

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.2 กล่าวนำ

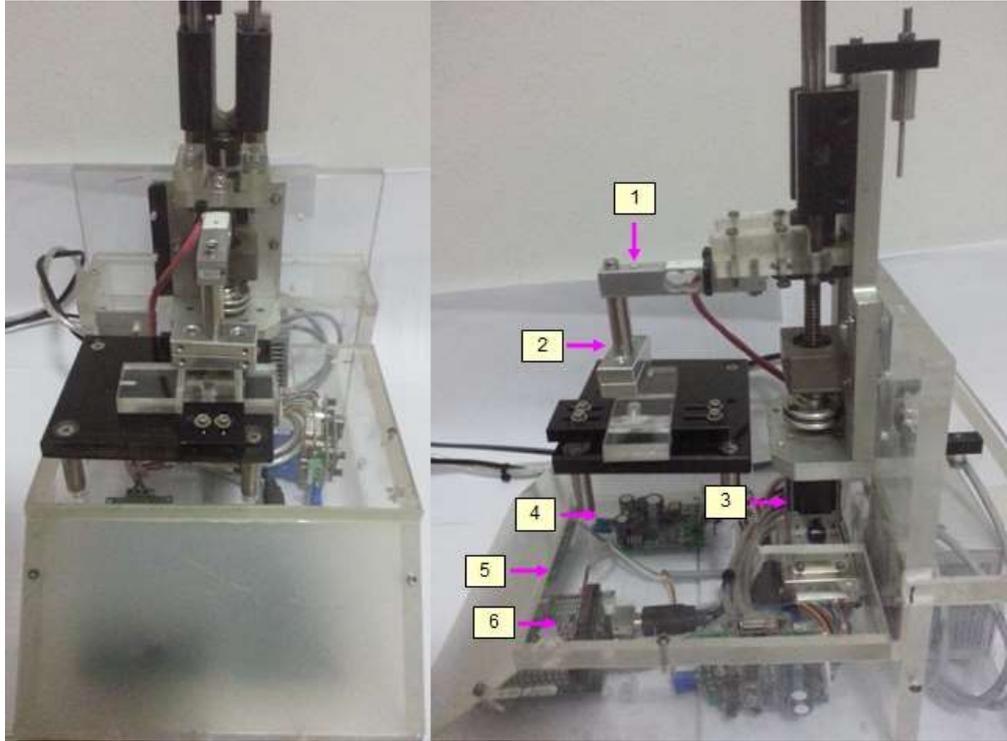
การทดสอบเนื้อสัมผัสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation method) และการทดสอบทางกายภาพหรือการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ (Physical method or instrument method) โดยการทดสอบด้วยเครื่องมือตรวจวิเคราะห์จะให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงที่ดี เนื่องจากไม่มีปัญหาทางด้านความแตกต่างของการตัดสินใจและความล่าช้าของผู้ทดสอบ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งใช้หลักการเดียวกับการทำงานของเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยควบคุมการทำงานของหัววัดและประมวลผลการทำงานด้วยโปรแกรม LABVIEW และแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการเปลี่ยนรูปหรือเวลา

3.2 การออกแบบ

ส่วนประกอบหลักของอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ประกอบด้วย โหลดเซลล์ วงจรขยายสัญญาณ เซอร์โวมอเตอร์ วงจรจ่ายไฟฟ้า วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า Ball screw และหัววัด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ ภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น

หมายเลข	โครงสร้าง	วัสดุ/ชนิด	วัตถุประสงค์
1	โหลดเซลล์	สแตนเลส	ใช้วัดแรงที่ตัวอย่างกระทำกับหัววัด
2	วงจรขยายสัญญาณ	AD624	ใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด
3	เซอร์โวมอเตอร์	Cool muscle	ใช้บังคับการเคลื่อนของหัววัดเนื้อสัมผัส
4	วงจรจ่ายไฟฟ้า	LM2575	ใช้จ่ายไฟให้กับวงจรวัดและควบคุม
5	วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	USB6009	สำหรับวัดค่าแรงดันเข้าพุทจากโหลดเซลล์
6	Ball screw	Grounded	ขับเคลื่อนหัววัด
7	หัววัด	สแตนเลส	เพื่อใช้ทดสอบในการดึงหรือกด

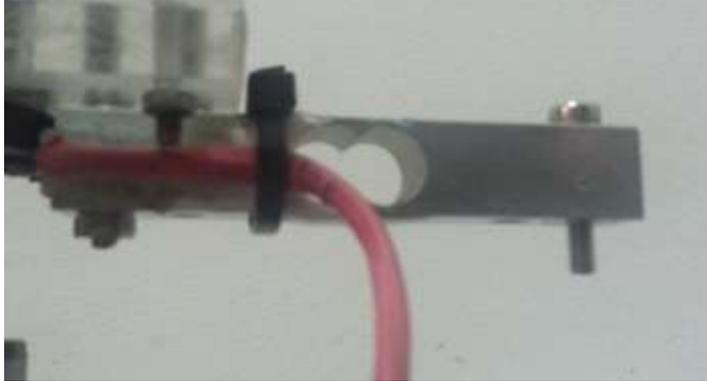


ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 โหลดเซลล์(Load cell)

โหลดเซลล์ที่นำมาใช้งานต้องมีความเหมาะสม โดยคำนึงถึงสภาวะการรับแรง ทั้งแรงกด แรงดึง แรงบิด โดยโหลดเซลล์แต่ละแบบมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความละเอียดของการเป็นแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับโหลดเซลล์และเอาต์พุตที่ได้จากสเตรนเกจที่ต่อเป็นวงจรบริดจ์ โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย ค่าแรงสูงสุดที่โหลดเซลล์รับได้ (Rate capacity) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) ค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด (Rate voltage) มีหน่วยเป็น mV/V และแรงดันกระตุ้นที่แนะนำ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) ซึ่งโหลดเซลล์ที่เลือกมาใช้งานสามารถรับแรงสูงสุดได้ที่ 2 กิโลกรัม ลักษณะของโหลดเซลล์ที่นำมาใช้งานแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 โหลดเซลล์ที่นำมาใช้งาน

