมันที่ป้อนเข้าสู่ตัวมอเตอร์ถูกเปลี่ยนทิศทางสาเหตุ เพราะโครงสร้างภายในมีเช็ควาล์ว ไม่ว่าช่องทางใดของมอเตอร์จะได้รับน้ำมันที่ป้อนเข้ามาเช็ควาล์วจะทำหน้าที่เชื่อมต่อช่องภายในตัวมอเตอร์เพื่อรักษาระดับความดันไว้ นอกจากนี้ที่ใบพัดจะมีสปริงให้ใบพัดกดสัมผัสกับวงแหวนตลอดเวลา น้ำมันที่ไหลเข้ามาจึงสามารถผลักดันใบพัดได้อย่างตลอดทั่วถึง



รูปที่ 4.6 ลักษณะมอเตอร์แบบใบพัดสมดุลชนิดหมุนกลับทางได้

4.1.1.2.3 มอเตอร์แบบลูกสูบ มอเตอร์แบบลูกสูบหรือ piston motors เป็นมอเตอร์ที่จัดได้ว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากมีความเร็วรอบสูงและสามารถทำงานที่ความดันสูงมากๆ ได้ มอเตอร์แบบนี้แบ่งตามโครงสร้างออกได้เป็น 2 แบบ คือ 1. แบบลูกสูบวางเรียงแกนเพลลา 2. แบบลูกสูบวางเรียงรอบแกนเพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างแบบลูกสูบ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงบิด

$$P = T \cdot \omega$$

(4.7)

เมื่อ P : กำลังงานทางไฟฟ้า (watts)

T : แรงบิดทางกล (N.m)

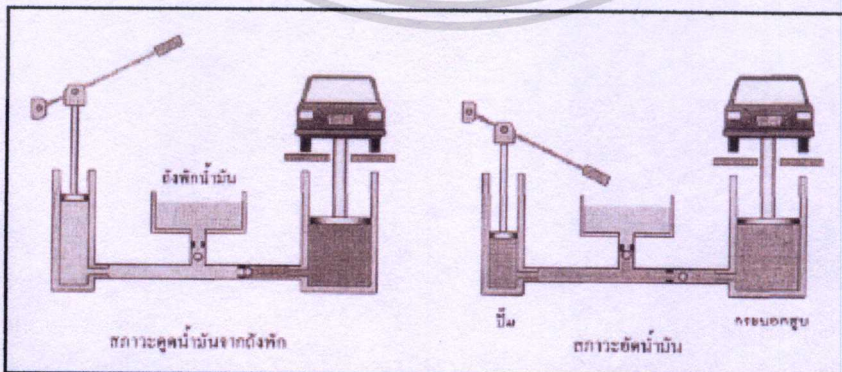
ω : อัตราเร็วเชิงมุม (rad/s)

ความเร็วรอบของมอเตอร์ $\omega = 1,440 \text{ rpm} = 2,880\pi \text{ rad/s}$

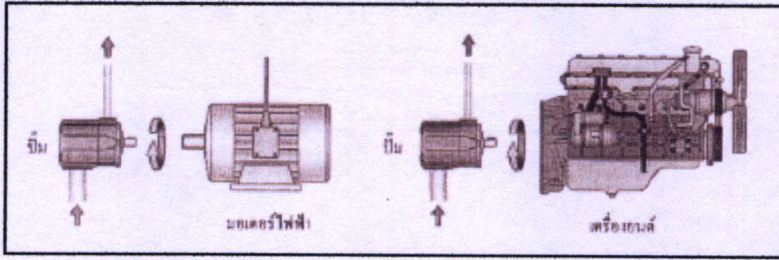
จากสมการ (4.7) $4 \times 10^3 = T \cdot 2,880\pi$

$$T = 0.44 \text{ N.m}$$

4.1.1.3 ปัมไฮดรอลิก ปัม เป็นหัวใจหลักของระบบไฮดรอลิก กล่าวคือ มันจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานกลที่ได้รับให้เป็นพลังงานของของไหลภายใต้ความดัน หลักการทำงานของปัมไฮดรอลิกโดยทั่วไป คือการดูดน้ำมันหรือของไหล ต่อจากนั้นจะทำหน้าที่อัดหรือสร้างความดันแล้วจ่ายให้กับระบบ ดังรูป 4.18 ซึ่งแสดงหลักการทำงานเบื้องต้นของปัมไฮดรอลิก

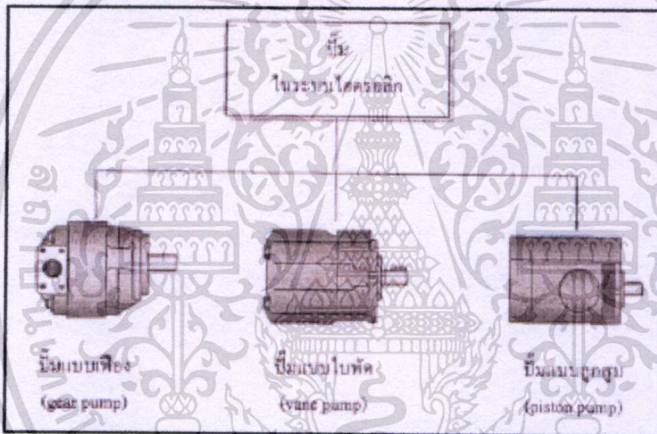


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 หลักการทำงานเบื้องต้นของปั๊มไฮดรอลิก

การแบ่งประเภทของปั๊มไฮดรอลิกจะพิจารณาจากลักษณะ โครงสร้างและหลักการทำงานเป็นหลัก เราสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกันกล่าวคือ ปั๊มแบบเฟือง (gear pump) ปั๊มแบบใบพัด (vane pump) และปั๊มแบบลูกสูบ (piston pump) ดังแสดงในแผนภาพ

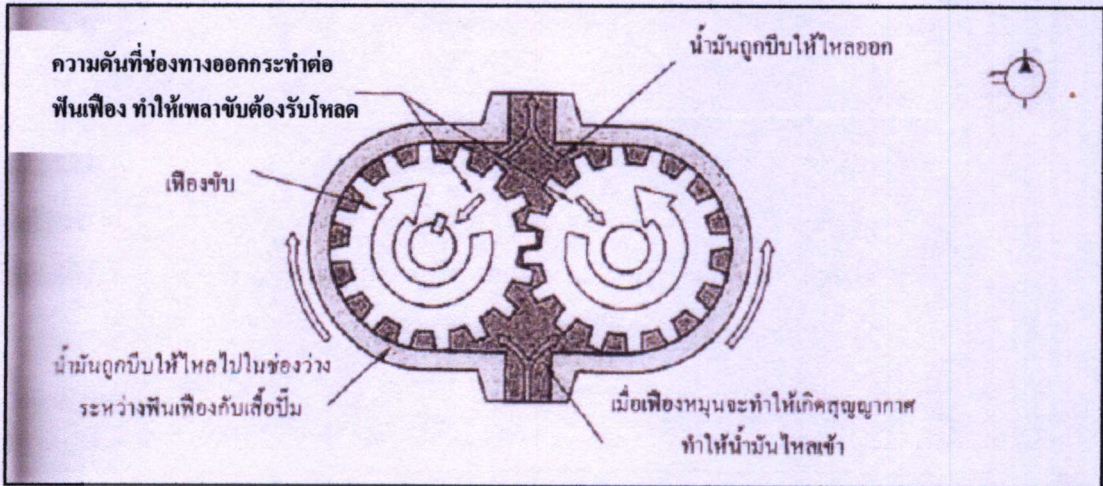


รูปที่ 4.9 ประเภทของปั๊มในระบบไฮดรอลิก

4.1.1.3.1 ปั๊มแบบเฟือง

ปั๊มแบบเฟือง หรือ gear pump นิยมใช้มากในระบบไฮดรอลิกเพราะมีโครงสร้างแบบง่าย ๆ และราคาถูก เมื่อเทียบกับปั๊มชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

(4.1.1.3.1.1) ปั๊มแบบเฟืองนอก ปั๊มแบบเฟืองฟันนอก หรือ external gear pump ประกอบด้วยเฟืองฟันนอกสองตัว หมุนอยู่ในเสื้อปั๊มชุดเดียวกัน ในขณะที่ขับให้ปั๊มทำงาน เฟืองขับจะหมุนไปขบและขับเฟืองตามให้หมุนในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้น้ำมันจากถังพักถูกดูดเข้ามาในตัวปั๊มและถูกบีบให้ไหลออกทางด้านข้างของเฟืองทั้งสองก่อนที่จะไหลออกสู่ภายนอก



รูปที่ 4.10 ปั๊มแบบเฟืองฟันนอก

เมื่อกำหนดให้

V_D : ปริมาตรในการส่งจ่ายน้ำมัน (m^3/rev)

D_o : ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงปลายเฟือง (m)

D_i : ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงฐานเฟือง (m)

L : ระยะของฟันเฟือง (m)

N : ความเร็วรอบของปั๊ม (rpm)

Q_T : อัตราการส่งจ่ายน้ำมันในเชิงทฤษฎี (m^3/min)

ซึ่งเราสามารถคำนวณหาอัตราการส่งน้ำมันได้ดังนี้

$$Q_T = V_D \cdot N \quad (m^3/min) \quad (4.8)$$

เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีช่องว่าง (clearance) ปริมาณการไหลจริง Q_A จึงน้อยกว่าจากการคำนวณ ดังนั้นประสิทธิภาพในการส่งจ่ายน้ำมันหรือประสิทธิภาพเชิงปริมาตร volumetric efficiency (η_V) ซึ่งโดยปกติจะมากกว่า 90%

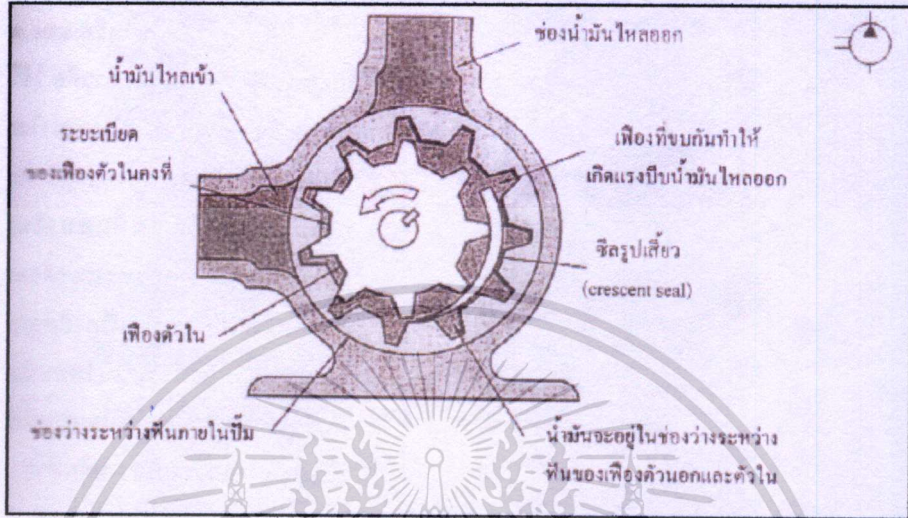
$$\eta_V = \frac{Q_A}{Q_T} \times 100\% \quad (4.9)$$

คุณสมบัติของปั๊มแบบเฟืองฟันนอก หรือ external gear pump นั้น โดยทั่วไปสามารถสรุปได้ว่า

- (1) สามารถส่งจ่ายน้ำมันได้ถึง $250 \text{ cm}^3/rev$
- (2) สามารถสร้าง ความดันได้ถึง 250 bar
- (3) ไม่สามารถปรับอัตราการจ่ายน้ำมันได้
- (4) มีย่านความเร็วที่ตีแต่จะถูกกำหนดทิศทางในการหมุนเอาไว้
- (5) มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา
- (6) เสียงดีระดับปกติ
- (7) ไวต่อเศษสิ่งสกปรก

เอกสาร(8) ราคาถูก สารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4.1.1.3.1.2) ปัมป์แบบเฟืองฟันในหรือ internal gear pump นี้มีเฟืองตัวในเป็นเฟืองฟันนอกและทำหน้าที่เป็นตัวขับ เฟืองตัวนอกซึ่งเป็นเฟืองฟันใน ซึ่ลที่มีลักษณะเป็นเสี้ยว (crescent seal) จะเป็นตัวทำให้เฟืองทั้งสองขบกันอยู่ตลอดเวลาและทำหน้าที่เป็นซีลกันไม่ให้ น้ำมัน ไหลย้อนกลับ

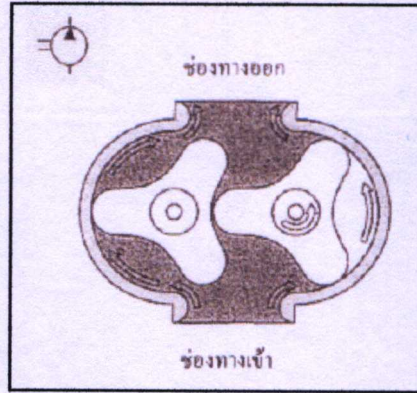


รูปที่ 4.11 ปัมป์แบบเฟืองฟันใน

คุณสมบัติของปัมป์แบบเฟืองฟันใน

- (1) จ่ายน้ำมันได้ถึง $250 \text{ cm}^3/\text{rev}$
- (2) ไม่สามารถปรับอัตราการจ่ายน้ำมันได้
- (3) ความเร็วสูง
- (4) โครงสร้างไม่ซับซ้อน
- (5) ระดับเสียงในการทำงานต่ำ
- (6) ไวต่อสิ่งสกปรก
- (7) สามารถใช้กับน้ำมันไฮดรอลิกได้ดี

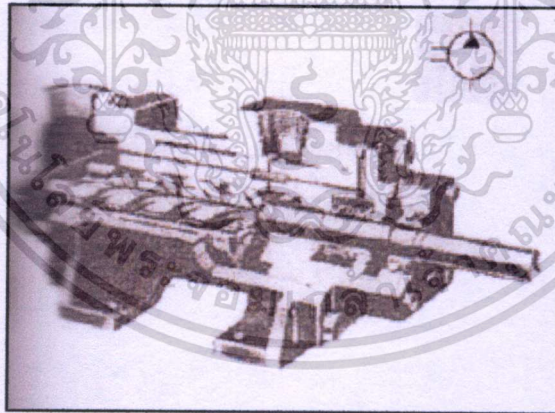
(4.1.1.3.1.3) ปัมป์แบบโหลบ ปัมป์แบบนี้ทำงานคล้ายกับ ปัมป์แบบเฟืองเฟืองฟันนอก ซึ่งลักษณะเฟืองฟันจะเป็น โหลบ ชนิด 2,3,4 หรือมากกว่า โรเตอร์สองตัวจะต้องมีตัวขับ ซึ่ง



รูปที่ 4.12 ปั๊มแบบโหลบ

โดยปกติตัวขับจะเป็นเฟืองอีกชุดหนึ่ง จากลักษณะของโรเตอร์ที่มีรูปร่างเป็นโหลบนี้เองจึงทำให้ไม่มีซีลกันรั่ว ดังนั้นจึงนิยมใช้ปั๊มแบบนี้เป็นตัวส่งน้ำมันที่มีปริมาณมากในระดับความดันต่ำๆ

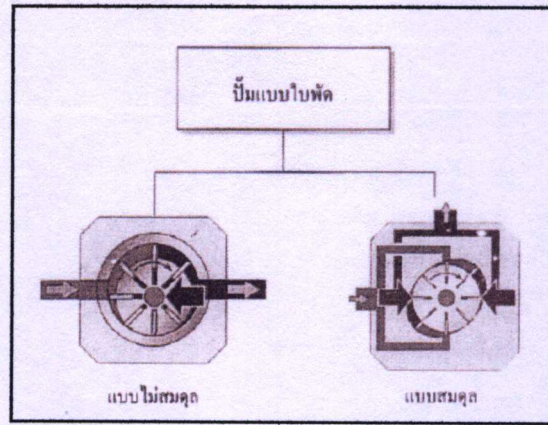
(4.1.1.3.1.4) ปั๊มแบบสกรู เป็นปั๊มที่ส่งจ่ายน้ำมันในแนวแกน โดยใช้สกรูเป็นตัวบีบอัดน้ำมัน การหมุนของสกรูจะพาน้ำมันให้ไหลไปตามแนวแกนของสกรูจนถึงทางออก ปั๊มแบบนี้ให้การทำงานที่เรียบ ดูอัดน้ำมันได้อย่างต่อเนื่อง และมีความเร็วรอบสูงแต่ประสิทธิภาพที่ต่ำ เพราะมีความฝืดมากและความดันจำกัดเพียง 35 บาร์ และอัตราการส่งจ่ายน้ำมัน 450 l/min สำหรับกรณีเป็นแบบพิเศษสามารถสร้างความดันได้ถึง 250 บาร์



รูปที่ 4.13 ปั๊มแบบสกรู

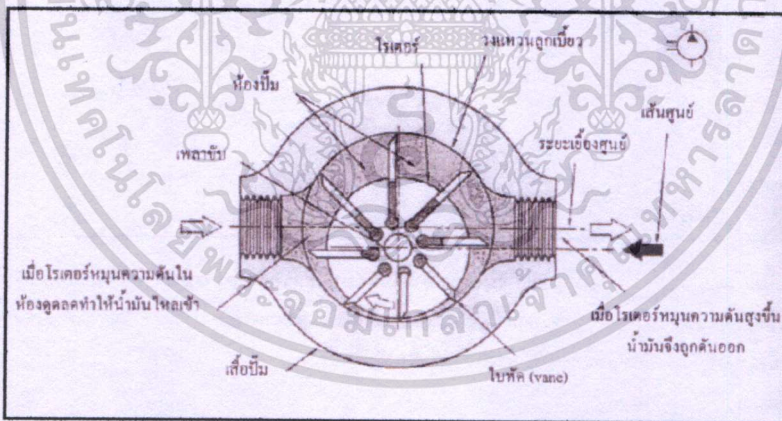
4.1.1.3.2 ปั๊มแบบใบพัด ปั๊มแบบใบพัดหรือ vane pump นิยมใช้กันมากในระบบไฮดรอลิกเพราะมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ทำงานได้เรียบและอายุการใช้งานยาวนาน มีรูปแบบหลายลักษณะแต่ส่วนประกอบและโครงสร้างหลักเหมือนกันคือ ประกอบด้วยตัวโรเตอร์ซึ่งจะเป็นร่องสำหรับรองรับใบพัด (vane) ที่ทำจากแผ่นโลหะ วงแหวนลูกเบี้ยว (cam ring) แผ่นซีล เสื้อปั๊มและฝาครอบ ปั๊มแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ (1) ปั๊มแบบไม่สมดุล (2) ปั๊มแบบสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ประเภทของปั๊มแบบใบพัด

