

อิทธิพลตัวของแปรการผลิตที่ส่งผลต่อสมบัติการใช้งานปุ่มกด

Effect of Manufacturing Factors on Working Properties of Silicone Keypads

ภักกัญญา ประตา

Phakkanya Prata

นักศึกษานิพนธ์ปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาการศึกษาเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. คมสัน จิระภักดิ์ศิลป คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Graduate student in Master of Science in Industrial Education of Production Technology Education Faculty, King Mongkut's
University of Technology Thonburi, Prachaautid Rd., Bang Mot, Thung Khru, Thailand 10140

Thesis Advisor Assoc Prof. Komsan Jirapattarasin Master of Science in Industrial Education of Production Technology Education
Faculty, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Prachaautid Rd., Bang Mot, Thung Khru, Thailand 10140

*Corresponding author, E mail: Prata-pp@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการผลิตที่ส่งผลต่อสมบัติการใช้งานของปุ่มกดซิลิโคน ได้แก่ แรงกด ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส และแรงคืนกลับ ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3³ การทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน (Shore) และ เวลาอบ (นาท) โดยแต่ละตัวแปร แปรค่าออกเป็นตัวแปรละ 3 ระดับ ดังนี้ ชนิดของยางซิลิโคน ที่ VMQ normal grade, VMQ high grade และ MQ ความแข็งของยางซิลิโคน ที่ 50, 60 และ 70 Shore และ เวลาอบ ที่ 120, 180 และ 240 นาท ผลการทดลองพบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงกด ได้แก่ ตัวแปรร่วม ระหว่าง ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน และเวลาอบ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ตัวแปรการที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองต่อการสัมผัส คือตัวแปรการผลิตหลักทั้งหมด ได้แก่ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน และเวลาอบ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ส่วนตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงคืนกลับ ได้แก่ ตัวแปรร่วม ระหว่าง ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน และเวลาอบ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

คำสำคัญ: ปุ่มกดยางซิลิโคน แรงกด ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส แรงคืนกลับ

Abstract

The purpose of this research was to study manufacturing factors that affect actuation force, snap and return force of silicone keypad. Factorial design experiment was applied with three interested factors, which were grade, hardness and time. Each factor was treated under three levels. Results revealed factors that affected pressure on silicone keypad were grade, hardness, and time with significantly different actuation force at the level of .05. The factors that affected keypad response were grade, hardness, and time with significantly different snap at the level of .05. Finally, factor that affected the return force was interaction effect between grade, hardness, and time with significant difference of .05.

Keywords: Silicone Keypad, Actuation force, Snap, Return force

1. บทนำ

ปุ่มกดซิลิโคนหรือปุ่มกดอีลาสโตเมอร์มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีที่ใช้การบีบอัดยางซิลิโคนขึ้นรูปไปรอบๆจุดศูนย์กลางของสวิตช์ เพื่อความสม่ำเสมอของความหนาของรูปทรงปุ่มกด ที่มีผลต่อการการใช้งาน เมื่อนำความดันออก โครงสร้างของปุ่มกดจะกลับมามีตำแหน่งปกติ เพื่อที่เวลากดสวิตช์ตัวสื่อกระแสไฟฟ้า (pill) จะอยู่บนตำแหน่งกึ่งกลางพอดีกับแผงวงจร (PCB) การตอบสนองต่อการสัมผัส/การใช้งาน (tactile response) จะมีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบของโครงสร้างของปุ่มกดและความหนาของโครงสร้างหรือความแข็งที่แตกต่างกันของยางซิลิโคน ระยะการกดของปุ่มกดสามารถมีความยาวได้มากกว่า 3 มม. และสามารถให้แรงตอบสนองต่อการสัมผัสได้ถึง 500 กรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของปุ่มกด สแนป (snap) หมายถึงเป็นการตอบสนองการกดความรู้สึกตอนกดปุ่มที่แต่ละระยะจะใช้แรงไม่เท่ากันเหมือนว่าปุ่มกดมีแรงดันกลับมา กำหนดโดยผู้ใช้ อัตราส่วนของค่าสแนปที่แนะนำต่อการออกแบบคือ 40% - 60% ถ้าต่ำกว่า 40%

ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสของปุ่มกดจะลดลงแต่ระยะเวลาการใช้งานจะนานขึ้น คำนวณค่าสแนป (snap)
$$= \frac{(\text{แรงกด} - \text{แรงสัมผัส})}{\text{แรงกด}} \times 100\%$$
 , (http://en.wikipedia.org/wiki/Silicone_rubber_keypad) ดิก (clicky) เป็นเสียงที่ไม่ได้เกิดจากการกระแทกปุ่มลงไปจนสุด ไม่ว่ากดเบาหรือกดแรงจะมีช่วงหนึ่งที่มีเสียงดิก ออกมา บางทีอาจทำให้รำคาญได้แต่ข้อดีทำให้รู้ว่าเราได้กดลงไปถึงจุดที่ทำงานแล้ว, แรงกด (actuation force) คือน้ำหนักที่ใช้ในการกดมีหน่วยวัดเป็น นิวตันหรือกรัม (1 นิวตัน = 100 กรัม, ระยะกด (key travel) คือระยะของปุ่มที่เลื่อนลงไปจะมีอยู่ 2 ระยะคือระยะที่กดแล้วปุ่มทำงานกับระยะที่กดไปจนมิด, แรงดัดกลับ (return force) มีความสำคัญสำหรับการเริ่มการตั้งค่าใช้งานของปุ่มกด แรงดัดกลับควรจะมีค่าไม่น้อยกว่า 0.3 นิวตัน ถ้าจุดทำงาน แรงกด (actuation force) กับ จุดแรงดัดกลับ (return force) ใกล้เคียงกันจะทำให้กดทำงานซ้ำๆๆ ได้รวดเร็ว ถ้าจุดหยุดทำงาน (return force) อยู่ห่างจากจุดทำงาน แรงกด (actuation force) มาก ต้องปล่อยปุ่มจนเกือบหมดถึงจะกดต่อได้ การออกแบบที่ต่างกันหรือความแข็งของยางซิลิโคนที่ต่างกัน สมบัติพื้นฐานของยางซิลิโคนที่ต่างกันเป็นไปได้อาจของ snap, แรงกด มีความแตกต่างกันออกไป (CMDEVHUB,2012)

การทำงานของปั๊มกดซิลิโคน ภายใต้อัตโนมัติของปั๊ม กดจะมีชุดแผงวงจร ที่จะติดต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ที่จะช่วยส่งแรงกระตุ้นเมื่อมีการกดปั๊ม เมื่อกดปั๊มส่วนหนึ่งของปั๊มกด(membrane) จะงอ เมื่อกดมากพอที่จะทำให้ตัวสื่อกระแสไฟฟ้า (pill) คาร์บอนฟิว (carbon pill) หรือโกลด์ฟิว (gold pill) บนปั๊มกดสัมผัสกับแผงวงจรทำให้เกิดเป็นวงจรการทำงานที่สมบูรณ์ ปั๊มกดเหล่านี้มีหลักการการทำงานที่ง่ายมีประสิทธิภาพและทนทาน ซึ่งแตกต่างจากอุปกรณ์อื่น ข้อมูลอื่นๆ(Silicone Dynamic,2014) จึงมีการใช้งานปั๊มกดในอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆมากมาย เช่น ปั๊มกดในแผงควบคุมในรถยนต์, ปั๊มกดรีโมทคอนโทรล, เครื่องเล่น mp3, mp4, ปั๊มกดในเครื่องวัดอุณหภูมิ, อุปกรณ์สื่อสารต่างๆเช่น โทรศัพท์ แต่ด้วยตัวแปรที่ใช้ในการผลิตปั๊มกด เช่น ยางซิลิโคน มีราคาค่อนข้างสูง ประกอบกับความต้องการการใช้งานที่หลากหลาย ผู้ผลิตจำเป็นต้องเข้าใจว่าตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการผลิตนั้นมีความสัมพันธ์กับสมบัติการใช้งานปั๊มกดอย่างไรบ้าง เพื่อให้การผลิตเป็นไปตามความต้องการการใช้งาน

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของอิทธิพลตัวแปรการผลิต ประกอบด้วย ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งแรงของยางซิลิโคน และเวลาอบ ว่ามีผลต่อสมบัติการใช้งาน ประกอบ แรงกด ค่าตอบสนองการสัมผัส และ แรงคืนกลับ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาตัวแปรการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติการใช้งานตามต้องการ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาตัวแปรการผลิตที่มีผลต่อ แรงกด ค่าตอบสนองการสัมผัส และแรงคืนกลับ ได้แก่ ชนิดของยางซิลิโคน ระดับความแข็งแรงของยางซิลิโคน และเวลาอบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ยางซิลิโคนไวนิลเมทิลว (Vinyl-methyl-silicone, VMQ) เกรดทั่วไปจากบริษัท Dow Coning Toray Co.,Ltd. ซิลิโคนเกรดนี้มีซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) หรือ ไมโครซิลิกา (Micro silica) เป็นขบวนการ Reduction จาก Quartz ที่บริสุทธิ์ไปเป็น Silicon โดยวิธี Electric Arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2000°C (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2550) เป็นสารตัวเติม ฟุ้งซิลิกาเมื่อนำมาเป็นตัวเสริมแรงในยางซิลิโคน ควบคุมความหนืดของยางซิลิโคน เพิ่มความทนทานต่อร่องผิวยางซิลิโคน ข้อเสีย จะมีการหดตัวของยางสูง ใช้พลังงานมากในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อผลิตกันชนยางนั้นมีการใช้งานแบบพลวัต (dynamic)

