

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นเชิงทดลองของข้อเข่าประดิษฐ์

Experimental study the Lubrication characteristics of an artificial knee

โดย

นาย ร่มฉัตร พิทักษ์

นางสาว ระพีพรรณ ตั้งเสริมภักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62362
จำนวนเล่ม..... 16 ส.ค. 2549

b..... 11670000
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นเชิงทดลองของข้อเข่ากระดูกเทียม

Experimental study the lubrication characteristics of an artificial knee

ผู้จัดทำ

1. นาย ร่มฉัตร พิทักษ์ รัหส์ประจำตัว 45010629
2. นางสาว ระพีพรรณ ส่งเสริมภักดี รัหส์ประจำตัว 45010633



การศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นเชิงทดลองของข้อเข่ากระดูกเทียม

นาย ร่มฉัตร พักจันทร์ 45010629

นางสาว ระพีพรรณ ส่งเสริมภักดี 45010633

รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดทดลองและศึกษาการหล่อลื่นของข้อกระดูกเทียมเฉพาะบริเวณข้อเข่า โดยการออกแบบจำลองการทดลองให้สามารถรับน้ำหนักที่ข้อเข่ากระดูกเทียมได้รับ ซึ่งในการศึกษาการหล่อลื่นสามารถทำได้โดยการปรับภาระขึ้นต้นและความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ระหว่างข้อเข่าด้านบนและข้อเข่าด้านล่างเข้าไปในชุดทดลอง เพื่อหาแนวโน้มของข้อเข่ากระดูกเทียมและตัวแปรที่มีผลต่อการหล่อลื่นของข้อเข่ากระดูกเทียม โดยการทดลองจะทำการอ่านผลการทดลองได้จากการใช้เลเซอร์ และผลจากเลเซอร์นั้นจะแปลงค่าออกมาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการหล่อลื่นของข้อเข่ากระดูกเทียมได้



Experimental study the lubrication characteristics of an artificial knee

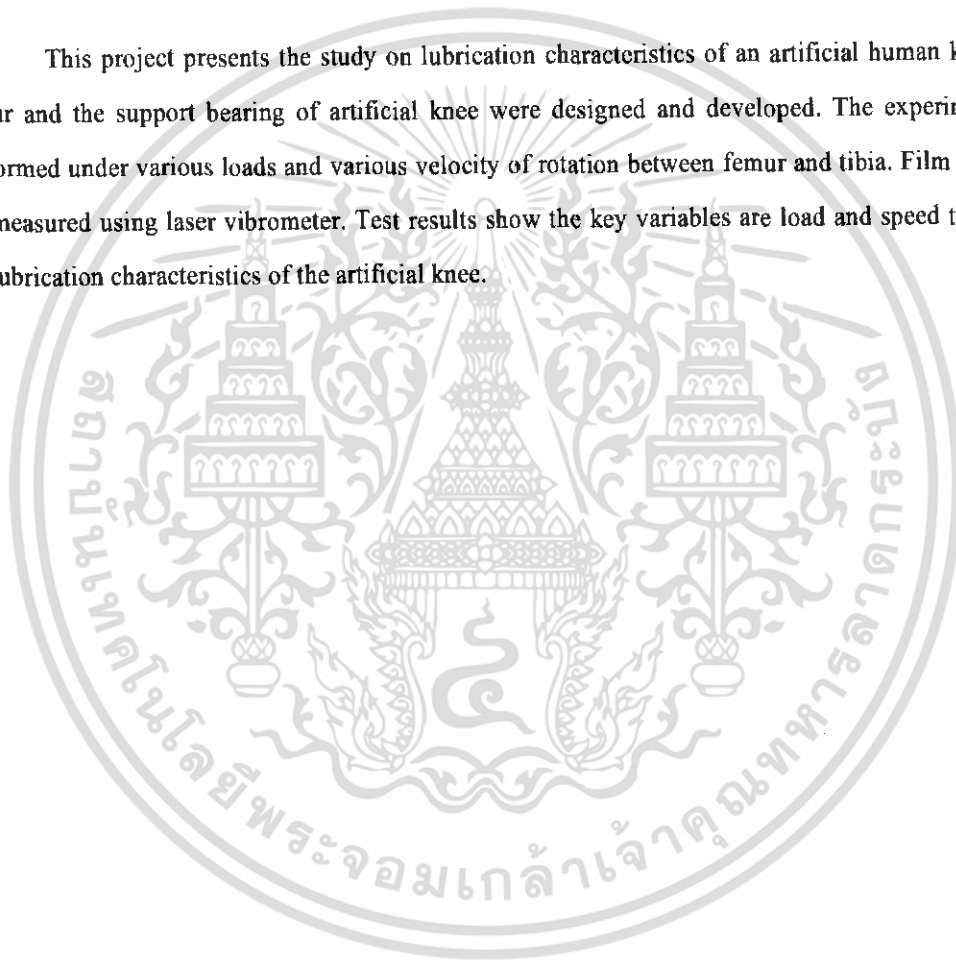
Romchat Faugchun

Rapeephan Songsoemphakdee

Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongrojn Advisor

Abstract

This project presents the study on lubrication characteristics of an artificial human knee. The femur and the support bearing of artificial knee were designed and developed. The experiments are performed under various loads and various velocity of rotation between femur and tibia. Film thickness are measured using laser vibrometer. Test results show the key variables are load and speed that affect the lubrication characteristics of the artificial knee.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาเอก ที่ให้ความเอาใจใส่ สอบถาม แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้พวกเรามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ร่มฉัตร พิภพจันทร์

นางสาว ระพีพรรณ ส่งเสริมภักดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การออกแบบและหลักการ	3
2.1 การคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในแง่คุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์	3
2.2 มอเตอร์	4
2.3 Four Bar Linkage	5
2.4 Pneumatic	7
2.5 เลเซอร์	12
บทที่ 3 การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ	15
3.1 ความหมาย	15
3.2 ขั้นตอนและวิธีการตรวจสอบ	15
3.3 ผลที่ได้จากการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ	16
3.4 ผลที่ได้จากการทดลอง	18
บทที่ 4 การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	22
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	22
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	22
4.3 ผลการทดลอง	23
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	33
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุป	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงขนาดความยาวแต่ละชิ้นส่วนที่มุ่มต่างกัน	6
ตารางที่ 2.2	แสดงภาวะที่กระบอกสูบแต่ละชนิดกระทำในการทดลองและความดันที่เปลี่ยนไป ซึ่งในการออกแบบระบบ Pneumatic นั้น เราเลือกใช้อุปกรณ์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 – 2.9	8
ตารางที่ 3.1	แสดงระยะห่างของแผ่นคิสก์เมื่อเทียบกับองศาตามระยะที่วัดได้จริง	16
ตารางที่ 3.2	แสดงระยะห่างของแผ่นคิสก์เมื่อเทียบกับองศาตามทฤษฎี	17
ตารางที่ 3.3	แสดงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ	18
ตารางที่ 3.4	แสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นคิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ	19
ตารางที่ 3.5	แสดงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	20
ตารางที่ 3.6	แสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นคิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	20
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ	23
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและ ไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ	25
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ	26
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	27
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากระทำที่ 3 bar	28
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากระทำที่ 3 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	30
ตารางที่ 4.7	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากระทำที่ 4 bar	31
ตารางที่ 4.8	แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากระทำที่ 4 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	32

สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	แสดงกระดูกข้อเข่าจริงของมนุษย์	1
รูปที่ 1.2	แสดงแบบจำลองข้อเข่ากระดูกเทียมที่ใช้ในการทดลอง	2
รูปที่ 2.1	แสดงชุดทดลองการหล่อลื่นของข้อเข่ากระดูกเทียม	4
รูปที่ 2.2	แสดงการเคลื่อนที่ของข้อเข่ากระดูกของคน	5
รูปที่ 2.3	แสดงหลักการทำงานของ Four Bar Linkage	5
รูปที่ 2.4	แสดงจำนวนชิ้นของ Four Bar Linkage	6
รูปที่ 2.5	แสดงการคำนวณหาความยาวแขนของ Four Bar Linkage ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3	7
รูปที่ 2.6	แสดง Pump ที่ใช้ในการจ่ายความดันในระบบ	9
รูปที่ 2.7	แสดงชิ้นส่วน Solenoid Actuated Spool Valves	9
รูปที่ 2.8	แสดงชิ้นส่วนของ Standard Filter	10
รูปที่ 2.9	แสดงชิ้นส่วนของ Fitting	10
รูปที่ 2.10	แสดงชิ้นส่วนของ Cylinder	11
รูปที่ 2.11	แสดงภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ Pneumatic	11
รูปที่ 2.12	แสดงหัวเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดระยะห่างของความหนาฟิล์มของข้อเข่ากระดูก	12
รูปที่ 2.13	แสดงหลักการ ในการเชื่อมอุปกรณ์ติดตั้งเลเซอร์	13
รูปที่ 2.14	แสดงหลักการปรับตำแหน่งเลเซอร์	14
รูปที่ 3.1	แสดงการตรวจสอบเครื่องมือโดยการใช้เลเซอร์	15
รูปที่ 3.2	แสดงกราฟระหว่างระยะห่างของแผ่นดิสก์กับองศาเมื่อเทียบตามทฤษฎี	18
รูปที่ 3.3	แสดงกราฟระหว่างผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ	19
รูปที่ 3.4	แสดงกราฟระหว่างผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	21
รูปที่ 4.1	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ	23
รูปที่ 4.2	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ	24
รูปที่ 4.3	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ	25
รูปที่ 4.4	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือโดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.5	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 3 bar	28
รูปที่ 4.6	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 3 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	29
รูปที่ 4.7	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar	30
รูปที่ 4.8	แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ	32



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

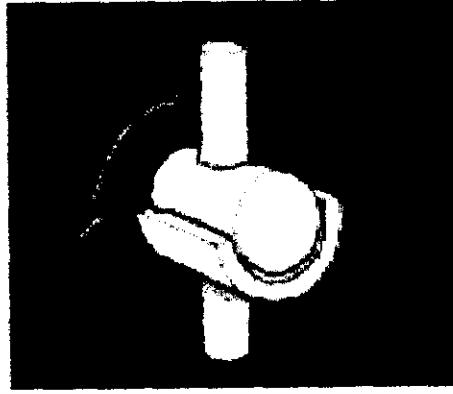
โรคที่เกี่ยวข้องกับข้อเข่ามีหลายชนิดแต่ละชนิดมีอาการแตกต่างกันออกไปแล้วแต่จะเกิดกับส่วนใดของข้อเข่า โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของข้อเข่าจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีน้ำหล่อลื่นที่เรียกว่า “synovial fluid” หล่อเลี้ยงอยู่ระหว่าง ข้อเข่าด้านบนกับข้อเข่าด้านล่าง ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของร่างกายเป็นไปอย่างสมดุล ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงกระดูกข้อเข่าจริงของมนุษย์

