

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1 การสอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

การสอบเทียบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมาห้อยไว้ที่ตัวโหลดเซลล์ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการวัด โดยตุ้มน้ำหนักเปรียบเสมือนแรงที่กระทำกับตัวโหลดเซลล์ที่เกิดจากแรงดึง โดยใช้ตุ้มน้ำหนักเพื่อทำการสอบเทียบตั้งแต่ 0 g จนถึง 1,300 g ผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานอยู่ที่ ไม่เกิน +/- 1% และผลการหาค่าสหสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.99 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันสูงมาก ดังนั้น จึงสามารถนำโหลดเซลล์ที่ติดตั้งในอุปกรณ์นี้ไปใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงได้

ตารางที่ 4.1 ผลการสอบเทียบ

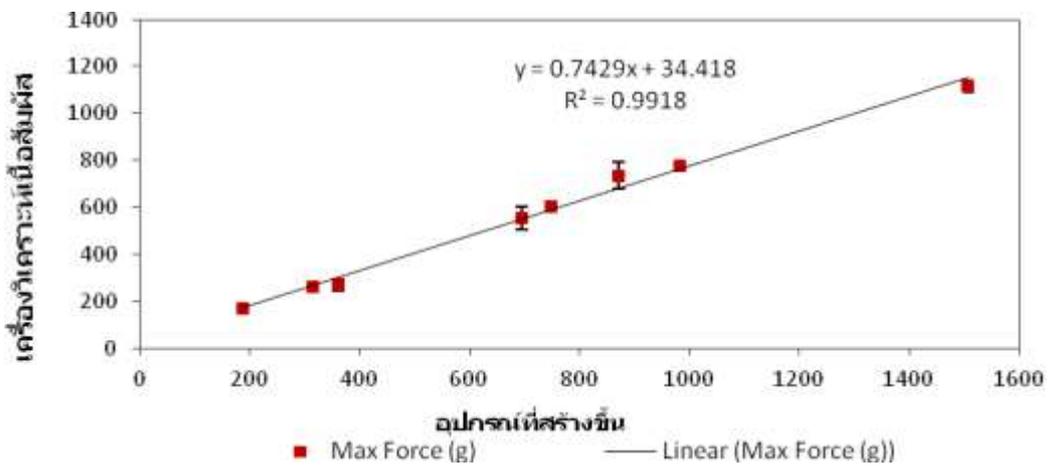
ตุ้มน้ำหนัก (g)	วัดครั้งที่ 1 (g)	วัดครั้งที่ 2 (g)	วัดครั้งที่ 3 (g)	ค่าเฉลี่ย (g)	ค่าความผิดพลาด (%)
0	0.85	1.15	1.50	1.17	100.00
100	100.23	100.83	101.01	101.02	0.69
200	199.20	200.33	199.98	199.84	-0.08
300	301.17	300.90	300.93	301.00	0.33
400	399.00	402.31	401.40	400.90	0.23
500	498.63	501.14	500.34	500.04	0.01
600	602.82	600.29	600.17	601.09	0.18
700	700.61	701.05	699.17	700.28	0.04
800	801.23	802.08	800.87	801.39	0.17
900	902.11	900.49	901.10	901.23	0.14
1000	1001.13	1000.94	1001.06	1001.04	0.10
1100	1102.61	1103.30	1102.32	1102.74	0.25
1200	1200.42	1201.51	1203.65	1201.86	0.15
1300	1301.13	1301.60	1299.51	1300.75	0.06

ตารางที่ 4.2 ผลการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ตม้หน้าหนัก (g)	0	100	200	300	400	500	600
ค่าเฉลี่ย (g)	1.17	101.02	199.84	301.00	400.90	500.04	601.09
ตม้หน้าหนัก (g)	700	800	900	1000	1100	1200	1300
ค่าเฉลี่ย (g)	700.28	801.39	901.23	1001.04	102.74	1201.86	1300.75

#### 4.2 การหาค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ทดสอบ

นำผักและผลไม้จำนวน 8 ชนิด ที่จัดเตรียมไว้มาทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyzer (Stable Micro System Texture Analyzer รุ่น TA.XT plus) และเปรียบเทียบผลที่ได้จากอุปกรณ์ทดสอบที่พัฒนาขึ้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max Force ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสกับเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.3 ค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น

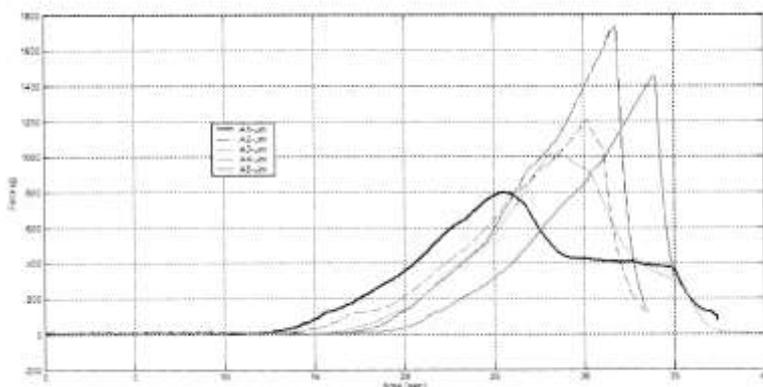
ลำดับ ที่	ตัวอย่าง	Max Force (g)		% Accuracy	% Precision	% Repeatability
		เครื่อง วิเคราะห์ เนื้อสัมผัส	อุปกรณ์ที่ สร้างขึ้น			
1	มะละกอ	168.26	186.15	89.37	92.99	87.50
2	แอปเปิ้ล	260.61	315.45	78.96	94.85	87.50
3	มะเขือ ยาว	269.32	360.74	66.05	94.61	66.67
4	ฝรั่ง	552.60	694.77	74.27	92.99	77.77
5	มันฝรั่ง	603.31	747.27	76.14	96.45	88.88
6	พริกเขียว	735.00	870.77	81.53	91.48	77.14
7	หัวไช เท้า	777.85	982.34	73.71	97.78	88.88
8	แครอท	1116.13	1506.71	65.01	97.41	71.43