3.2.2 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument amplifier)

เนื่องจากโหลดเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานค่อนข้างน้อย การวัดความต่างศักย์ที่เป็นแรงดันเอาต์พุตของวงจรวัดจึงจำเป็นต้องใช้วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งจากทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงเลือกใช้วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument amplifier) โดยใช้ IC ของ Analog device เบอร์ AD624 มาใช้ในการขยายสัญญาณ แสดงวงจรมีดังภาพที่ 3.3

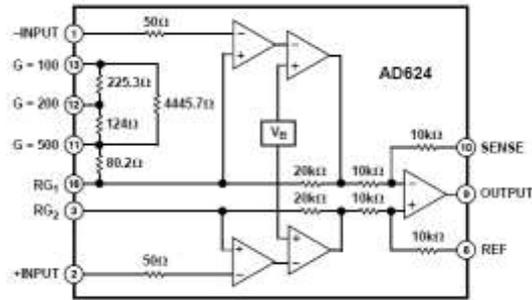


ภาพที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัดโดยใช้ IC เบอร์ AD624

โดยอัตราขยายสัญญาณ (Gain) จะเกิดจากการกำหนด R_G ตามสมการที่ 3.1

$$Gain = \frac{40k}{R_G} + 1 \quad (3.1)$$

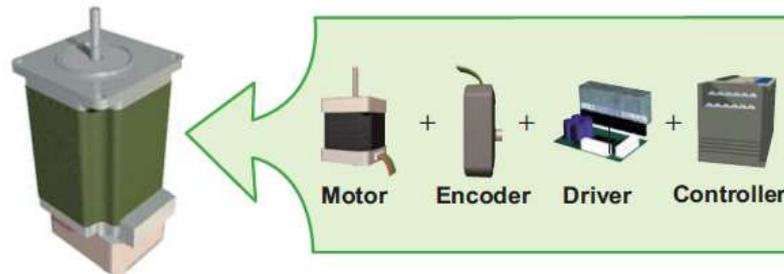
อัตราขยายของวงจรวัดขยายสัญญาณในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าอัตราขยาย 500 เท่า โดยนำขา 11 (G=500) เชื่อมต่อเข้ากับขา 3 (RG2) เพื่อให้ได้อัตราขยายดังกล่าว ตามลักษณะวงจรภายในของ IC ตามภาพที่ 3.4 และสามารถปรับค่าชดเชยให้วงจรวัดมีความสมดุล โดยให้ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์



ภาพที่ 3.4 วงจรภายในของ Instrument amplifier AD624

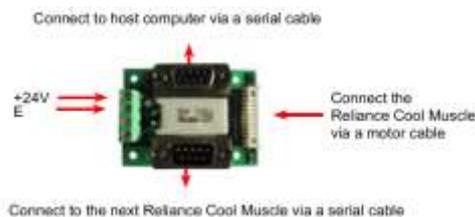
3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

งานวิจัยนี้เลือก Servo motor Reliance Cool Muscle ดังภาพที่ 3.5 มาใช้ ซึ่งมีความละเอียดค่อนข้างสูง และสามารถติดต่อสื่อสารผ่านทาง RS-232 โดยการควบคุมด้วยโปรแกรม Labview ซึ่งในตัวของ Servo motor จะมีวงจรขับมอเตอร์ (Driver) และตัวนับรอบ (Encoder) อยู่ใน ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้งาน

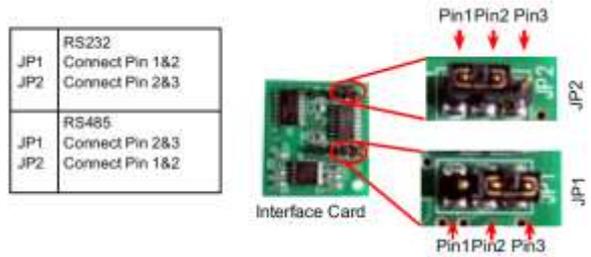


ภาพที่ 3.5 ส่วนประกอบของ Servo motor Reliance Cool Muscle

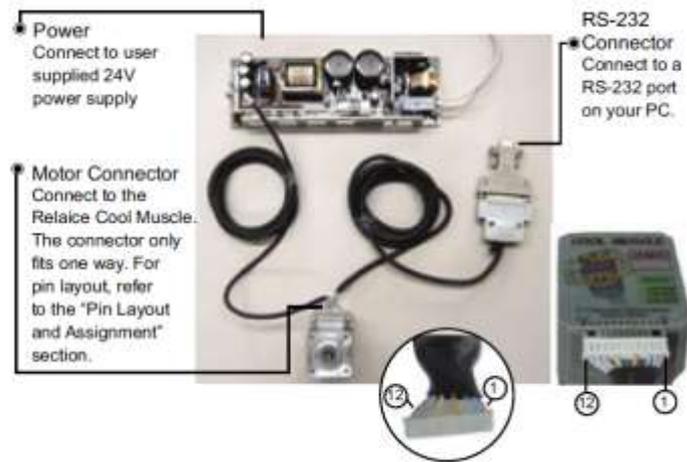
การต่อใช้งาน Servo motor โดยทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์เข้าที่ Interface card ตามภาพที่ 3.6 ทำการเลือกการติดต่อสื่อสารผ่านทาง RS-232 โดยทำการเสียบ Jumper ที่ Interface card 9 ตามภาพที่ 3.7 และลักษณะการเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งานตามภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.6 รูปแสดงตำแหน่งของการเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์