แต่เมื่อคนเรามีอายุมากขึ้นการทำงานของร่างกายก็เปลี่ยนแปลงไป ส่วนของกระดูกข้อเข่าก็ได้รับผลกระทบกระเทือนด้วย ซึ่งเป็นปัญหาทางการแพทย์ในปัจจุบันเป็นอย่างมากเพราะคนสูงอายุส่วนมากจะเป็นโรคชนิดนี้ และการรักษาอย่างหนึ่งของโรคกระดูกข้อเข่านี้ ก็คือ การผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม ซึ่งมีข้อจำกัดอย่างมากในการเปลี่ยน

โครงการนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นของข้อกระดูกเทียมโดยมีการจำลองการทดลอง ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงแบบจำลองข้อเข้ากระดูกเทียมที่ใช้ในการทดลอง

และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนของข้อกระดูกเทียม ดังนั้นผลของค่าต่างๆที่วัดได้จากการทดลองเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาพฤติกรรมของการเคลื่อนของข้อกระดูกเทียม

1.2 จุดประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างชุดทดลองข้อเข้ากระดูกเทียม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนเชิงทดลองของข้อกระดูกเทียม
- 1.2.3 เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สร้างชุดทดลองข้อเข้ากระดูกเทียม
- 1.3.2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ แรงที่ข้อเข้ารับ มุมของการเคลื่อนที่ของข้อเข้ากระดูกเทียม และจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของข้อเข้ากระดูกเทียม
- 1.3.3 ตรวจสอบวัดการเคลื่อนของข้อเข้ากระดูกเทียมโดยใช้เลเซอร์เป็นตัววัด

1.4 วิธีดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- 1.4.2 ทำการออกแบบระบบและส่วนประกอบของเครื่องที่ใช้ในการทดลอง
- 1.4.3 นำหลักการทางทฤษฎีมาประยุกต์ออกแบบการเคลื่อนที่ตามบทที่ 2
- 1.4.4 ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังบทที่ 3
- 1.4.5 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังบทที่ 4
- 1.4.6 สรุปผลและเพิ่มข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

การออกแบบและหลักการทำงาน

2.1 การคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในแง่คุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์

ความผิดรูปของวัสดุเป็นผลจากน้ำหนักภายนอกมากระทำและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่ในสถานะของการยืดหยุ่นและสภาพพลาสติก elastic-plastic ภายในวัสดุอันเป็นพฤติกรรมแรกสุดของวัสดุมากกว่าโครงสร้างการใช้กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุได้ให้ข้อมูลเชิงกลศาสตร์ ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งในการเลือกใช้วัสดุเพื่อรับน้ำหนักที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ให้มักได้จากแรงกระทำ tension ซึ่งในชีวิตจริงแล้วไม่เป็นเช่นนั้น แรงกระทำยังขึ้นกับเวลา ลักษณะกระทำซ้ำกันหลายครั้งและแต่ละครั้งอาจไม่เท่ากัน สภาพแวดล้อมวัสดุก็มีส่วนที่ทำให้ข้อมูลผันแปรได้ เช่น อุณหภูมิความชื้น และสภาพของเหลวรอบข้างวัสดุ นอกจากนี้ขั้นตอนการผลิตวัสดุออกเป็นโครงสร้างอาจแสดงคุณสมบัติเชิงกลต่างกัน ได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุมคุณภาพได้ดีเพียงไร ฉะนั้นในการเลือกวัสดุโดยเฉพาะกรณีที่ต้องการคุณสมบัติเชิงกลสูงๆจำเป็นต้องคำนึงถึงสถานะแวดล้อมดังกล่าวด้วย ในการอ้างอิงถึงคุณสมบัติของวัสดุควรที่จะดูค่าตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.1.1 โมดูลัสยืดหยุ่น คำนี้นับรวมโดยตรงจากเส้นตรงในความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้น และใช้หาค่าของการผิดรูปยืดหยุ่นของวัสดุได้ วัสดุนิกที่เป็น viscoelastic เช่น เนื้อเยื่อในมนุษย์ ส่วนโพลีเมอร์ไม่สามารถแสดงโดยคุณสมบัติเฉพาะค่านี้นี้

2.1.2 จุดคราก ค่าที่กล่าวถึงบ่อยๆ คือ 0.2% หรือค่าความเค้น 0.2% คำนี้นับขอบเขตสูงสุดของความเค้นก่อนที่วัสดุจะผิดรูปไปแบบไม่ฟื้นคืนสภาพเดิม และไม่เหมาะสมสำหรับอธิบายวัสดุ viscoelastic

2.1.3 ความทนแรงดึง เป็นค่าความเค้นสูงสุดในกราฟ ความเค้น-ความเครียด

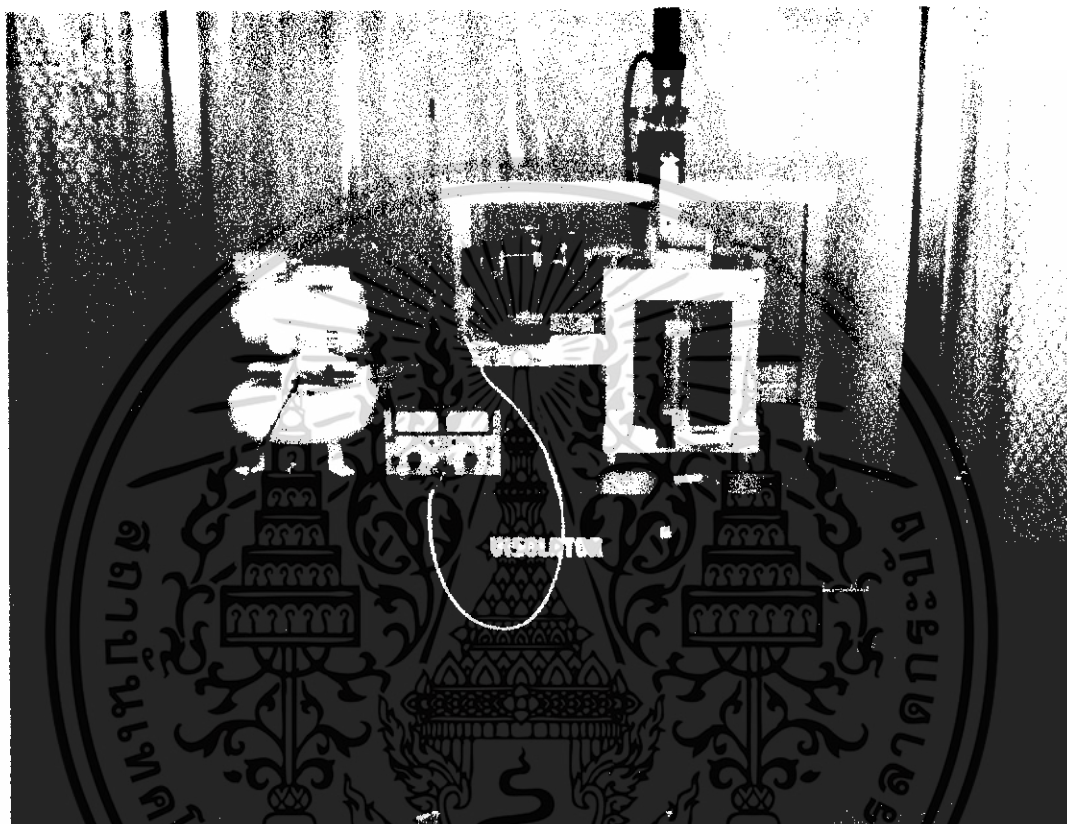
2.1.4 การยืดออกของรอยแตก หมายถึงความผิดรูปที่คงอยู่หลังจากวัสดุล้มเหลวแล้ว นั่นคือใช้วัดความยืดออกเป็นเส้นได้ (Ductility) มักคิดออกเป็นเปอร์เซ็นต์ของการยืดออก

2.1.5 การลดทอนพื้นที่ เป็นวิธีวัด Ductility อีกวิธีหนึ่ง คิดออกเป็นเปอร์เซ็นต์ของการลดทอนพื้นที่หรือ ϵ จุดที่วัสดุสูญเสียความแข็งแรง

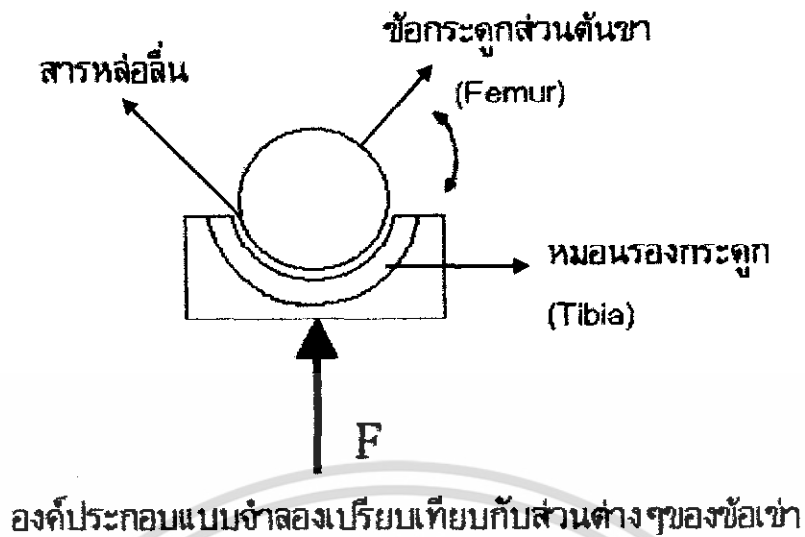
2.1.6 การทนทานหรือความเหนียว คือ ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานก่อนล้มเหลว ในกราฟคือพื้นที่ทั้งหมด ใต้ต่อพื้นที่เส้นโค้ง ความเค้นความเครียดจนถึงจุด σ มีหน่วยวัดเป็น พลังงานต่อหน่วยปริมาตร

2.2 มอเตอร์

หลักการการทำงานของมอเตอร์จะส่งผ่านแรงมาทางเพลลาที่ทำด้วยแก้ว ซึ่งในขณะที่มอเตอร์ทำงานจะหมุนเป็นรอบ แต่เพลลาจะต้องหมุนกลับไปกลับมาเพียง 130° เท่านั้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของข้อเข่ามนุษย์ตามธรรมชาติจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงชุดทดลองการหล่อลื่นของข้อเข่ากระดูกเทียม

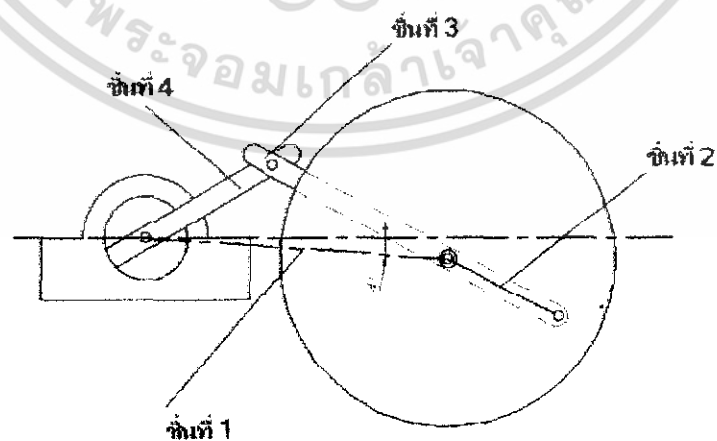


รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของข้อเข่ากระดูกของคน

ดังนั้น เราจึงใช้หลักการของ Four Bar Linkage เพื่อทำหน้าที่กำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของเพลาให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่จริงของข้อเข่ามนุษย์