3.1.2 ยางซิลิโคนไวนิลเมทิลว (vinyl-methyl-silicone, VMQ) เกรดพิเศษจากบริษัท HRS Co.,Ltd ซิลิโคนเกรดนี้มีพริซิพิเทตซิลิกา ผลิตโดยการตกตะกอนจากปฏิกิริยา acidulation ระหว่างสารละลายโซเดียมซิลิเกตกับกรดซัลฟูริก หลักเกี่ยวกับการกวนที่อุณหภูมิสูง ตะกอนสีขาวที่เกิดขึ้นจะถูกกรองล้างและแห้งในกระบวนการผลิต (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2550) พริซิพิเทตซิลิกา เมื่อนำมาเสริมแรงในยางซิลิโคน ยางซิลิโคนจะมีการหดตัวน้อยและใช้พลังงานน้อยในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อผลิตกันชนยางนั้นมีการใช้งานแบบพลวัต (dynamic)

3.1.3 ยางซิลิโคนเมทิลว (Methyl silicone, MQ) จากบริษัท Shin-Etsu Chemical Co., Ltd. ไโดเมทิลซิลิโคน (MQ) ยางซิลิโคนเกรดที่มีการใช้งานมากที่สุด ซึ่งมีหมู่ R เป็นหมู่เมทิลในสายโซ่โมเลกุลเท่านั้น (ชญาภา นิ่ม

สุวรรณ,2551) มีสารเสริมแรงเป็นซิลิกาบริสุทธิ์ (Shin-Etsu Chemical, (2005),

3.1.4 ตัว เร่ง ปฏิกิริยา 2.5 dimethyl-2.5 bis (tertiarybutylperoxy) จาก บริษัท Shin-Etsu Chemical Co., Ltd. สำหรับผสมกับซิลิโคนใส

ชนิดของซิลิโคนที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นซิลิโคนที่คอมปาวด์สำเร็จรูปมาแล้วจากบริษัทที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยสมบัติซิลิโคนแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของยางซิลิโคนที่นำมาใช้ในการทดลอง(Dow Coning Toray, HRS, Shin-Etsu Chemical, 2014)

Grade	Typical Properties	Testing Result	
		50 shore	70 shore
VMQ	Appearance	Clear	Clear
Normal grade	Tensile strength (MPa)	3.3	3.6
	Tear strength (kN/m)	10.0	9.2
	Elongation (%)	335	375
VMQ	Appearance	Clear	Clear
High grade	Tensile strength (MPa)	10.4	11.0
	Tear strength (kN/m)	16.9	19.2
	Elongation (%)	360	380
MQ	Appearance	Clear	Clear
	Tensile strength (MPa)	3.3	3.6
	Tear strength (kN/m)	16	23
	Elongation (%)	530	570

3.2 ออกแบบการทดลอง

ทำการทดลอง 3 ตัวแปร คือ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน และเวลาอบ โดยแต่ละตัวแปร มีการปรับเงื่อนไข 3 ระดับ และจะทำการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง แบบ Full factorial แล้วแต่การทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองทั้งหมด

54 การทดลอง โดยกำหนดตัวแปรต้นประกอบไปด้วย ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน (Shore และ เวลาที่ใช้ในการอบหลังการวัลคาไน (post cure) ที่อุณหภูมิ 200°C (นาที่) โดยกำหนดระดับของตัวแปร ชนิดของยางซิลิโคน ที่ VMQ normal grade, VMQ high grade และ MQ ความแข็งของยางซิลิโคน ที่ 50 , 60 และ 70 Shore เวลาอบที่ 120, 180 และ 240 นาที่ โดยค่าตอบสนองของการทดลองคือ แรงกด ,ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส และแรงดีดกลับ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในการทดลอง) (กาญจน์,2556)

3.3 เตรียมชิ้นงานทดลอง

3.3.1 นำยางซิลิโคน 1 กิโลกรัมผสมเข้ากับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) 15 กรัม (ที่ความแข็ง 60 Shore จะผสมยางที่สัดส่วนยางซิลิโคนความแข็ง 50 Shore 0.5 กิโลกรัมต่อซิลิโคนความแข็ง 70 Shore 0.5 กิโลกรัมกับสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) 15 กรัม) ด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (two roll mill) จากนั้นนำยางซิลิโคนที่ผสมเสร็จแล้วไปอัด specimen เพื่อวัดความแข็งของยางซิลิโคนด้วยเครื่องวัดความแข็งยาง (Hardness Tester) ในสเกลของ ชอร์ เอ