(4.1.1.3.2.1) ปั๊มใบพัดแบบไม่สมดุล ลักษณะของปั๊มใบพัดแบบไม่สมดุล หรือ unbalance vane pump ตัวโรเตอร์และเสี้ยนปั๊ม จะประกอบเยื้องศูนย์กลางกัน ขณะที่โรเตอร์หมุนและแผ่นใบพัด (vane) เลื่อนไปก็จะดันอากาศที่อยู่ในห้องดูดให้ออกไปทำให้ความดันลดต่ำลง น้ำมันจึงสามารถไหลเข้าไปในช่องดูดได้ และเมื่อโรเตอร์หมุนผ่านแนวศูนย์กลางห้องดูดจะมีพื้นที่ลดลงและความดันจะสูงขึ้น น้ำมันจึงถูกดันให้ออกไปทางท่อออก โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะต้องเกิน 600 รอบต่อนาที หากความเร็วมีค่าไม่สูงมากพออาจเป็นสาเหตุให้น้ำมันรั่วไหลผ่านใบพัดได้



รูปที่ 4.15 ปั๊มใบพัดแบบไม่สมดุล

เมื่อกำหนดให้

D_C : เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของลูกเบี้ยว (m)

D_R : เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของโรเตอร์ (m)

L : ระยะระหว่างใบพัด (m)

N : ความเร็วของโรเตอร์ (rpm)

V_D : ปริมาตรของปั๊ม (m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 e : ระยะเยื้องศูนย์กลาง (m)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e_{max} : ระยะเยื้องศูนย์สูงสุด (m)

$V_{D,Max}$: ปริมาตรสูงสุด (m^3)

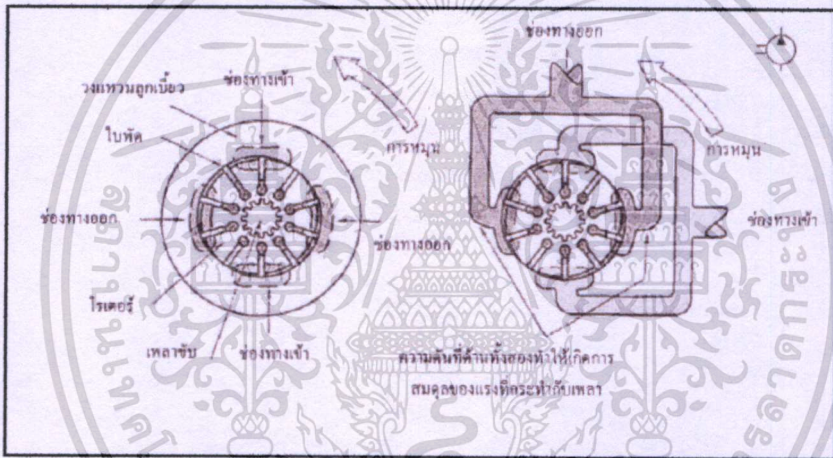
เราสามารถหาค่าเยื้องศูนย์สูงสุดได้จาก

$$e_{max} = \frac{D_C - D_R}{2} \quad (4.10)$$

และปริมาตรสูงสุด

$$V_D = \frac{\pi}{2} (D_C + D_R) \cdot e \cdot L \quad (4.11)$$

(4.1.1.3.2.2) ปัมป์ใบพัดแบบสมดุค จะมีตัวโรเตอร์หมุนอยู่ตรงกลางและมีห้องปั๊มภายในเสื้อปั๊มที่เป็นรูปร่างสองห้องอยู่ตรงข้ามกับโรเตอร์ ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดการสมดุลของแรงที่กระทำกับเพลลา



รูปที่ 4.16 ปัมป์ใบพัดแบบสมดุค

สมบัติโดยทั่วไปสามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) สร้างการไหลได้ถึง $200 \text{ cm}^3/\text{rev}$ และความดัน 280 bar
- (2) ชุดขับปั๊มควรออกตัวแบบนุ่มหรือ soft start
- (3) ระดับเสียงในการทำงานต่ำ
- (4) เหมาะกับงานที่ต้องการอัตราการไหลคงที่เท่านั้น

4.1.1.3.3 ปัมป์แบบลูกสูบ เป็นปั๊มที่นิยมใช้กันที่ระบบความดันสูง สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (1) ปัมป์แบบลูกสูบวางเรียงกับแกนเพลลา (2) ปัมป์แบบลูกสูบวางรอบแกนเพลลา

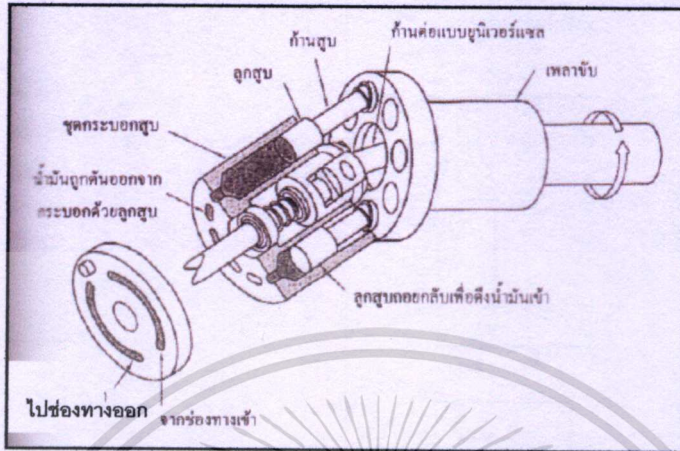
(4.1.1.3.3.1) ปัมป์แบบลูกสูบวางเรียงกับแกนเพลลา

ปัมป์แบบลูกสูบวางแนวเฉียงกับแกนเพลลา

ปั๊มแบบนี้ชุดของกระบอกสูบจะหมุนไปตามเพลลาขับ โดยที่ก้านสูบจะ

เอียงกับแผ่นหน้าแปลนและลูกสูบจะถูกดึงและดันให้เลื่อนเข้าออกภายในกระบอกสูบเมื่อเพลลาขับ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนไปอยู่ ณ. ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับมุมระหว่างหน้าแปลนของเพลลาเข้ากับชุดกระบอกลูกสูบ



รูปที่ 4.17 ปีมแบบลูกสูบวางแนวเฉียงกับแกนเพลลา

เมื่อกำหนดให้

θ : มุมระหว่างหน้าแปลนของเพลลาเข้ากับชุดกระบอกลูกสูบ

S : ระยะชักของลูกสูบ (m)

D : เส้นผ่านศูนย์กลางของแนววางลูกสูบ (m)

Y : จำนวนลูกสูบ

A : พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (m^2)

เราสามารถหาปริมาตรทั้งหมดได้เป็น

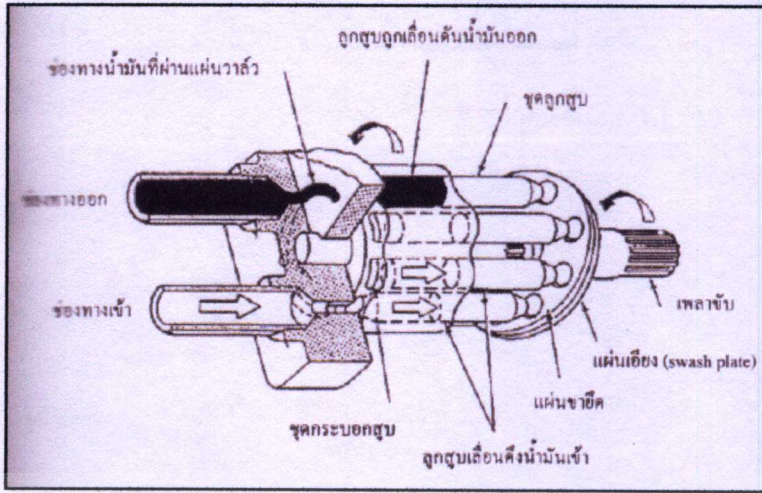
$$V_D = Y.A.D. \tan \theta \quad (4.12)$$

อัตราการไหล

$$Q = Y.A.D.N. \tan \theta \quad (4.13)$$

ปีมแบบลูกสูบวางขนานกับแกนเพลลา

ปีมแบบนี้ ลูกสูบจะเคลื่อนที่เข้าออกในแนวขนานกับแกนเพลลา โดยลูกสูบจะสวมล็อกติดอยู่กับแผ่นขายึด (shoe plate) ส่วนแผ่นขายึดนี้จะต่อกับแผ่นเอียง อีก



รูปที่ 4.18 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบลูกสูบวางขนานกับแกนเพลลา

(4.1.1.3.3.2) ปั๊มแบบลูกสูบวางรอบแนวแกนเพลลา ปั๊มแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบชุดกระบอกสูบอยู่กับที่ และแบบชุดกระบอกสูบเคลื่อนที่



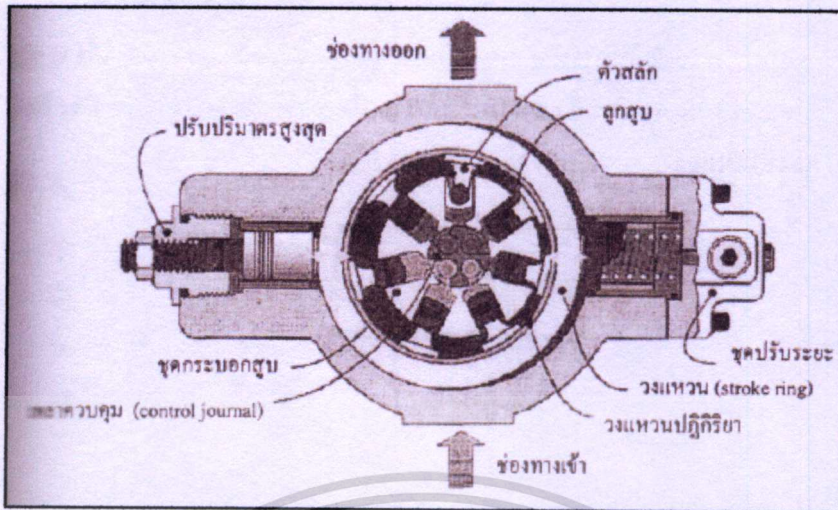
รูปที่ 4.19 ประเภทของปั๊มแบบลูกสูบวางรอบแนวแกนเพลลา

ปั๊มแบบชุดกระบอกสูบเคลื่อนที่

ปั๊มแบบนี้ชุดกระบอกสูบจะเป็นตัวเคลื่อนที่และมีชิ้นส่วนที่อยู่กับที่คือ วงแหวน ปฏิกริยา เมื่อลูกสูบเลื่อนตัวเข้าออกตามแนวรัศมีภายในชุดกระบอกสูบซึ่งหมุนรอบแกนที่อยู่กับที่ ในขณะที่เดียวกันก็หมุนภายในวงแหวนปฏิกริยาด้วย เมื่อวงแหวนเอียงศูนย์ ลูกสูบจะเลื่อนเข้าออกภายในกระบอกสูบเพื่อดูดและผลักน้ำมันให้ผ่านช่องของวาล์วที่อยู่ทีตัวสลักซึ่งทำหน้าที่แยกน้ำมันที่เข้าออก ขนาดและจำนวนลูกสูบรวมทั้งความยาวของช่วงชักจะเป็นส่วนที่แสดงปริมาณ

ความจุของปั๊ม การปรับอัตราการจ่ายน้ำมันของปั๊มชนิดนี้สามารถทำได้โดยการปรับชุดวงแหวนให้เกิดการเอียงศูนย์เพื่อเลื่อนตำแหน่ง การเคลื่อนที่เข้าออกหรือความยาวของช่วงชักของลูกสูบ

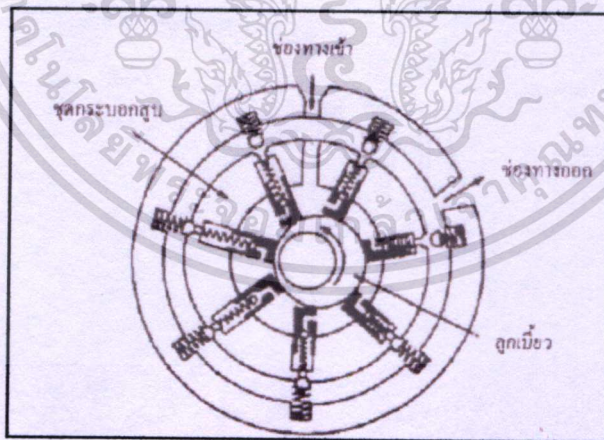
เอกสคตี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบชุดกระบอบอกสูบเคลื่อนที่

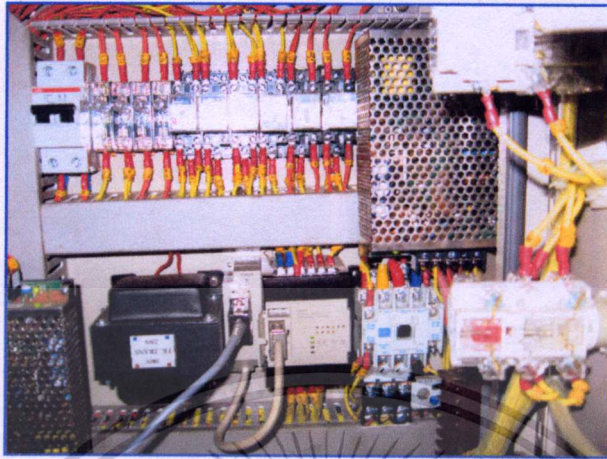
ปั๊มแบบชุดกระบอบอกสูบอยู่กับที่

ปั๊มแบบนี้ชุดกระบอบอกสูบจะอยู่กับที่ ขณะที่แกนเพลลาของปั๊มหมุนจะทำให้ลูกเบี้ยวซึ่งติดอยู่เยื้องศูนย์กลางไปด้วย ส่งผลให้ลูกสูบซึ่งติดอยู่กับลูกเบี้ยวดังกล่าวเคลื่อนที่เข้าออก ภายในชุดกระบอบอกสูบ เพื่อทำหน้าที่ดูดอัดน้ำมันกล่าวคือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออก น้ำมันภายในชุดกระบอบอกสูบจะถูกอัดดันสู่ทางออกโดยผ่านเช็ควาล์ว และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าก็เกิดช่องว่างให้น้ำมันจากทางเข้าผ่านเข้ามาทางเช็ควาล์ว



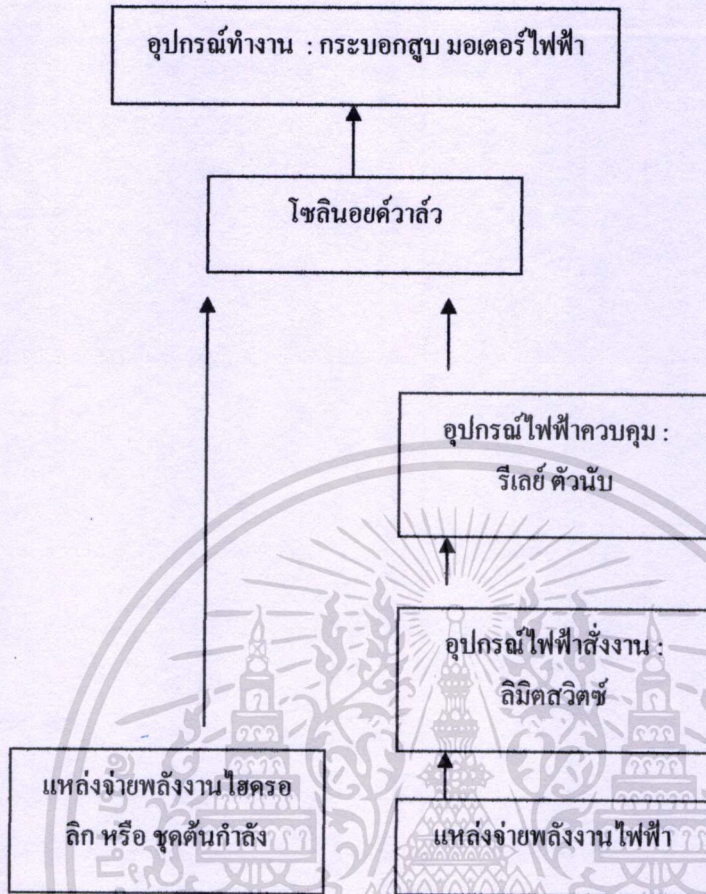
รูปที่ 4.21 โครงสร้างและหลักการทำงานของปั๊มแบบชุดกระบอบอกสูบอยู่กับที่

4.1.2 ระบบไฟฟ้า และ ความคุมอัตโนมัติ

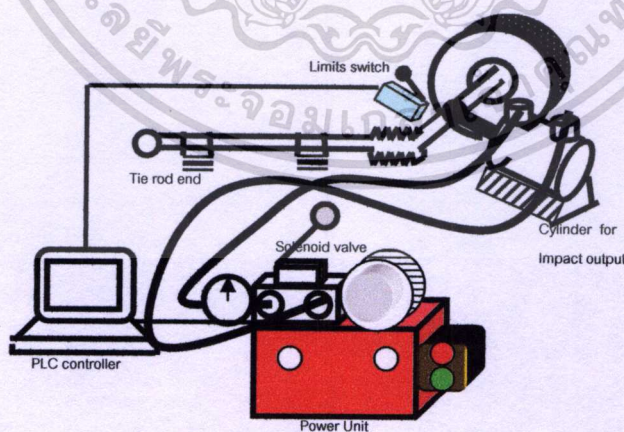


รูปที่ 4.22 แผงวงจรไฟฟ้าและวงจรควบคุมอัตโนมัติของเครื่องทดสอบ

ในเครื่องจักรกลหรือระบบระบบกระบวนการทำงานต่างๆ ที่เป็นระบบไฮดรอลิกไฟฟ้า (electro-hydraulic) นั้น โดยทั่วไปจะมี สองส่วนประกอบหลักคือส่วนของวงจรไฮดรอลิก หรือวงจรกำลัง ซึ่งในส่วนนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ทำงาน (actuator) ประเภทต่างๆ ที่ถูกควบคุมการขับเคลื่อนด้วย โซลินอยด์วาล์ว และอีกส่วนหนึ่งก็คือ วงจรควบคุมหรือส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ เช่น สวิตช์ รีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ เซนเซอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างๆ ดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้สร้างเป็นวงจรเพื่อควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 4.23 แสดงส่วนประกอบหลักการควบคุมระบบไฮดรอลิกด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้า