#### 4.3 การทดสอบความต้านทานแรงกดด้วยวิธีการเจาะทะลุ

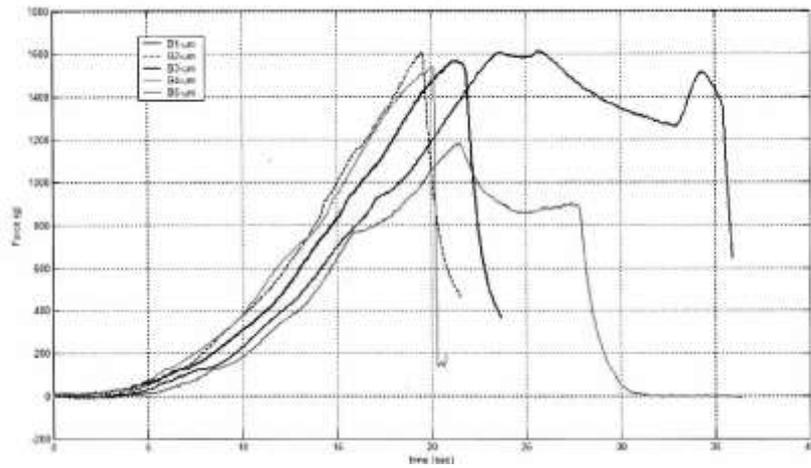
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเนื้อสัมผัสจากแรงกดด้วยวิธีการเจาะทะลุเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบกับแมงกะพรุนเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่เป็นมาตรฐาน และการทดสอบเพิ่มเติมจากผลิตภัณฑ์แบบอื่น ๆ ได้แก่ เยลลี่ และ เยลลี่สติ๊ก

##### 4.3.1 การทดสอบความต้านทานแรงกดของแมงกะพรุน

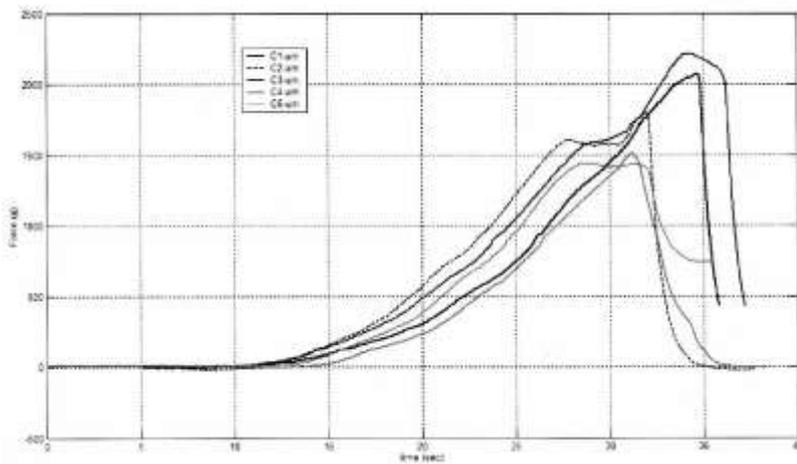
กราฟแสดงค่า Max force ที่ทดสอบแมงกะพรุนที่มีปริมาณเกลือแตกต่างกัน 8 ระดับ แสดงดังภาพที่ 4.2 ถึง 4.9 ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4



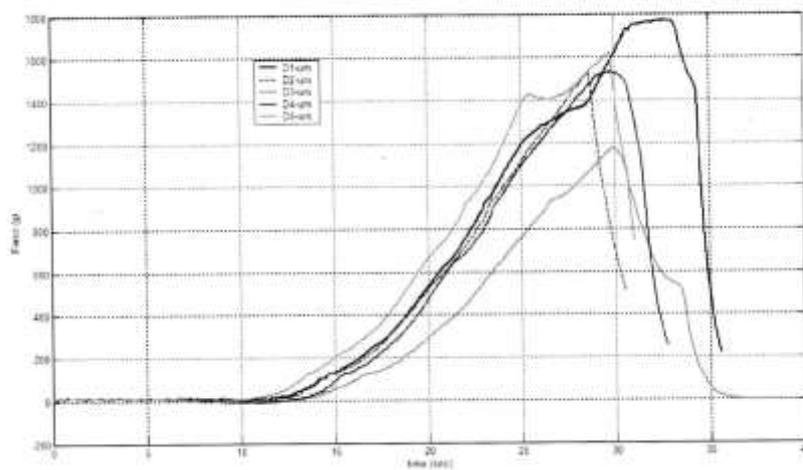
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 27.40 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



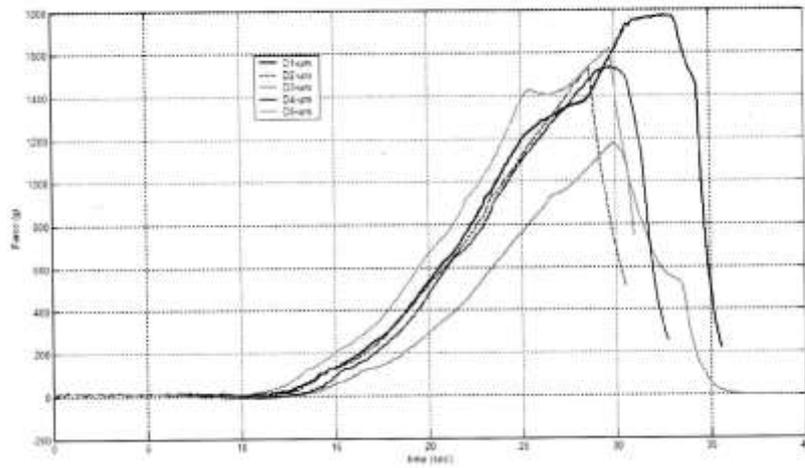
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 22.13 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