3.3.2 นำยางซิลิโคนที่ผสมเสร็จแล้วและผ่านการวัดความแข็งจากข้อ 3.3.1 มาตัดให้ได้ขนาดความกว้าง 1.5 มม. ยาว 4.5 มม. สูง 4 มม. ด้วยคัตเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดทศนิยม หนึ่งตำแหน่งให้ได้น้ำหนักที่ 4.5 กรัม

3.3.3 ขึ้นรูปชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบไฮดรอลิกสัณฐานแรงอัด 200 ตัน ปรับตั้งพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานมาวางลงไปในบนโมลที่มีขนาด 250x250 ซม. จำนวน 1 cavity / โมล ก่อนนำชิ้นยางซิลิโคนไปวางบนโมล จะวางตัวสื่อกระแสไฟฟ้า(contact pill) ลงไปบน โมลในตำแหน่งของ pill (ขนาดของตัวสื่อ

กระแสไฟฟ้า ϕ 3 มม. หนา 0.45 ความต้านทาน น้อยกว่า 1 โอห์ม)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ปรับตั้งค่าเครื่องอัดยางแบบไฮดรอลิกส์

ความหมาย	ค่าปรับตั้ง
อุณหภูมิโบลบน	170+/-5°C
อุณหภูมิโบลล่าง	170+/-5°C
แรงอัด	100
เวลาอบ	150 sec

3.3.4 นำชิ้นงานทดลองมาอบต่อหลังการวัลคาร์ไนในตู้อบโดยปรับเวลาการอบตามการออกแบบการทดลอง

3.3.5 นำชิ้นงานที่อบแล้วมาแกะขอบบาเรียวออกและแกะส่วนที่ไม่ใช่ตัวงานออก

3.3.6 นำชิ้นงานมาวัดหาค่า แรงกด ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส แรงดัดกลับ ด้วยเครื่อง Load Tester Machine จากบริษัท Zwick Roell Manufacture รุ่น 187498/2009 แต่ด้วยตัวปั๊มกดซิลิโคนอาจจะมีการสึกหรอ (Spigot) ขึ้นออกมาและตามข้อกำหนดการวัดชิ้นงานจะต้องราบเรียบไปกับแท่นวัดงาน ดังนั้นจึงต้องมีจิ๊กสำหรับวัดงาน โดยกำหนดพารามิเตอร์เครื่อง Load taster ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ปรับตั้งค่าเครื่อง Load taster

ความหมาย	ค่าปรับตั้ง
Actuation	6 mm.
Move speed	150 mm./min
Max load	5 N
Test speed	50 mm./min
Empty press	3 time

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองทั้ง 54 การทดลองถูกแสดงตามตารางที่ 4 (กำหนดให้ A = VMQ normal grade, B = VMQ high grade , C = MQ) และวิเคราะห์หาค่าการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ พบว่าค่าตัวแปรตาม คือ แรงกด ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส และ แรงดัดกลับ มีการแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณาจาก ค่า P – value มีค่ามากกว่า .05 ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3 (P – value คือโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน จะนำค่า P – value ไปเทียบกับค่า ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ถ้า P – value > ค่าระดับนัยสำคัญ = ยอมรับสมมติฐานหลัก , P – value < ค่าระดับนัยสำคัญ = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (กาญจนา, 2556))

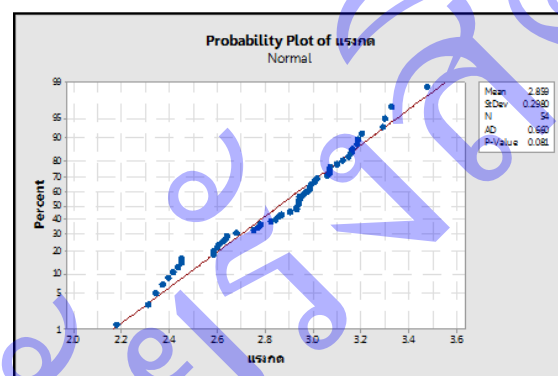
ตารางที่ 4 ผลการทดลอง

ตัวแปรการทดลอง					
ชนิดของยางซิลิโคน	ความแข็งของยางซิลิโคน (ShoreA)	เวลาอบ (200°C) (นาที)	แรงกด (นิวตัน)	ค่าตอบสนองการสัมผัส (%)	แรงดัดกลับ (นิวตัน)
A	50	120	2.640	37.66	1.038
A	50	120	2.584	37.58	1.034
A	50	180	2.626	37.55	1.063
A	50	180	2.610	37.47	1.060
A	50	240	2.780	37.20	1.138
A	50	240	2.637	37.54	1.087
A	60	120	3.014	37.48	1.245
A	60	120	3.069	37.42	1.266
A	60	180	3.073	35.73	1.263
A	60	180	3.124	37.90	1.310
A	60	240	3.184	37.94	1.301
A	60	240	3.164	37.39	1.297
A	70	120	3.068	36.31	1.319
A	70	120	3.158	36.42	1.334
A	70	180	3.202	36.41	1.330
A	70	180	3.477	36.27	1.353
A	70	240	3.326	32.83	1.356
A	70	240	3.300	38.42	1.361