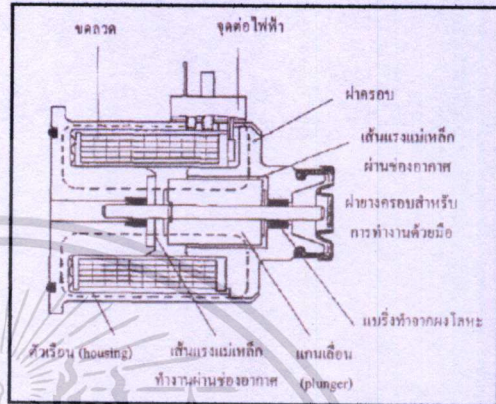
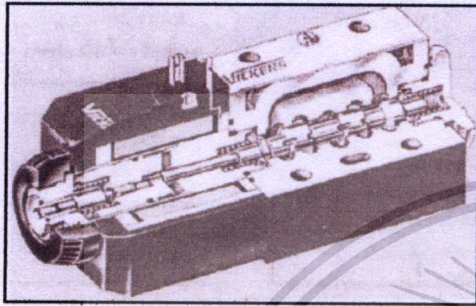
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า

4.1.2.1 โซลินอยด์วาล์ว

เป็นอุปกรณ์ทำให้อุปกรณ์ทำงานเปลี่ยนแปลงทิศทางตามต้องการ กระทำได้หลาย

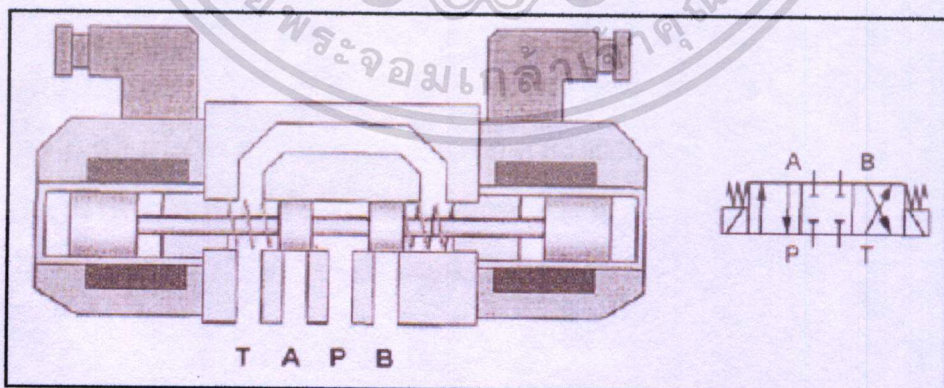
วิธี โดยเลื่อนโดยใช้สัญญาณน้ำมัน และการเลื่อนวาล์วโดยสัญญาณไฟฟ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของโซลินอยด์วาล์ว โดยทั่วไปประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ชุดขดลวดหรือ โซลินอยด์กับตัววาล์ว สำหรับชุดขดลวดจะใช้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดแรงในการเลื่อนแกนภายใน และแกนดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวส่งงานในการเลื่อนวาล์ว ในส่วนของโซลินอยด์โดยทั่วไปจะมีให้เลือกอยู่ 2 ประเภทคือ โซลินอยด์ที่ใช้กับไฟตรง และ โซลินอยด์ที่ใช้กับไฟสลับ ซึ่งในที่นี้ใช้โซลินอยด์ที่ใช้กับกระแสตรง



รูปที่ 4.25 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์ที่ใช้กับกระแสตรงแบบแห้ง

จากรูปที่ 4.25 เป็นโซลินอยด์วาล์วชนิด 4/3 ตำแหน่งกลางเป็นปกติปิดเหมือนกัน ซึ่งการเลื่อนวาล์วเป็นการเลื่อนที่ควบคุมด้วยไฟฟ้า

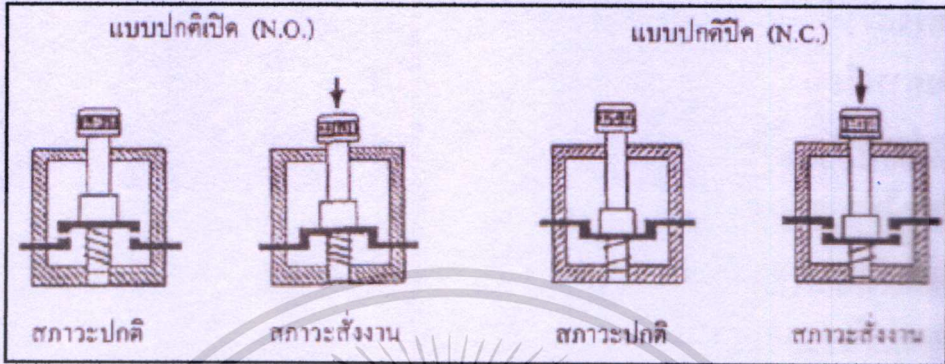


รูปที่ 4.26 วาล์ว 4/3 ชนิดส่งงานด้วยโซลินอยด์ทั้งสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

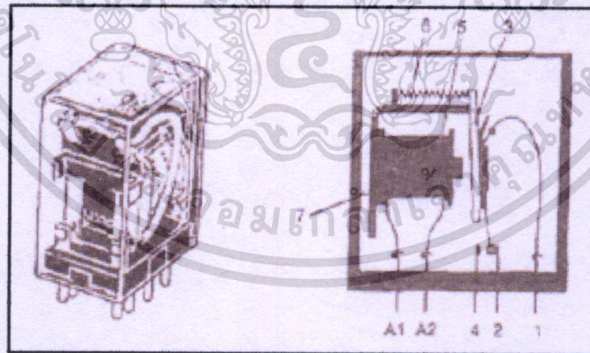
4.1.2.2 อุปกรณ์ไฟฟ้าและการควบคุม

4.1.2.2.1 สวิตช์ปุ่มกด โดยทั่วไปจะมี 2 ประเภท ด้วยกัน คือ แบบปกติหน้าสัมผัสเปิด หมายถึง ในสภาวะปกติกระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ และแบบหน้าสัมผัสปกติปิดจะมีลักษณะตรงกันข้าม



รูปที่ 4.27 โครงสร้างและการทำงานของสวิตช์ปุ่มกด

4.1.2.2.2 รีเลย์ เพื่อควบคุมการค้างตำแหน่งของอุปกรณ์ทำงาน รีเลย์จะมีหน้าสัมผัสจำนวนมากหลายชุดอยู่ในซึ่งสามารถนำมาใช้ในการตัดต่อวงจร รวมทั้งสามารถสร้างเงื่อนไขให้ค้างการทำงานได้

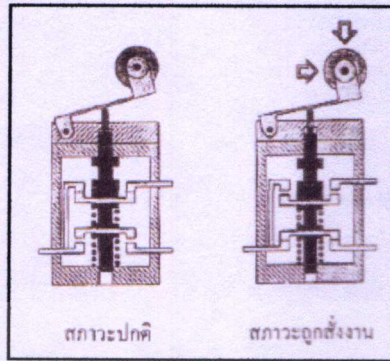


รูปที่ 4.28 แสดง โครงสร้างและส่วนประกอบของรีเลย์

โครงสร้างของรีเลย์ประกอบด้วย แกนเหล็กสองชุดชุดที่อยู่กับที่จะมีขดลวดพันอยู่รอบๆ ในกรณีที่กระแสไหลผ่านขดลวดจะทำให้เกิดแรงดึงดูดกันได้ โดยปกติแกนเหล็กทั้งสองชุดจะถูกแยกกันด้วยแรงของสปริง ในสภาวะนี้หน้าสัมผัสจะต่อถึงกัน แต่เมื่อมีกระแสป้อนเข้าแกนเหล็กจะทำให้หน้าสัมผัส 1,4 ต่อถึงกันด้วยอำนาจแม่เหล็ก และหากไม่มีไฟ หน้าสัมผัสจะกลับสู่สภาพเดิมด้วยแรงของสปริง

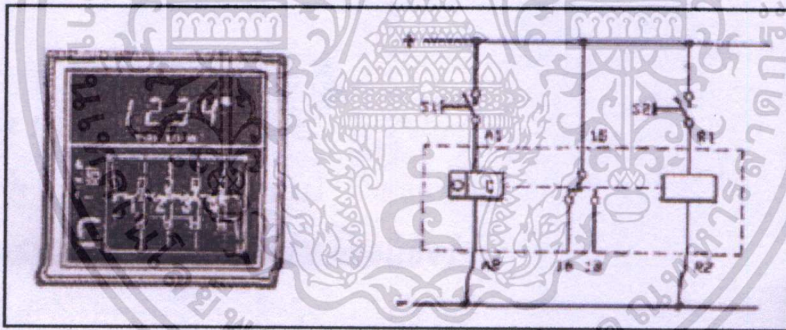
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.3 ลิ้มิตสวิตช์ จะทำงานคล้ายกับสวิตช์ปุ่มกด แต่การสั่งงานจะอาศัยการกระทำทางกล ซึ่งอาจจะใช้ปลายก้านสูบ เป็นตัวกดหรือสั่งงานในการเปลี่ยนตำแหน่งหน้าสัมผัส



รูปที่ 4.29 แสดงโครงสร้างและหลักการทำงานของลิ้มิตสวิตช์

4.1.2.2.4 ตัวนับ (counter) เป็นอุปกรณ์ทำงานโดยอาศัยสัญญาณพัลส์ ทางไฟฟ้าหรือสัญญาณแบบเปิด-ปิด เพื่อสั่งให้มีการนับเกิดขึ้น สำหรับตัวนับแบบนับอย่างเดียวนั้นจะไม่มีหน้าสัมผัสหรือสถานะที่จะนำไปใช้ได้

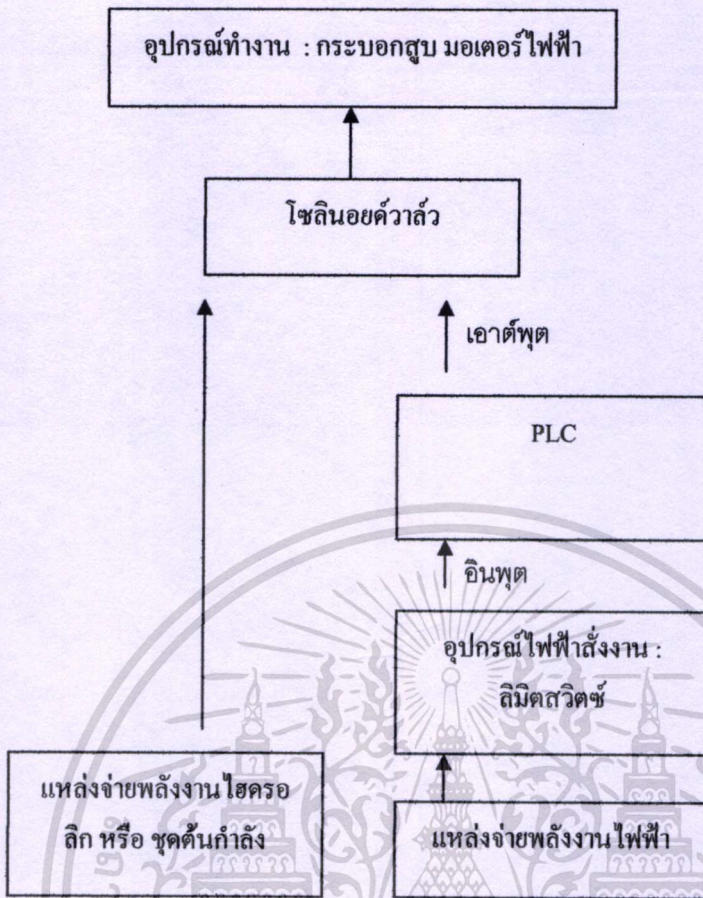


รูปที่ 4.30 สัญลักษณ์และหลักการทำงานของตัวนับ

4.1.2.3 การควบคุมระบบไฮดรอลิกด้วย PLC

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการต่างๆ ส่วนภายในของ PLC จะมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็น อินพุต และ เอาต์พุต ซึ่งสามารถต่อใช้งานทันที คือ เซนเซอร์หรือสวิตช์สั่งงานต่างๆ จะต่อเข้าที่อินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายนอกซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการต่างๆ ที่เป็นเป้าหมาย ซึ่งคือ โซลินอยด์วาล์ว

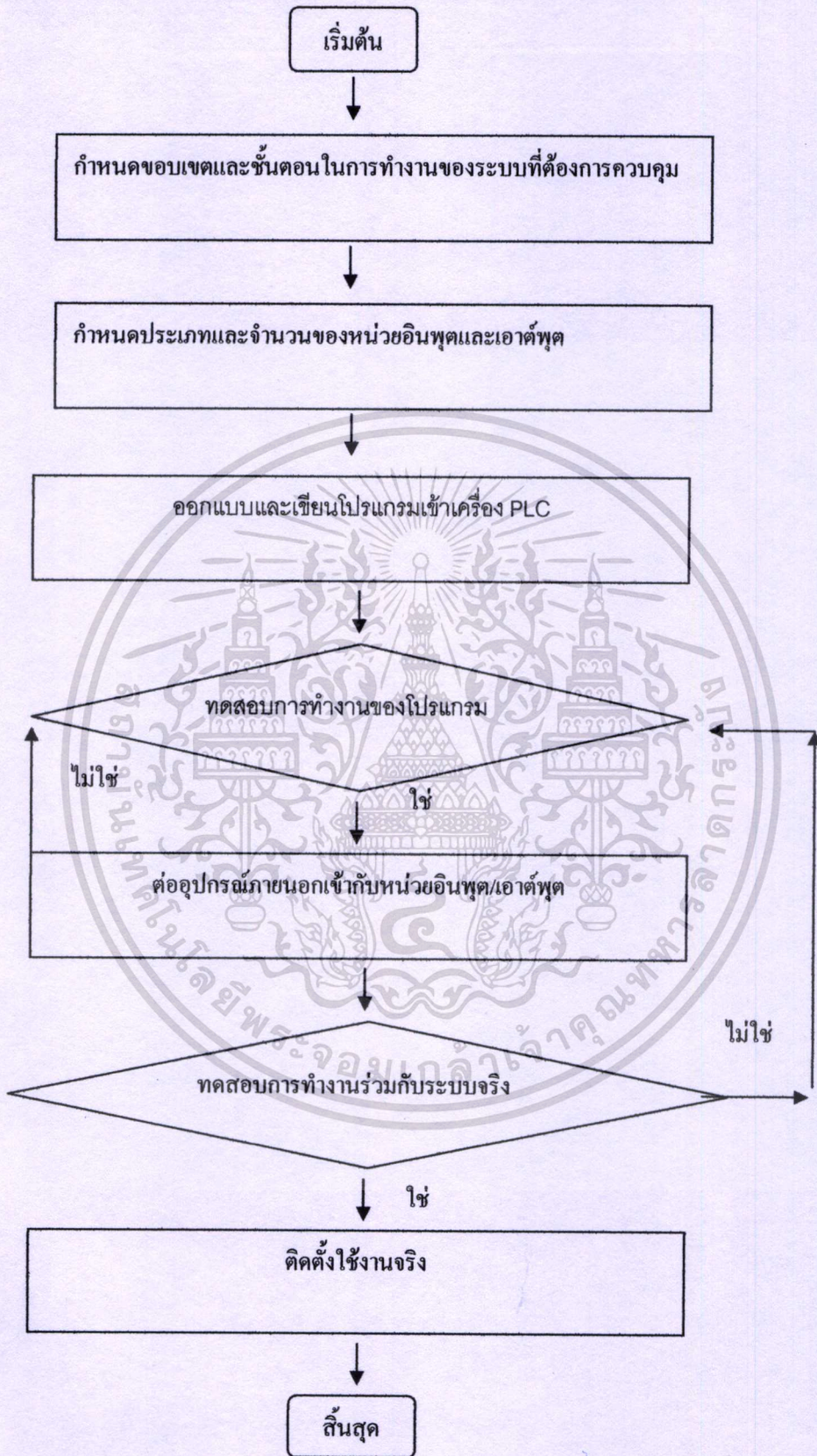
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 การใช้ PLC ควบคุมระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

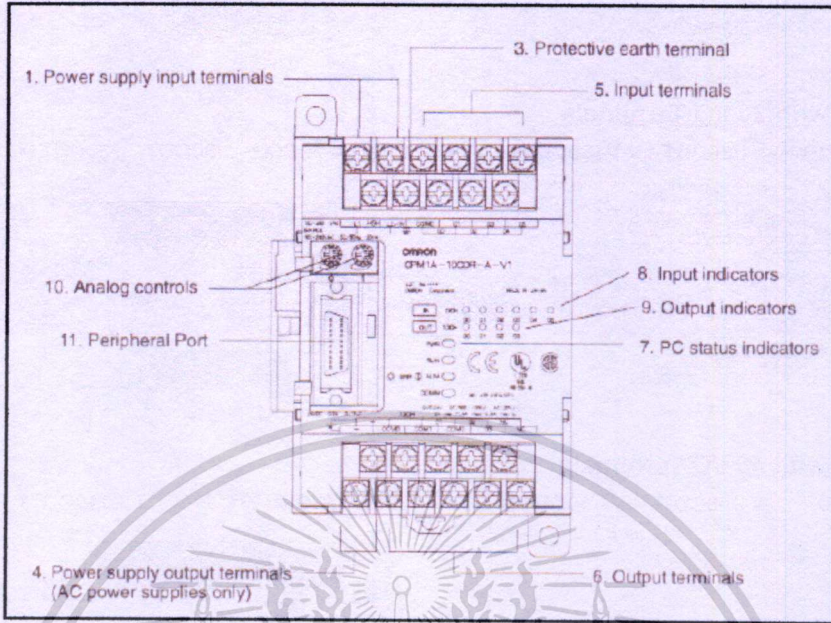
ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งาน PLC



รูปที่ 4.32 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

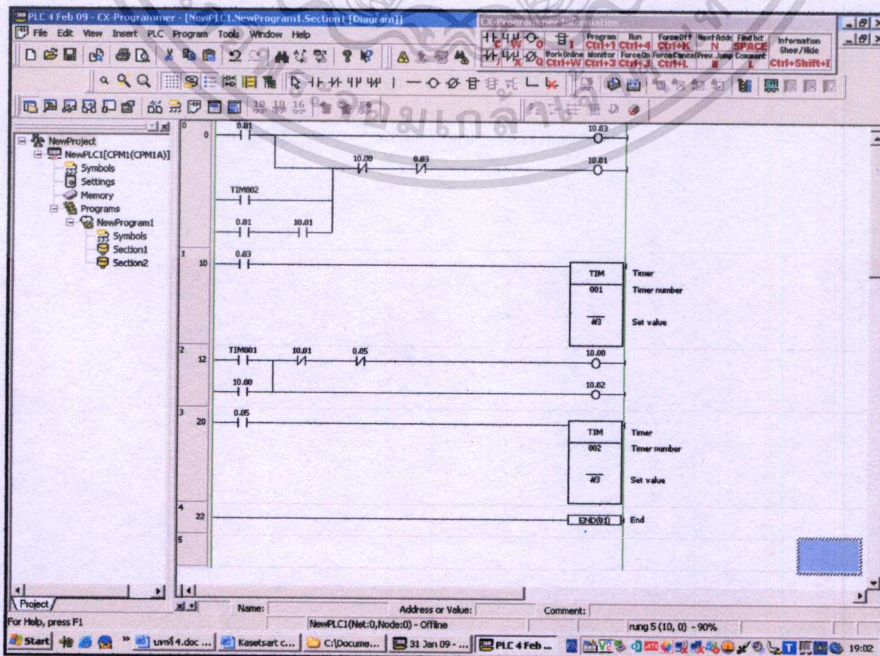
การต่ออุปกรณ์เข้ากับ PLC



รูปที่ 4.33 การต่ออุปกรณ์ภายนอกร่วมกับ PLC

4.1.2.3.1 ซอฟต์แวร์ของ PLC

ซอฟต์แวร์ของผู้ใช้เป็น โปรแกรมการจัดการที่ผู้ใช้ เขียนให้ PLC ควบคุมการทำงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงาน ซึ่ง