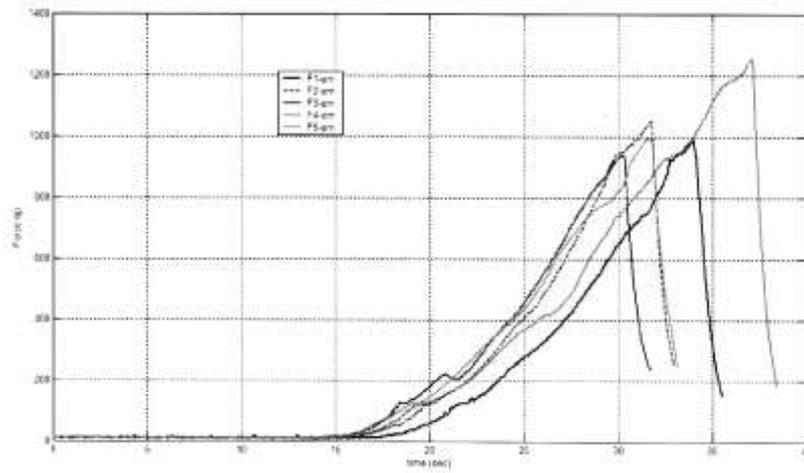
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 21.63 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



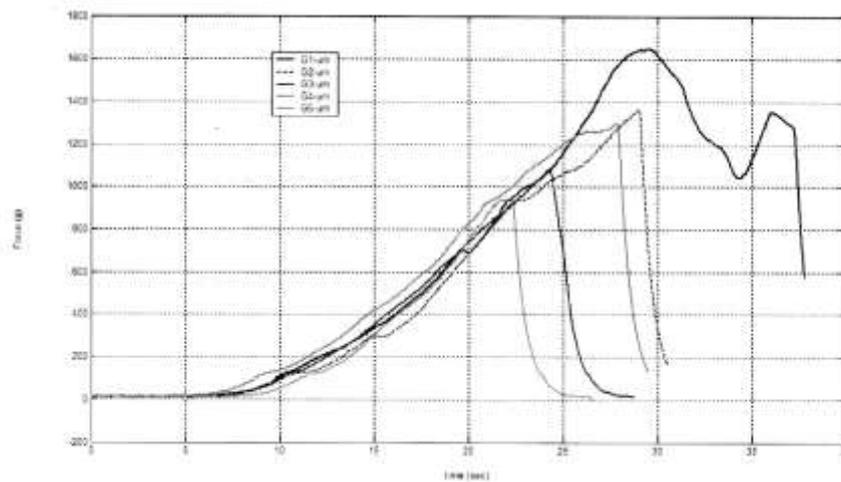
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 18.73 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



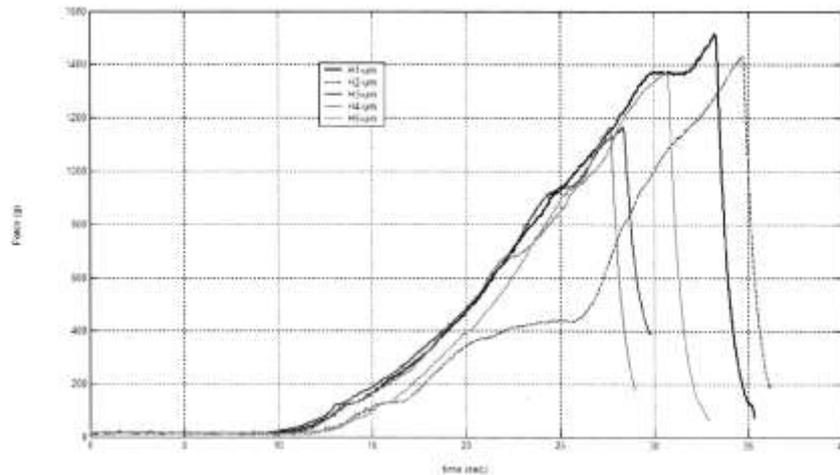
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 3.53 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 2.20 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 0.8 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 0.73 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.4 ค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและจากอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น

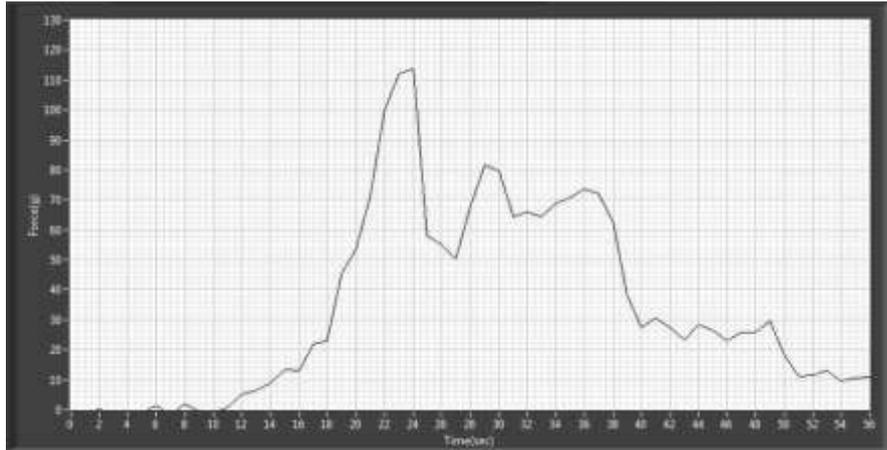
ปริมาณเกลือ (g/100gNaCl)	Max Force	
	เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (N)	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น(g)
27.40	17.36 ± 0.51 <sup>c</sup>	1244.06 ± 365.97 <sup>ab</sup>
22.13	16.59 ± 4.45 <sup>c</sup>	1503.20 ± 180.43 <sup>bc</sup>
21.63	15.40 ± 0.82 <sup>c</sup>	1812.60 ± 341.51 <sup>c</sup>
18.73	11.14 ± 0.65 <sup>b</sup>	1527.80 ± 219.51 <sup>bc</sup>
3.53	9.10 ± 1.55 <sup>ab</sup>	1058.06 ± 249.58 <sup>a</sup>
2.20	8.91 ± 0.73 <sup>ab</sup>	1045.88 ± 123.96 <sup>a</sup>
0.80	7.05 ± 1.48 <sup>a</sup>	1268.80 ± 276.44 <sup>ab</sup>
0.73	6.58 ± 1.03 <sup>a</sup>	1331.20 ± 158.88 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวตั้ง (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ),  $n=5$