ภาพที่ 3.7 การเสียบ Jumper เพื่อเลือกการติดต่อสื่อสารแบบ RS-232

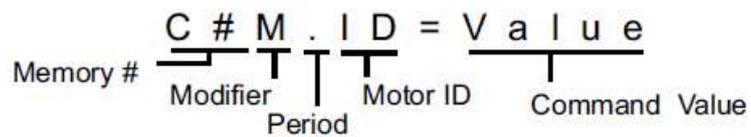


ภาพที่ 3.8 แสดงการเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน

สำหรับคำสั่งในการควบคุม Servo motor ชนิดนี้มีสองประเภทคือ

- 1) Program command โดยใช้คำสั่งจากโปรแกรมสำเร็จรูป
- 2) Dynamic command โดยส่งคำสั่งโดยตรงไปยัง Servo motor จากโปรแกรมที่สร้างขึ้น

โดยรูปแบบของคำสั่งตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน

โดยที่ Memory# คือ ตำแหน่งของหน่วยความจำ

Modifier คือ การเพิ่มค่าเข้าไปในหน่วยความจำ

Motor ID คือ หมายเลขที่ใช้อ้างอิง motor

Command Value คือ ค่าของคำสั่ง

การตั้งค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะถูกกำหนดที่ส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม โดยแต่ละพารามิเตอร์จะถูกระบุถึงตำแหน่งของหน่วยความจำ ทำตามรูปแบบด้านล่าง

$K\# = \text{Value}$

เช่น $K50 = 15$ เป็นการกำหนดระยะทางที่ 15 pulse

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ การกำหนดความละเอียดในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ (Motor resolution) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ K37 โดยมีค่าอ้างอิงตามตารางที่ 3.2 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนด $K37 = 6$ ซึ่งต้องใช้ 5000 pulse ในการทำให้ Servo motor หมุนหนึ่งรอบ

ตารางที่ 3.2 ค่าที่ใช้ในการกำหนดความละเอียดในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์

Speed unit 100pps				Speed unit 10pps			
#	Resolution	#	Resolution	#	Resolution	#	Resolution
0	200	6	5000	20	200	26	5000
1	400	7	10000	21	400	27	10000
2	500	8	25000	22	500	28	25000
3	1000 (Default)	9		23	1000	29	
4	2000	10	50000	24	2000	30	50000
5	2500			25	2500		

คำสั่งที่สำคัญในการควบคุมมอเตอร์ มีดังนี้

P ใช้ในการกำหนดตำแหน่งปลายทาง (Position definition)

S ใช้ในการกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ (Speed definition)

A ใช้ในการกำหนดความเร่ง (Acceleration definition)

| ใช้ในการกำหนดให้มอเตอร์กลับไปยังจุดเริ่มต้น (Origin)

-] ใช้ในการกำหนดให้มอเตอร์หยุดชั่วคราว (Pause)
- } ใช้ในการสั่งให้มอเตอร์หยุด (Stop after completing motion)
- (ใช้ในการกำหนดให้มอเตอร์พร้อมทำงาน (Enable)
-) ใช้ในการกำหนดให้มอเตอร์อิสระไม่รับคำสั่งใดๆ (Motor free)

3.2.4 วงจรจ่ายไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้เลือกวงจรจ่ายไฟฟ้าที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 3.10 เพื่อจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด เซอร์โวมอเตอร์ และวงจรวีทสโตนบริดจ์



ภาพที่ 3.10 วงจรจ่ายไฟฟ้า

3.2.5 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้เลือกวงจรวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ USB-6009 OEM ดังภาพที่ 3.11 มาใช้งาน โดยเลือกโหมดที่ใช้วัดเป็นแบบวัดความแตกต่างโดยเลือกให้แรงดันเอาต์พุตเข้าที่ขา 9 (AI 1-) และขา 10 (AI 1+) โดยอ้างอิงจากผังการต่อตามภาพที่ 3.12



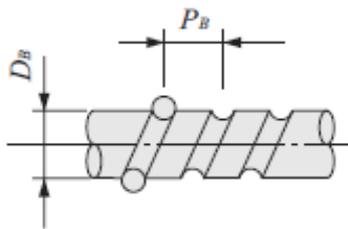
ภาพที่ 3.11 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

+5 V	34	33	PFI 0
D GND	32	31	P1.3
P1.2	30	29	P1.1
P1.0	28	27	P0.7
P0.6	26	25	P0.5
P0.4	24	23	P0.3
P0.2	22	21	P0.1
P0.0	20	19	D GND
LED	18	17	D+
VBUS	16	15	D-
AI GND	14	13	AI GND
AI 4 (AI 0-)	12	11	AI 0 (AI 0+)
AI 5 (AI 1-)	10	9	AI 1 (AI 1+)
AI 6 (AI 2-)	8	7	AI 2 (AI 2+)
AI 7 (AI 3-)	6	5	AI 3 (AI 3+)
AI GND	4	3	AI GND
AO 1	2	1	AO 0

ภาพที่ 3.12 ผังการต่อของ USB-6009 OEM

3.2.6 Ball screw

งานวิจัยนี้ได้เลือก Ball screw แบบเจีย (Grounded or precision ball screw) มาใช้งานในการขับเคลื่อนหัววัดตามคำสั่งให้ขึ้นเพื่อทำการดึงหรือกดลงเพื่อทดสอบเนื้อสัมผัส



ภาพที่ 3.13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างระหว่างร่องของ Ball screw

โดย Ball screw ที่เลือกมาใช้งานจะมีระยะห่างระหว่างร่อง (P_B) ตามภาพที่ 3.13 เท่ากับ 2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_B) เท่ากับ 8 mm. และจะกำหนดค่าในโปรแกรมในการควบคุม Servo motor มีความละเอียดเป็น 5,000 pulse/rotation หรือกล่าวได้ว่าค่าความละเอียด (Desired resolution, Δ_l) ถูกกำหนดไว้ที่ 0.0002 mm/step กรณีต้องการทราบว่าหนึ่งระยะการหมุนของแกน (Step) เป็นกิโลสามารถคำนวณได้ตามสมการ 3.2

$$\theta_s = \frac{360^\circ \times \Delta_l}{P_B} \quad (3.2)$$

โดยที่ θ_s คือ องศาในการเคลื่อนที่หนึ่งระยะ

Δ_l คือ ความละเอียดในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่งระยะ(mm./step)