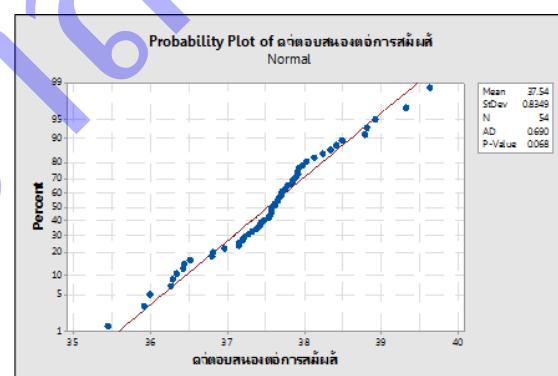
ตัวแปรการทดลอง					
ชนิดของซิลิโคน	ความแข็งของยางซิลิโคน (Shore A)	เวลาอบ (200°C) (นาที)	แรงกด (นิวตัน)	ค่าตอบสนองการสัมผัส (%)	แรงดัดกลับ (นิวตัน)
B	50	120	2.396	40.89	1.099
B	50	120	2.417	37.44	1.101
B	50	180	2.454	38.14	1.107
B	50	180	2.437	37.92	1.103
B	50	240	2.602	37.15	1.120
B	50	240	2.452	37.57	1.119
B	60	120	2.938	37.15	1.313
B	60	120	2.930	38.14	1.348
B	60	180	2.960	36.96	1.400
B	60	180	2.943	37.44	1.430
B	60	240	2.993	37.85	1.424
B	60	240	2.986	37.44	1.430
B	70	120	2.983	37.63	1.383
B	70	120	3.009	37.92	1.388
B	70	180	3.101	37.86	1.405
B	70	180	3.148	37.58	1.434
B	70	240	3.293	38.82	1.466
B	70	240	3.188	36.29	1.469
C	50	120	2.313	42.99	1.170
C	50	120	2.181	41.14	1.190
C	50	180	2.372	38.49	1.199
C	50	180	2.345	38.04	1.184
C	50	240	2.682	38.13	1.239
C	50	240	2.586	34.23	1.225
C	60	120	2.771	37.63	1.380
C	60	120	2.752	38.35	1.378
C	60	180	2.822	37.70	1.395
C	60	180	2.842	37.72	1.413
C	60	240	2.857	37.68	1.450
C	60	240	2.868	35.79	1.443
C	70	120	2.903	38.79	1.399
C	70	120	2.941	37.78	1.429
C	70	180	2.971	36.52	1.453
C	70	180	2.942	37.76	1.473
C	70	240	3.060	36.34	1.492
C	70	240	2.930	37.71	1.527

จากข้อมูลในตารางที่ 4 นำไปวิเคราะห์หาค่าการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ พบว่า

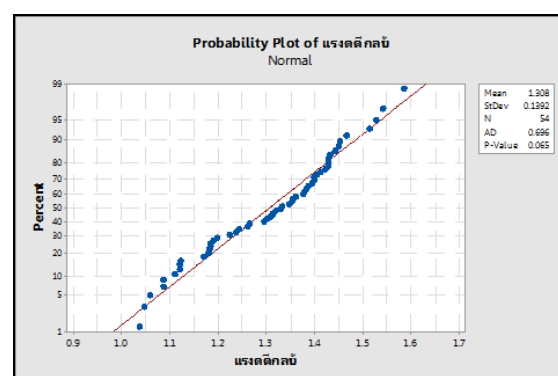
ค่าของตัวแปรตามคือ แรงกด ค่าตอบสนองต่อการสัมผัส และ แรงดัดกลับ มีการแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณาจากค่า P – value ที่มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ ที่ .05 (P – value>.05) ดังแสดงในรูปที่ 1,2 และ 3