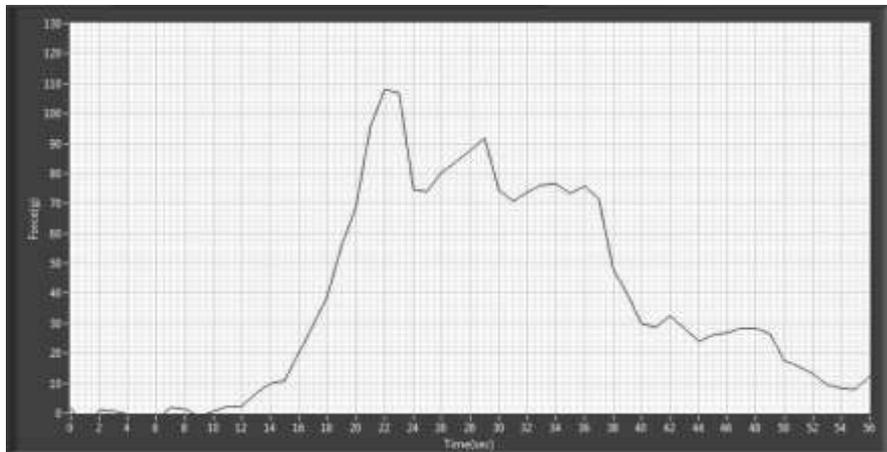
พิจารณา ภาพที่ 4.3 ถึง 4.10 และตารางที่ 4.4 พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้นและเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสมีค่าต่างกัน และเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้นไม่สามารถใช้ค่า Max Force แยกความแตกต่างเนื้อสัมผัสส่วนรุ่มของแมงกะพรุนที่มีปริมาณเกลือต่างกันได้ เนื่องจากความแปรปรวนภายในตัวของแมงกะพรุน

#### 4.3.2 การทดสอบความต้านทานแรงกดของเยลลี่

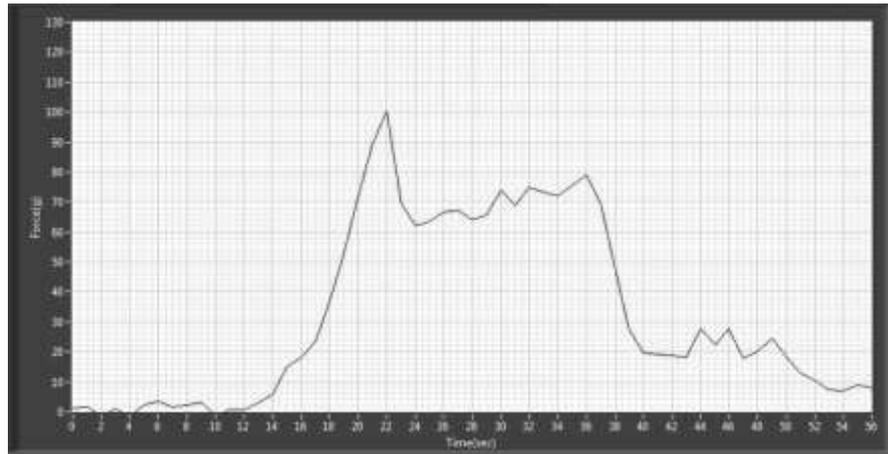
โดยงานวิจัยนี้ได้นำเยลลี่ ซึ่งมีลักษณะที่เหนียวนุ่ม มาเป็นตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ผลการทดสอบที่ได้ตามภาพที่ 4.10 ถึง 4.14 และค่าแรงสูงสุด (Max force) ที่ได้จากการอ่านกราฟตามตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดโดยเฉลี่ยที่จากตัวอย่างเยลลี่ 5 ชิ้น เท่ากับ  $104 \pm 11.4$  g



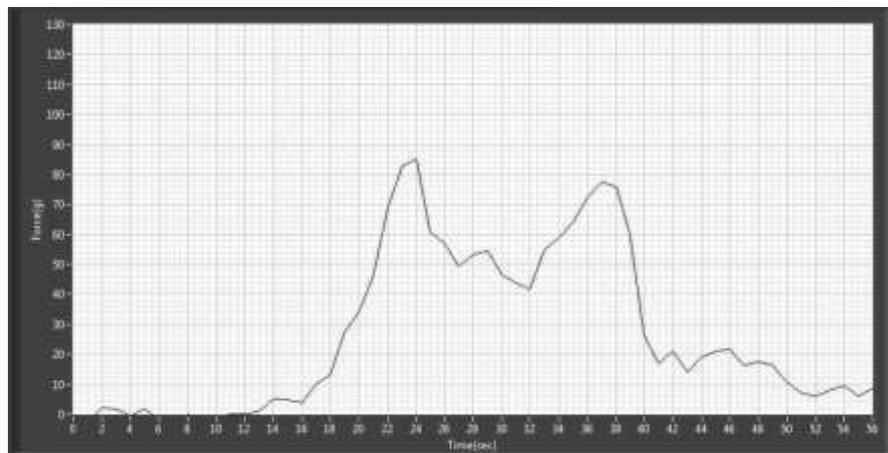
ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 1



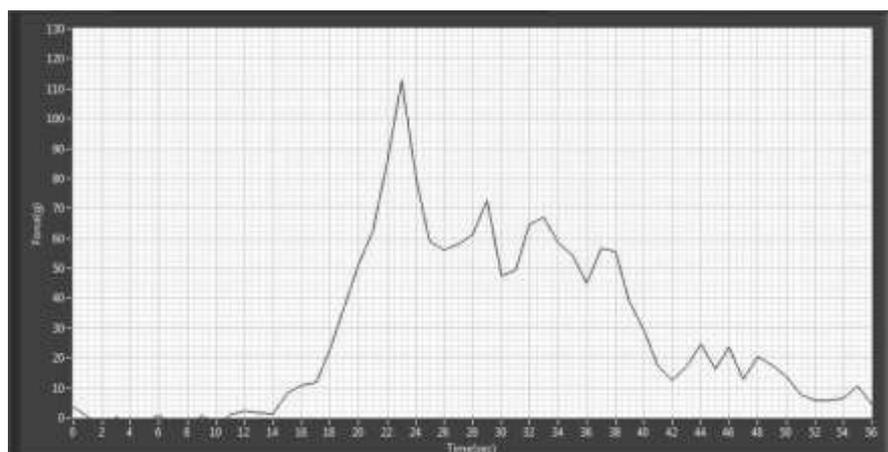
ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 2



ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 3



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 4



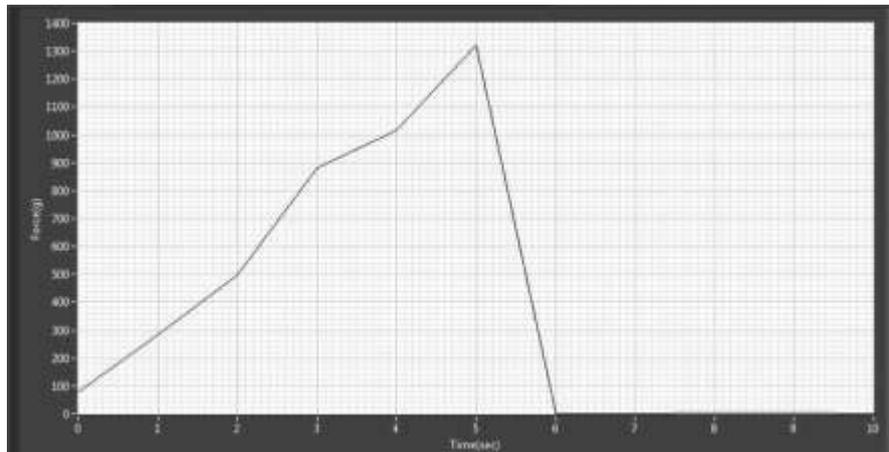
ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 5

จากการทดสอบเนื้อสัมผัสของเยลลี่ และเยลลี่สติ๊กด้วยวิธีการเจาะทะลุ พบว่าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงที่สร้างขึ้นสามารถวัดแรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุผลิตภัณฑ์ได้โดยแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุเยลลี่มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $104 \pm 11.4$  g และแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุเยลลี่สติ๊กมีค่า  $358 \pm 99.8$  g จะเห็นได้ว่าเนื้อเยลลี่มีค่าแรงสูงสุดในการเจาะทะลุที่ต่ำกว่าเยลลี่สติ๊ก ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง

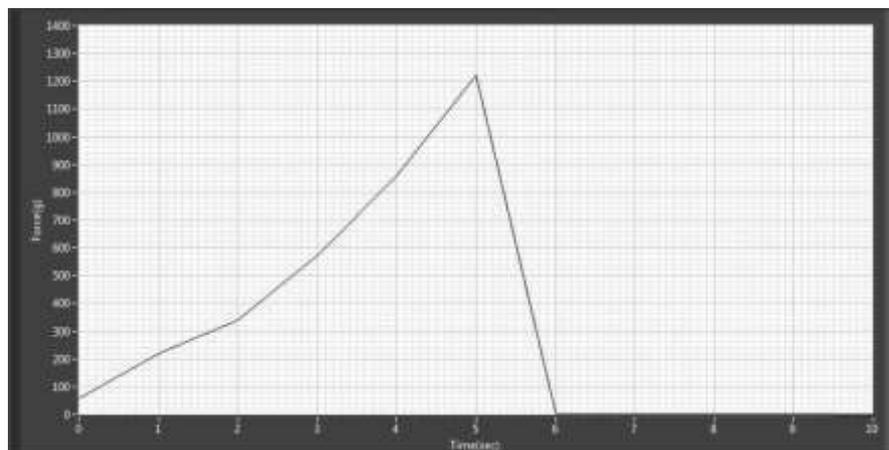
#### 4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

##### 4.4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผงวงจรแบบยืดหยุ่น

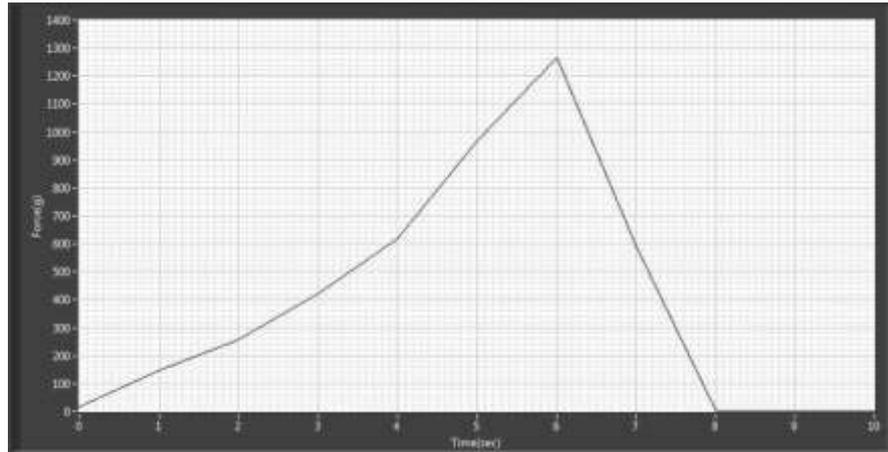
การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผงวงจรแบบยืดหยุ่น เป็นการทดสอบโดยใช้แรงดึงแยกแผงวงจรแบบยืดหยุ่นออกจากสแตนด์เลสที่ยึดติด ผลการทดสอบที่ได้ตามภาพที่ 4.15 ถึง 4.19