P_B คือ ระยะห่างระหว่างร่อง (Pitch)

ซึ่งเมื่อนำค่าแทนเข้าไปในสมการแล้ว จะได้ θ_s เท่ากับ 0.072 องศาต่อหนึ่งระยะการหมุนของแกน กรณีถ้าต้องการทราบว่าต้องจ่ายจำนวน Pulse เท่าใด ให้มีการเคลื่อนที่ไปในระยะทางที่ต้องการในแนวขนานกับแกน จะคำนวณได้ดังสมการ 3.3

$$A = \frac{l}{P_B} \times \frac{360^\circ}{\theta_s} \quad (3.3)$$

โดยที่ A คือ จำนวน Pulse

l คือ ระยะทาง(mm.) การเคลื่อนที่ในแนวขนานกับแกน

เมื่อนำค่าระยะทาง (l) เท่ากับ 2 mm. P_B เท่ากับ 2 mm. และ θ_s เท่ากับ 0.072 องศา ใส่กลับเข้าไปในสมการที่ 3.3 จะทำให้ได้จำนวน pulse (A) เท่ากับ 5,000 ซึ่งเป็นจำนวน pulse ที่กำหนดเป็นความละเอียดต่อการหมุนหนึ่งรอบ

3.2.7 หัววัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเบื้องต้น เพื่อประเมินความเป็นไปได้สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ที่ทำงานด้วยหลักการเดียวกับการทำงานของเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ดังนั้น ในการศึกษาเบื้องต้น จึงเลือกวิธีการทดสอบทั้งในรูปแบบของการเจาะ และการดึง โดยวิธีการทดสอบแบบเจาะเลือกใช้หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.14 และวิธีการทดสอบแบบดึงใช้หัววัดดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.14 หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.15 หัววัดเพื่อทดสอบแบบดึง

3.2.8 โปรแกรมควบคุม

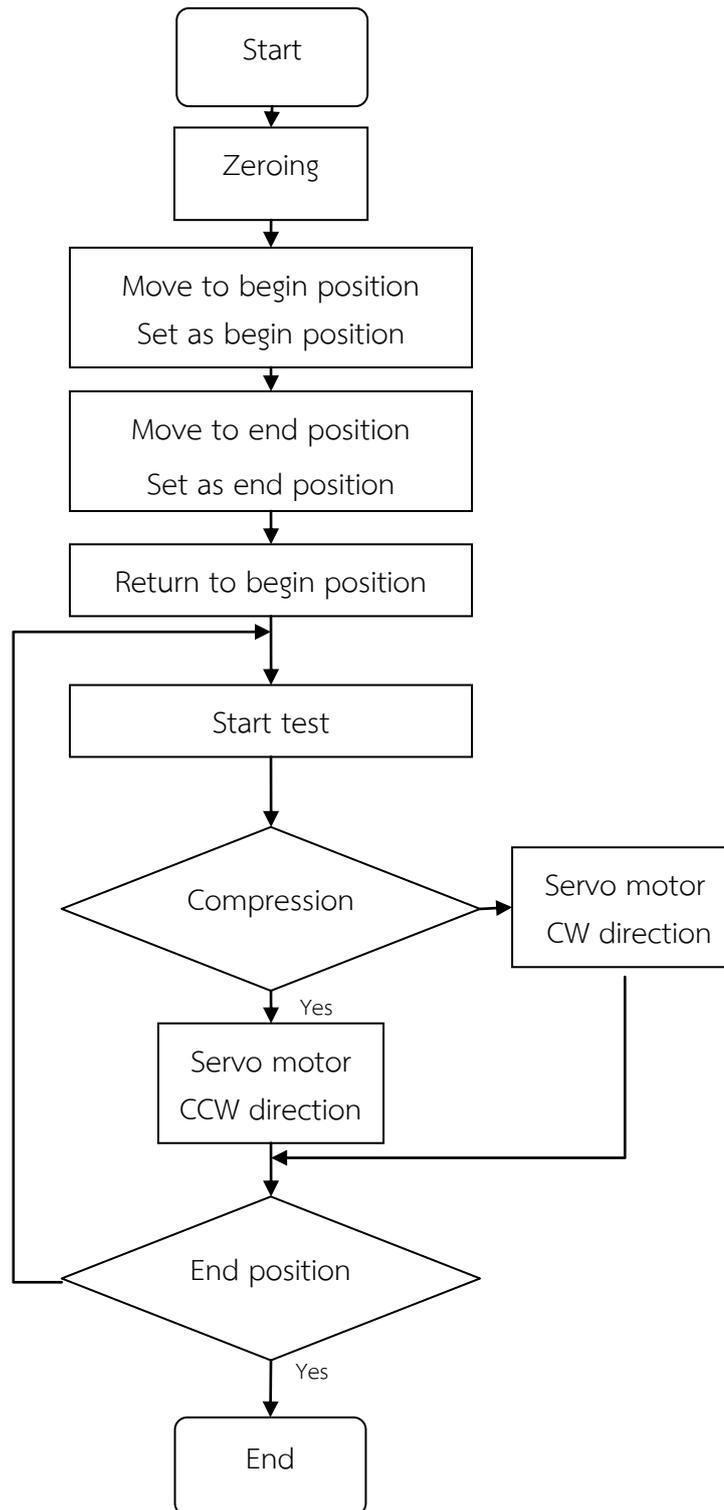
งานวิจัยนี้ได้ทำการวางผังการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบเนื้อสัมผัสดังภาพที่ 3.16 โดยนำโปรแกรม Labview มาใช้ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ตัวโปรแกรมประกอบด้วย ฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดจำนวนมาก ซึ่งจะมีประโยชน์สูงสุดเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดแบบต่าง ๆ Labview เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ ไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใด ๆ และลักษณะภาษาของโปรแกรมนี้อาจเรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าภาษา G (Graphic language) ซึ่งแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัด เช่น C ,Basic สามารถลดความยุ่งยากในการจัดการเกี่ยวกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น port หรือ card ต่างๆ โดย Labview ประกอบด้วยฟังก์ชัน 3 ส่วนคือ Front panel, Block diagram และ Icon & Connector ทั้ง 3 ส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ตามลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้ง 3 โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 Front panel เป็นส่วนในการสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม หรือที่เรียกกันว่า User interface โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆไป เช่นมีสวิตซ์ปิดเปิด ปุ่มกด จอแสดงผล ดังนั้น Front panel นี้จึงเปรียบเสมือน GUI ของโปรแกรม ลักษณะของ Front panel แสดงดังภาพที่ 3.17