2.3 Four Bar Linkage

การทำงานของ Four Bar Linkage คือ การกำหนดแกน 2 แกนที่ต่อมาจากมอเตอร์และต่อมาจากเพลา โดยที่แกนของมอเตอร์จะยาวกว่าแกนของเพลา ในขณะที่มอเตอร์หมุนและส่งผ่านแรงมาทางแกนของมอเตอร์ ความยาวของแกนทั้งสองจะเป็นตัวกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ของเพลาได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของ Four Bar Linkage

ซึ่งในการออกแบบ Four Bar Linkage นั้น เราได้กำหนดให้แขนทั้งสองมีขนาดความยาว
ต่าง ๆ กัน เพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ของเพลตามข้อเข้ากระดูกของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดความยาวแต่ละชิ้นส่วนที่มุมต่างๆกัน

ชิ้นส่วนชิ้นที่	ความยาวแต่ละชิ้นส่วนที่มุมต่างๆกัน(ซม.)			
	45°	60°	90°	130°
1	14.50	14.50	14.50	14.50
2	2.30	3.15	4.00	6.00
3	16.30	16.15	15.50	15.00
4	6.75	7.00	6.00	7.00

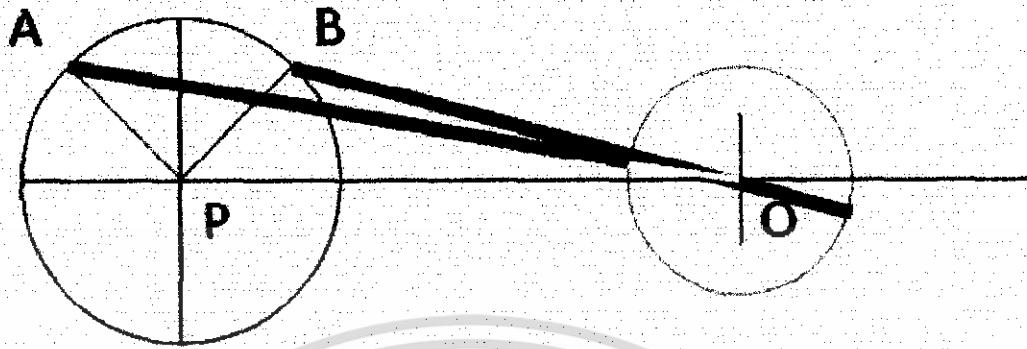
หลักการ ในการคำนวณความยาวของแต่ละแขนมีหลักการในการคำนวณดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงจำนวนชิ้นของ Four Bar Linkage

$$\text{ความยาวชิ้นที่ 3} = (OA + OB)/2$$

$$\text{ความยาวชิ้นที่ 2} = \text{ความยาวชิ้นที่ 3} - OB$$



รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณหาความยาวแขนของ Four Bar Linkage ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3

2.4 Pneumatic

ในการทดสอบการหล่อลื่นของข้อเข่ากระดูกเทียมนั้นจำเป็นต้องมีการกระทำ ในการทดลองเราจะใช้หลักการของ Pneumatic ในการกำหนดการกระทำกับเพลา ซึ่งแทนข้อเข่ากระดูก ส่วนบน (Femur) โดยที่ Pneumatic จะติดตั้งกับส่วนของข้อกระดูกด้านล่าง (Tibia) และมีน้ำเป็นสารหล่อ ลื่นหล่อลื่นอยู่

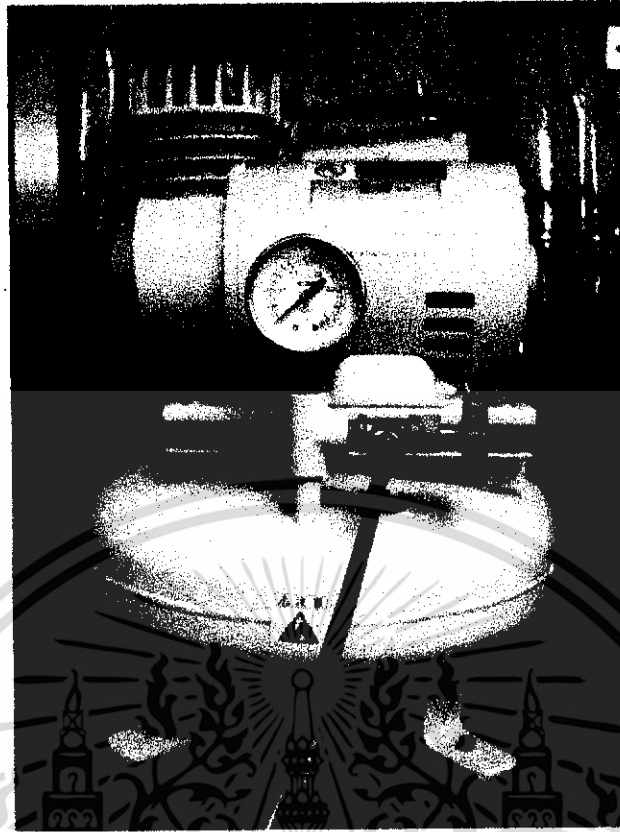
โดยหลักการทำงานของระบบ Pneumatic คือ การปรับความดันจากปั๊มให้จ่ายลมเข้าไปใน กระบอกสูบ จากนั้นกระบอกสูบจะดันส่วนของข้อกระดูกด้านล่างแทนน้ำหนักจริงของคน (ในหน่วยของ N) ตามที่เรากำหนด เพื่อให้การกระทำกับข้อกระดูกด้านล่าง ซึ่งขนาดของความดันกับกระบอกสูบ มี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงภาระที่กระบอกสูบแต่ละชนิดกระทำในการทดลองและความดันที่เปลี่ยนไป ซึ่งในการออกแบบระบบ Pneumatic นั้น เราเลือกใช้อุปกรณ์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 - 2.9

Forces are theoretical at 100% efficiency ($\mu = 100\%$)

Cylinder piston force and air consumption for double acting cylinders				Operating pressure p (bar)									
Piston head diameter (mm)	Piston rod diameter (mm)	Stroke length (mm)	Force (N) Air consumption (litre)										
				2	3	4	5	6	7	8	9	Max 10	
6	3	100	Thrust	5.7	8.5	11.3	14.1	17.0	19.8	22.6	25.5	28.3	
			Return force	4.2	6.4	8.5	10.6	12.7	14.9	17.0	19.1	21.2	
			Air consumption	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	
8	4	100	Thrust	10.1	15.1	20.1	25.1	30.2	35.2	40.2	45.3	50.3	
			Return force	7.5	11.1	15.1	18.9	22.6	26.4	30.2	33.9	37.7	
			Air consumption	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	
10	4	100	Thrust	15.7	23.6	31.4	39.3	47.1	55.0	62.9	70.7	78.6	
			Return force	13.2	19.8	26.4	33.0	39.6	46.2	52.8	59.4	66.0	
			Air consumption	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	
12	6	100	Thrust	23	34	45	57	68	79	91	102	113	
			Return force	17	25	34	42	51	59	68	76	85	
			Air consumption	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	
18	6	100	Thrust	40	60	80	101	121	141	161	181	201	
			Return force	35	52	69	86	104	121	138	156	173	
			Air consumption	0.11	0.16	0.19	0.22	0.26	0.30	0.33	0.37	0.41	
18	8	100	Thrust	51	76	102	127	153	178	204	229	255	
			Return force	41	61	82	102	123	143	163	184	204	
			Air consumption	0.14	0.19	0.23	0.27	0.32	0.36	0.41	0.45	0.50	
20	8	100	Thrust	63	94	126	157	189	220	251	283	314	
			Return force	53	79	106	132	158	185	211	238	264	
			Air consumption	0.17	0.23	0.29	0.34	0.40	0.46	0.51	0.57	0.63	
25	10	100	Thrust	98	147	196	246	295	344	393	442	491	
			Return force	83	124	165	206	248	289	330	371	412	
			Air consumption	0.27	0.38	0.45	0.54	0.62	0.71	0.80	0.89	1.0	
32	12	100	Thrust	161	241	322	402	483	563	644	724	805	
			Return force	136	207	277	348	418	488	559	629	699	
			Air consumption	0.44	0.59	0.74	0.89	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	
40	16	100	Thrust	261	377	503	629	754	880	1006	1131	1257	
			Return force	211	317	422	528	634	739	845	950	1056	
			Air consumption	0.69	0.92	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3	2.5	
50	20	100	Thrust	383	569	766	962	1179	1375	1571	1768	1964	
			Return force	330	495	660	825	990	1155	1320	1485	1650	
			Air consumption	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.9	3.2	3.6	3.9	
63	25	100	Thrust	624	936	1247	1558	1871	2183	2495	2807	3119	
			Return force	561	841	1122	1402	1683	1963	2243	2524	2804	
			Air consumption	1.8	2.3	2.9	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.4	
80	30	100	Thrust	1006	1509	2011	2514	3017	3520	4023	4526	5029	
			Return force	908	1361	1815	2269	2723	3176	3630	4084	4538	
			Air consumption	2.8	3.8	4.7	5.7	6.8	7.8	8.5	9.5	10.4	
100	30	100	Thrust	1570	2357	3143	3929	4714	5500	6286	7071	7857	
			Return force	1479	2143	2857	3669	4486	5295	6105	6929	7744	
			Air consumption	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	16.6	

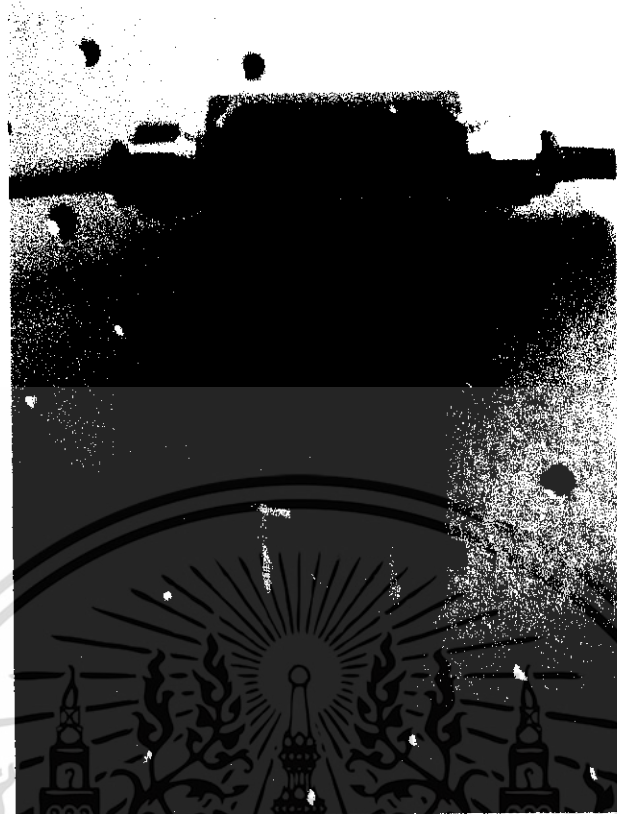
Air consumption is calculated per single cycle (air stroke)