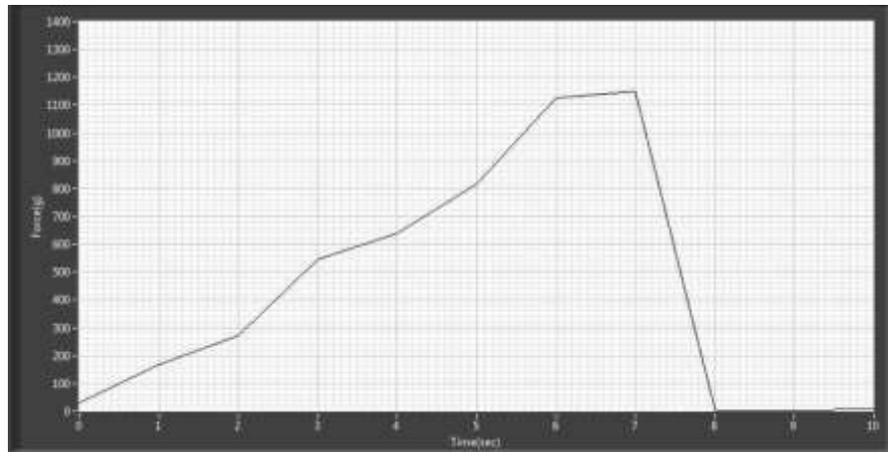
ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยืดหยุ่นชิ้นที่ 1



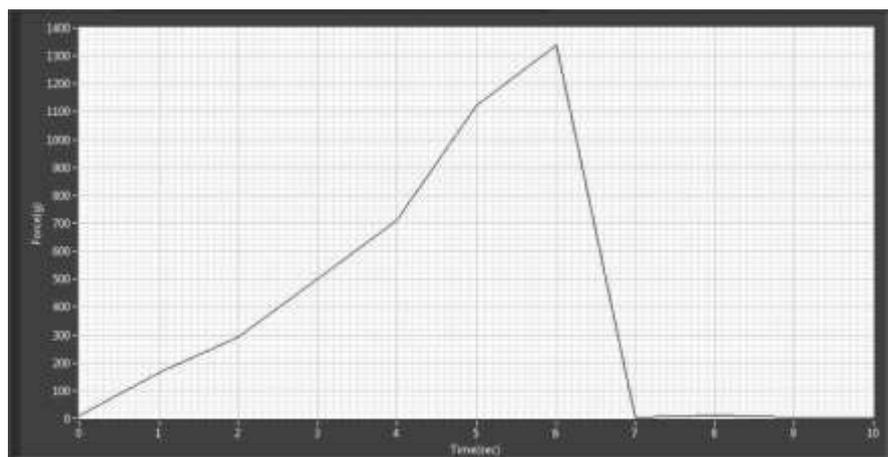
ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยืดหยุ่นชิ้นที่ 2



ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบของตัวอย่างแฉงวงจรแบบยึดหยุ่นขั้นที่ 3

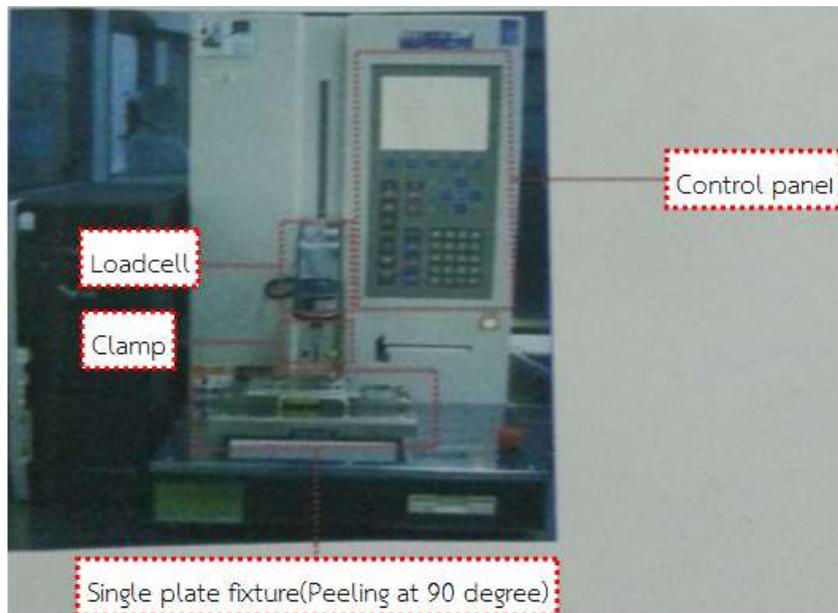


ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบของตัวอย่างแฉงวงจรแบบยึดหยุ่นขั้นที่ 4

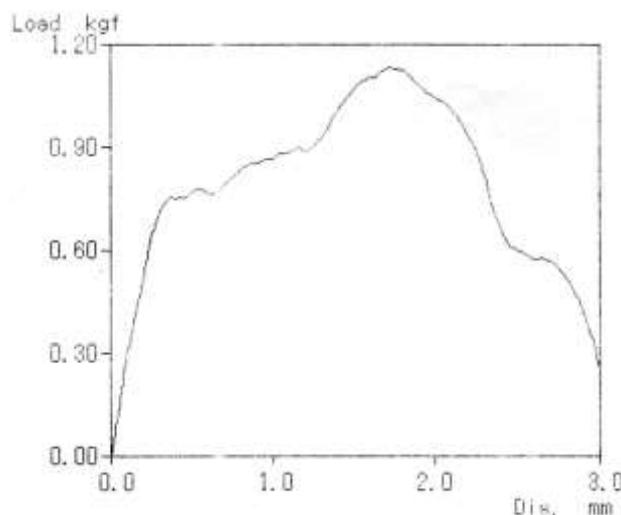


ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบของตัวอย่างแฉงวงจรแบบยึดหยุ่นขั้นที่ 5