รูปที่ 1 การแจกแจงแบบปกติของแรงกด



รูปที่ 2 การแจกแจงแบบปกติของค่าตอบสนองต่อการสัมผัส



รูปที่ 3 การแจกแจงแบบปกติของแรงดัดกลับ

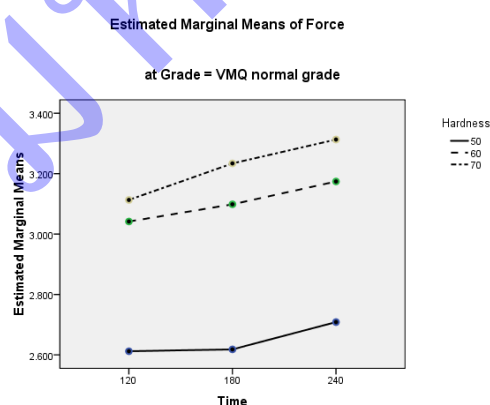
4.1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลตัวแปร (ANOVA)

4.1.1 จากการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อแรงกดพบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงกด คืออิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่าง ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของซิลิโคน และ เวลาอบ (AxBxC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (P-value<.05) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ส่งผลต่อแรงกด

Source	SS	DF	MS	F	P
Grade (A)	0.672	2	0.336	90.766	.000
Hardness (B)	3.437	2	1.719	464.267	.000
Time (C)	0.213	2	0.107	28.774	.000
AxB	0.024	4	0.006	1.618	.199
AxC	0.008	4	0.002	0.562	.692
BxC	0.037	4	0.009	2.483	.067
AxBxC	0.077	8	0.010	0.614	.029
Error	0.100	27	0.004		
Total	446.198	54			

รูปที่4 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบ ที่ซิลิโคน VMQ normal grade มีผลต่อแรงกดมากที่สุด ที่ความแข็งเพิ่มขึ้นและเวลาอบเพิ่มขึ้นมีผลให้แรงกดเพิ่มขึ้นและที่ความแข็งลดลงและเวลาอบลดลงมีผลให้แรงกดลดลง



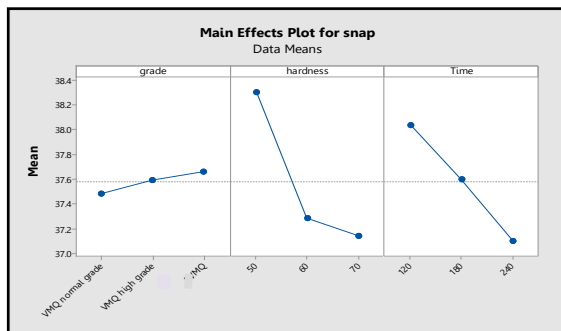
รูปที่ 4 อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบที่ส่งผลต่อแรงกด

4.1.2 จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ระหว่างตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองต่อการสัมผัส ในตารางที่ 6 พบว่าอิทธิพลหลักทุกปัจจัย (Main Effect) ส่งผลต่อค่าการตอบสนองการสัมผัส คือ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (P-value<.05)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองการสัมผัส

Source	SS	D	MS	F	P
		F			
Grade (A)	16.167	2	8.083	7.542	.003
Hardness (B)	19.866	2	9.933	9.267	.001
Time (C)	17.455	2	8.728	8.143	.002
AxB	3.865	4	0.966	0.901	.477
AxC	5.550	4	1.388	1.295	.297
BxC	9.037	4	2.259	2.108	.107
AxBxC	7.866	8	0.983	0.917	.518
Error	28.940	27	1.072		
Total	76387.89	54			

การวิเคราะห์พบว่าที่ยางซิลิโคนชนิด MQ ให้ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสมากที่สุด ที่ความแข็งเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสลดลง และที่เวลาอบเพิ่มขึ้นค่าตอบสนองต่อการสัมผัสลดลง ในทางกลับกันที่ความแข็งของซิลิโคนลดลงและเวลาอบลดลงมีผลให้ ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5



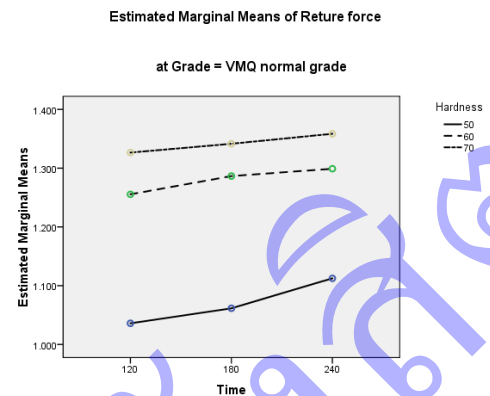
รูปที่ 5 วิเคราะห์อิทธิพลหลักที่มีผลต่อค่าตอบสนองการสัมผัส

4.1.3 จากการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อแรงดัดกลับ พบว่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงดัดกลับ คือชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($P\text{-value} < .05$) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ที่ส่งผลต่อแรงดัดกลับ

