

การวัดแรงกดบนผิววัสดุที่อ่อนนุ่มโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ Compressive Force Surface Measurement of Soft Materials using a Motion Control Instrument

นิธิ เหมวิล¹ และ สัจจาทิพย์ ทศนียพันธ์^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*E-mail: fengsjt@ku.ac.th, โทรศัพท์: 02 942 8555 ต่อ 1818, โทรสาร 02 579 4576

บทคัดย่อ

วัสดุต่างๆ ที่ใช้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ ย่อมมีความอ่อนนุ่มของผิวที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การนำมาใช้ในการกันกระแทกหรือลดแรงจากการชนกระแทก เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นหรืออ่อนนุ่มในการสัมผัส และการนำมาใช้เพื่อลดความเจ็บจากการกด เป็นต้น วัสดุอ่อนนุ่มเหล่านี้ ได้แก่ ยาง โฟม ฟองน้ำ รวมถึงผลไม้ ชิ้นผิวหนังและกล้ามเนื้อ การหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุอ่อนนุ่ม ทั้งแบบ Static และ Dynamic ต้องอาศัยอุปกรณ์วัดแรงและควบคุมการเคลื่อนที่ที่มีความละเอียดและแม่นยำ เนื่องจากระดับของแรงที่ต่ำบางครั้งสามารถทำให้เกิดการยุบตัวของวัสดุได้ง่าย ในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดแรงกดบนผิววัสดุที่อ่อนนุ่ม ที่สามารถควบคุมความเร็ว และระยะของการกด โดยสามารถวัดแรงกดได้ในช่วง 1 ถึง 20 นิวตัน เพื่อใช้เปรียบเทียบความอ่อนนุ่มของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง และใช้หาคุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้แรงกด โดยได้ทำการออกแบบเครื่องมือแล้วนำไปทดสอบกับวัสดุอ่อนนุ่ม 6 ชนิด ได้แก่ ยางลบ โฟมแผ่น จนวนยางหุ้มท่อ ฟองน้ำ โฟมหุ้มท่อ และซิลิโคน พบว่า สามารถวัดแรงกดบนผิววัสดุได้ทั้ง 6 ชนิด โดยฟองน้ำเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มมากที่สุด รองลงมาจะเป็น จนวนยางหุ้มท่อ โฟมหุ้มท่อ โฟมแผ่น และซิลิโคน ตามลำดับ ส่วนยางลบเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มน้อยที่สุด

คำหลัก: การวัดแรงกด วัสดุอ่อนนุ่ม อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

Abstract

The skin softness of material used in products is different. For the purpose of application such as the impact or reduce bumping, flexibility or soft touching, reduce pain from compression and so on. These include rubber, soft foam, sponge, fruit, skin and muscle. To determine the mechanical properties of soft materials require both static and dynamic compression and motion control with a resolution and precision. Because at very low level force, the materials can easily collapse. In this research, the instrument is designed to measure the compressive force on the surface of a material. It can control the speed and displacement of compression. The device can measure the compressive force in the range of 1 to 20 Newton. The application is to compare the softness of flexible material and to determine the

mechanical properties of materials under pressure. The instrument was designed and used to compress six types of material; they are rubber, foam sheets, pipe insulation, sponge, foam pipe insulation and silicone. We find that the instrument can measure the pressure on surface of all materials. Sponge is the softest; followed by pipe insulation, foam pipe insulation, foam sheets, silicone and rubber respectively.

Keywords: Compressive Force Measuring, Soft Material, Motion Control Instrument

1. บทนำ

ปัจจุบันมีวัสดุต่างๆ ที่ถูกประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมา มากมาย เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุอ่อนนุ่ม ที่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เพื่อกันการกระแทก หรือ ลดแรงจากการชนกระแทก เพื่อความรู้สึกยืดหยุ่นหรือ อ่อนนุ่มในขณะสัมผัส และเพื่อลดความเจ็บจากการกด [1] เป็นต้น การที่วัสดุอ่อนนุ่มแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ แตกต่างกัน การหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล่านี้ ทั้งแบบ Static และแบบ Dynamic [2] จึงต้องอาศัย อุปกรณ์วัดแรงกดและควบคุมการเคลื่อนที่ที่มีความ ละเอียดและแม่นยำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดแรงกดบนผิววัสดุที่อ่อน นุ่ม ที่สามารถควบคุมความเร็วและระยะของการกด และสามารถวัดแรงกดได้ เพื่อใช้วัดและเปรียบเทียบ ความอ่อนนุ่มของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง และใช้หา คุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้แรงกด แล้วนำไป ทดสอบกับวัสดุอ่อนนุ่ม เพื่อประเมินผล