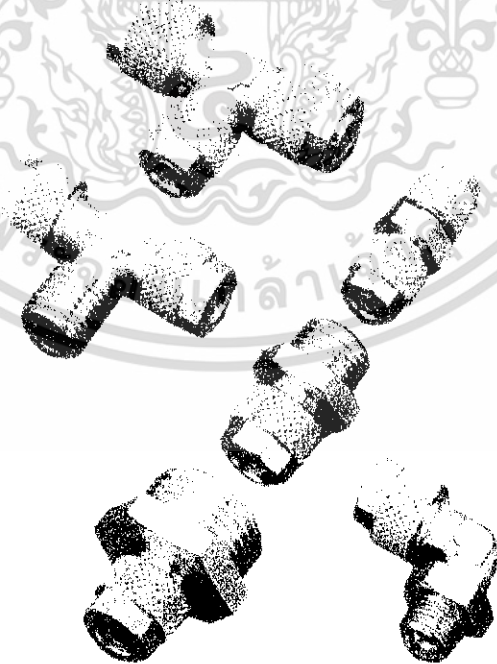
รูปที่ 2.6 แสดง Pump ที่ใช้ในการจ่ายความดันในระบบ



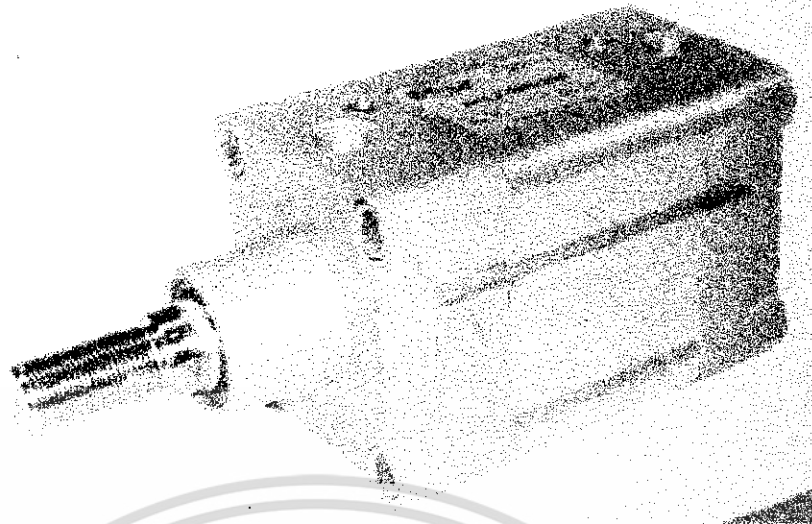
รูปที่ 2.7 แสดงชิ้นส่วน Solenoid Actuated Spool Valves



รูปที่ 2.8 แสดงชิ้นส่วนของ *Standard Filter*

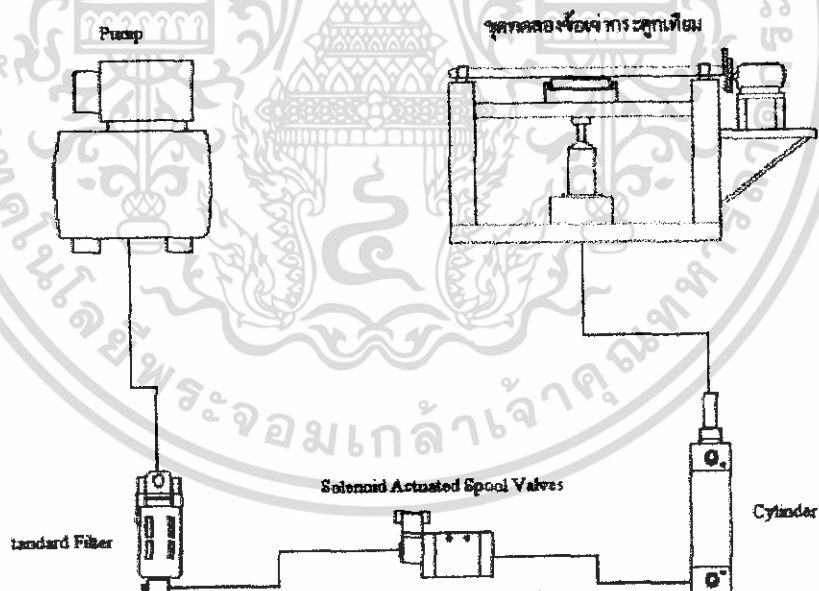


รูปที่ 2.9 แสดงชิ้นส่วนของ *Fitting*



รูปที่ 2.10 แสดงชิ้นส่วนของ Cylinder

ในการออกแบบระบบ Pneumatic นั้นมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



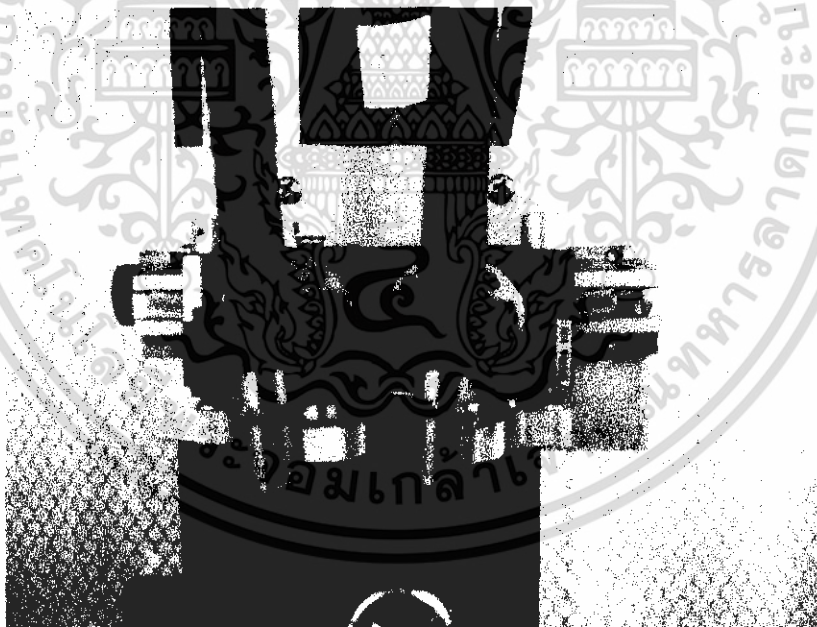
รูปที่ 2.11 แสดงภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ Pneumatic

ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนมีหน้าที่ดังนี้

1. Pump เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายแรงลมให้แก่กระบอกสูบ
2. Solenoid Actuated Spool Valves ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการเข้าออกของลม
3. Standard Filter ทำหน้าที่กรองอากาศให้เป็นอากาศบริสุทธิ์
4. Fitting ทำหน้าที่เชื่อมชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน
5. Cylinder มีหน้าที่ส่งผ่านแรงลมจากปั๊มเข้าสู่ข้อเข้ากระดูกด้านล่าง ซึ่งในการทดลองเราเลือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm

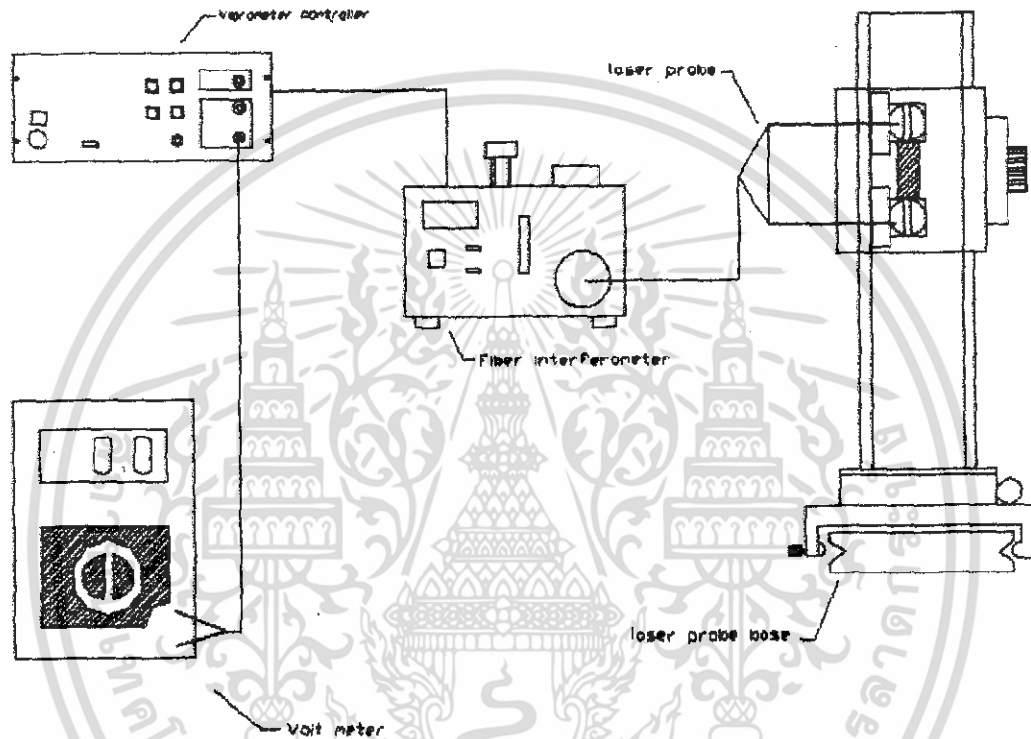
2.5 เลเซอร์

ในการวัดการหล่อลื่นเชิงทดลองของข้อเข้ากระดูกเทียม จะใช้เลเซอร์เป็นตัววัดเพราะค่อนข้างมีความละเอียดมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่นๆ ซึ่งหลักการทำงานของเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดการหล่อลื่นของข้อเข้ากระดูก คือ จะวัดระยะห่างระหว่างข้อเข่าส่วนบน (Femur) กับข้อเข่าด้านล่าง (Tibia) หากมีผลกระทบจากภาระที่กระทำ มุมในการเคลื่อนที่ และความเร็วรอบของมอเตอร์นั้นจะทำให้ระยะห่างของชิ้นส่วน 2 ชิ้นนี้เปลี่ยนไป การวัดระยะออกมาเป็นสัญญาณ ซึ่งเลเซอร์จะมีด้วยกัน 2 จุด ดังรูปที่ 2.11