รูปที่ 4.34 หน้าต่างของโปรแกรมเขียนคำสั่ง PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาที่เขียนมีหลายภาษา เช่น แลคเตอร์ไคอะแกรม ภาษาบด็อกไคอะแกรม ภาษาพีชคณิตบูลีน
ในที่นี้ใช้ แลคเตอร์ไคอะแกรม โดยใช้ โปรแกรม CX-ONE Desinger. ดังแสดงในรูปที่ 4.34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนคือ การทดสอบระยะสั้น ซึ่งได้ทำการทดสอบหาค่าความแข็ง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และการทดสอบระยะยาว โดยการทดสอบภายใต้สภาวะการทำงานจริง โดยอาศัยข้อมูลการสูญเสียเชิงมวล และ ขนาดความยาวพื้นที่ของการสึกหรอ ซึ่งสามารถที่จะทำนายถึงระยะเวลาที่ใช้งานจริงได้ ดังนี้

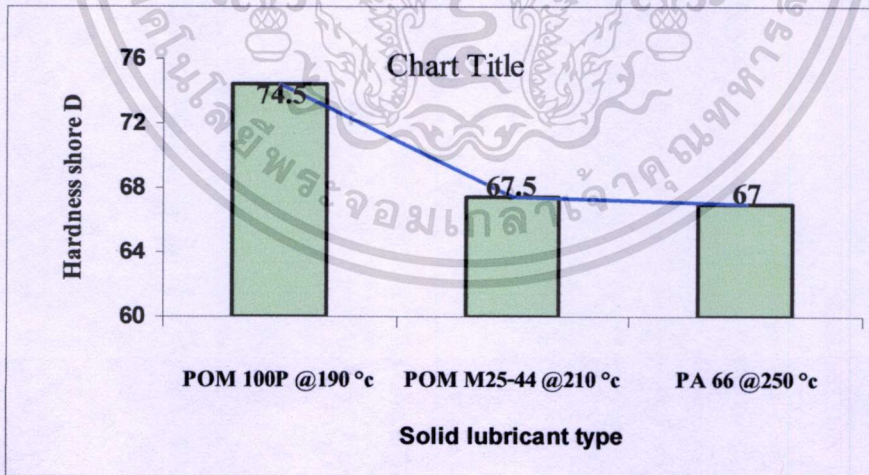
5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองระยะสั้น

5.1.1.1 การทดสอบค่าความแข็ง

ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่นแต่ละตัวอย่างชิ้นงาน โดยใช้สารหล่อลื่นดังนี้

- (1) POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 190 องศาเซลเซียส
- (2) POM M25-44 ที่อุณหภูมิการฉีด 210 องศาเซลเซียส
- (3) PA66 ที่อุณหภูมิการฉีด 250 องศาเซลเซียส



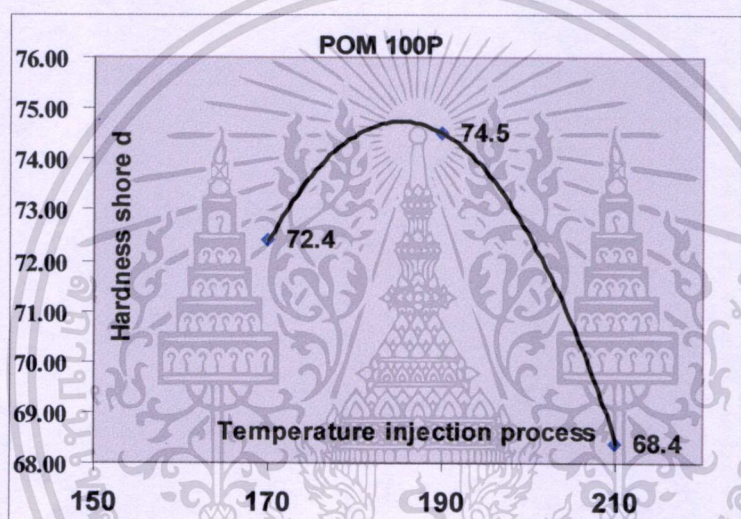
รูปที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 5.1 เราพบว่าสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการฉีดพลาสติกที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแบบชอร์ D มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือก POM 100P ที่กระบวนการอื่นๆ เพื่อทดสอบความแข็ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่นแต่ละตัวอย่างขึ้นงาน โดยใช้สารหล่อลื่นดังนี้

- (1) POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 170 องศาเซลเซียส
- (2) POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 190 องศาเซลเซียส
- (3) POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 210 องศาเซลเซียส



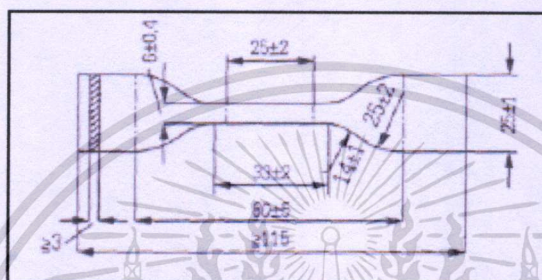
รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ ชอร์ D ของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการฉีดพลาสติกที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูป 5.1 และ 5.2 เราพบว่าสารหล่อลื่นชนิด POM 100P ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นั้นมีค่าความแข็งมากที่สุด เนื่องจากในกระบวนการถ้าเราฉีดสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส ความแข็งแรง และความแข็งจะน้อยเนื่องจากการขยายตัวของโซ่พอลิเมอร์ขยายตัว ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าความแข็งน้อย แต่ในขณะเดียวกันถ้าเราฉีดสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งสารหล่อลื่นแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิแก้ว เป็นเกณฑ์บอกถึงขอบเขตความแข็งแรง ในกรณีที่ฉีดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแก้ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพเป็นแก้วที่แข็งมาก แต่เปราะหรือเป็นผลมาจากการทำลาย (Deposited) พันธะของสายพอลิเมอร์

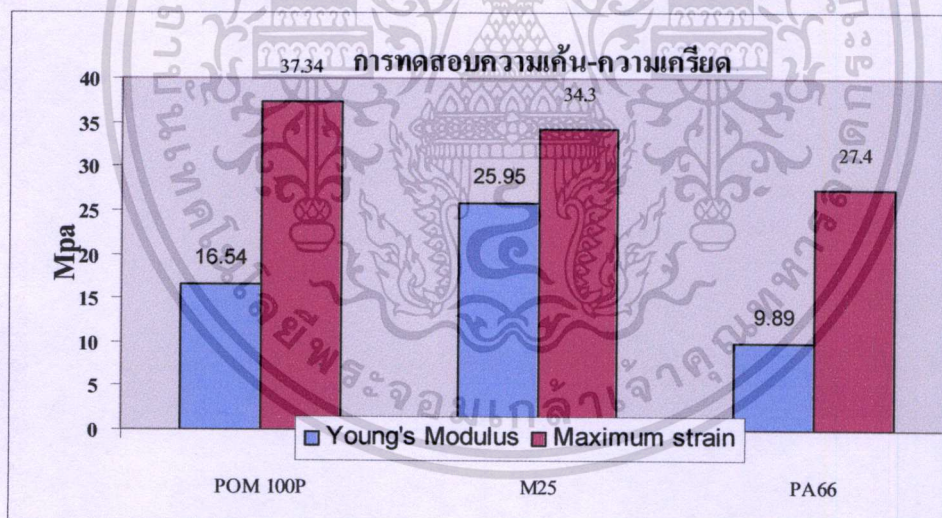
5.1.1.2 การทดสอบค่าความเค้นและความยืดหยุ่น

การทดสอบได้อาศัย Specimen เพื่อเข้าทดสอบหาความเค้นและความเครียด โดยสารหล่อลื่นที่ใช้มีดังนี้

- (1) POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 190 องศาเซลเซียส
- (2) POM M25-44 ที่อุณหภูมิการฉีด 210 องศาเซลเซียส
- (3) PA66 ที่อุณหภูมิการฉีด 250 องศาเซลเซียส

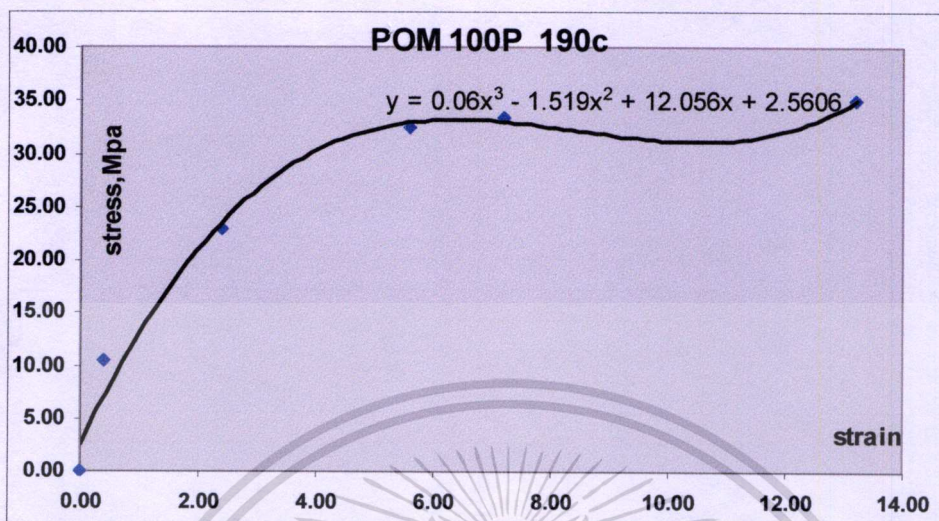


รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของ Specimen เพื่อใช้ทดสอบ

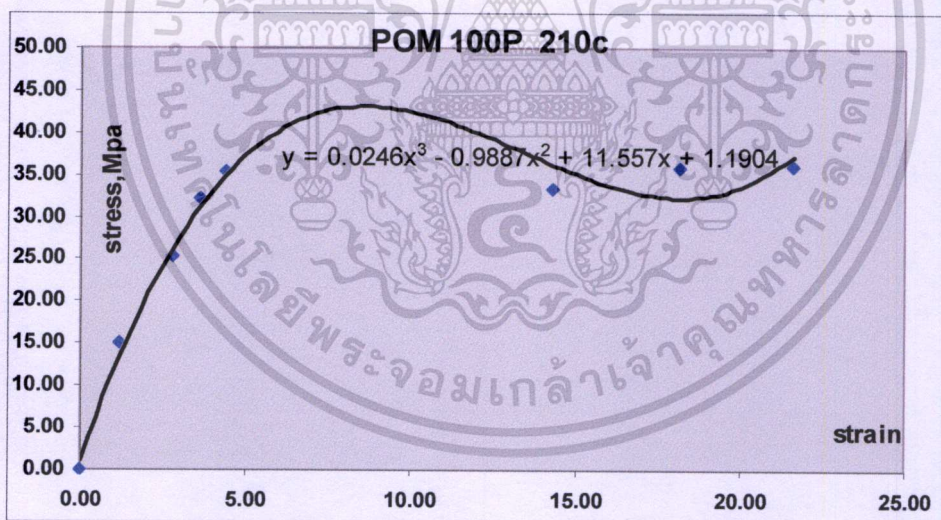


รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของ Specimen เพื่อใช้ทดสอบ

จากรูป 5.4 พบว่า POM 100P มีค่ามอดูลัส 16.54 ซึ่งใกล้เคียงกับ POM M25-44 และความเค้นสูงสุดนั้น POM 100P มีค่าเท่ากับ 37.34 ซึ่งใกล้เคียงกับ POM M25-44 ดังนั้นสารหล่อลื่นสองชนิดมีสมบัติทางการยืดหยุ่น และความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.5 (ก) ผลการทดสอบความเค้น-ความเครียดของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการฉีด 190 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.5 (ข) ผลการทดสอบความเค้น-ความเครียดของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการฉีด 210 องศาเซลเซียส

จากรูป 5.4 และ 5.5 (ก) และ 5.5 (ข) เมื่อทำการหาพื้นที่ใต้กราฟ จะได้สมบัติทางกลดังแสดงในตารางที่ 5.1 ดังนี้

PROPERTIES	POM TEMP PROCESS	
	190 c.	210 c.
Young modulus	16.54	12.53
Maximum stress(Mpa)	37.34	45.45
Under line area(unit sq.)	404.29	472.75

ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น POM 100P ที่กระบวนการต่างๆ

จากรูป 5.4 และ 5.5 (ก) และ 5.5 (ข) และตารางที่ 5.1 เมื่อทำการ พบว่าสารหล่อลื่นที่มีความเหนียวมาก จะมีพื้นที่ใต้กราฟมาก และในขณะเดียวกันสารหล่อลื่นที่มีความแข็งแรงมาก จะมีค่าความเค้นที่สูง ในรูป 5.5 (ก) และ 5.5 (ข) ช่วงแรกของการเสียดสีรูปจะมีความยืดหยุ่นสูง จนถึงค่าสุดท้าย จะเกิดการฉีกขาด เนื่องจากมีขีดจำกัดของพลังงานความเครียดของวัสดุ

5.1.2 การทดสอบระยะยาว

5.1.2.1 ผลการทดสอบจากกล้องกำลังขยาย

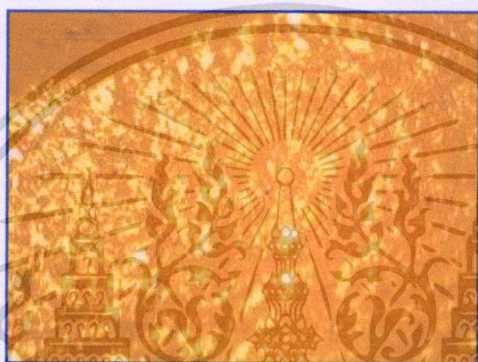
(1) ผลการทดลองดูลักษณะโครงสร้างของสารหล่อลื่น POM M25-44 ที่แรง 15,000 นิวตัน บริเวณด้านล่าง จุดประสงค์เพื่อดูโครงสร้างของสารหล่อลื่น



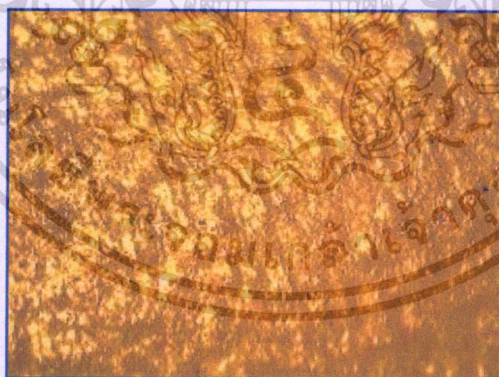
รูปที่ 5.6 ลักษณะสารหล่อลื่นประเภทต่างๆ ความหนา 2 มิลลิเมตร



(ก) ก่อนเริ่มทดสอบ 0 รอบ



(ข) การทดสอบที่ 50,000 รอบ

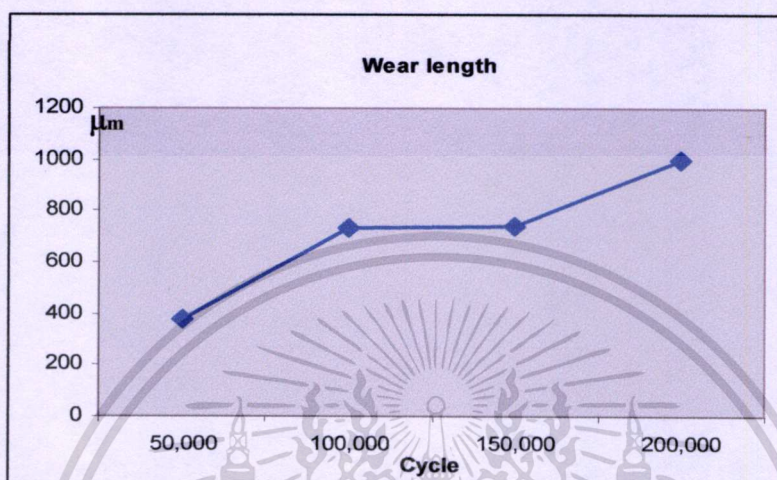


(ค) การทดสอบที่ 200,000 รอบ

รูปที่ 5.7 การทดสอบความเค้นสัมผัสที่ (ก) 0 รอบ (ข) 50,000 รอบ (ค) 200,000 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าลักษณะโครงสร้างจะเริ่มมีลักษณะการเสีรูป เป็นเส้น 0 องศา เนื่องจากการรับแรงเค้นเฉือน แรงตั้งฉากปกติ และความเค้นแบบสัมผัส ซึ่งทั้งหมดเกิดจากความเค้นผสม ดังนั้นลักษณะโครงสร้างจะเริ่มแผ่ขยายเป็นวงกว้าง จากเส้นตรง



รูปที่ 5.8 แนวโน้มของขนาดรอยสึกหรอของสารหล่อลื่น POM M25-44 ที่เกิดจากรับแรงกระแทก โดยการวัดความยาวรอบวงเม็ดเกรน