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เครื่องมือวัด ระบบ การควบคุม การทำงานของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการวิจัย
2. ออกแบบเครื่องมือ ด้วยการเขียนแบบจำลอง โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)
3. สร้างเครื่องมือตามแบบจำลองที่เขียนไว้
4. สอบเทียบค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงกดกับแรง กดที่เกิดขึ้นจริง
5. ทำการทดลองกับวัสดุตัวอย่าง ได้แก่ ยางลบ โฟมแผ่น ฉนวนยางหุ้มท่อ ฟองน้ำ โฟมหุ้มท่อ และซิลิโคน

3. อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

การควบคุมความเร็วและระยะในการกด จะใช้ มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ โดย มอเตอร์ที่ได้เลือกมาใช้เป็นมอเตอร์ Cool Muscle ผลิตโดยบริษัท Muscle Corporation ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้นำคุณสมบัติพิเศษของ Servo Motor และ Stepping Motor มารวมเข้าไว้ด้วยกัน โดยนำเอา การเคลื่อนที่ของ Stepping Motor ซึ่งมีความละเอียด และมีกำลังในการขับเคลื่อนสูง แต่ไม่มีการ Feedback จึงนำ Encoder ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ Servo Motor มาใช้ทำให้มอเตอร์มีความละเอียดและแม่นยำสูงมาก และสามารถปรับแต่งความละเอียดได้ ภายในติดตั้ง CPU RISC ขนาด 32 Bit ซึ่งมีโปรแกรมควบคุมการ เคลื่อนที่ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้า กระแสตรง 24 V ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ถึง 3000 รอบ ต่อนาที และเป็นการควบคุมแบบ Closed Loop

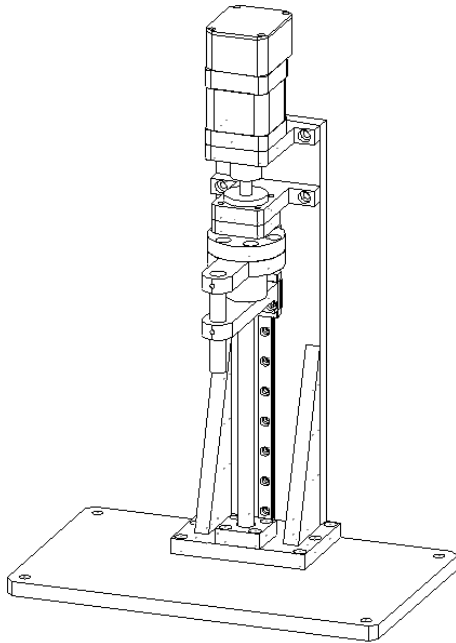


รูปที่ 1 มอเตอร์ Cool Muscle

ในส่วนของอุปกรณ์ขับเคลื่อนหวักดให้เคลื่อนที่ขึ้น หรือลงนั้น ใช้ Ball Screw ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm และระยะ lead เท่ากับ 4 mm เป็นอุปกรณ์ ขับเคลื่อน

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วน มาติดตั้งกับโครงสร้าง แล้ว จะได้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ที่มีลักษณะดัง รูปที่ 2 โดยภาพบนเป็นภาพของการออกแบบชุด

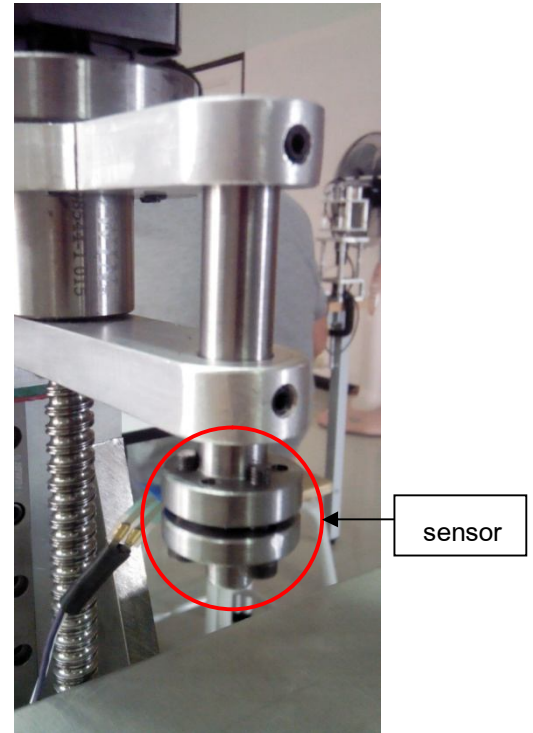
อุปกรณ์ด้วย CAD และภาพล่างเป็นอุปกรณ์ที่
ประกอบเรียบร้อยแล้วพร้อมใช้งาน