Source	SS	DF	MS	F	P
Grade (A)	0.147	2	0.073	308.212	.000
Hardness (B)	0.787	2	0.394	1.652E3	.000
Time (C)	0.034	2	0.017	70.852	.000
AxB	0.011	4	0.003	11.221	.000
AxC	0.001	4	0.000	1.228	.322
BxC	0.002	4	0.000	1.820	.154
AxBxC	0.005	8	0.001	2.651	.028
Error	0.006	27	0.000		
Total	92.118	54			

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบที่มีผลต่อแรงดัดกลับ ที่ยางซิลิโคนชนิด VMQ normal grade มีผลต่อแรงดัดกลับน้อยที่สุดและที่ความแข็งเพิ่มขึ้น เวลาอบเพิ่มขึ้นมีผลให้แรงดัดกลับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 8 เวลาอบที่มีผลต่อแรงดัดกลับ

5. การอภิปรายผล

5.1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงกด เป็นอิทธิพลร่วมของชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคน และเวลาอบ โดยที่ยางซิลิโคน VMQ normal grade มีผลต่อแรงกดมากที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของฟูล์มซิลิกาที่มีความเป็น Hysteresis มาก ต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนรูปร่างมากเมื่อผลิตกันชนขึ้นๆมีการใช้งานแบบเชิงพลวัต (Dynamic) ลักษณะเนื้อสัมผัสของยางคอมปาวด์ที่หยาบกระด้างเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์จึงทำให้ต้องใช้แรงกดที่มากในการกด ที่ความแข็งเพิ่มขึ้น และเวลาอบเพิ่มขึ้นมีผลให้แรงกดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการอบต่อหลังการวัลคาไนส่งผลให้สมบัติเชิงกลของซิลิโคนเพิ่มขึ้นตามบทความข้อเสนอแนะใหม่ในการใช้ยางซิลิโคน เรียบเรียงโดย ชญากา นิมสุวรรณ มีการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีซอร์ฟพลาสมาเพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของยางซิลิโคนที่ไม่ชอบน้ำโดยการกำจัดสารระเหยออกไปโดยใช้วิธีอบต่อหลังการวัลคาร์ไนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และใช้ระบบระบายความร้อนเปรียบเทียบการอบยางซิลิโคนเป็นสามแบบคือ 1. ไม่

อบต้อหลังการวัลคาไนซ์ 2. อบต้อหลังการวัลคาไนซ์ด้วยความร้อน

3. อบต้อหลังการวัลคาไนซ์ด้วยความเย็น ผลคือ การอบต้อหลังการวัลคาไนซ์ด้วยความร้อน มีผลให้สมบัติทางกลของยางซิลิโคนเพิ่มขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคือจุกนมเด็ก (ชญาภา นุ่มสุวรรณ, 2007) ทั้งนี้คาดว่าสายโซ่เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเปลี่ยนจากสายโซ่ยาวเป็นสายโซ่ที่มีขนาดสั้นลงและส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมขวางเพิ่มสูงขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลของยางซิลิโคนเพิ่มขึ้น (Sea-oui, 2007) และที่ความแข็งลดลงและเวลาอบลดลงมีผลให้แรงกดลดลง

5.2 ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองการสัมผัส คืออิทธิพลหลักทั้งหมดได้แก่ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบ จากสูตรการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองการสัมผัสจากสูตร (แรงกด-แรงสัมผัส)/แรงกด x 100 นั้น เป็นผลมาจากการทดลองสมบัติด้านแรงกด กล่าวคือเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสลดลง (สั้น) และในทางกลับกันถ้าแรงกดน้อยทำให้เปอร์เซ็นต์ค่าตอบสนองต่อการสัมผัสเพิ่มขึ้น (ยาว)

5.3 ตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงกด เป็นอิทธิพลร่วมของ ชนิดของยางซิลิโคน ความแข็งของยางซิลิโคนและเวลาอบโดยที่ชนิดของยางซิลิโคนชนิด MQ โดยพิจารณาจากค่า % Elongation (ความสามารถในการยืดหดของเนื้อยางซิลิโคน) ที่มี % Elongation สูง บ่งบอกถึงความเหนียวของยางซิลิโคน และความสามารถในการขึ้นรูป ทนต่อการเสียหายเนื่องจาก