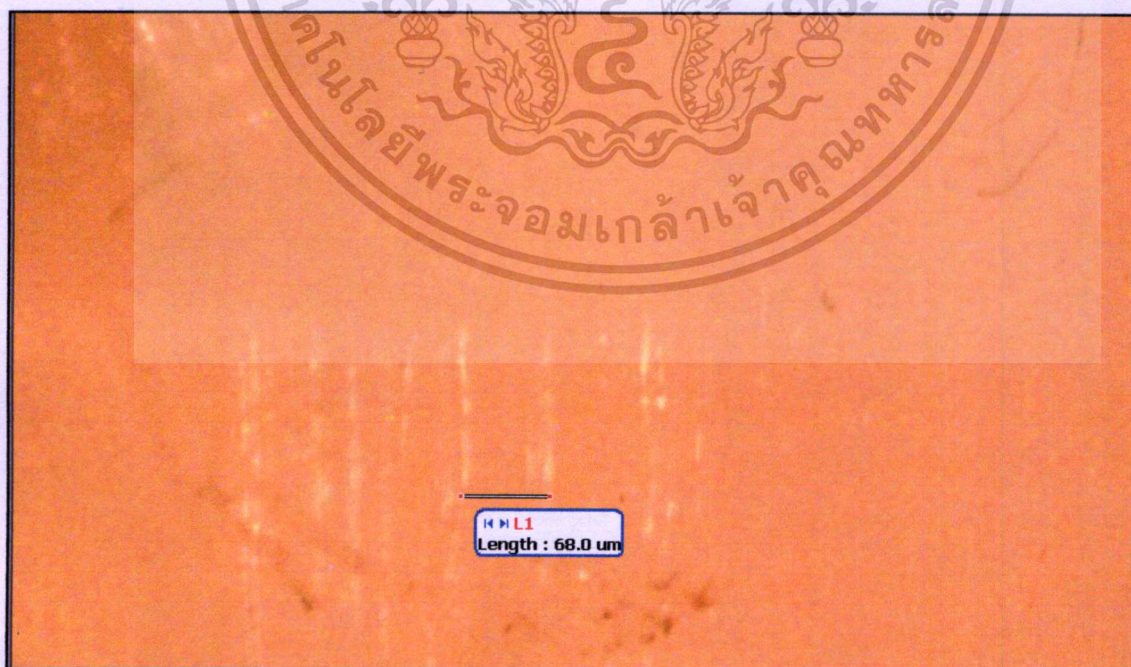
จากการทดลองหลังจากที่ได้ส่องกล้องกำลังขยาย 0.75 เท่า พบว่าเริ่มต้นการใช้งานการเรียงตัวของเม็ดสารหล่อลื่นอยู่ในสภาพที่ชิดกันมาก โดยการวัดความยาวรอบเม็ดเกรนวงกลมพบว่า ความยาวประมาณ 380 ไมโครเมตร หลังจากที่ได้ทำการทดสอบที่ 50,000 รอบการเรียงตัวของเม็ดสารหล่อลื่นเริ่มขยายขึ้นอยู่ที่ 730-940 ไมโครเมตร ในขณะที่ การทดสอบที่ 100,000 รอบ เม็ดสารหล่อลื่นมีการเรียงตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการทดสอบที่ 50,000 รอบ ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 800-1,000 ไมโครเมตร และสุดท้ายเป็นสภาพการเรียงตัวที่ขยาย ที่รอบการทดสอบสูง ซึ่งสารหล่อลื่นยังสามารถทำหน้าที่ในการหล่อลื่นได้ดี ซึ่งช่วงรอบที่ 100,000 – 150,000 รอบนั้น กราฟมีลักษณะที่คงที่ ซึ่งถือว่าเป็นช่วงก่อนที่ผิวเสียหายหนัก

(2) ผลการส่องกล้องกำลังขยาย บริเวณด้านข้าง ซึ่งเป็นบริเวณที่เสียหายมาก หลังจากทำการทดสอบการใช้งานจากเครื่องทดสอบสัมผัส ซึ่งมีลักษณะเหมือนการใช้งานจริง ทุก 50,000 รอบ จนถึง 350,000 รอบ เพื่อดูการสึกหรอ และการสูญเสียเชิงมวล

การทดสอบ สารหล่อลื่น POM M25-44 ที่อุณหภูมิการฉีด 210 องศาเซลเซียส

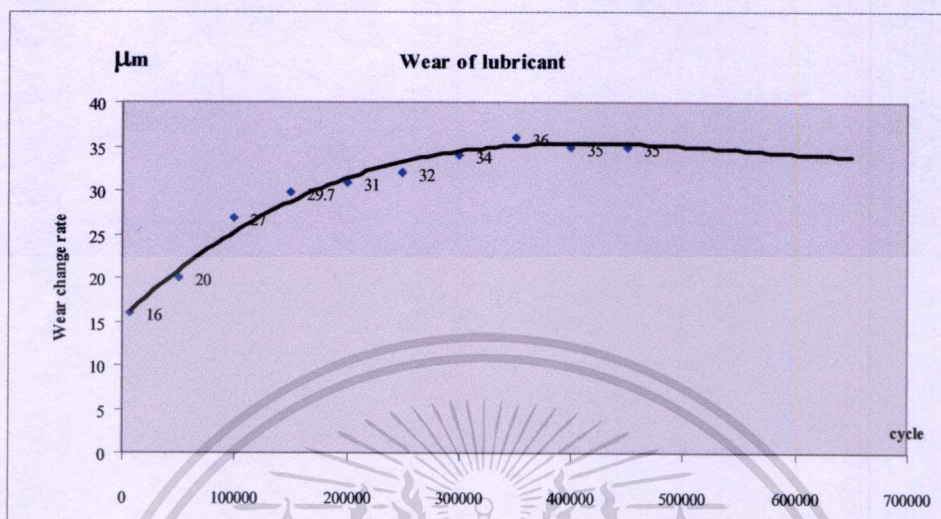


(ก) การสึกหรอของ POM M25-44 ที่การทดสอบ 50,000 รอบ แรงไฮดรอลิก 15,000 นิวตัน

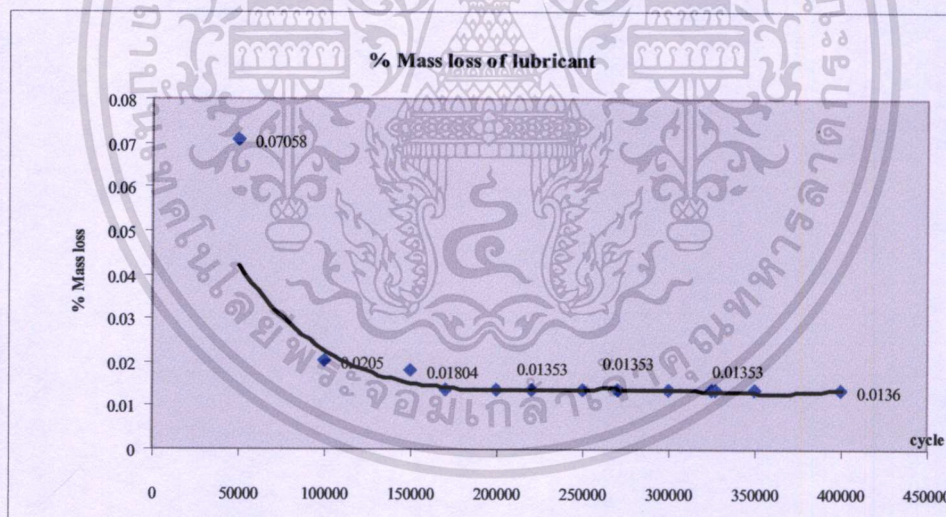


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การสึกหรอของ POM M25-44 ที่การทดสอบ 350,000 รอบ แรงไฮดรอลิก 15,000 นิวตัน

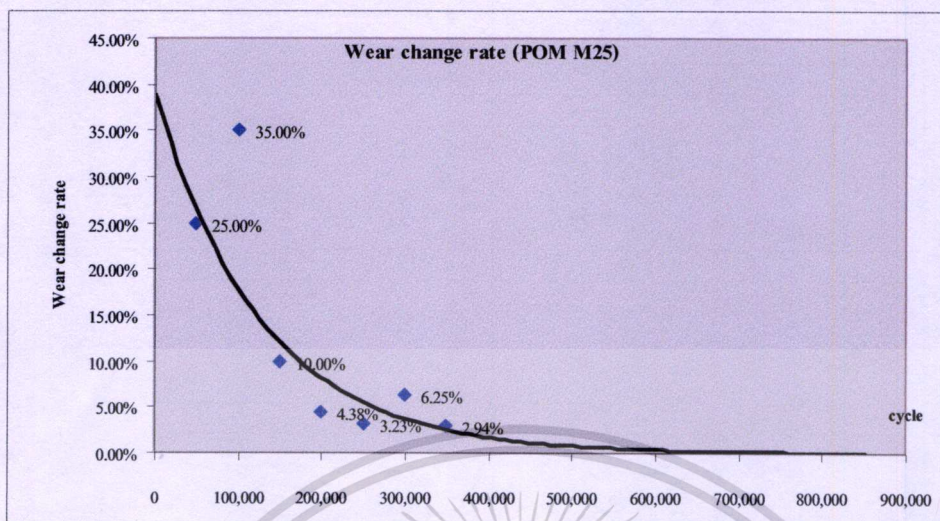


(ค) ขนาดของ Pitch ของรอยสึกหรอที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM M25-44



(ง) ร้อยละของการสูญเสียเชิงมวล ที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM M25-44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



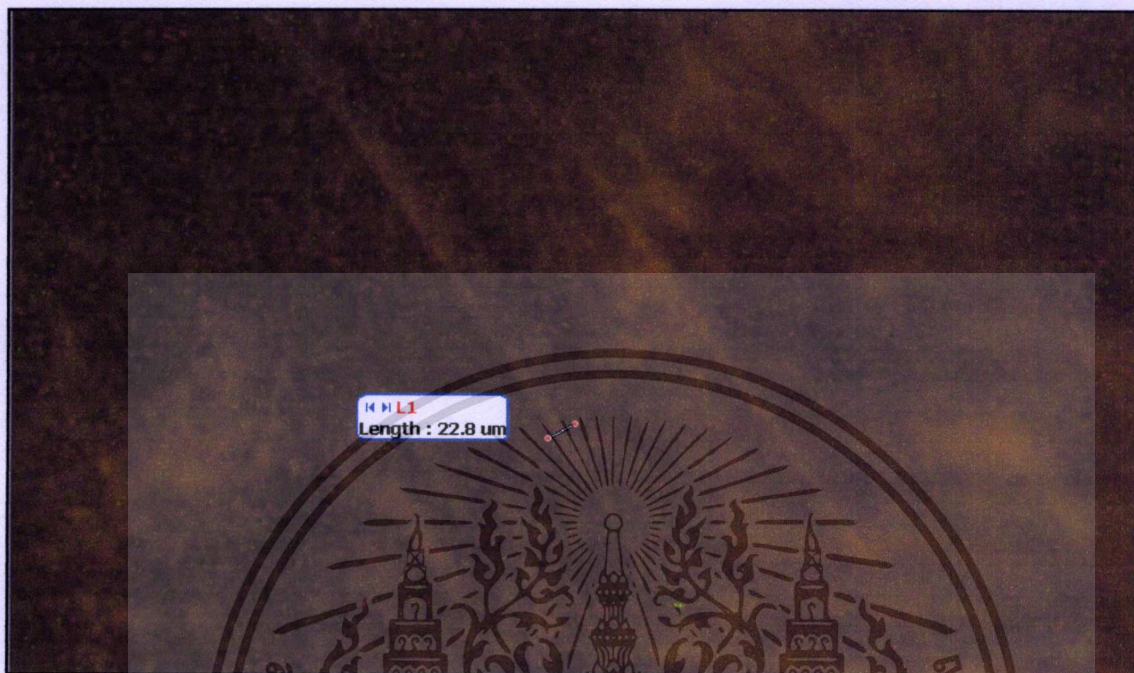
(จ) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงขนาดรอยสึกหรอ (Wear change rate)

รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบที่จำนวนรอบต่างๆ

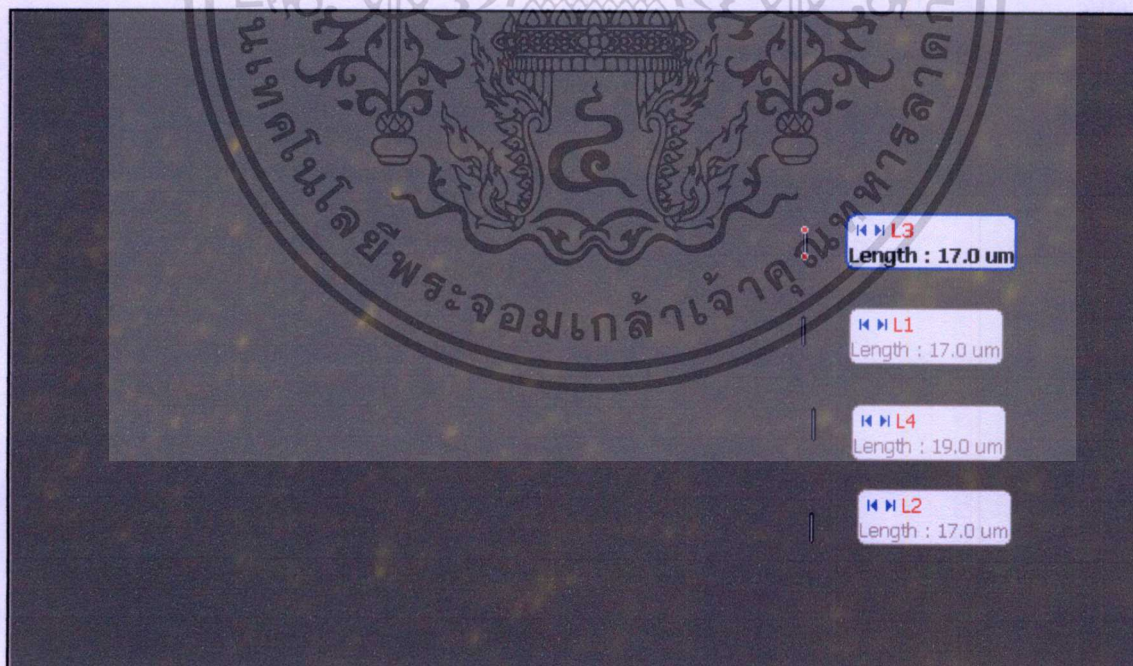
(ก) แสดงผลการสึกหรอช่วงเริ่มต้น (ข) แสดงผลการสึกหรอช่วงสุดท้าย (ค) แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของขนาด Pitch รอยสึกหรอ (ง) แสดงถึงร้อยละการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียเชิงมวล (จ) อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดรอยสึกหรอ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มของการสูญเสียเชิงมวลในช่วงแรกเส้นกราฟจะมีความชันสูง เนื่องจากช่วงแรกการยึดเกาะของผิวไม่มีความแข็งแรง ดังนั้นโครงสร้างจึงหลุดออกง่าย แล้วเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 150,000 รอบ ซึ่งแนวโน้มการสูญเสียเชิงมวลไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับในส่วนของการที่มีรอยหยักของรอยเสียดทานนั้นเกิดจากการดูดซับพลังงานความเค้นเข้าไป จึงเกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน

การทดสอบ สารหล่อลื่น POM -100P ที่อุณหภูมิการฉีด 190 องศาเซลเซียส

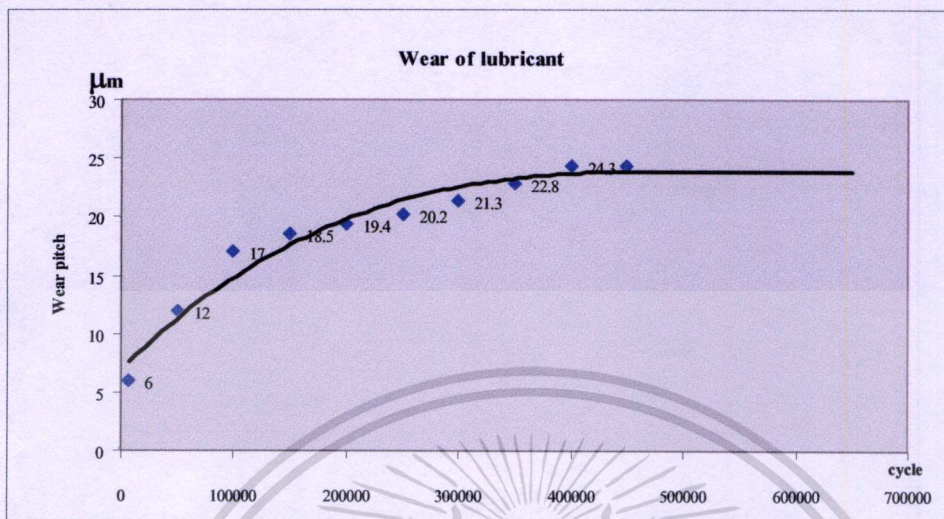


(ก) การสีกหของ POM -100P ที่การทดสอบ 100,000 รอบ แรงไฮดรอลิก 15,000 นิวตัน

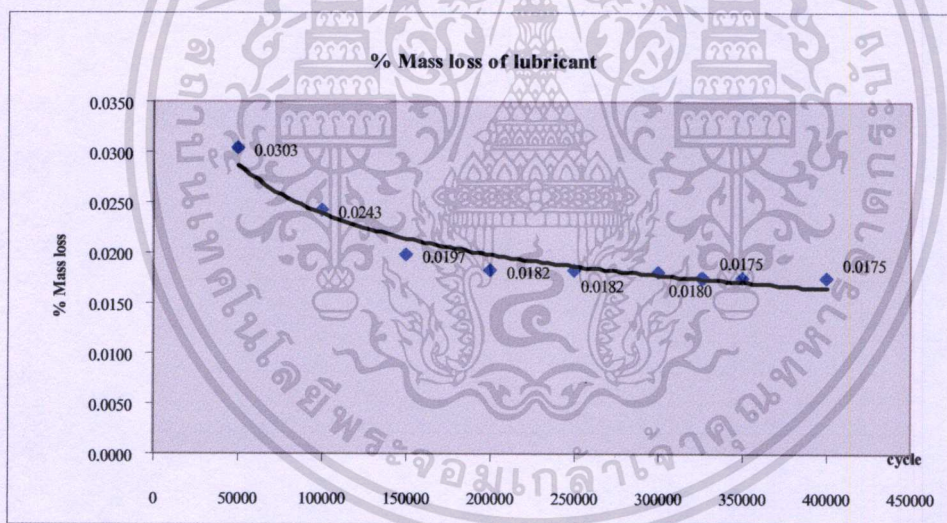


(ข) การสีกหของ POM -100P ที่การทดสอบ 350,000 รอบ แรงไฮดรอลิก 15,000 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

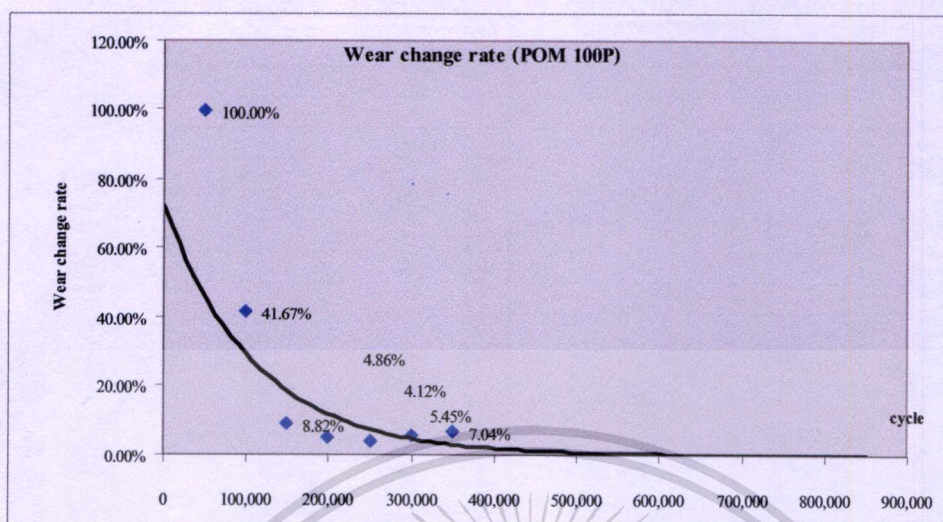


(ก) ขนาดของ Pitch ของรอยสึกหรอที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM -100P