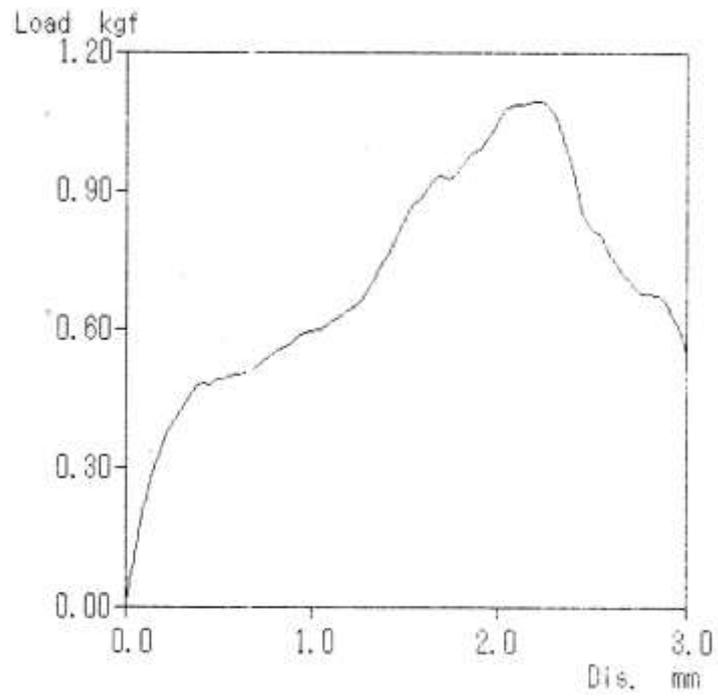
จากการใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นทดสอบเนื้อสัมผัสจากแรงดึง พบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถทดสอบความต้านทานแรงดึงได้จริง ซึ่งค่าแรงสูงสุด (Max force) ที่ได้จากการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกราฟที่มีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย เกิดจากการยึดติดของวัสดุแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน หรือไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่เป็นมาตรฐานในขั้นตอนถัดไป จากนั้น ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับเครื่องมือวิเคราะห์มาตรฐาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ทดสอบด้วย Damper testing machine ดังแสดงตามภาพที่ 4.20 ซึ่งนำตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่น 5 ชั้น(ชั้นที่ 6-10) ไปทำการทดสอบ ผลการทดสอบที่ได้ตามภาพที่ 4.21 ถึง 4.25 และค่าแรงสูงสุด (Max force) ที่ได้จากการอ่านกราฟตามตารางที่ 4.5



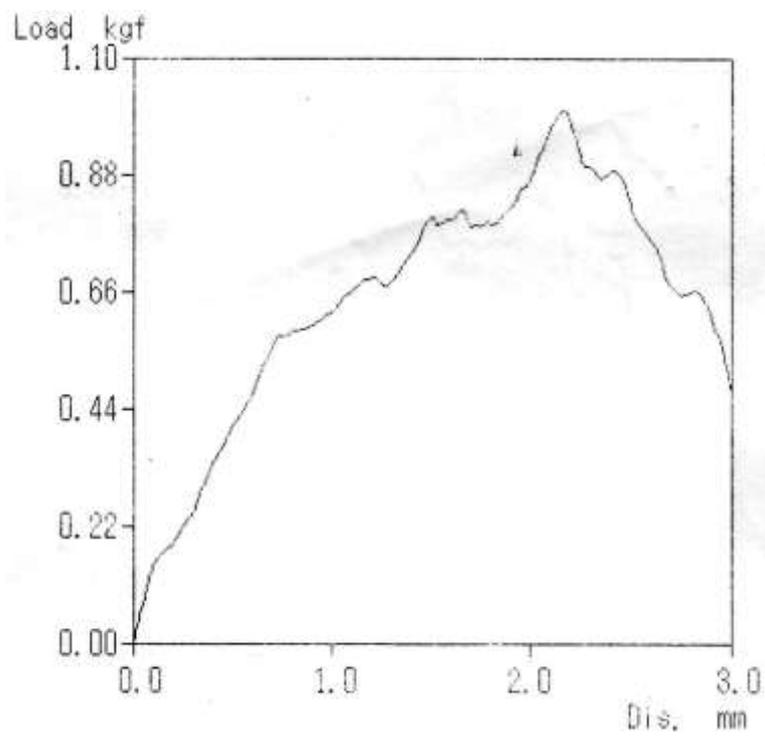
ภาพที่ 4.20 เครื่องมือวิเคราะห์ Damper testing machine



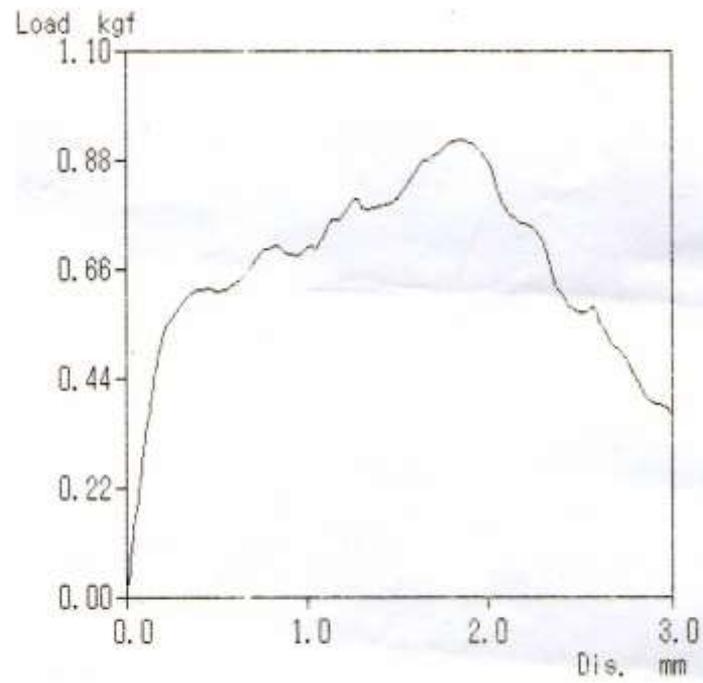
ภาพที่ 4.21 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 6