รูปที่ 2 แบบ CAD ของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่
(ภาพบน) และที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว (ภาพล่าง)

4. อุปกรณ์วัดแรงกด

อุปกรณ์วัดแรงกดหรือ Force Sensor [3] ได้
ออกแบบโดยติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกดที่ตำแหน่งของ
หัวกด ดังรูปที่ 3



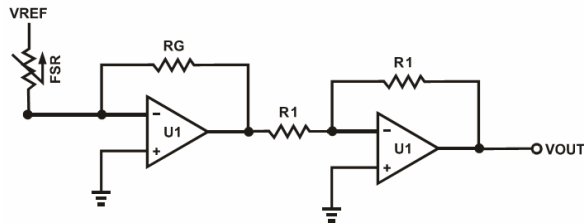
รูปที่ 3 หัวกดที่ติดตั้งเซนเซอร์แล้ว

เซนเซอร์ตรวจวัดแรงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็น
ประเภทตัวต้านทานซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ที่มี
ความต้านทานลดลงเมื่อมีแรงมากระทำ เซนเซอร์ชนิด
นี้เรียกว่า Force Sensing Resistor (FSR) [4] เหตุผล
ที่เลือกใช้เซนเซอร์ชนิดนี้เพราะมีราคาถูกและหาซื้อได้
ภายในประเทศ เซนเซอร์ที่ใช้มีลักษณะดังรูปที่ 4



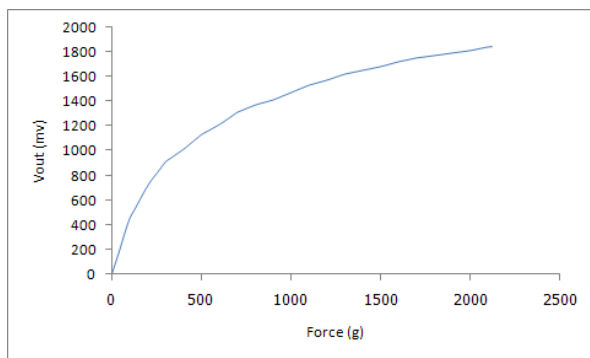
รูปที่ 4 Force Sensing Resistor

เนื่องจากเซนเซอร์ FSR มี output เป็นความต้านทานไฟฟ้า จึงต้องออกแบบวงจรขยายสัญญาณเพื่อแปลงค่าความต้านทานเป็นสัญญาณความต่างศักย์ [5] วงจรที่ได้ออกแบบไว้มีลักษณะดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรขยายสัญญาณ

เมื่อต่อเซนเซอร์วัดแรงกดเข้ากับวงจรเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ADAM รุ่น PGL2002 ผลิตโดยบริษัท Adam Equipment ซึ่งมีความละเอียด 0.01 g เป็นอุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบ โดยรูปที่ 6 แสดงกราฟของผลการสอบเทียบ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับเซนเซอร์วัดแรงกดกับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

กราฟในรูปที่ 6 ได้นำมาใช้หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด กับค่าความต่างศักย์ เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยจึงได้แบ่งกราฟออกเป็น 4 ช่วงตามค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยฟังก์ชันของทั้ง 4 ช่วงมีดังนี้

ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ $v = 0$ ถึง 527.0 mv

$$F(v) = -(9.74 \times 10^{-15} v^6) + (1.77 \times 10^{-11} v^5) - (9.93 \times 10^{-9} v^4) + (2.16 \times 10^{-6} v^3) - (1.86 \times 10^{-4} v^2) + (2.27 \times 10^{-1} v) \quad (1)$$

ช่วงที่ 2 ตั้งแต่ $v = 527.0$ ถึง 942.3 mv

$$F(v) = (1.10 \times 10^{-10} v^5) - (3.99 \times 10^{-7} v^4) + (5.75 \times 10^{-4} v^3) - (4.11 \times 10^{-1} v^2) + (1.46 \times 10^2 v) - (2.03 \times 10^4) \quad (2)$$

ช่วงที่ 3 ตั้งแต่ $v = 942.3$ ถึง 1394.6 mv

$$F(v) = (1.64 \times 10^{-10} v^5) - (9.40 \times 10^{-7} v^4) + (2.15 \times 10^{-3} v^3) - (2.46 v^2) + (1.40 \times 10^3 v) - (3.16 \times 10^5) \quad (3)$$