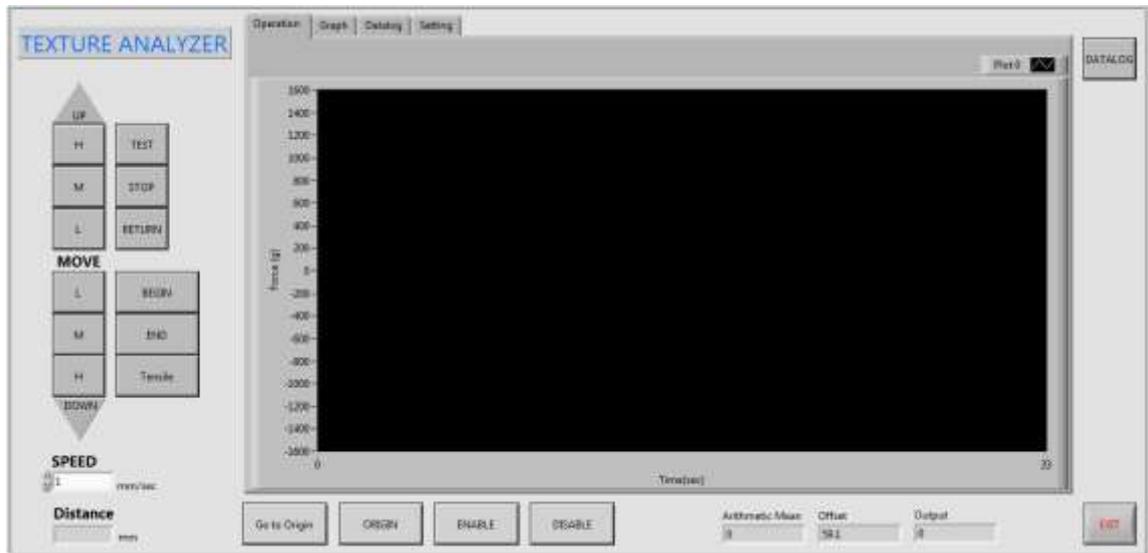
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ Front panel ที่จะมีลักษณะที่สำคัญ 2 แบบ คือ ตัวควบคุม (Controls) เพื่อให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนื้อสัมผัส ในลักษณะเป็นปุ่มกด ส่วนที่สองเป็นตัวแสดงผล (Indicator) ซึ่งแสดงผลออกมาเป็นรูปภาพหรือดึงผลการทดลองมาแสดงที่กราฟได้เช่นเดียวกัน

ส่วนที่ 2 Block diagram เปรียบเสมือน Source code ของโปรแกรมที่พัฒนาด้วย Labview ซึ่งเป็นภาษารูปภาพ โดย Block diagram จะสามารถทำงานได้ทันที (Executable program) และจะมีข้อดีคือโปรแกรม Labview สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้ตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น ซึ่งผู้เขียนจะสามารถดูรายละเอียดของข้อผิดพลาดที่จะแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้น

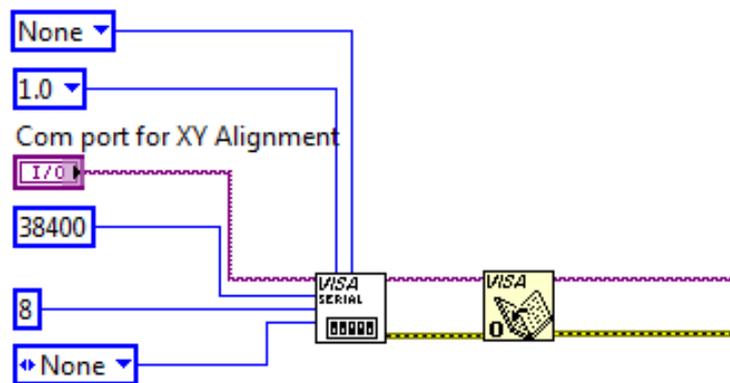
ส่วนประกอบภายใน Block diagram จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นแต่ละส่วนจะปรากฏอยู่ในรูปของ Block เราจะได้รับ การต่อสาย(wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เขียน Block diagram ที่เป็นส่วนสำคัญ คือ ส่วนของการเชื่อมต่อผ่านทาง RS-232 ดังแสดงตามภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุม

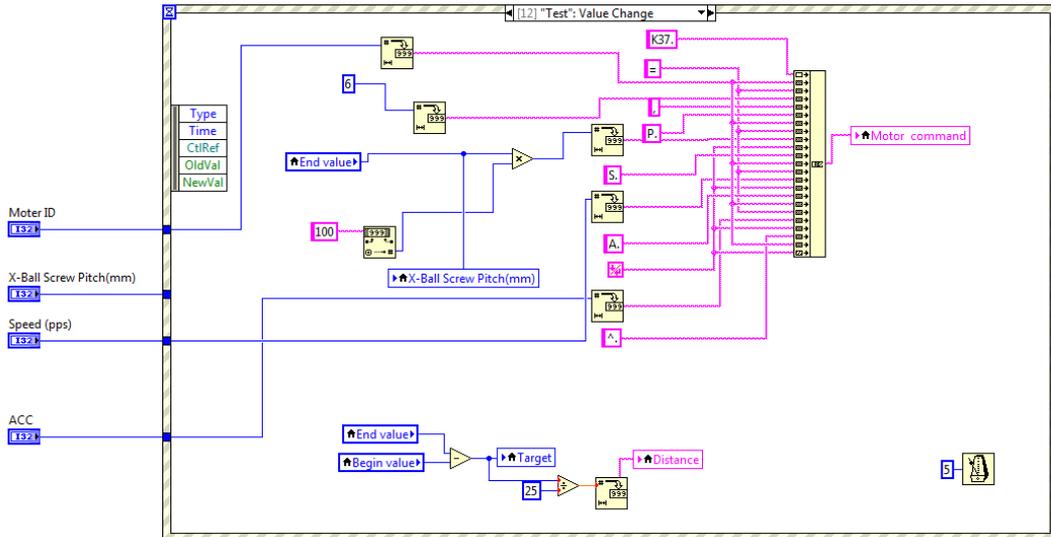


ภาพที่ 3.17 Front panel ของโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุม



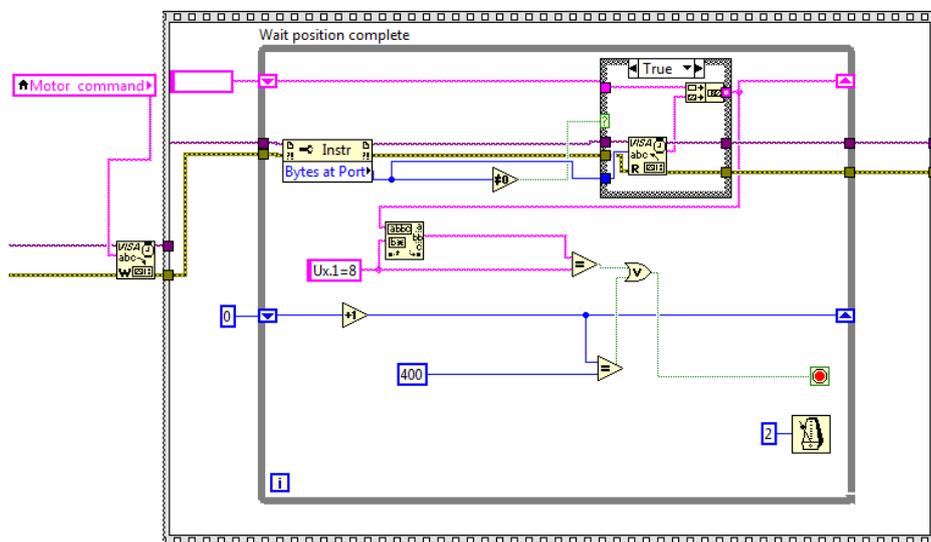
ภาพที่ 3.18 Block diagram ที่กำหนดในการเชื่อมต่อผ่านทาง RS-232

Block diagram ส่วนที่ใช้รับคำสั่ง และส่งข้อมูลให้กับชุดควบคุม Servo motor ดังแสดงตามภาพที่ 3.19



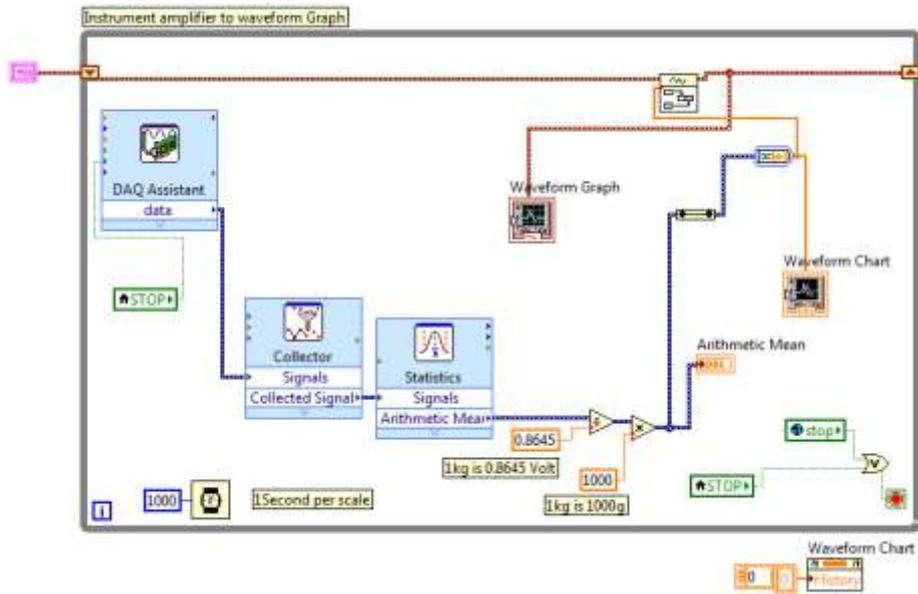
ภาพที่ 3.19 Block diagram ที่รับค่าและส่งต่อไปยังชุดควบคุม Servo motor

Block diagram ส่วนที่รับข้อมูล และเป็นชุดควบคุม Servo motor ซึ่งจะเชื่อมต่อกับชุดขับ Servo motor (Driver) ผ่านทาง RS-232 ดังแสดงตามภาพที่ 3.20



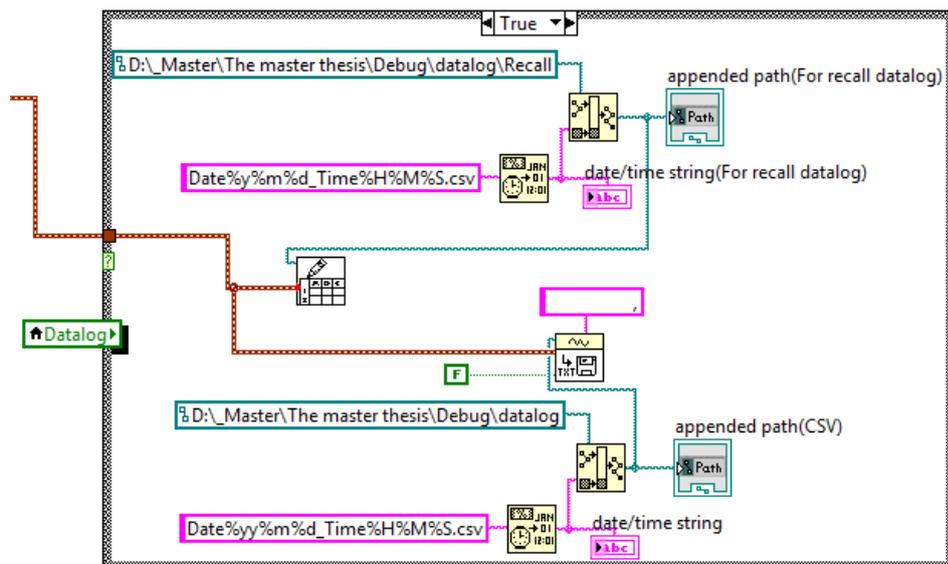
ภาพที่ 3.20 Block diagram ที่รับข้อมูลและส่งค่าไปที่ชุดขับ Servo motor