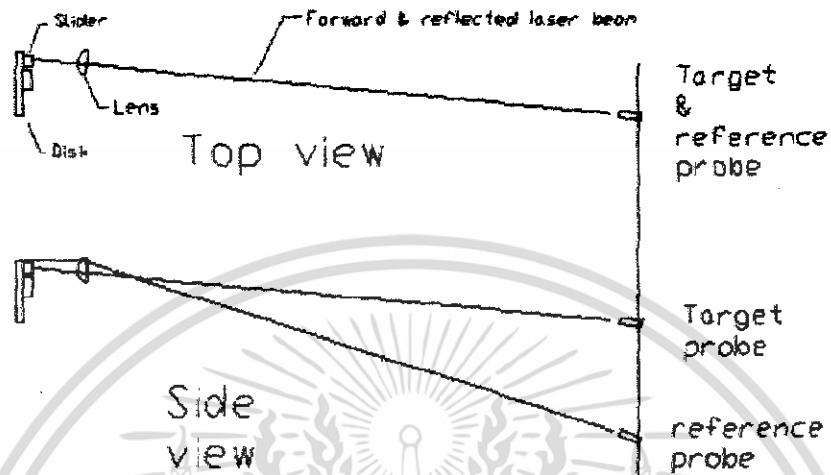
รูปที่ 2.12 แสดงหัวเลเซอร์ที่ใช้ในการวัดระยะห่างของความหนาฟิล์มของข้อเข้ากระดูก

ในการออกแบบเลเซอร์นั้น เราจะต่อสัญญาณจากสโคป (Oscilloscope) เข้ากับอุปกรณ์ควบคุมเลเซอร์ ค่าที่อ่านได้จากสโคปจะมีหน่วยเป็นโวลต์ ซึ่งต้องนำมาคูณกับค่าคงที่ในอุปกรณ์ควบคุมเลเซอร์ ค่าที่ได้จะออกมาเป็นระยะห่างในหน่วยไมโครเมตร ซึ่งหลักการในการเชื่อมอุปกรณ์ติดตั้งเลเซอร์จะเป็นในลักษณะ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.13 แสดงหลักการในการเชื่อมอุปกรณ์ติดตั้งเลเซอร์

ในการใช้เลเซอร์นั้นจะมีหลักการในการปรับแสงของเลเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการ ซึ่งหลักการในการหักเหของแสงสามารถดูได้จากรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.14 แสดงหลักการปรับตำแหน่งเลเซอร์

บทที่ 3

การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ

3.1 ความหมาย

คือ การออกแบบในการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเราจะตรวจสอบโดยทดลองเครื่องมือกับตัวกลาง 2 ตัว คือ อากาศและน้ำ โดยใช้แผ่นดิสก์ 2 แผ่นแทนเพลลา (ข้อเข้าส่วนบน) และฐานรองรับ (ข้อเข้าส่วนล่าง) จากนั้นทำการวัดระยะห่างของแผ่นดิสก์ทั้ง 2 แผ่น แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี

3.2 ขั้นตอนและวิธีการตรวจสอบ

3.2.1 นำแผ่นดิสก์ 2 แผ่นมาวางซ้อนกัน โดยให้แผ่นล่างเหลื่อมออกจากแผ่นบนเพื่อให้เลเซอร์ตกลงแผ่นล่างได้ด้วย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจสอบเครื่องมือโดยการใช้เลเซอร์

3.2.2 ปรับตำแหน่งของเลเซอร์ให้ตกลงในแผ่นดิสก์อย่างละแผ่นแล้วให้สะท้อนกลับไปเพื่ออ่านค่าระยะห่างของแผ่นดิสก์ทั้งสอง

3.2.3 ทำการปรับฐานที่ตั้งแผ่นดิสก์แผ่นบนเพื่อให้ห่างกันมากขึ้น โดยปรับทีละ 10° แล้วทำการวัดระยะห่างของแผ่นดิสก์

3.2.4 ทำซ้ำข้อ 3.2.3 จนรู้แนวโน้มและสามารถนำมาเขียนกราฟได้

3.2.5 เขียนกราฟแล้วนำไปเปรียบเทียบกับทฤษฎี

3.2.6 ทำการวิเคราะห์ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ

3.3 ผลที่ได้จากการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ

จากทฤษฎีแผ่นดิสก์มีความหนา 1.25 มิลลิเมตร และเมื่อทำการปรับความสูงของแผ่นดิสก์เป็นระยะ 360° จะทำให้แผ่นดิสก์ทั้งสองแผ่นออกห่างจากกันเป็นระยะ 2 มิลลิเมตร ดังนั้น อัตราการเพิ่มความสูงของดิสก์กับระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์จะมีความสัมพันธ์กัน ดังตารางที่ 3.1

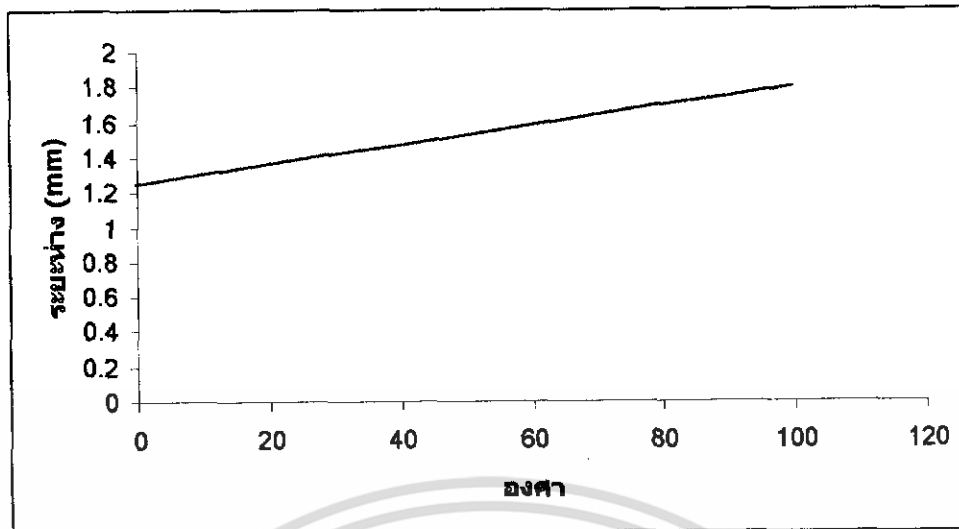
ตารางที่ 3.1 แสดงระยะห่างของแผ่นดิสก์เมื่อเทียบกับองศาตามระยะที่วัดได้จริง

องศา	ระยะห่าง (μm)
360	2000
0	5.55
5	27.78
10	55.56
20	111.11
30	194.44
40	222.22
50	277.78
60	333.33
70	388.89
80	444.44
90	500
100	555.55

จากตารางที่ 3.1 ระยะทางที่แปรผันตามองศา เราสามารถนำมาคำนวณระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์ตามองศาโดยเริ่มที่แผ่นดิสก์ติดกัน คือ 1.25 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงระยะห่างของแผ่นดิสก์เมื่อเทียบกับองศาตามทฤษฎี

องศา	ระยะห่าง (mm)
0	1.25
10	1.30556
20	1.3611
30	1.41667
40	1.4722
50	1.5278
60	1.5833
70	1.6389
80	1.6944
90	1.75
100	1.8056



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟระหว่างระยะห่างของแผ่นดิสก์กับองศาเมื่อเทียบตามทฤษฎี

3.4 ผลที่ได้จากการทดลอง

3.4.1 ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

3.4.1.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 3.3 แสดงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

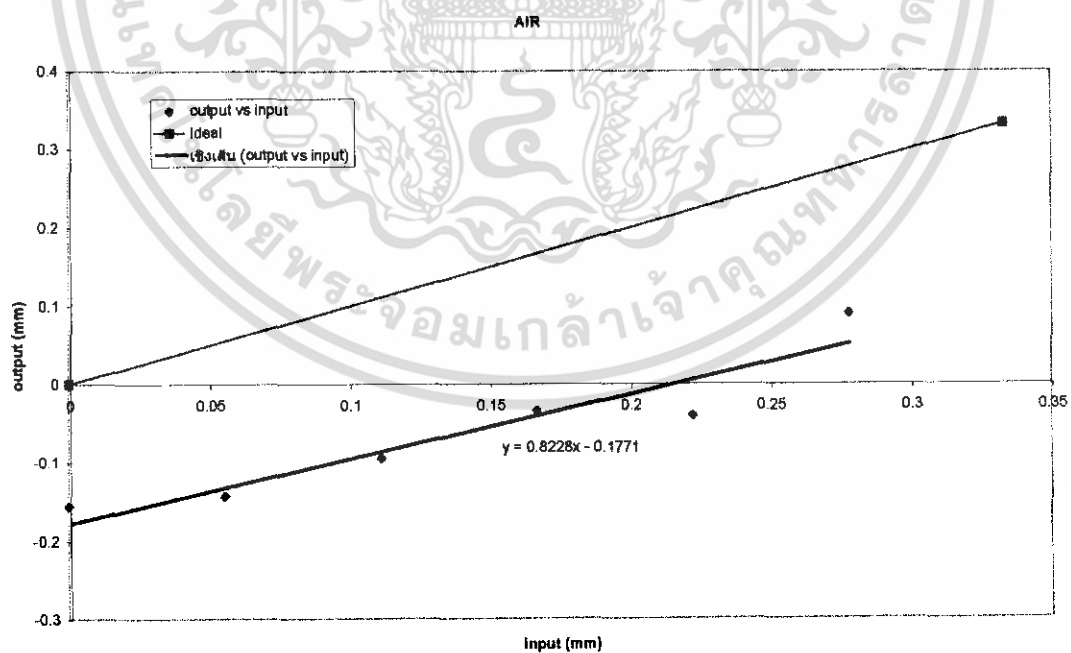
องศา	Input (mm)	Output (mm)
0	1.25	1.0944
10	1.30556	1.1072
20	1.36111	1.1552
30	1.41667	1.216
40	1.47222	1.2096
50	1.5278	1.3408

3.4.1.2 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

องศา	Input (mm)	Output (mm)
0	0	-0.1556
10	0.05556	-0.1428
20	0.11111	-0.0948
30	0.16667	-0.034
40	0.22222	-0.0404
50	0.2778	0.0908

3.4.1.3 กราฟแสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์



รูปที่ 3.3 แสดงกราฟระหว่างผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

3.4.2 ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยให้ตัวกลางเป็นน้ำ

3.4.2.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 3.5 แสดงการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