(ง) ร้อยละของการสูญเสียเชิงมวล ที่จำนวนรอบต่างๆ ของ POM - 100P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



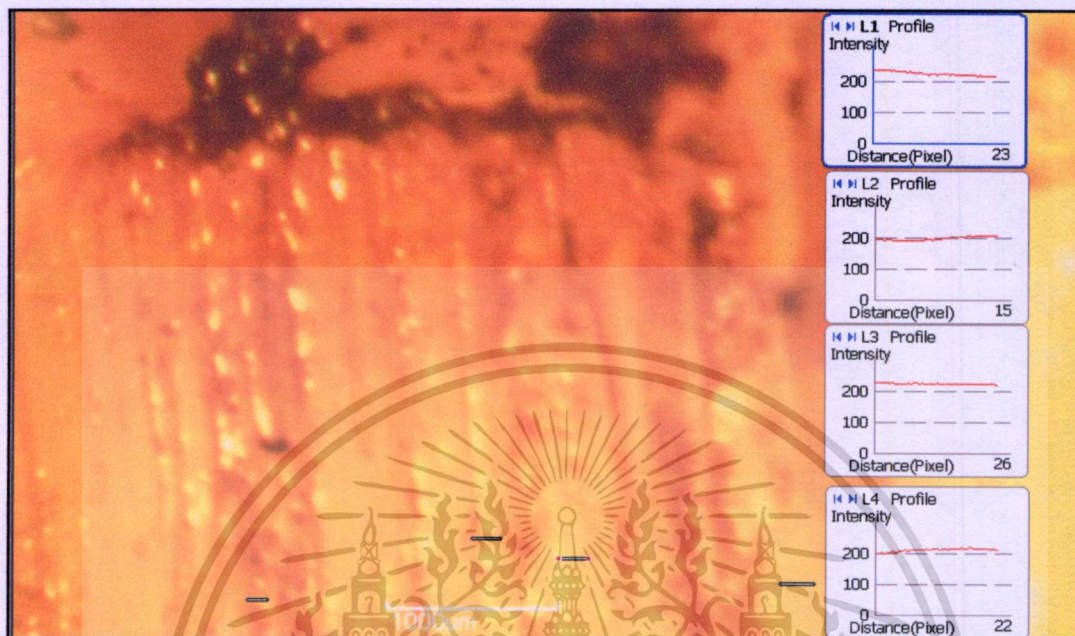
(จ) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงขนาดรอยสึกหรอ (Wear change rate)

รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบที่จำนวนรอบต่างๆ

(ก) แสดงผลการสึกหรอช่วงเริ่มต้น (ข) แสดงผลการสึกหรอช่วงสุดท้าย (ค) แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของขนาด Pitch รอยสึกหรอ (ง) แสดงถึงร้อยละการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียเชิงมวล (จ) แสดงถึงร้อยละการเปลี่ยนแปลงขนาดรอยสึกหรอ (Wear change rate)

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มของการสูญเสียเชิงมวลในช่วงแรกเส้นกราฟจะมีความชันสูง เนื่องจากช่วงแรกการยึดเกาะของผิวไม่มีความแข็งแรง ดังนั้น โครงสร้างจึงหลุดออกง่าย แล้วเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 150,000 รอบ ซึ่งแนวโน้มการสูญเสียเชิงมวลไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการเสียหายเนื่องจากแรงเสียดทานเกิดจากการดูดซับพลังงานความเค้น ซึ่งในช่วงแรกจะมีความชันที่สูงนั่นคือรอยหยักช่วงแรกจะมีขนาดใหญ่ สอดคล้องกับช่วงแรกเป็นช่วงเปลี่ยนแปลงจากความยืดหยุ่น หลังจากนั้นบางส่วนจะเป็นช่วงพลาสติก ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

การทดสอบ สารหล่อลื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



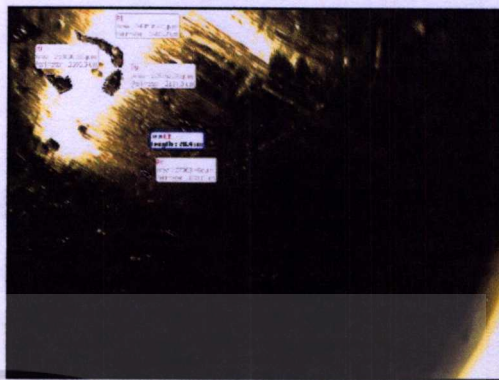
รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบความเสียหายที่การใช้สิ้นสุดอายุการใช้งาน

จากรูปที่ 5.11 แสดงถึงสภาพการใช้งานที่การใช้สิ้นสุดอายุการใช้งาน โดยทั่วไปจากข้อมูลการออกแบบจะอยู่ที่ประมาณ 10^7 รอบการใช้งาน ซึ่งจะประกอบด้วยแรงกระแทก แรงสั่นพัว ประกอบกัน จากการส่งกำลังขยาย รอยสึกหรอทั่วไปอยู่ที่ เฉลี่ย 26 ไมโครเมตร แต่พื้นที่ความเสียหายจะอยู่ที่บริเวณขอบด้านบนเป็นหลัก

การทดสอบ คันข้อต่อที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



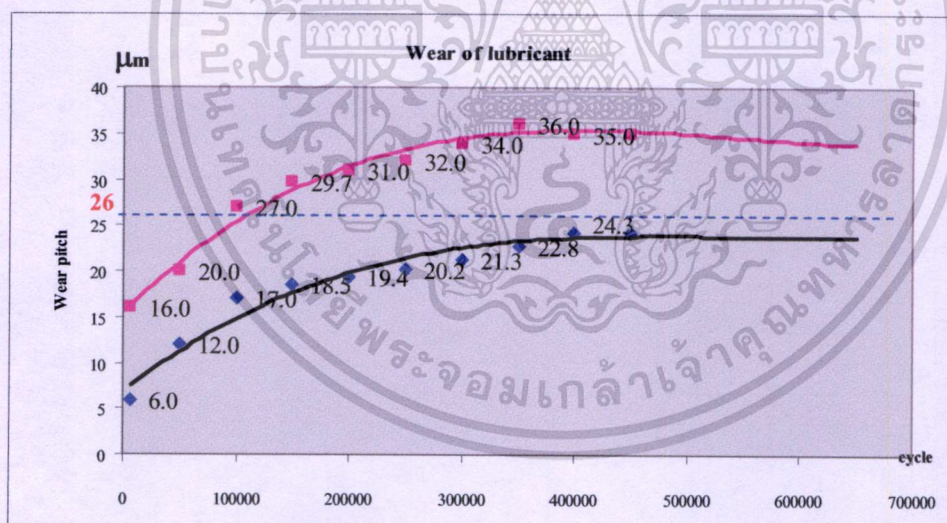
(ก)



(ข)

รูปที่ 5.12 ลักษณะความเสียหาย ที่เกิดกับคันข้อต่อ โลหะไททาเนียมผสมดีบุก รูป(ก) ก่อนเริ่มใช้งาน (ข) ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.12 ความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอ ขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ที่ 2,400 ตารางไมโครเมตร ซึ่งในสภาพนี้การบังคับเลี้ยวและการรับแรงจะมีช่องว่าง เกิดอาการหลวมเกิดขึ้น การเปรียบเทียบผลการทดลอง



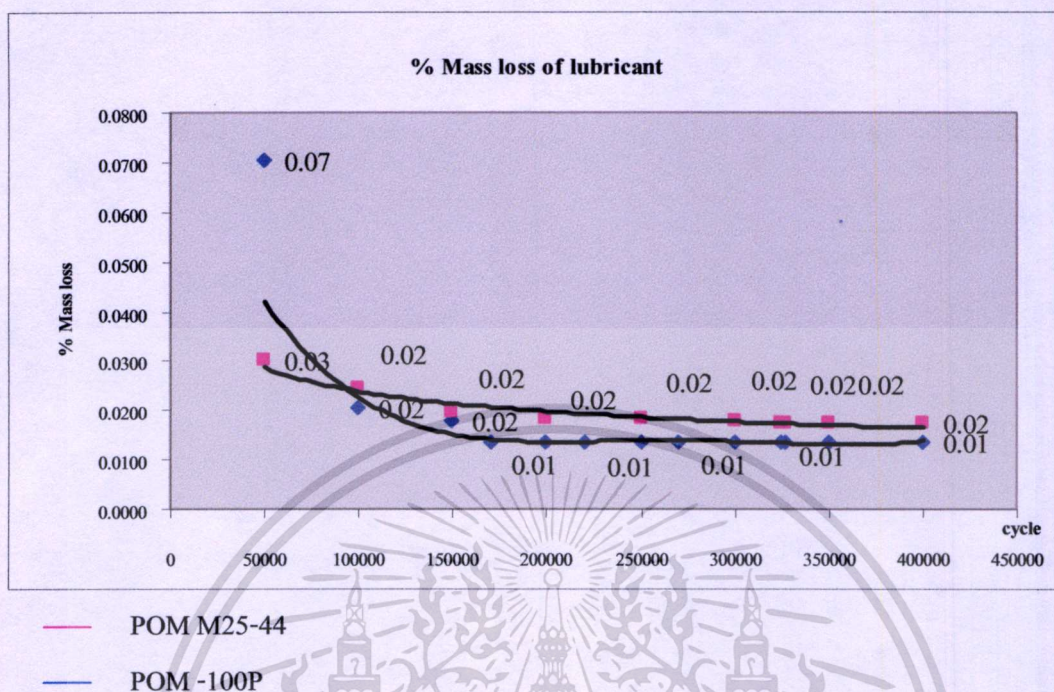
— POM M25-44

— POM -100P

--- ORIGINAL LUBRICANT

รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบขนาดของ Pitch ของรอยสึกหรอที่จำนวนรอบต่างๆ ของสารหล่อลื่นแต่ละผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบขนาดการสูญเสียเชิงมวล ของสารหล่อลื่น ในแต่ละผลิตภัณฑ์ ที่จำนวนรอบต่างๆ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.2.1 การทดสอบค่าความแข็ง

ในการทดสอบค่าความแข็ง เนื่องจากการทดสอบจำเป็นต้องใช้ Specimen เพื่อทำการทดสอบ และมีผลิตภัณฑ์ที่ต้องทดสอบหลากหลายชนิด ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการเลือกเพื่อดำเนินการวิจัย เพื่อให้เหลือผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวแทนน้อยที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบนั้นเราพบว่า ผลิตภัณฑ์ POM-100P มีค่าความแข็งมากที่สุด แต่มิได้หมายความว่าค่าความแข็งของ POM M25-44 และ PA66 จะมีความอ่อนแอ แต่ในความเป็นจริงนั้นมีความแข็งที่ใกล้เคียงกัน

5.2.2 การทดสอบดูโครงสร้างที่ส่วนล่างของสารหล่อลื่น

จากการดูโครงสร้างพบว่า การทดสอบของสารหล่อลื่น กระบวนการเสียหายเนื่องจากการหลุดลื่นนั้นจะไม่มี การสูญเสียปริมาตร ซึ่งลักษณะจากการมองด้วยกล้องกำลังขยายนั้นมีการกระจายพลังงานด้วยกระบวนการหลุดลื่น และปริมาตรคงที่ แต่ในส่วนของปริมาตรนั้นไม่สามารถที่จะวัดค่าการเปลี่ยนแปลงเพื่อยืนยันผลได้

5.2.3 การทดสอบระยะยาว

ผลการทดสอบระยะยาว มีข้อจำกัดด้านเวลา ซึ่งไม่สามารถทำการทดสอบได้หลากหลาย แต่เราสามารถอาศัยข้อมูล และแนวโน้มของกราฟในการดูพฤติกรรมและเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ได้

ผลการชั่งน้ำหนักมีตัวเลขน้อยสำคัญ 4 ตำแหน่งซึ่งความละเอียดสูง เพราะฉะนั้นผลการทดลอง จะต้องควบคุมอย่างดี ผลของปัจจัยอื่นๆ เช่นคราบน้ำมันที่ติดชิ้นงานต้องกำจัดออกหมด และมีทักษะการวัดและชั่งที่แม่นยำ

การทดสอบเพื่อดูผลการสึกหรอนั้นจะเห็นว่ากราฟเส้นสุทธภาพ ยังไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าถึงจุดครากที่เท่าไร เนื่องจากต้องอาศัยเวลาในการทดสอบที่มาก ดังนั้น ข้อมูลที่แสดงนั้นเป็นเพียงช่วงแรกของพลาสติกเท่านั้น ซึ่งสามารถคาดการณ์แนวโน้มความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจมีแนวโน้มที่ไม่ดี ถ้าไม่มีการควบคุมตำแหน่งในการอัดสารหล่อลื่น หรือควบคุมตำแหน่งของชุดคันข้อต่อล้อรถยนต์

ในการทดสอบความเค้นสัมพันธ์นั้น การทดสอบที่ใช้ไม่สามารถทดสอบแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องทดสอบไฮดรอลิก ซึ่งไม่สามารถทดสอบได้ ณ.สภาวะน้ำมันไฮดรอลิกมีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำลายความยืดหยุ่นของ ซีลกันรั่วในชุดปั๊มเป็นผลให้ความดันที่ได้จริงไม่ได้ตามค่าที่ต้องการ

5.2.4 การส่องด้วยกล้องกำลังขยาย

ผลการส่องกล้อง จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ POM M25-44 มีเนื้อสารสีขาวซึ่งง่ายต่อการส่องดู แต่ในส่วนของ POM-100P ซึ่งมีสีดำยากต่อการส่องกล้อง เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องตั้งค่าสีให้เหมาะสม การตั้งค่าสีไม่เหมาะสมนั้นเป็นผลทำให้มองรอยสึกหรอ หรือ โครงสร้างไม่ชัดเจน

5.2.5 การดูผลความเสียหายจนสิ้นสุดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ปัจจุบัน

การดูความเสียหายของชิ้นงานปัจจุบันนั้น ไม่สามารถบอกอายุการใช้งานแต่ละช่วงได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยข้อมูลการออกแบบ จากบริษัทรถยนต์เพื่อเป็นข้อมูลในการทดสอบ ซึ่งจากข้อมูลการออกแบบความเสียหายของชุดคันข้อต่อจะมีอายุอยู่ที่ 10^7 รอบ ซึ่งเป็นอายุการใช้งานที่ยาวนาน

บทสรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุปงานวิจัย

1.จากการทดลองหาขนาดเกรนของโลหะเมื่อมีการผสมดีบุกที่ร้อยละมากขึ้น ขนาดเกรนของโลหะจะเล็กลงเรื่อยๆ ในขณะที่การเพิ่ม Zirconium มีแนวโน้มขนาดเม็ดเกรนเล็กลงเรื่อยๆ เหมือนดีบุก ดังแสดงในรูป 2.1

2.การเสียรูปเนื่องจากการเสียดสีและการกระแทกของชุดข้อต่อทรงกลม ช่วงล่างรถยนต์ เริ่มจากการเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง เมื่อเริ่มมีการเสียรูปจะเป็นเม็ดหยาบ แล้วแยกเป็นพื้นที่ย่อยๆ มากขึ้นเรื่อย จนเป็นวงกว้าง ดังแสดงในรูป 2.2

3.การเสียรูปของชุดข้อต่อทรงกลมมีการเสียรูปถาวรของชุดทดลอง มีการขยายเป็นวงกว้าง ซึ่งเป็นลักษณะเป็นวงกว้างที่มุมใกล้เคียงกับ 0 องศาเนื่องจากรับแรงเฉือนและ แรงปฏิกิริยาตั้งฉากโดยตรง ดังแสดงในรูป 2.2

4.การเสียรูปของสารหล่อลื่นมีการเสียรูป เป็นการเสียรูปเป็นไปอย่างช้าๆ ที่รอบการใช้งานของสารหล่อลื่นสูง โดยจำนวนเนื้อของสารหล่อลื่นที่เสียดสีหลุดออกเพิ่มขึ้น จากการกระจายพลังงานการหลุดลื่นของสายพอลิเมอร์เมตริกซ์ มีผลทำให้ความขรุขระสูงขึ้น และระยะความกว้างรอยสึกหรอมากขึ้นตาม ดังแสดงในรูป 5.9, 5.10 และ 5.13

5.เปรียบเทียบผลการทดลองของรอยสึกหรอพบว่าในช่วงเริ่มการสึกหรอ ขนาดรอยสึกหรอแต่ละชนิด จะเริ่มมีขนาดใหญ่ลักษณะกราฟมีความชันสูง และเริ่มเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือคงตัวที่จำนวนรอบประมาณ 150,000 รอบ จากผลการทดลองขนาดการสึกหรอมีขนาดต่างกันประมาณ 4.38 % ซึ่งผลการทดสอบที่เกิดขึ้นในช่วงแรกนั้นเป็นผลมาจากช่วงแรก การเปลี่ยนแปลงในช่วง อิลาสติก แล้วคงตัวเป็นช่วงพลาสติก ซึ่งจุดสุดท้ายขนาดเพิ่มขึ้นเข้าหาจุดครากสูงสุดของแต่ละสารหล่อลื่นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูป 5.13

6.เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงมวลจะเห็นการเปลี่ยนแปลงเชิงมวลจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมากซึ่งการเปลี่ยนที่จุดคงตัว อยู่ที่ 0.01 % เท่านั้น เป็นผลมาจากการกระจายพลังงานการหลุดลื่น แต่ปริมาตรคงที่ ซึ่งมวลที่เสียหายไปน้อยมาก ทุกผลิตภัณฑ์สารหล่อลื่น ดังแสดงในรูป 5.14

7.ลักษณะความเสียหายที่สิ้นสุดการใช้งาน ลักษณะรอยที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของแรง ดังนี้

ลักษณะเป็นเสียหายเป็นเส้นตรง เกิดจากความเค้นเฉือนและ เค้นสัมผัส ส่วนลักษณะการแผ่ขยายเป็นวงกว้างเกิดจากความเค้นตั้งฉากรวมกับความเค้นแบบผสม ซึ่งเป็นผลเดียวกับสรุปผลข้อ 5