การยืดซ้ำๆ นอกจากนี้พลังงานที่ใช้ในการหมุนพันธะ Si-O (<0.5kJ/mol) มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการหมุนของพันธะ C-O (11.31kJ/mol) จึงทำให้พันธะซิลอกเซนหมุนได้ง่ายด้วยเหตุนี้โครงสร้างโมเลกุลของซิลิโคนพอลิเมอร์จึงเป็นแบบเกลียว (helical structure) โดยประกอบด้วยพันธะ Si-O จำนวน 6 พันธะในหนึ่งรอบเกลียว ซึ่งโครงสร้างแบบนี้จะส่งผลให้ผิวของซิลิโคนพอลิเมอร์ปกคลุมไปด้วยเมทิลทำให้ผิวของพอลิโดเมทิลซิลอกเซนมีคุณสมบัติคือ แรงระหว่างหมู่ของเมทิลต่ำทำให้มีความสามารถในการยืดหยุ่นของพันธะซิลอกเซนที่ดี ความแข็งแรงของพันธะซิลอกเซนสูงทำให้มีความสามารถในการทนต่อการเสียรูปหลังกดถาวร (Compression set) ที่ ดี (Shin-Etsu Chemical, 2005) และจากตัวเสริมแรงที่มีองค์ประกอบของซิลิกาบริสุทธิ์ถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ (Shin-Etsu Chemical, 2005) จากการศึกษาของ ปิยะภรณ์และคณะพบว่าอนุภาคของซิลิกาที่ผสมอยู่ในสารตัวเดิมเมื่อผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนบางส่วนจะจับกลุ่มกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (agglomerate) ทั้งนี้เกิดจากผลของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคซิลิกา (filler-filler interaction) ด้วยกันเอง เนื่องจากบริเวณพื้นผิวของซิลิกามี หมู่ฟังก์ชันซิลานอล (Si-OH group) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในซิลิกาในปริมาณที่มากของพันธะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางกับสารตัวเดิม ส่งผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเลื่อนไถลและสามารถเก็บพลังงานเพื่อการคืนกลับตัวได้ดี (Mostafa, 2009)

6. บทสรุป

ตารางที่ 8 สรุปผลการทดลอง

ตัวแปรการผลิต	สมบัติการใช้งาน		
	แรงกด	ค่าตอบสนองการสัมผัส	แรงคืนกลับ
ชนิดของยางซิลิโคน			
VMQ normal grade	มากที่สุด	น้อยที่สุด	น้อยที่สุด
VMQ high grade	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
MQ	น้อยที่สุด	มากที่สุด	มากที่สุด
ความแข็งของยางซิลิโคน			
50 ชอร์	น้อยที่สุด	มากที่สุด	น้อยที่สุด
60 ชอร์	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
70 ชอร์	มากที่สุด	น้อยที่สุด	มากที่สุด
เวลาที่ 200°C			
120 นาที	น้อยที่สุด	มากที่สุด	น้อยที่สุด
180 นาที	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
240 นาที	มากที่สุด	น้อยที่สุด	มากที่สุด

จากตารางสรุปผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการผลิตและสมบัติการใช้งาน ทั้งนี้การเลือกตัวแปรการผลิตที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งาน ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิต

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ เพราะได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. คมสัน จิระภัทรศิลป์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาการค้นคว้าวิจัย แนะนำข้อคิดอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนสละเวลาในการตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

กาญจน์, 2556, สถิติเพื่อการวิจัยไม่ยาก, หน้า 133-138
 ชญาภา นิ่มสุวรรณ (2551).ซิลิโคน: วัสดุทางเลือก
 สำหรับงาน ที่ ต้องการความ ท้าทาย,
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ, ปีที่ 2, หน้า 3
 ชญาภา นิ่มสุวรรณ (2007),แนวทางใหม่ในการใช้ยาง
 ซิลิโคน, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ, หน้า 1-5

พงษ์ธร แซ่ฮุย (2550). การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยาง”, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฯ,หน้า 6.
 อธิพล แจ่มชัด (2550). แนวโน้มเทคโนโลยีและการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ยางในอนาคต

CMDEVHUB (2012). มารู้จักคีย์บอร์ดแบบกลไกกันดีกว่า , (Online). Available: <http://www.cmdevhub.com/>

Mostafa, A., Abouel-Kasem, A., Bayoumi, M.R., and El-Sebaie, M.G.,(2009), Effect of Carbon Black Loading on the Swelling and Compression set Behavior of SBR and NBR Rubber Compounds, *Materials and Design*, Vol. 30, No. 5, pp.1561-1568.

Sea-oui, P.,Sirisinaha, C., Wantana, Th. and Hatthapanit, K. (2007), Influence of Silica Loading on the Mechanical Properties and Resistance to Oil and Thermal of NR/CR Blends, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.104, No. 5, pp. 3478-3483

Shin-Etsu Chemical, (2005), Characteristic properties of Silicone Rubber Compounds, (Online).Available: www.silicone.jp/e/catalog/index.shtml (2015 Apr 4)

Silicone Dynamic. (2014). Designing Key for Custom Rubber keypads. (Online), Available: <http://www.siliconedynamics.net/how-does-a-silicone-keypad-work> (2015 Apr 4)

Wikipedia (2015). Silicone rubber keypads. (Online). Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Silicone> (2015 sep 14)