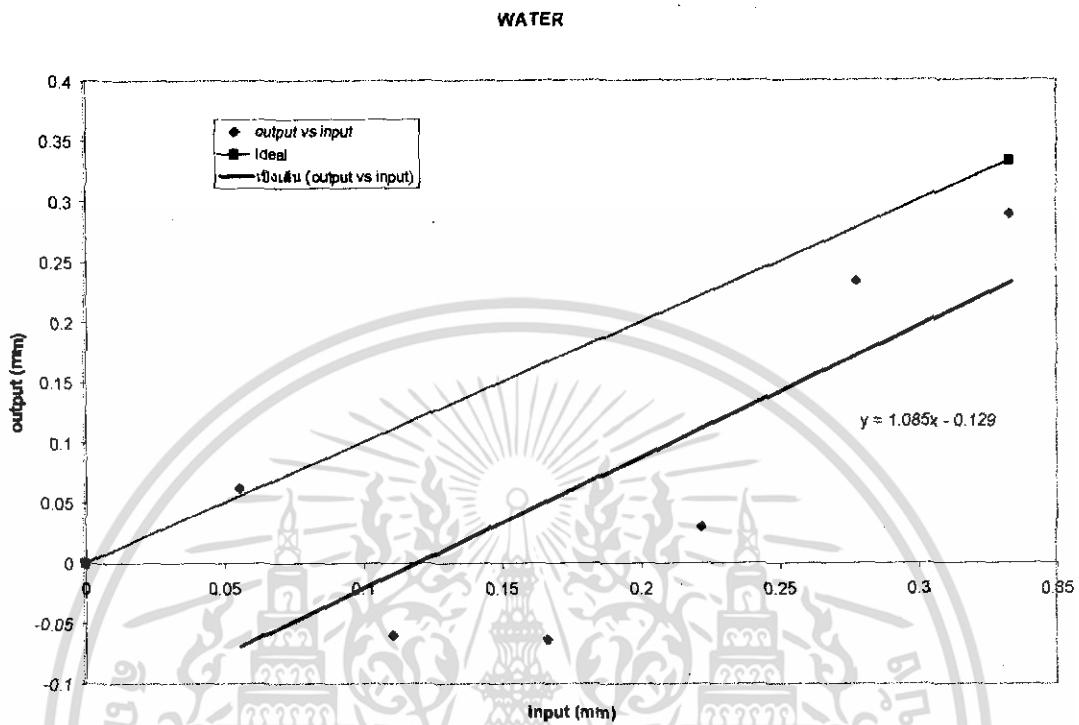
องศา	Input (mm)	Output (mm)
0	1.25	0.6528
10	1.30556	1.312
20	1.36111	1.19025
30	1.41667	1.18675
40	1.47222	1.28
50	1.5278	1.484
60	1.5833	1.539

3.4.2.2 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

องศา	Input (mm)	Output (mm)
0	0	-0.5972
10	0.05556	-0.062
20	0.1111	-0.05975
30	0.16667	-0.06325
40	0.2222	0.03
50	0.2778	0.234
60	0.333	0.289

3.4.2.3 กราฟแสดงผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟระหว่างผลการทดลองเมื่อนำค่ามาลบออกจากความหนาของแผ่นดิสก์ โดยใช้
ตัวกลางเป็นน้ำ

บทที่ 4

การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 4.1.1 ชุดทดลองข้อเข้ากระดูกเทียม
- 4.1.2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์
- 4.1.3 ไซโคป (Oscilloscope)
- 4.1.4 Power Supply
- 4.1.5 โต๊ะทดลอง (Visolator)
- 4.1.6 มอเตอร์
- 4.1.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 4.1.8 ชุดอุปกรณ์ Pneumatic

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 4.2.1 ตั้งเครื่องให้ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการ
- 4.2.2 ปรับตำแหน่งของเลเซอร์ให้ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการวัด คือ ที่ตำแหน่งของฐานรองรับ (Tibia) และตำแหน่งของข้อเข้าส่วนบน (Femur)
- 4.2.3 ใส่น้ำลงไปในส่วนของฐานรองรับ เพื่อเป็นสารหล่อลื่นในการทดลอง
- 4.2.4 ทำการจ่ายไฟเข้ามอเตอร์เพื่อเดินเครื่องให้เพลาลมุน
- 4.2.5 ทำการจ่ายแรงดันจาก ปุ่ม เข้ากระบอกสูบเพื่อใส่ภาระขึ้นต้นเข้าเพล
- 4.2.6 วัดความเร็วรอบของเพลาคด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ
- 4.2.7 วัดระยะห่างระหว่างข้อเข้าส่วนบนและส่วนล่างด้วยเลเซอร์
- 4.2.8 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟ
- 4.2.9 ทำการเปลี่ยนภาระขึ้นต้นและความเร็วรอบของเพลาในข้อ 4.2.5 และ 4.2.6 แล้วทำการทดลองในข้อ 4.2.7 และ 4.2.8
- 4.2.10 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อข้อเข้ากระดูกเทียม

4.3 ผลการทดลอง

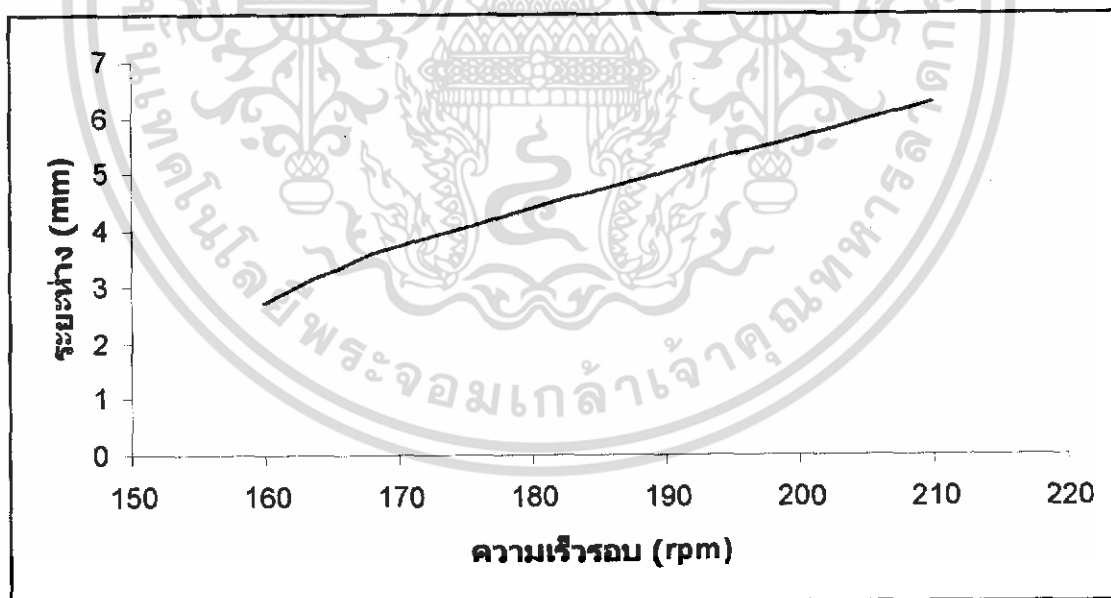
4.3.1 ทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระชั้นต้นมากระทำ

4.3.1.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระชั้นต้นมากระทำ

ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่อ่านได้ (volt)	ระยะห่างระหว่างข้อ (mm)
160	5.8	2.696
170	6	3.72
210	6.5	6.28

4.3.1.2 กราฟแสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระชั้นต้นมากระทำ

- สมการจากการทดลอง $y = 0.0695x - 8.2754$

จุดตัดแกน $y = - 8.2754$ และ slope = 0.0695

- สมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ $y = 0.8228x - 0.177$

จุดตัดแกน $y = - 0.177$ และ slope = 0.8228

- สมการทางทฤษฎี $y = x$

จุดตัดแกน $y = - 0$ และ slope = 1

เมื่อนำทั้งสามสมการมาคำนวณจะได้

ความชันของทฤษฎีเป็นอัตราส่วนกับสมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ

$$= \text{ความชันของทฤษฎี} / \text{ความชันของการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ}$$

$$= 1 / 0.8228 = 1.21536$$

- สมการในการทดลองที่ควรได้หากคิดจากผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ คือ

จะมีจุดตัดแกน y คือ $- 8.2754 + 0.177 = - 8.0984$

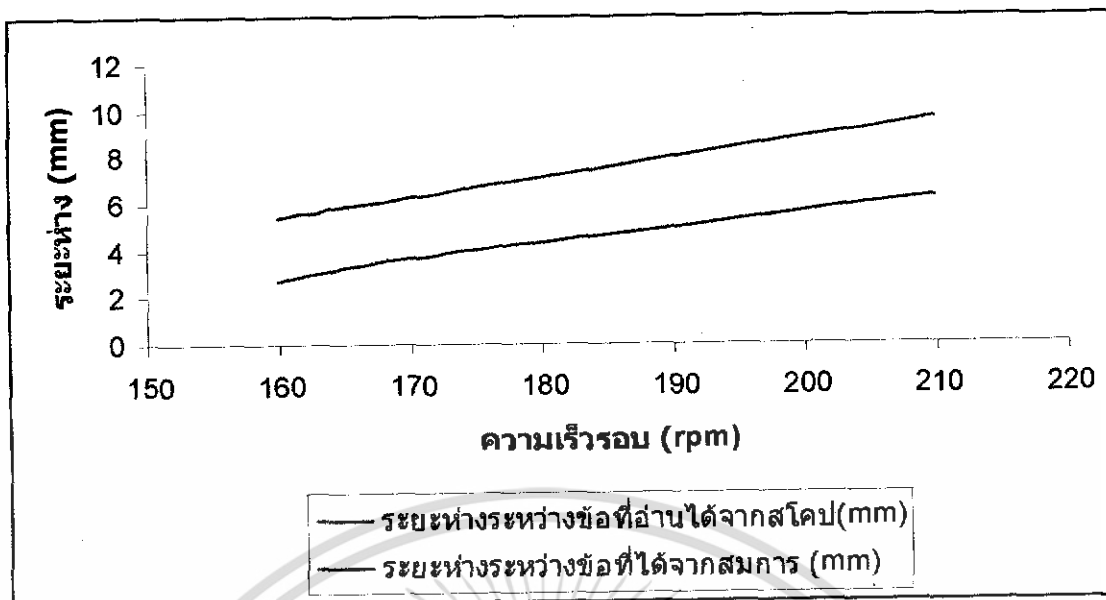
และมีความชัน คือ $1.2136 * 0.0695 = 0.0844675$

ดังนั้นสมการ คือ $y = 0.0844675x - 8.0984$

4.3.1.3 เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่อ่านได้จากสโคป (mm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่ได้จากสมการ (mm)
160	2.696	5.4164
170	3.72	6.26108
210	6.28	9.63978



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นอากาศและไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศ

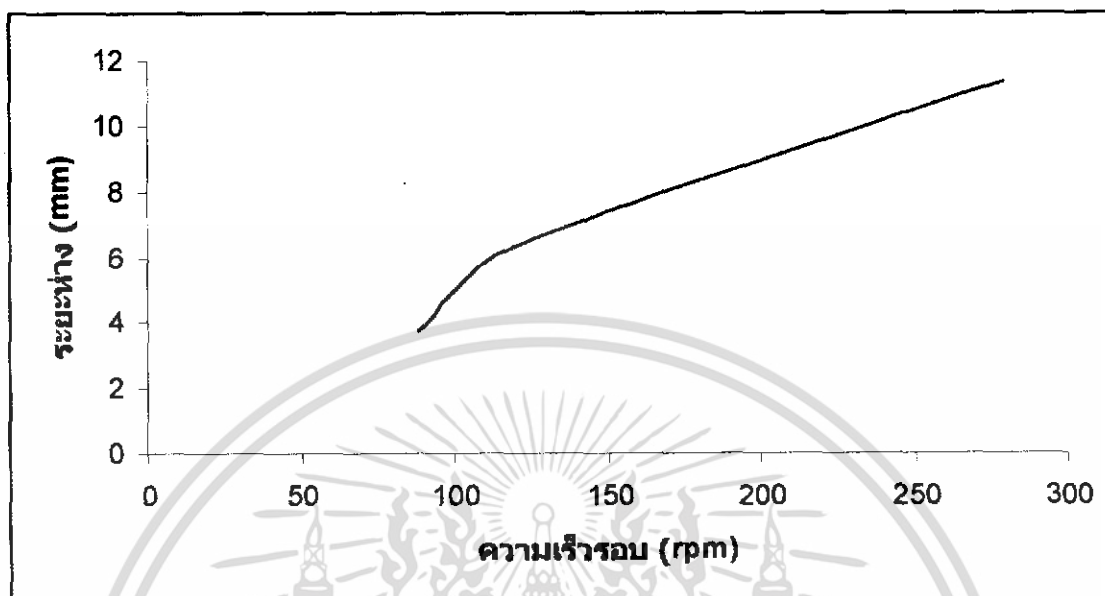
4.3.2 ทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ

4.3.2.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ

ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่อ่านได้ (volt)	ระยะห่างระหว่างข้อ (mm)
88.5	6	3.72
120.5	6.5	6.28
280	7.5	11.4

4.3.2.2 กราฟแสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระขั้นต้นมากระทำ

- สมการจากการทดลอง $y = 0.0375x - 1.0165$

จุดตัดแกน $y = -1.0165$ และ $\text{slope} = 0.0375$

- สมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ $y = 1.085x - 0.129$

จุดตัดแกน $y = -0.129$ และ $\text{slope} = 1.085$

- สมการทางทฤษฎี $y = x$

จุดตัดแกน $y = -0$ และ $\text{slope} = 1$

เมื่อนำทั้งสามสมการมาคำนวณจะได้

ความชันของทฤษฎีเป็นอัตราส่วนกับสมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ

$= \text{ความชันของทฤษฎี} / \text{ความชันของการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ}$

$= 1 / 1.085 = 0.921659$

- สมการในการทดลองที่ควรได้หากคิดจากผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ คือ

จะมีจุดตัดแกน y คือ $-1.0165 + 0.129 = -0.8875$

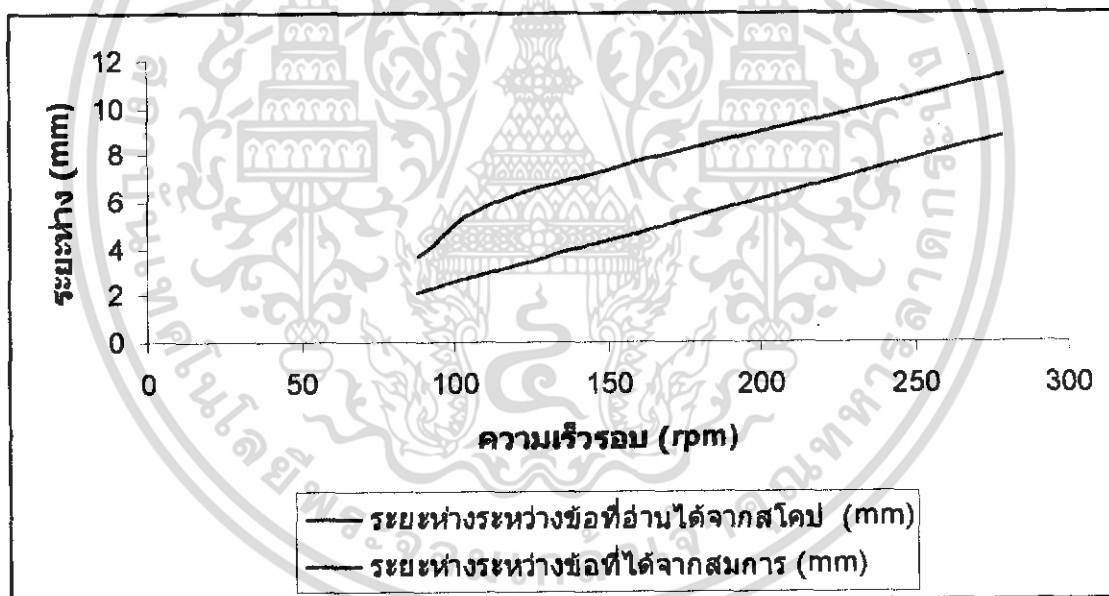
และมีความชัน คือ $0.921659 * 0.0375 = 0.0345622$

ดังนั้นสมการ คือ $y = 0.0345622x - 0.8875$

4.3.2.3 เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้
ตัวกลางเป็นน้ำ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระชิ้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผลของ
การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่อ่านได้จากสโคป (mm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่ได้จากสมการ (mm)
88.5	3.72	2.17125
120.5	6.28	3.27725
280	11.4	8.78992



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยไม่มีภาระชิ้นต้นมากระทำเปรียบเทียบกับผล
ของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

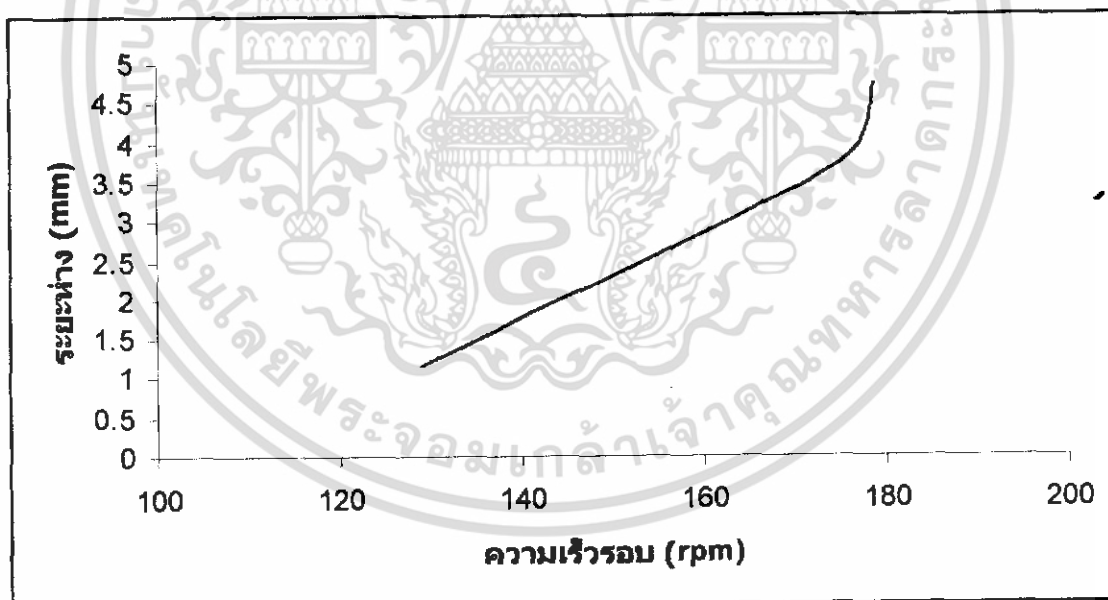
4.3.3 ทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากกระทำที่ 3 bar

4.3.3.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากกระทำที่ 3 bar

ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่อ่านได้ (volt)	ระยะห่างระหว่างข้อ (mm)
129	5.5	1.16
175.1	6	3.72
179.1	6.2	4.744

4.3.3.2 กราฟแสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระมากกระทำที่ 3 bar

- สมการจากการทดลอง $y = 0.0649x - 7.2385$

จุดตัดแกน $y = - 7.2385$ และ $\text{slope} = 0.0649$

- สมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ $y = 1.085x - 0.129$

จุดตัดแกน $y = - 0.129$ และ $\text{slope} = 1.085$

- สมการทางทฤษฎี $y = x$

จุดตัดแกน $y = - 0$ และ $\text{slope} = 1$

เมื่อนำทั้งสามสมการมาคำนวณจะได้

ความชันของทฤษฎีเป็นอัตราส่วนกับสมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ

$$= \text{ความชันของทฤษฎี} / \text{ความชันของการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ}$$

$$= 1 / 1.085 = 0.921659$$

- สมการในการทดลองที่ควรได้หากคิดจากผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ คือ

จะมีจุดตัดแกน y คือ $- 7.2385 + 0.129 = - 7.1095$

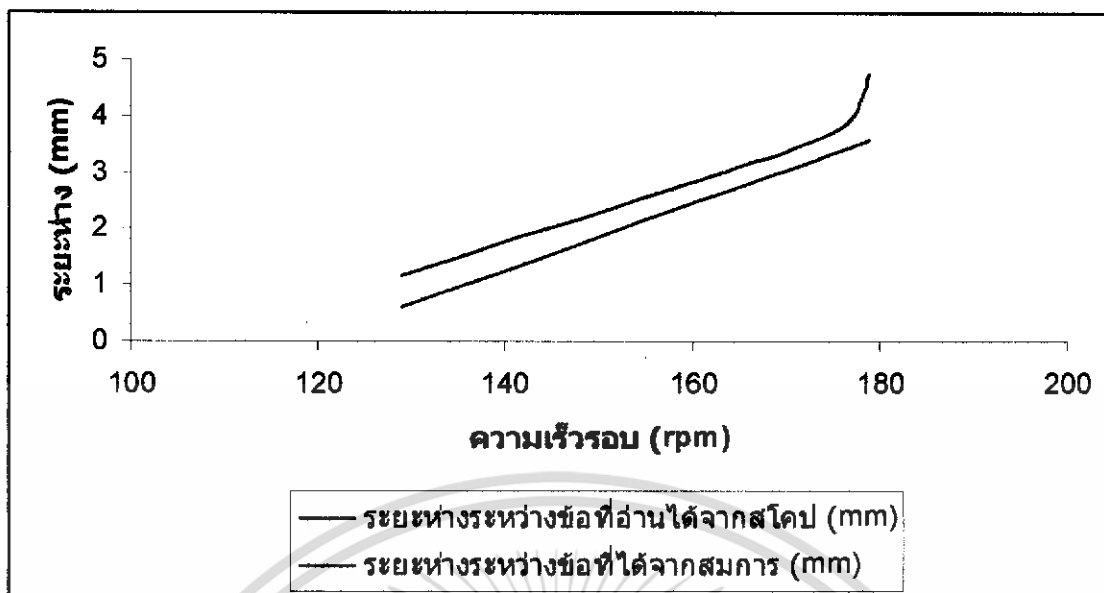
และมีความชัน คือ $0.921659 * 0.0649 = 0.0598157$

ดังนั้นสมการ คือ $y = 0.0598157x - 7.1095$

4.3.3.3 เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 3 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่อ่านได้จากสโคป (mm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่ได้จากสมการ (mm)
129	1.16	0.606725
175.1	3.72	3.36423
179.1	4.744	3.60349



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 3 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