และ ข้อ 6 ดังนั้นการที่สารหล่อลื่นจะมีอายุการใช้งานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสายโซ่พอลิเมอร์ที่ต่อกัน ซึ่งในผลิตภัณฑ์ตัวเดียวกันนั้นความแข็งแรงของสายพอลิเมอร์ที่มีผลมาจากการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์จะมีความแตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิการขึ้นรูปที่ควบคุมแตกต่างกัน มีผลให้ความแข็งแรงของโครงสร้างต่างกัน ดังนั้นการทดลองที่จะได้ค่าความแตกต่างมากน้อยต้องอาศัยการทดลองจาก Specimen ดังแสดงในรูป 5.1,5.2,5.4 และ 5.5

6.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้นั้นเป็นการประยุกต์งานภาคอุตสาหกรรม เพื่อทำในลักษณะในงานวิจัยซึ่งทำให้รู้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยควรใช้เวลาในการดำเนินงานนาน แต่เนื่องจากการดำเนินงานจะทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น เพราะฉะนั้นข้อมูลพื้นฐานที่ดีคือการทดสอบระยะสั้นซึ่งค่าที่ได้เกิดจากการใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ส่วนเครื่องทดสอบยังสามารถที่จะดัดแปลงเพื่อรองรับการทดสอบอื่นได้อีกเช่นการทดสอบ การเคลื่อนที่แบบหมุนได้เพื่อดูการใช้งานจริงครอบคลุมทุกรูปแบบ ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบกระบวนการผลิต ซึ่งควรจะมีการทดสอบในเรื่องลักษณะการออกแบบรูปทรงเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อให้รู้ถึงสมรรถนะที่แท้จริงของชิ้นงานด้วย

การทดสอบนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ควรจะมีการปรับปรุงเครื่องทดสอบความเค้นแบบสัมผัสอัตโนมัติ ให้สามารถรองรับการทดสอบนี้ได้ ดังนั้นควรเพิ่มอุปกรณ์หล่อเย็นน้ำมัน เพื่อทำให้ปั๊มและมอเตอร์ไม่เกิดการใช้งานเกินกำลัง

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบการใช้งาน กับท้องตลาดค่อนข้างเป็นการยากที่จะได้อะไหล่แท้ทุกยี่ห้อ แต่ถ้าทำได้จะเป็นการสร้างเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ด้วยการเปรียบเทียบจากของจริงที่วางขายตามท้องตลาด

ผลของการสึกหรอกราฟที่ได้ควรจะได้ออกมาเป็นเส้นตรงในช่วงแรก ซึ่งเป็นช่วงอีลาสติก แต่เนื่องจากอาจมีความคลาดเคลื่อนในเรื่องการวัดข้อมูล เพราะฉะนั้นควรจะมีการละเอียดยของเครื่องมือ มากขึ้น หรือการสร้างระดับนัยสำคัญที่มากขึ้นด้วย

บรรณานุกรม

- [1] Jeffrey R. Linca and Michael R. Hilton :**Journal of Materials Research**, 10, 2091-2105,(1995).
- [2] J.M. Martin, C. Donnet, and Th. Le Mogne:Physics Review B, 48, 10,583-10,586, (1993).
- [3] E.W Roberts, B.J. Williams and J.A. Ogilvy :**Journal of Physics D: Applied Physics**, 25, A65-A70,(1992)
- [4] H.R. Kim, M.G. Seo, W.B. Bae:"**A study of the manufacturing of tie rod ends with casting/forging process**:",School of Mechanical Engineering .Pusan National University. (2001-2002)
- [5] Joseph E. Shigley,Charles R. Mischke,Richard G. Budynas:"**Mechanical Engineering Design**.7th Ed".,International Edition:Mc Graw Hill,2003
- [6] Anthony Esposito :"**Fluid Power with Applications**. 5th Ed.",Miami University, Oxford, Ohio.Prentice-Hall international,inc.
- [7] N. Panich,S. Yong :"**Surface modification of Titanium for Tribological applications by MoS₂ coating using magnetron sputtering**" ,Journal of research in Tribological and Technological Vol.2 no.1 ,Nunyang technological university ,Singapore,Jan-Mar 2005
- [8] L.G. Wade, JR. :"**Organic chemistry** 5th Ed." ,Library of congress cataloging-in-publication data ,Whitman College ,Prentice Hall ,2003
- [9] OMRON : "**Operation Manual**",OMRON Corporation ,Japan ,May 2001
- [10] Mongkol Mongkolwongrojn,**Lubircation** ,Mechanical Engineering Department,King Mongkut InstituteTechnology's Ladkrabang
- [11] A.H. Falah, M.A. Alfares and A.H. Elkholy,"**Failure investigation of a tie rod end of an automobile steering system**",Mechanical Engineering Department,Kuwait University. (2006-2007)
- [12] Gohar R. , "**Elastohydrodynamics**" , New York: JOHN WILEY & SONS, Inc1988.
- [13] K.L. Johnson, "**Contact Mechanics**". Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- [14] S.P. Timochenko, J.N. Goodier, "**Theory of Elasticity**". 3rd Ed., Auckland, McGraw-Hill, 1987.
- [15] Bair, S. and Qureshi,F., "**The High-Pressure Theology of Polymer-Oil Solutions**,"Tribology Internation,36, pp 637-645, (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Poon, S. Y. and Haines, D.J., “**Frictional Behavior of Rolling Contact Elements**,” in Proc. Instn. Mech. Engr., vol 181, part 1 , pp363-370, (1966-1967)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. S. Ruchayosyothin, M. Mongkolwongrojn, **“Experimental study on Tribological Characteristics of Tie Rod End ball joint.”**The proceeding of 47th Kasetsart University Annual Conference, pp. 626-633 ,Kasetsart University, March 17-20, 2009.
2. S. Ruchayosyothin, **“Experimental study on Tribological Characteristics of Tie Rod End ball joint.”** TRF-Master Research Congress III, pp.182-183, Pattaya, Thailand, April 1-3, 2009



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ ๔๗

The 47th Kasetsart University Annual Conference

๑๗ - ๒๐ มีนาคม ๒๕๕๒

Agricultural Science Leading Thailand :
Food and Alternative Energy for Sustainable Balance

โภชนาการไทย :
อาหารและพลังงานทดแทนสู่สมดุลอย่างยั่งยืน

ผลิตโดย : คณะกรรมการฝ่ายสารสนเทศ
กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาคารสารนิเทศ 50 ปี น. ชั้น 9
โทรศัพท์ โทรสาร 0 2942 8167-8
email : psd.esd@ku.ac.th
website : http://eduserv.ku.ac.th/annual_47/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางไตรโบโลยีของข้อต่อทรงกลมในชุดคันต่อรถยนต์

Experimental Study on Tribological Characteristics of Tie Rod End Ball Joint.

สิทธิชัย รัชชชโยธิน^(1,1) และ มงคล มงคลวงศ์โรจน์^(2,1)

Sittichai Ruchayosyothin^(1,1) and Mongkol Mongkolwongrojn^(2,1)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับพฤติกรรมสารหล่อลื่นและพัฒนาชุดทดสอบการสึกหรอของข้อต่อทรงกลมที่เกิดกับการเสียดสีระหว่างชุดข้อต่อทรงกลมในช่วงล่างรถยนต์ที่เป็นโลหะผสมกับสารหล่อลื่นที่เป็นเทอร์โมพลาสติก อะซีทิล โค พอลิเมอร์ เอ็ม 25-44 (POM M25-44) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความเหนียวที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมยานยนต์ และเป็นการลดการสึกหรอของโลหะผสมข้อต่อทรงกลมได้ดี จึงทำให้เกิดการลดการสูญเสียเชิงกล การสูญเสียทางทอร์คของรับแรง บทความนี้ได้ทำการแก้ปัญหาโดยทำการทดสอบการเสียดสีกันของ สารหล่อลื่นกับโลหะข้อต่อรถยนต์ ไททาเนียม และศึกษาแนวโน้มของการสึกหรอ ผลการทดลองนี้แสดงถึงการสัมผัสกันที่ภาวะต่างๆกัน ตามสัดส่วนระหว่างสารหล่อลื่นที่อยู่ร่วมกับความเร็วของส่วนเคลื่อนที่ โดยการทดลองนี้วัดจากอุปกรณ์ส่องขยาย 50 เท่า ของสารหล่อลื่น ซึ่งผลการทดลองถูกเปรียบเทียบกับ การทดสอบทางมาตรฐานไอเอสโอ

ABSTRACT

Solid tie rod end ball joint friction behavior between alloy tie rod material with Acetyl Co-Polymer (POM) M25-44 Lubricant has significant influence on wear of the tie rod end alloy; consequently, friction can be reduced in contact surface. This experimental was set up to measure wear area and feature of wear of the contact surface with solid lubricant materials to obtain the life cycle of tie rod end ball joint solid lubricant materials used with operation conditions ;for example pressure ,speed ,frequently ,load and tie rod end material .This wear characteristics can be investigated using microscope 50X zooming and the results are compared with the result from ISO standard .

Key word: Tie rod end, Impact modifier, Solid lubricant, POM,Wear characteristics

⁽¹⁾ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

⁽¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คำนำ

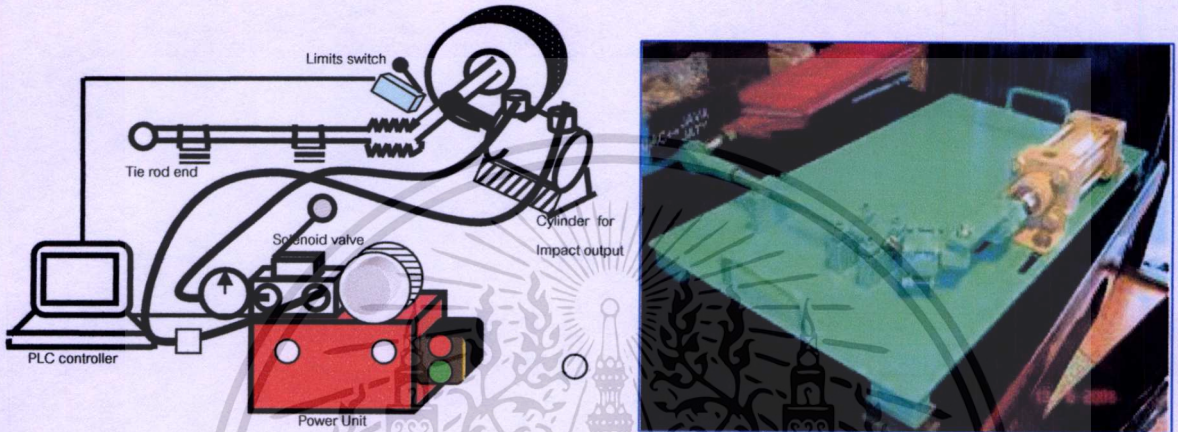
ในการเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุที่มีการเสียดสีกันอย่างต่อเนื่องนั้น ในเบื้องต้นจำเป็นที่จะมีน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาลดแรงเสียดทานซึ่งเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการหล่อลื่น แต่ในปัจจุบันนี้มีสารหล่อลื่นอีกมากมายเพื่อลดการเสียดทานเนื่องจากการเสียดสี แรงเฉือน หรือ แรงกระแทก ซึ่งสารหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นสารหล่อลื่นแบบแข็งนี้สามารถที่จะลดแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถดูดซับพลังงานความเค้นได้ ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาอุปกรณ์ยานยนต์ช่วงล่างระหว่างชุดคันข้อต่อล้อกับชุดบังคับเลี้ยว ซึ่งต้องรับภาระช่วงล่างอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีสารหล่อลื่นแบบแห้งเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อลดความสูญเสียทางกลและ ประสิทธิภาพทางทอร์ก ของชิ้นส่วนข้อต่อทรงกลม สิ่งนี้เป็นสิ่งจำเป็นของ ข้อต่อของช่วงล่างรถยนต์ โดยบทความนี้จะแสดงและเปรียบเทียบการสึกหรอของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวัสดุของแข็ง โดยอาศัยวัสดุที่มีความทนทานต่อแรงกระแทก จากการเติมสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุง คือ ชนิดและสัดส่วนของสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก สภาพที่สารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกเข้าไปเกี่ยวข้อง และ สภาพของกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกที่มีสารช่วยปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก ผลที่ได้คือวัสดุที่มีความเหนียว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับพลังงานทางกลที่ใช้โดยไม่เกิดการแตกหัก และที่อัตราความเค้นที่สูง ความเหนียวสามารถถูกควบคุมโดยขนาดของพลังงานในการเสียรูปโดยพบว่ายืดความเหนียวสูง ต้องการความแข็งแรงดึงของวัสดุสูงมากกว่าความเค้นที่จุดคราก ซึ่งกระบวนการเสียรูปเริ่มขึ้นเมื่อโมเลกุลของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากพอที่จะทำให้เกิดการกระจายความเค้นแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันและจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำหนักมาจากกระบวนการไหลเฉพาะที่ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถป้องกันการเกิดหรือการแพร่ของรอยแตกขนาดใหญ่ได้ ในสภาพปัจจุบัน เพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของชุดคันข้อต่อล้อรถยนต์ ซึ่งเป็น ไททาเนียม จำเป็นต้องมีการหล่อลื่น จาก Jeffrey and Hilton [1] ได้เริ่มทำการเคลือบผิวของโลหะข้อต่อด้วย โมลิทินัมซัลไฟต์ (MoS_2) เป็นลักษณะโลหะประสาน ต่อมา Martin *et al.* [2] ได้ทดลองผลการเคลือบผิว โมลิทินัมซัลไฟต์ (MoS_2) ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งพบว่าในช่วงสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 10^{-3} ค่อนข้างเสถียรด้วยแรงเฉือนง่าย ตามทิศทางการเคลื่อนที่ ต่อมา Robert *et al.* [3] ได้ทำการศึกษาถึงความหยาบของผิวคันข้อต่อล้อรถยนต์ ด้วย โมลิทินัมซัลไฟต์ (MoS_2) แล้วศึกษาพฤติกรรมที่มีผลมาจากสารหล่อลื่นแบบแห้งภายใต้การทดสอบทางกลที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถมองเห็น ขนาดผิวสัมผัสจากทิศทางการแผ่ขยายของเม็ดเกรน

ซึ่งในขอบเขตของการวิจัยนี้ หลังจากการทดสอบ สามารถนำไปพัฒนากระบวนการขึ้นรูป และ พัฒนาส่วนผสม ของสารหล่อลื่น ซึ่งสามารถดูได้จาก อายุการใช้งานของ คันข้อต่อล้อรถยนต์ และ วัดจากอัตราส่วนการสึกหรอ

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องทดสอบระบบไฮดรอลิก

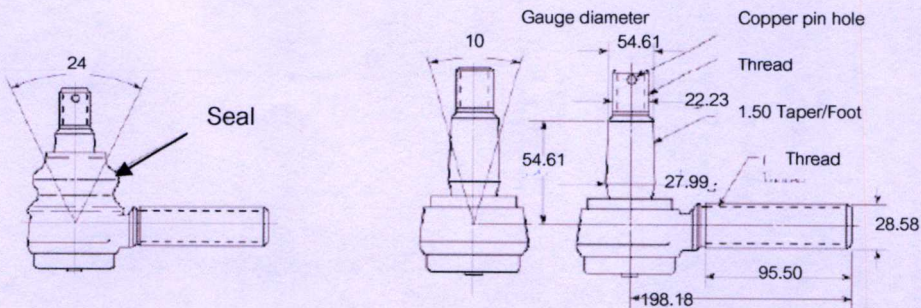
เป็นเครื่องทดสอบที่สามารถทดสอบการรับภาระในแนวเฉือน ด้วยภาระ ถึง 40 MN. โดยอาศัยต้นกำลังจากน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนแรงดัน และ อัตราการไหลได้ โดยเครื่องทดสอบถูกควบคุมด้วย Programmable Logic Control ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ และ ลำดับการทำงานได้ ซึ่งการทดสอบนี้สอดคล้องกับ มาตรฐานการทดสอบ JASO C715 การทดสอบการกระแทกเชิงกล โดยการทดสอบน้ำใช้แรงกระแทก ตั้งแต่ 1,960 นิวตัน ถึง 19,600 นิวตัน



รูปที่ 1 วงจรไฮดรอลิก และ เครื่องทดสอบจับยึดแรงกระแทก

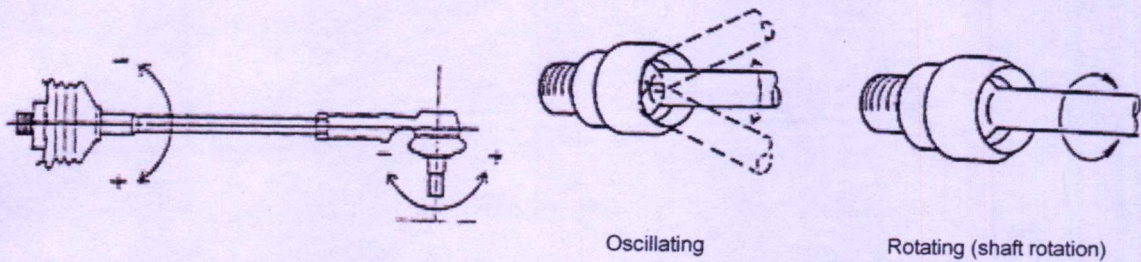
2. วัสดุที่ใช้ทดสอบชุดคั่นข้อต่อรถยนต์ และ สารหล่อลื่น

ในโลหะชุดคั่นข้อต่อล้อรถยนต์วัสดุที่ใช้เป็นไททานเนียม โลหะผสมดีบุก และ โลหะผสมแร่โซโครเนียม



รูปที่ 2 ชุดคั่นข้อต่อล้อรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ลักษณะการทดสอบ แรงกระแทก การสั่นเชิงกลที่ แรงตั้งแต่ 1,940 – 19,400 นิวตัน และความถี่ต่างๆ กัน

3.คุณสมบัติของสารหล่อลื่น

เทอร์โมพลาสติกทำหน้าที่สารหล่อลื่นในชุดคั่นข้อต่อล้อรถยนต์

Item	Unit	Testing Method	Standard
			M25-44
			High viscosity
Specific gravity	g/cm ³	ISO 1183	1.41
Tensile strength	Mpa	ISO 527-1,2	59
Strain at break	%	ISO 527-1,2	40 ^{*1}
Tensile modulus	Mpa	ISO 527-1,2	2,500
Flexural strength	Mpa	ISO 178	81
Flexural modulus	Mpa	ISO 178	2,350
Charpy impact strength (notched)	kJ/m ²	ISO 179/1eA	8
Temperature of deflection under load (1.8 MPa)	°C	ISO 75-1,2	90
Coefficient of linear thermal expansion (23 55 low direction)	X10 ⁻⁵ /°C	ISO 11359-2	13
Coefficient of linear thermal expansion (23 55 Transverse direction)	X10 ⁻⁵ /°C	ISO 11359-2	12
Dielectric breakdown strength (thickness 3 mm)	kV/mm	IEC 60243-1	19
Volume resistivity	Ohm.cm	IEC 60093	1X10 ¹⁴
Surface resistivity	Ohm	IC 60093	1X10 ¹⁶
Flammability		UL 94	HB