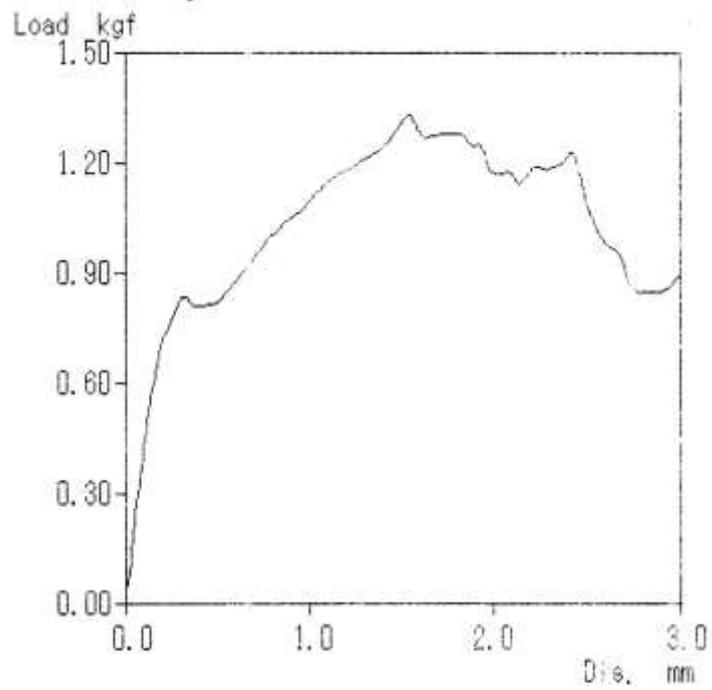
ภาพที่ 4.22 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 7



ภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 8



ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 9

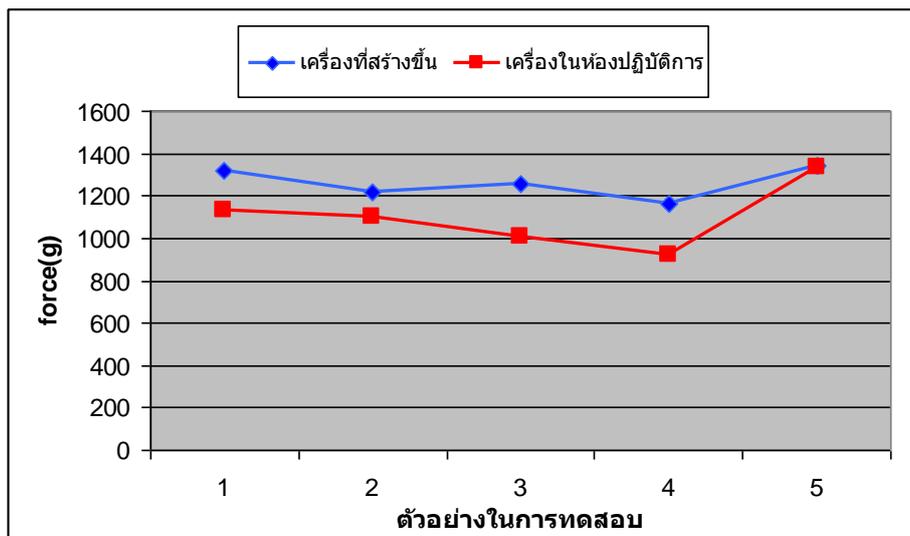


ภาพที่ 4.25 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 10

#### ตารางที่ 4.5 ผลการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ลำดับ ตัวอย่าง	ค่าแรงสูงสุดจาก อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (g)	ลำดับ ตัวอย่าง	ค่าแรงสูงสุดจาก อุปกรณ์มาตรฐาน (g)
1	1320	6	1133
2	1220	7	1097
3	1260	8	1004
4	1160	9	922
5	1340	10	1332
ค่าสหสัมพันธ์			0.846

เมื่อนำค่าแรงสูงสุดระหว่างอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น กับเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่เป็นมาตรฐาน มาหาค่าสหสัมพันธ์เพื่อทำการเปรียบเทียบ จะได้ค่าสหสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.5 เป็น 0.846 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

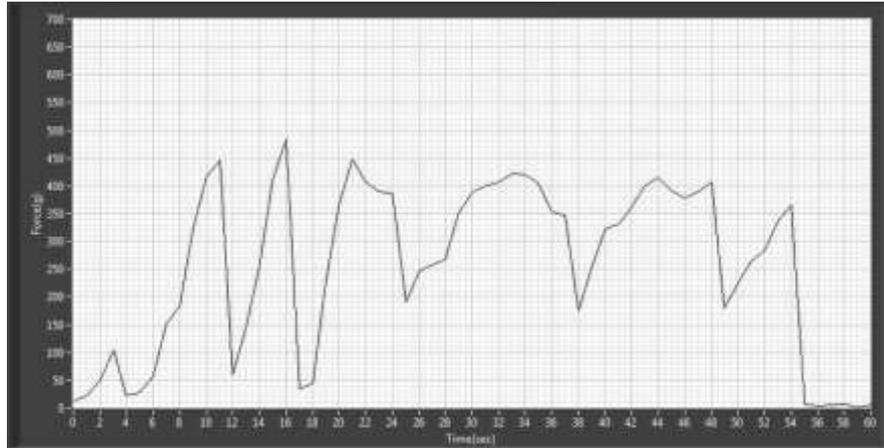


ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

จากภาพที่ 4.26 เป็นการนำผลการทดสอบแฉวงจรหืดหุ่ย่นที่ได้จากเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น และเครื่องในห้องปฏิบัติการ อย่างละ 5 ตัวอย่าง มาเปรียบเทียบกัน เห็นได้ชัดว่าเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น ให้ผลที่ใกล้เคียงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการจริง

#### 4.4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของซองบรรจุยาและถ้วยโยเกิร์ต

ทำการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง โดยหาค่าแรงสูงสุด (Max force) จากแรงดึงที่จะทำให้ช่องบรรจุยาลอกออกจากกัน และแรงดึงสูงสุดที่ใช้สำหรับการดึงให้ฝาถ้วยโยเกิร์ตลอกเปิดออกได้ ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดของช่องบรรจุยาและถ้วยโยเกิร์ต ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงและเวลา สำหรับการลอกช่องบรรจุยาแสดงในภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ผลการทดสอบของตัวอย่างช่องบรรจุยา

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงของช่องบรรจุยา และการเปิดฝอยล์ถ้วยโยเกิร์ต พบว่า อุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่าความต้านทานแรงหรือการยึดติดแน่นของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งลักษณะกราฟของช่องบรรจุยาที่ได้มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย เป็นไปตามลักษณะของการยึดติดของช่องบรรจุยา ทั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นค่ามาตรฐาน เพื่อระบุถึงคุณภาพในการยึดติดของช่องบรรจุยาได้