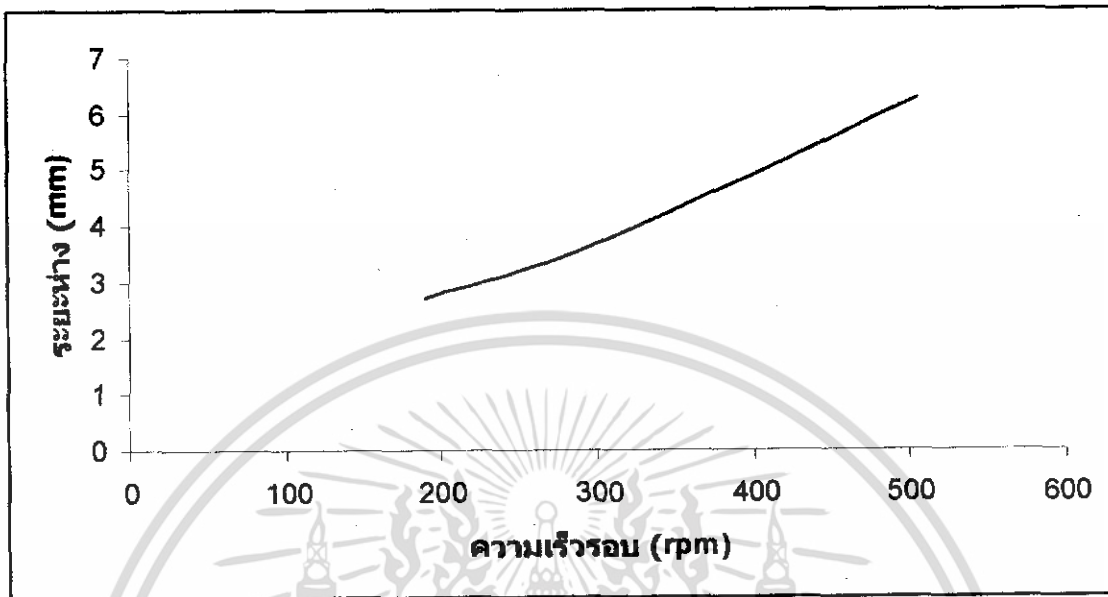
4.3.4 ทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar

4.3.4.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar

ความเร็วรอบ (rpm)	ค่าที่อ่านได้ (volt)	ระยะห่างระหว่างข้อ (mm)
191	5.8	2.696
305	7.5	3.72
507	8	6.28

4.3.4.2 กราฟแสดงผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar

- สมการจากการทดลอง $y = 0.0115x - 0.3886$
จุดตัดแกน $y = 0.3886$ และ slope = 0.0115
- สมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ $y = 1.085x - 0.129$
จุดตัดแกน $y = -0.129$ และ slope = 1.085
- สมการทางทฤษฎี $y = x$
จุดตัดแกน $y = -0$ และ slope = 1

เมื่อนำทั้งสามสมการมาคำนวณจะได้

$$\begin{aligned} \text{ความชันของทฤษฎีเป็นอัตราส่วนกับสมการจากการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ} \\ &= \text{ความชันของทฤษฎี} / \text{ความชันของการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือ} \\ &= 1 / 1.085 = 0.921659 \end{aligned}$$

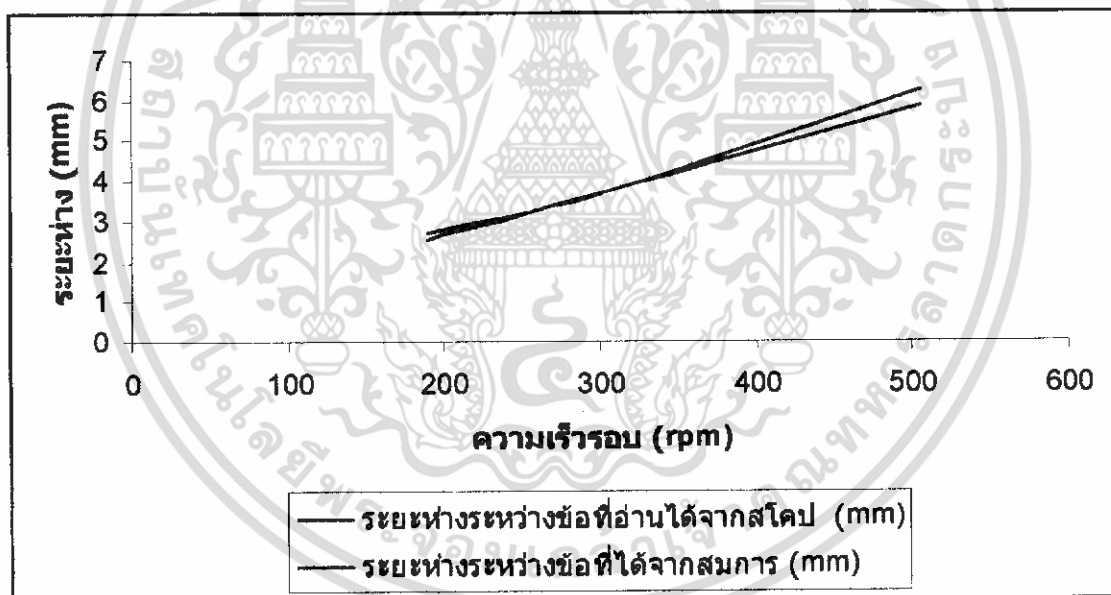
- สมการในการทดลองที่ควรได้หากคิดจากผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ คือ

$$\begin{aligned} \text{จะมีจุดตัดแกน } y \text{ คือ } & 0.3885 + 0.129 = 0.5175 \\ \text{และมีความชัน คือ } & 0.921659 * 0.0115 = 0.0105991 \\ \text{ดังนั้นสมการ คือ } & y = 0.0105991x + 0.5175 \end{aligned}$$

4.3.4.3 เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

ความเร็วรอบ (rpm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่อ่านได้จากสโคป (mm)	ระยะห่างระหว่างข้อที่ได้จากสมการ (mm)
191	2.696	2.54193
305	3.72	3.75023
507	6.28	5.89124



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดลองกับตัวกลางที่เป็นน้ำโดยมีภาระกระทำที่ 4 bar เปรียบเทียบกับผลของการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำ

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.4.1 การปรับตำแหน่งเลเซอร์มีผลโดยตรงต่อสัญญาณที่ได้ ในกรณีของการปรับตำแหน่งไม่ดี คือ สัญญาณของเลเซอร์ไม่ได้สะท้อนกลับหมดก็จะทำให้สัญญาณเปลี่ยนไปมาไม่คงที่ การอ่านสัญญาณทำได้ยากจึงต้องคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ย และผลที่ได้เกิดการผิดพลาดคลาดเคลื่อน

4.4.2 การหมุนของเพลลาทำให้ตำแหน่งของเลเซอร์เปลี่ยนแปลงเนื่องจากผิวสัมผัสของเพลลาไม่เรียบ ทำให้จุดตกกระทบของเลเซอร์เปลี่ยนตำแหน่ง เมื่อจุดตกกระทบของเลเซอร์มีการเปลี่ยนตำแหน่งก็ทำให้การสะท้อนของเลเซอร์หักเหไปจากเดิม ทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับไม่ 100% ค่าที่ได้จึงไม่สมบูรณ์

4.4.3 สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำ คุณสมบัติของน้ำในการหล่อลื่นไม่ดีเท่าสารหล่อลื่นที่มีในร่างกาย ซึ่งทำให้เกิดการหล่อลื่นได้เร็วกว่าความเป็นจริง ค่าที่ได้จากการทดลองจึงมากกว่าที่ควรเป็น

4.4.4 ความจำกัดในการหาอุปกรณ์ เพลลาที่ทำด้วยแก้วควรมีขนาดใหญ่กว่านี้ เพราะข้อเข้าของคนใหญ่กว่าเพลลาที่ใช้ทดลอง แต่เนื่องจากแก้วที่ผลิตออกมามีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่นำมาทดลองนี้ การใส่ภาระขั้นตอนในการทดลองจึงต้องลดลงด้วยเพื่อป้องกันเพลลาแตก ค่าต่างๆในการทดลองที่ได้กำหนดต้องเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองที่ได้จึงมีความคล้าของจริงแต่ไม่เหมือนกัน โดยตรง

4.4.5 การเลือกวัสดุในการทำเพลลา มีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุที่ใช้ในการทำข้อเข้าเทียม แต่เนื่องจากต้องมีการวัด โดยให้การสะท้อนของเลเซอร์เป็นส่วนสำคัญ จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่มีการสะท้อนของเลเซอร์ได้ดี เพื่อคำนึงถึงการวัดค่าที่มีประสิทธิภาพ แต่อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เพราะคุณสมบัติที่ไม่ตรงความเป็นจริงของวัสดุได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากโครงการเราสามารถสร้างชุดทดลองเพื่อวัดการหล่อลื่นเชิงทดลองของข้อเข้ากระดูกเทียมได้ และผลจากการทดลอง คือ จากการศึกษาโดยใช้สารหล่อลื่นที่เป็นอากาศและน้ำเราพบว่า สารหล่อลื่นที่มีความหนืดมากนั้นจะมีผลทำให้ขนาดความหนาฟิล์มนั้นมากขึ้นตามไปด้วย และปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขนาดความหนาของฟิล์มอีกก็คือ ความเร็วรอบของเพลลา และภาระขั้นต้น ซึ่งความเร็วรอบนั้นจะแปรผันตรงกับความหนาฟิล์ม กล่าวคือ ยิ่งความเร็วรอบมากขึ้นเท่าใด ความหนาฟิล์มก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ส่วนภาระขั้นต้นนั้นจะมีผลแปรผกผันกับความหนาฟิล์ม ยิ่งภาระขั้นต้นมากขึ้นเท่าใด ฟิล์มก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น ซึ่งจะเห็นผลกระทบได้จากกราฟ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้เราได้สร้างชุดทดลองข้อเข้ากระดูกเทียม โดยระบบในการทำการทดลองของเรามีอยู่หลายอย่าง ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ให้ทำการออกแบบชิ้นงานในแต่ละส่วน โดยใช้หลักวิชากลศาสตร์วัสดุ เพื่อให้ได้ชิ้นงานในแต่ละส่วนที่แข็งแรงเพิ่มขึ้น

5.2.2 การเลือกวัสดุ ควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงของจริงมากกว่าที่ได้ทดลอง เพื่อผลการทดลองจะเหมือนจริงมากขึ้น

5.2.3 การเลือกสารหล่อลื่น ควรเป็นสารหล่อลื่นที่หล่อลื่นได้ดีกว่าน้ำ และเป็นสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับร่างกายมากกว่าที่ทำ

5.2.4 ควรเพิ่มปัจจัยที่มีผลต่อการหล่อลื่นของข้อเข้ากระดูกเทียมมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ใกล้เคียงมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] นายแพทย์พิบูลย์ อธิระวิวงศ์, “กระดูก วัสดุชีวภาพ กลศาสตร์ชีวภาพ” : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, พ.ศ. 2547
- [2] รศ. วุฒิชัย กบิลกาญจน์, “กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องกล ” : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Physics Center.
- [3] Rihard Walker, “*Guide to the Human Body*”, A Dorlmg Kindersley Book, 2001
- [4] KV Company, “*Pneumatic Products*” : Products Catalgue, KV Company.