*1 Nominal strain at break

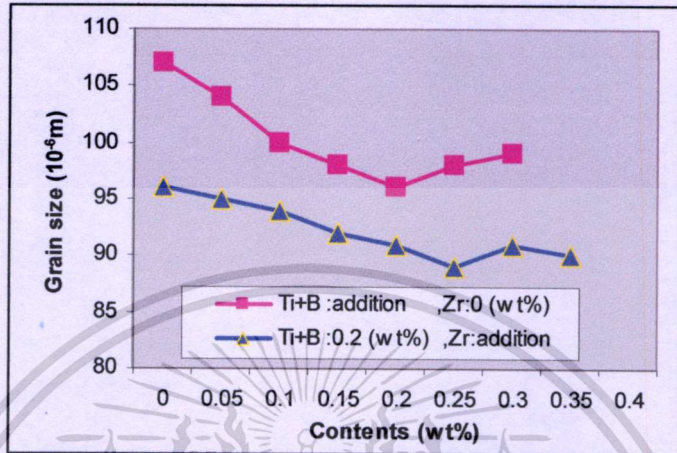
ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลและพื้นฐานของสารหล่อลื่นเทอร์โมพลาสติก อะซีทิล โด พอลิเมอร์ เอ็ม 25-44 (POM M25-44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

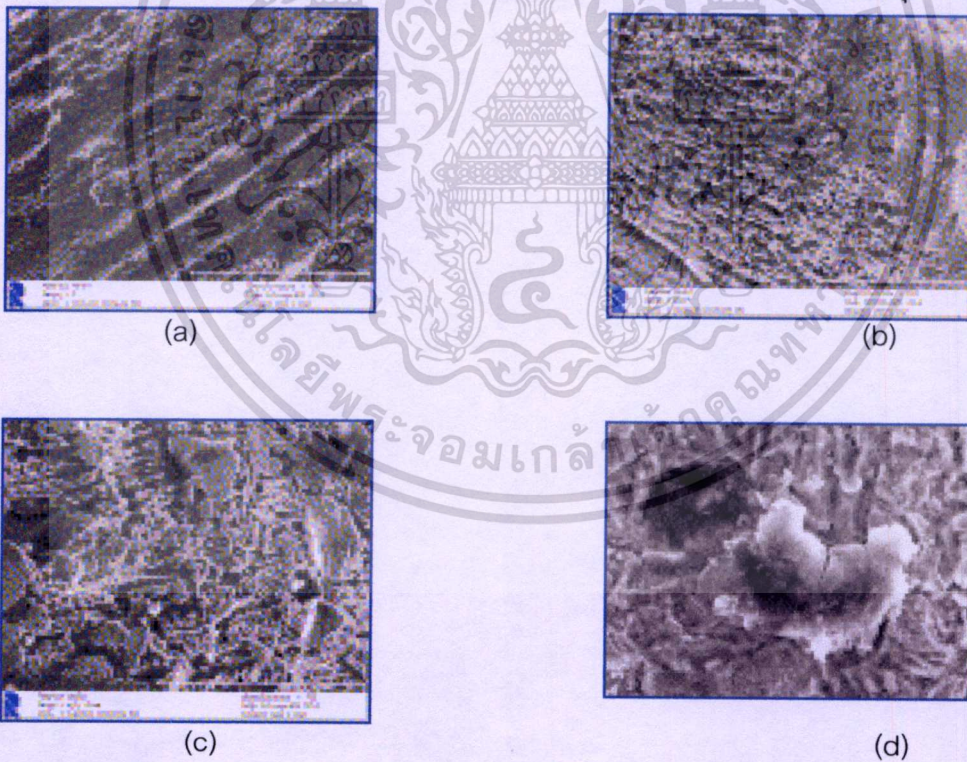
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองผสมร้อยละของดีบุก และไซโคโรเนียมของ H.R. Kim *et al.* [4] เพื่อปรับแต่งขนาดเม็ดเกรนในโลหะคั่นข้อต่อพบว่า การแตกร้าจะเริ่มจากการเสียรูปเป็นแนวเส้นตรง แล้วขยายตัวเป็นวงกว้างก่อนเสียหายสุดท้ายจนขยายวงกว้างต่อไป ซึ่งการทดลองนี้พบว่าการเพิ่มโลหะผสมเข้าไปรวมกับ อะลูมิเนียมมีผลต่อความแข็งแรงขึ้นของข้อต่อทรงกลมในช่วงล่างรถยนต์



รูปที่ 4 แสดงผลของข้อต่อทรงกลม โลหะผสมต่างที่มีผลต่อการเรียงตัวของอนุภาคโลหะ



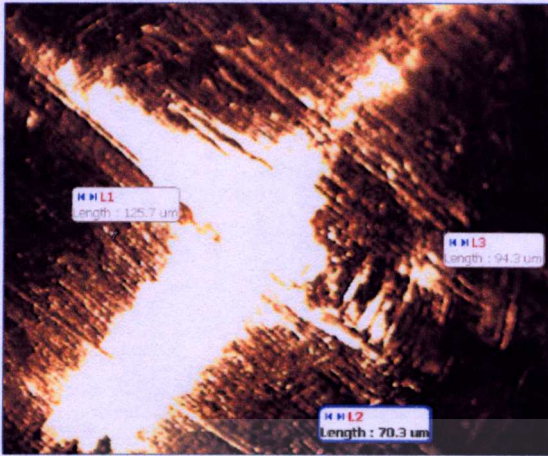
รูปที่ 5 การเสียหายของโลหะเมื่อเกิดการเสียตึงและกระแทก

รูปที่ 5 เป็นการแสดงการแตกร้าเนื่องจากแรงเสียดทาน รูป (a) การเริ่มต้นแตกร้า รูป (b),(c) พื้นที่การขยายตัวการแตกร้าของโลหะ รูป (d) การเสียหายสุดท้าย

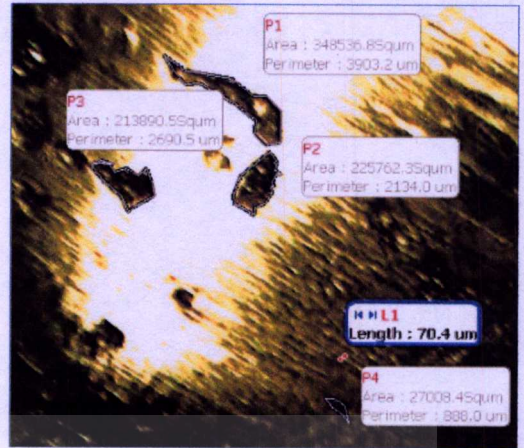
ซึ่งผลการทดลองจากการส่องด้วยกล้องกำลังขยาย 50 เท่าที่โลหะชุดคั่นข้อต่อ และ สารถล้อลื่นที่รอบต่างๆ ได้ผลดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 การสึกหรอของโลหะชุดข้อต่อทรงกลมช่วงล่างรถยนต์



(a)



(b)

รูปที่ 6 การเสียหายหลังจากการใช้งานของชุดโลหะข้อต่อทรงกลมที่ (a) เริ่มใช้งาน (b) ไม่สามารถใช้งานได้
 จากรูปที่ 6 หลังจากที่ใช้งานแล้วความเสียหายที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับการเสียหายโดยขยายเป็นวงกว้าง โดยเริ่มเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน มุมเริ่มต้นประมาณ 0 องศา ซึ่งผลของการเสียหายหลังจากที่ส่งกล้องกำลังขยาย 50 เท่า พบว่าเริ่มต้นระยะห่างของการเรียงตัวของโลหะอยู่ที่ 70 ไมโครเมตร จนถึง 150 ไมโครเมตร สำหรับหลังการใช้ตามรูป (b) ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดรอยแตกเป็นพื้นที่ ตั้งแต่ 27,000 ตารางไมโครเมตร จนถึง 225,762 ตารางไมโครเมตร

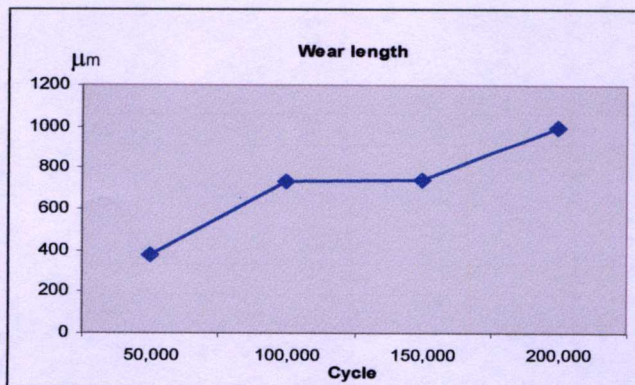
2 การสึกหรอ และการเรียงตัวของพลาสติกหล่อคลื่น

การเสียดทานที่เป็นกรกระทำต่อเนื่องส่งผลต่อความเสียหายของพลาสติก สสารหล่อคลื่น ซึ่งได้ส่งจากกล้องกำลังขยายได้ผลดังนี้



(a) การทดสอบที่ 0 รอบ (b) การทดสอบที่ 50,000 รอบ (c) การทดสอบที่ 100,000 รอบ (d) การทดสอบที่ 200,000 รอบ

รูปที่ 7 การทดสอบความสึกหรอ เปลี่ยนแปลงของสารหล่อคลื่นเทอร์โมพลาสติก อะซีทิล โค พอลิเมอร์ เอ็ม 25-44 (POM M25-44) ที่จำนวนรอบแตกต่างกัน



รูปที่ 8 กราฟแสดงขนาดรอยหยักที่ความถี่แตกต่างกัน

จากการทดลองหลังจากที่ได้ส่องกล้องกำลังขยาย 0.75 เท่า พบว่าเริ่มต้นการใช้งานการเรียงตัวของเม็ดสารหล่อลื่นอยู่ในสภาพที่ชิดกันมากประมาณ 380 ไมโครเมตร หลังจากที่ได้ทำการทดสอบที่ 50,000 รอบ การเรียงตัวของเม็ดสารหล่อลื่นเริ่มหยาบขึ้นอยู่ที่ 730-940 ไมโครเมตร ในขณะที่ การทดสอบที่ 100,000 รอบ เม็ดสารหล่อลื่นมีการเรียงตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการทดสอบที่ 50,000 รอบ ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 800-1,000 ไมโครเมตร และสุดท้ายเป็นสภาพการเรียงตัวที่หยาบ ที่รอบการทดสอบสูง ซึ่งสารหล่อลื่นยังสามารถทำหน้าที่ในการหล่อลื่นได้ดี ซึ่งช่วงรอบที่ 100,000 - 150,000 รอบนั้น กราฟมีลักษณะที่คงที่ ซึ่งถือว่าเป็นช่วงก่อนที่ผิวเสียหายหนัก

สรุปผลการวิจัย

หลังจากที่ทำการทดลองโดยอาศัยข้อมูลที่ได้สามารถสรุปผลการทดลองเบื้องต้นได้ดังนี้

- 1 จากการทดลองหาขนาดเกรนของโลหะเมื่อมีการผสมดีบุกที่ร้อยละมากขึ้น ขนาดเกรนของโลหะจะเล็กลงเรื่อยๆ ในขณะที่การเพิ่ม Zirconium มีแนวโน้มขนาดเม็ดเกรนเล็กลงเรื่อยๆ เหมือนดีบุก ดังแสดงในรูป 4
- 2 การเสียรูปเนื่องจากการเสียดสีและการกระแทกของชุดข้อต่อทรงกลม ช่วงล่างรถยนต์เริ่มจากการเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง เมื่อเริ่มมีการเสียรูปจะเป็นเม็ดหยาบ แล้วแยกเป็นพื้นที่ย่อยๆ มากขึ้นเรื่อย จนเป็นวงกว้าง ดังแสดงในรูป 5 และ 6
- 3 การเสียรูปของชุดข้อต่อทรงกลมมีการเสียรูปถาวรของชุดทดลองมีการขยายเป็นวงกว้างซึ่งเป็นลักษณะเป็นวงกว้างที่มุมใกล้เคียงกับ 0 องศาเนื่องจากรับแรงเฉือนและ แรงปฏิกิริยาดังฉากโดยตรง ดังแสดงในรูป 5 และ 6
- 4 การเสียรูปของสารหล่อลื่นมีการเสียรูป เป็นการเสียรูปเป็นไปอย่างช้าๆ ที่รอบการใช้งานของสารหล่อลื่นสูง โดยจำนวนเนื้อของสารหล่อลื่นที่เสียดสีหลุดออกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความขรุขระสูงขึ้นตาม ดังแสดงในรูป 7 และ 8

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jeffrey R. Lincea and Michael R. Hilton :Journal of Materials Research, 10, 2091-2105,(1995).
- [2] J.M. Martin, C. Donnet, and Th. Le Mogne:Physics Review B, 48, 10,583-10,586, (1993).
- [3] E.W Roberts, B.J. Williams and J.A. Ogilvy :Journal of Physics D: Applied Physics, 25, A65-A70,(1992)
- [4] H.R. Kim, M.G. Seo, W.B. Bae:"A study of the manufacturing of tie rod ends with casting/forging process.,School of Mechanical Engineering .Pusan National University. (2001-2002)

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากโครงการสนับสนุนทุนการวิจัยมหาวิทยาลัย สกว.ตามสัญญา
เลขที่ MRG-WII505 E071 และภาคอุตสาหกรรม ร้านถาวรการผลิต ที่สนับสนุนการวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาพฤติกรรมทางโคโรโบไลซี
ของจุลินทรีย์กลุ่มในชุดคีนอโรลิกนัต

สิทธิดัช รัชชโยธิน และนางศศ นงคศิริโรจน์

ได้ผ่านการพิจารณาและผ่านการตรวจพิจารณาแล้ว

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

และได้นำเสนอในการประชุมวิชาการอเนกนันทน์เดือนพฤศจิกายน ค.ศ. ๒๕๖๒

ระหว่างวันที่ ๑๖ - ๒๐ มีนาคม ๒๕๖๒

รองศาสตราจารย์ ดร. พนิท เข็มทอง

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

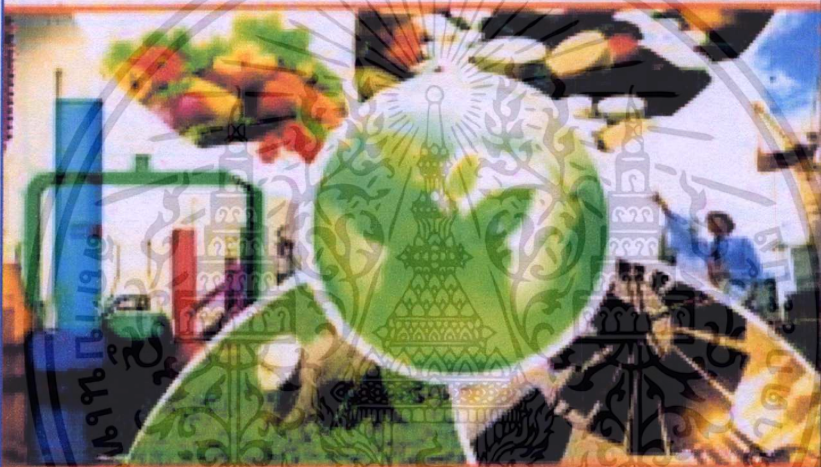
ประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดการประชุมวิชาการ ครั้งที่ ๔๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ โครงการทุนวิจัยมหาวิทยาลัย สว.
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3
TRF-Master Research Congress III

วันที่ 1 - 3 เมษายน 2552

โรงแรมจอมเทียน บานันท์ ซิตี้ รีสอร์ท เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี



สำนักงานกองทุนส่งเสริมการวิจัย
The Thailand Research Fund

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Study on Tribological Characteristics of The Rod Ball Joint.

Sitthichai Ruchayosyothin,^a and Mongkol Mongkolwongroj^a

^aDepartment of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Introduction and Objective

Solid tie rod end ball joint friction behavior between alloy tie rod material with Acetyl Co-Polymer (POM) M25-44 Lubricant has significant influence on wear of the tie rod end alloy; consequently, friction can be reduced in contact surface. This experimental was set up to measure wear area and feature of wear of the contact surface with solid lubricant materials to obtain the life cycle of tie rod end ball joint solid lubricant materials used with operation conditions ;for example pressure ,speed ,frequently ,load and tie rod end material .This wear characteristics can be investigated using microscope 50X zooming and the results are compared with the result from ISO standard .

Method

Acetyl Co-Polymer (POM) M25-44 is solid lubricant of Tie Rod End under impact loading between 2,000 N to 20,000 N by automatic impact test machine ,First of all variable are type of solid lubricant and properties its. Then test in impact test machine 1,000,000 cycle every 50,000 cycle investigate in wear surface by using microscope 50X zooming and the results are compared with the result from ISO and variance properties

Results

The investigation has led to the roughness pitch of solid lubricant POM after impact test (1) 50,000 cycle (2) 100,000 cycle (3) 150,000 cycle (4) 200,000 cycle and (5) wear length of figure of solid lubricant



(1)



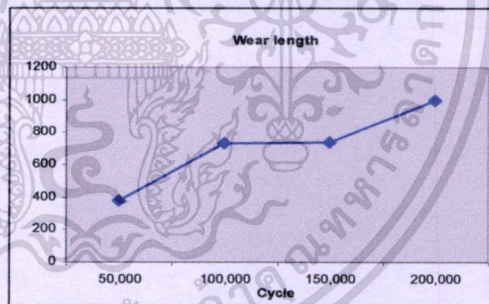
(2)



(3)



(4)



(5)

Conclusion

Wear length character was started in line then it have many roughness until extend large wear area .The wear length had started 0 degree by normal and shear loading which in beginning is few roughness after that was set up to remain stable finally, rapid increase wear area.

Keywords: Tie rod end, Impact modifier, Solid lubricant, POM, Wear characteristics

Selected References:

1. Jeffrey R. Lincea and Michael R. Hilton :Journal of Materials Research, 10, 2091-2105,(1995).
2. J.M. Martin, C. Donnet, and Th. Le Mogne:Physics Review B, 48, 10,583-10,586, (1993).
3. E.W Roberts, B.J. Williams and J.A. Ogilvy :Journal of Physics D: Applied Physics, 25,A65-A70,(1992)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นายสิทธิชัย รัชชโยธิน

วัน เดือน ปีเกิด

22 กุมภาพันธ์ 2526

ที่อยู่

4/2 หมู่ 2 ต.ศรีษะจรเข้ใหญ่ อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ

ประวัติการศึกษา

2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

2552

Experimental study on tribological characteristics of tie rod end
ball joint , The proceeding of 47th Kasetsart University Annual
Conference, March 17-20, 2009, Bangkok, Thailand.