เมื่อมี Block diagram ในการควบคุมการเคลื่อนขึ้นลงของหัววัด ที่เชื่อมต่อกับ Ball screw จากการควบคุมการทำงานของ Servo motor จากนั้นจึงมีการเขียน Block diagram เพื่อทำการวัดผลตอบสนองของแรง โดยวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านวงจรขยายสัญญาณ (Instrument amplifier) โดยความต่างศักย์จะถูกวัดผ่านทาง DAQ USB-6009 และนำค่าที่ได้จากการวัดไปแสดงผลเป็นกราฟ ดังแสดงตามภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 Block diagram ในการรับค่าจากวงจรขยายสัญญาณและการแสดงผลกราฟ

จากนั้นสามารถนำกราฟที่เป็นข้อมูลเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ และสามารถเรียกดูในภายหลัง ตาม Block diagram ตามภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 Block diagram ในการเก็บผลกราฟ

ส่วนที่ 3 Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย(Subroutine) ในโปรแกรมปกติทั่วไป Icon หมายถึง Block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน Labview จะเรียกโปรแกรมย่อยนี้ว่า Sub VI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมภาษารูปภาพนี้ก็คือ สามารถสร้าง VI ทีละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมหลักที่เรียกเพื่อเรียกโปรแกรมย่อยมาใช้งาน แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำโปรแกรมย่อยมาใช้งาน

3.2.9 หลักการทำงาน

เมื่อสร้างอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหารและโปรแกรมควบคุมสำเร็จ ให้วางผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดสอบลงบนฐาน จากนั้นใช้โปรแกรมในการควบคุมหัววัดให้เคลื่อนที่มายังผลิตภัณฑ์ที่ทำการวัด และตั้งค่าที่โปรแกรมให้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้น ถัดไป จะทำการควบคุมให้หัววัดค่อย ๆ กดหรือดึงผลิตภัณฑ์ โดยมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะถูกควบคุมจากโปรแกรม โดยส่งคำสั่งไปยังชุดควบคุมของเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อหัววัดกดหรือดึง จะเกิดแรงต้านกลับกระทำต่อหัววัด ทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจในโพลดเซลล์เปลี่ยนไป จึงทำให้วงจรมีค่าไม่สมดุล เกิดเป็นค่าความต่างศักย์ซึ่งแปรผันตรงกับแรงที่ทำให้วัสดุเสียรูป (เพ็ญศิริ ทองผดุงโรจน์, 2547) จากนั้นโปรแกรมจะประมวลค่าแรงในหน่วยกรัมน้ำหนัก ส่งค่าเป็นกราฟแสดงผลออกมา และยังสามารถบันทึกค่าเก็บไว้ไปข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์

3.3 การสอบเทียบ

เนื่องจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นลักษณะเครื่องมือวัด จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดเพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความน่าเชื่อถือ วิธีการสอบเทียบอาจจะใช้เครื่องมือวัดแรงขนาดเล็ก วัดน้ำหนักจากการกด หรือใช้ตุ้มน้ำหนักซึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามภาพที่ 3.23 แขนงลงบนโพลดเซลล์ตามตัวอย่างภาพที่ 3.24 เนื่องจากสเตรนเกจที่ต่ออยู่ในโพลดเซลล์มีลักษณะเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ ซึ่งเป็นบริดจ์สมดุล การกดลงของหัววัดกับการรับน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนักจะมีค่าเท่ากันแต่เป็นทางตรงกันข้ามเท่านั้น หลักการดังกล่าวสามารถทำการสอบเทียบได้เช่นเดียวกัน

เมื่อนำตุ้มน้ำหนักมาสอบเทียบกับอุปกรณ์ทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้น หาย่านการวัดที่เหมาะสม โดยมีลักษณะเป็นเชิงเส้น เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง



ภาพที่ 3.23 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน



ภาพที่ 3.24 การสอบเทียบโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก

ทำการสอบเทียบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 0 g จนถึง 1,300 g มาห้อยไว้ที่ตัวโพลดเซลล์ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการวัด จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความสัมพันธ์ การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยมาก หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

- 0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
- 0.70 - 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
- 0.50 - 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
- 0.30 - 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
- 0.00 - 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

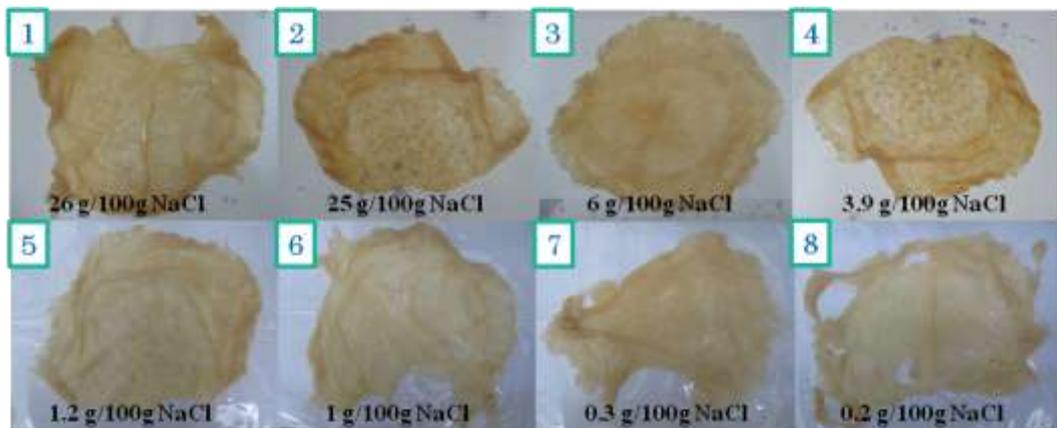
จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาค่าความถูกต้องแม่นยำของชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyzer (Stable Micro System Texture Analyzer รุ่น TA.XT plus) โดยทำการทดสอบกับวัสดุอาหาร ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างสูง โดยตัวอย่างที่เลือกนำมาใช้ในการทดสอบ มีดังนี้ มะละกอ แอปเปิ้ล มะเขือขาว ฝรั่ง มันฝรั่ง พริกเขียว หัวไชเท้า และแครอท ซึ่งผักและผลไม้ที่เลือกมาใช้นี้ มีค่าความต้านทานที่แตกต่างกัน โดยมะละกอมีค่าต่ำที่สุด และแครอทมีค่าสูงที่สุด ตามลำดับการเรียงรายชื่อวัสดุทดสอบ

3.4 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

แบ่งการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบด้วยวิธีการเจาะทะลุและวิธีการดึง

3.4.1 การทดสอบด้วยวิธีการเจาะทะลุโดยใช้หัววัดทรงกระบอก

วัตถุดิบที่นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีการเจาะ ได้แก่ แมกกะพรุนดองแห้งส่วนร่วมที่ยังไม่ล้างน้ำและที่ผ่านการล้างน้ำสะอาดแล้ว (ล้างทำความสะอาดในอัตราส่วนน้ำ 5 ลิตรต่อแมกกะพรุน 1 ตัว) เยลลี่ และเยลลี่สต็อก ทำการทดสอบด้วยวิธีการเจาะทะลุโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบที่พัฒนาขึ้นและเปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyzer (Stable Micro System Texture Analyzer รุ่น TA.XT plus) โดยตั้งค่าการทดสอบดังนี้ Pre-test speed 1 mm/s, Test speed 1 mm/s, Post-test speed 1 mm/s และ Trigger force 5 g ทำการทดลอง 5 ซ้ำ การเตรียมตัวอย่างทดสอบแสดงในภาพที่ 3.25 - 3.27 ตัวอย่างภาพการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.28

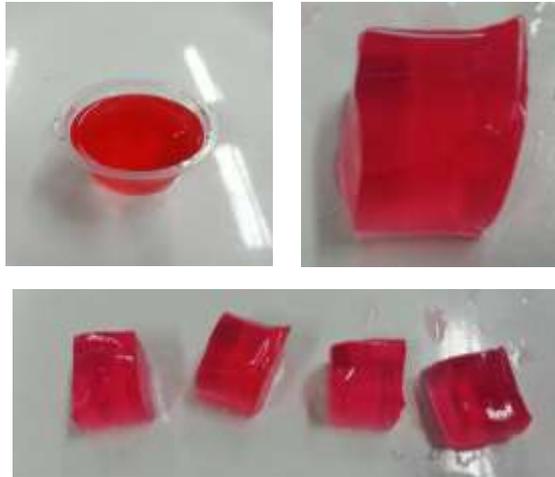


ภาพที่ 3.25 ตัวอย่างรุ่มแมกกะพรุนที่ระดับความเค็มต่าง ๆ

นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบเจาะมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- Y (Yield point) : แรงที่ใช้เจาะทะลุผ่านเนื้ออาหาร หาได้จากจุด Break point จุดแรก (N)
- F_M (Max force/Hardness) : แรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากจุด Max force (N)
- T (Toughness) : งานที่ใช้เจาะทะลุลงไปเนื้ออาหาร หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Yield point (N.mm)
- S (Stiffness) : ความแข็งเหนียวของเนื้ออาหาร หาได้จากค่าความชันจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Yield point (N/mm)

- E (Elasticity) : ค่าความยืดหยุ่นของเนื้ออาหาร หาได้จากค่าความชันก่อนถึงจุด Yield point ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)



ภาพที่ 3.26 ตัวอย่างเยลลี่ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3.27 ตัวอย่างเยลลี่สติกที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3.28 การทดสอบแบบเจาะ

3.4.2 การทดสอบด้วยวิธีการดึง

วัตถุดิบที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการดึง คือ ถ้วยโยเกิร์ตปิดฝาด้วยฟอยล์ ทำการทดสอบด้วยวิธีการดึงที่แผ่นฟอยล์ที่ซีลปิดเป็นฝาถ้วย โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบที่พัฒนาขึ้น โดยตั้งค่าการทดสอบดังนี้ Pre-test speed 1 mm/s, Test speed 1 mm/s, Post-test speed 1 mm/s และ Trigger force 5 g ทำการทดลอง 5 ซ้ำ การเตรียมตัวอย่างทดสอบแสดงในภาพที่ 3.29 ตัวอย่างภาพการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.30 นำกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบเจาะมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ คือ แรงดึงสูงสุด F_M (Max force) ที่ใช้สำหรับการเปิดบรรจุภัณฑ์ (N) เมื่อวิเคราะห์



ภาพที่ 3.29 ถ้วยโยเกิร์ตปิดฝาด้วยฟอยล์



ภาพที่ 3.30 การทดสอบแบบดึง

หลังจากเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้นของความต้านทานแรง โดยใช้ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น จึงทำการทดสอบเพิ่มเติมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น การทดสอบการยึดติดของซองบรรจุยา และการทดสอบการยึดติดของแผงวงจรแบบยืดหยุ่นด้วยการใช้แรงดึงแยกแผงวงจรออกจากสแตนเลสที่ยึดติด