ช่วงที่ 4 ตั้งแต่ $v = 1394.6$ ถึง 1842.1 mv

$$F(v) = -(4.89 \times 10^{-9} v^4) + (3.77 \times 10^{-5} v^3) - (1.02 \times 10^{-1} v^2) + (1.20 \times 10^2 v) - (5.12 \times 10^4) \quad (4)$$

โดยที่ F คือ แรงกดที่วัดได้มีหน่วยเป็น g และ v คือ ความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (mv)

5. ผลการทดลอง

นำอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ไปทดสอบกดวัสดุอ่อนนุ่มชนิดต่างๆ ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ โฟมแผ่น ฟองน้ำ ซิลิโคน โฟมหุ้มท่อ ฉนวนยางหุ้มท่อ และยางลบ (ดังแสดงในรูปที่ 7) โดยใช้หัวกดแบบปลายเรียบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ได้ผลการทดลองสรุปได้ตามตารางที่ 1



รูปที่ 7 วัสดุอ่อนนุ่มชนิดต่างๆ ที่นำมาทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้กดวัสดุอ่อนนุ่มชนิดต่าง ๆ ที่ระยะการกดต่างๆ (หน่วย: g)

ระยะกด (mm)	ยางลบ	โฟมแผ่น	ฉนวนยางหุ้มท่อ	ฟองน้ำ	โฟมหุ้มท่อ	ซิลิโคน
1	556.62	171.46	17.43	10.38	19.76	305.23
2	1496.81	413.49	47.49	19.41	67.32	1115.47
3	-	605.20	106.54	30.05	150.55	-
4	-	695.78	193.82	45.68	300.41	-
5	-	855.25	291.97	62.65	513.09	-
6	-	1189.07	535.23	81.66	777.63	-
7	-	1568.33	716.58	111.45	1098.83	-
8	-	-	1069.50	135.64	1590.11	-
9	-	-	1499.27	159.27	-	-
10	-	-	-	189.75	-	-

จากตารางพบว่ายางลบและซิลิโคน อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ไม่สามารถกดได้มากกว่า 3 mm เพราะอุปกรณ์วัดแรงกดสามารถวัดแรงกดได้สูงสุดเพียง 20 N หรือประมาณ 2000 g เท่านั้น ทำนองเดียวกัน โฟมแผ่น โฟมหุ้มท่อ ฉนวนยางหุ้มท่อ อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ไม่สามารถกดได้มากกว่า 9 mm ยกเว้นฟองน้ำเท่านั้น ที่สามารถกดได้ถึงระยะ 10 mm จะเห็นว่าเครื่องมือที่ออกแบบนี้ สามารถใช้วัดแรงกดในช่วง 1 ถึง 20 N ได้ และพบว่าฟองน้ำเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มมากที่สุด

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สามารถวัดแรงกดบนผิววัสดุตัวอย่างที่ได้นำมาทดลองได้ โดยสามารถวัดได้ในช่วง 0 ถึง 20 N สามารถควบคุมระยะการเคลื่อนที่ได้ 0 ถึง 140 mm และความเร็วสูงสุด 100 mm/sec จากการนำวัสดุที่อ่อนนุ่มมาทดสอบพบว่าฟองน้ำเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มมากที่สุด รองลงมาจะเป็น ฉนวนยางหุ้มท่อ โฟมหุ้มท่อ โฟมแผ่นและ ซิลิโคน ตามลำดับ ส่วนยางลบเป็นวัสดุที่มีความอ่อนนุ่มน้อยที่สุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยการออกแบบทางกลและผลิตภัณฑ์ (MPDRL) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บางเขน ที่ได้เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษกร เขาทอง (2551). การวิเคราะห์ระดับความรู้สึกเจ็บจากการกดบนผิวหนังโดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์, กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] Thusneyapan, S. and Khaothong, K. (2008). Methods for Evaluating the Pain on Skin under Compression, paper presented in *The 5th Thailand Materials Science and Technology Conference (MSAT5)*, Bangkok, Thailand.
- [3] พจนาฏ สุวรรณมณี (2545). เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- [4] ณัฐชัย ประดิษฐ์วงศ์กุล (2551). การคำนวณหาแรงกระทำต่อแขนกลและมือจับเพื่อประยุกต์ใช้งาน, กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] สมหวัง อริสริยวงศ์, สราวุฒิ สิริเกษมสุข และอนุวัฒน์ บำรุงกิจ (2549). การทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา