



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร
Peel Strength Testing Equipment for Food Packages

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวกัทรာ หนูนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชี้อัสตัย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

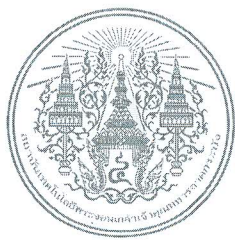
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร
Peel Strength Testing Equipment for Food Packages

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวกัทรာ หนูนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชี้อัสตย์

12700757

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Peel Strength Testing Equipment for Food Packages

Researcher: 1) Navaphattra Nunak

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2) Taweepol Suesut

Department of Instrumentation and Control Engineering,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปการทดสอบความต้านทานแรงของผลิตภัณฑ์ใช้วิธีการกดหรือการดึงด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐาน เครื่องมือทดสอบนี้ออกแบบให้มีย่านการทดสอบที่กว้าง มีความละเอียดสูง และมีราคาแพง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานแรง เพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ตามต้องการ เช่น การทดสอบเนื้อสัมผัสของแมงกะพรุนด้วยแรงกด การทดสอบฝาปิดบรรจุภัณฑ์ของอาหารด้วยแรงดึง ผลการทดสอบที่ได้พบว่า อุปกรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สามารถใช้งานได้จริง สอดคล้องกับผลที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

This research proposes the development of peel strength testing equipment for food packages. Generally, the force resistance of product can be analyzed with compression or tension test using standard testing equipment that is designed for a wide range of use with high accuracy and quite expensive. Therefore, this research aims to design and develop the low cost strength testing equipment for the specific application such as strength testing of dried-jelly fish and peel strength testing of food packages, etc. The obtained experimental results were in agreement with the results from standard testing equipment using in the laboratory.

Keywords: Peel strength testing equipment, Food packages

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายณรงค์เดช เพ็ชรโต นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สำหรับการให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการวิจัย และ “การวิจัยครั้งนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 สำหรับการจัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัย”



นวิภัตรา หนูนาค
ทวีพล ชื้อสตัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การตรวจคุณภาพการติดตั้งของบรรจุภัณฑ์	4
2.2 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและวิธีการทดสอบ	4
2.3 สเตรนเกจและโพลดเซลล์	9
2.4 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด	11
2.5 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 กล่าวนำ	14
3.2 การออกแบบ	14
3.3 การสอบเทียบ	28
3.4 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์	30
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	34
4.1 การสอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน	34
4.2 การหาค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ทดสอบ	35
4.3 การทดสอบความต้านทานแรงกดด้วยวิธีการเจาะทะลุ	36
4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	49

เอกสารอ้างอิง

ประวัติผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น	14
3.2 ค่าที่ใช้ในการกำหนดความละเอียดในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์	19
4.1 ผลการสอบเทียบ	34
4.2 ผลการหาค่าสหสัมพันธ์	35
4.3 ค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น	36
4.4 ค่าที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและจากอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น	39
4.5 ผลการหาค่าสหสัมพันธ์	47



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ซีลปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์	2
2.1 ก) การทดสอบทางประสาทสัมผัส และ ข) การทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	4
2.2 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT plus	5
2.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ก) แรงกด (ข) แรงเฉือน (ค) แรงดึง	6
2.4 การทดสอบแรงดึง (ก) การดึงแนวตั้งฉาก (ข) การดึงลอก (ค) การดึงแนวระนาบ	7
2.5 การทดสอบด้วยวิธีดึงในมุมที่ต่างกัน	8
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการดึงของพิชซ่า	8
2.7 ลักษณะรูปร่างของสเตรนเกจในแบบต่าง ๆ กัน	9
2.8 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ	10
2.9 วงจรวีทสโตนบริดจ์	11
2.10 วงจรขยายแบบเครื่องมือวัด	12
2.11 Ball screw	13
2.12 ผลการทดสอบด้วยวิธีการดึง	13
3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น	15
3.2 โหลดเซลล์ที่นำมาใช้งาน	16
3.3 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัดโดยใช้ IC เบอร์ AD624	16
3.4 วงจรภายในของ Instrument amplifier AD624	17
3.5 ส่วนประกอบของ Servo motor Reliance Cool Muscle	17
3.6 รูปแสดงตำแหน่งของการเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์	17
3.7 การเสียบ Jumper เพื่อเลือกการติดต่อสื่อสารแบบ RS-232	18
3.8 แสดงการเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน	18
3.9 การเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน	18
3.10 วงจรจ่ายไฟฟ้า	20
3.11 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	20
3.12 ผังการต่อของ USB-6009 OEM	21
3.13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระยะห่างระหว่างร่องของ Ball screw	21
3.14 หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร	22
3.15 หัววัดเพื่อทดสอบแบบดึง	22
3.16 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุม	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 1	42
4.16 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 2	42
4.17 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 3	43
4.18 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 4	43
4.19 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 5	43
4.20 เครื่องมือวิเคราะห์ Damper testing machine	44
4.21 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 6	44
4.22 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 7	45
4.23 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 8	45
4.24 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 9	46
4.25 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหยุ่นชั้นที่ 10	46
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	47
4.27 ผลการทดสอบของตัวอย่างช่องบรรจุยา	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

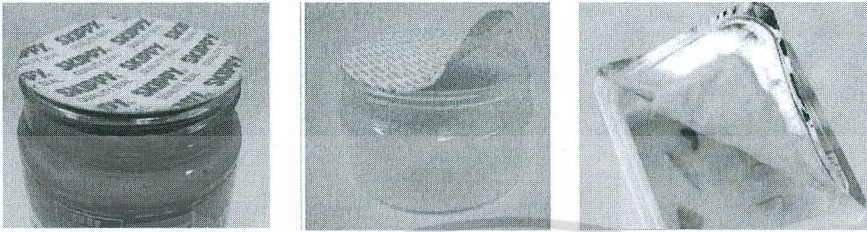
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรจัดเป็นกลุ่มสินค้าที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยรัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญและมีนโยบายให้การสนับสนุนกิจกรรมการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตร ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) ด้านการนำเทคโนโลยีใช้ในการเกษตรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางอาหาร โดยคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คุณภาพของวัตถุดิบ กรรมวิธีการแปรรูป ตลอดจนกระบวนการบรรจุ อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในกระบวนการ รวมไปถึงการจัดการกระบวนการ และการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นสิ่งจำเป็นที่ทั้งผู้ผลิตอาหารและผู้บริโภคต้องให้ความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตก่อนการจัดเก็บและส่งถึงมือผู้บริโภค

วัตถุประสงค์หลักของการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์คือ เพื่อรักษาคุณภาพและปกป้องผลิตภัณฑ์ไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ยังช่วยเพิ่มความสะดวกเรื่องการจัดเก็บ การขนส่ง และการส่งเสริมทางการตลาด ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ขวด กระป๋อง หลอด ถ้วย เป็นต้น โดยบริเวณส่วนฝาปิดอาจทำด้วย พลาสติก โลหะ หรืออลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์แล้วต้องมั่นใจได้ว่าบรรจุภัณฑ์นั้นได้รับการปิดผนึก หรือซีลปิดแน่นเป็นอย่างดี ไม่มีช่องว่างหรือรอยใด ๆ ปรากฏอยู่ระหว่างตัวบรรจุภัณฑ์และฝาปิด ซึ่งจะสาเหตุให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการซีลปิดบรรจุภัณฑ์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการซึมผ่านของสารใด ๆ เข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์ได้ โดยการตรวจสอบความสมบูรณ์แบบของบรรจุภัณฑ์เป็นขั้นตอนสำคัญที่มีบทบาทต่อกระบวนการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การดำเนินการในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิตให้สูงขึ้น และรักษามาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์

การตรวจสอบความสมบูรณ์แบบของบรรจุภัณฑ์หรือการตรวจสอบความแน่นของอลูมิเนียมฟอยล์ที่ซีลปิดบนตัวบรรจุภัณฑ์สามารถทำได้ด้วยการทดสอบแรงดึง โดยการวัดแรงต้านการดึงหรือวัดแรงดึงที่ใช้สำหรับการลอกฝาฟอยล์ ออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบสามารถทำได้ในสองขั้นตอนหลัก ได้แก่ ก่อนเริ่มสายการผลิตแบบต่อเนื่องของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์และซีลปิดฝา และหลังจากการบรรจุผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว โดยในการทำงานของสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ต้องมั่นใจว่ากระบวนการปิดผนึกดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการจริง โดยต้องปรับกระบวนการให้การซีลปิดทำงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มั่นใจได้ว่าการปิดแน่นสนิทจริงเพื่อลดความเสี่ยงในการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับการตรวจสอบภายหลังการบรรจุผลิตภัณฑ์แล้ว ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ออกมาเพื่อตรวจสอบความแน่นของรอยซีล



ภาพที่ 1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ที่ซีลปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

ปัจจุบันวิธีการตรวจสอบความแน่นของอลูมิเนียมฟอยล์ที่ซีลปิดบรรจุภัณฑ์ ใช้การทดสอบแรงดึงด้วยการใช้มือดึงไปยังตัวอย่างโดยตรงเพื่อตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งเป็นเพียงการทดสอบโดยอาศัยประสบการณ์เฉพาะบุคคลเท่านั้น ขาดข้อมูลคุณภาพในเชิงปริมาณที่เป็นมาตรฐานที่แน่นอน หรือการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแม้ว่าปัจจุบันเครื่องมือตรวจวัดเนื้อสัมผัสมีใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เครื่องมือดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูงและต้องการความรู้ความเข้าใจค่อนข้างมากสำหรับการวิเคราะห์ผลที่ได้ นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังเหมาะสำหรับการใช้งานเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้น ข้อเสนอองานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ที่มีต้นทุนต่ำกว่าเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยหลักการวัดผลตอบสนองจากแรงกดหรือแรงดึง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานในเชิงปริมาณ เช่นเดียวกับเครื่องมือวัดแบบมาตรฐานที่ใช้วัดเนื้อสัมผัสที่ช้อยในห้องปฏิบัติการ โดยนอกจากอุปกรณ์ทดสอบนี้จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการทดสอบบรรจุภัณฑ์แล้ว ยังสามารถนำมาใช้ในงานอื่น ๆ ได้เช่นกัน เช่น การวัดการลอกของผลิตภัณฑ์ (Peeling test) ซึ่งใช้หลักการป้อนแรงเพื่อดึงวัสดุที่ยึดติดกันด้วยกาวหรืออื่นๆ ให้แยกออกจากกัน การวัดความตึงแน่นของเทปกาว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร
- 1.2.2 เพื่อนำไปใช้ทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อประเมินคุณภาพของอลูมิเนียมพอยล์ที่ติดอยู่บนบรรจุภัณฑ์ เช่น การทดสอบการยึดติดของฝาโยเกิร์ต การทดสอบลอกซองบรรจุยา ด้วยวิธีทดสอบ Peeling Strength อุปกรณ์ทดสอบที่ออกแบบนี้ทำงานโดยวัดค่าการเปลี่ยนแปลงจากแรงกดหรือแรงดึงที่เป็นเชิงกลมาเปลี่ยนเป็นเชิงไฟฟ้า เพื่อนำค่าดังกล่าวไปประมวลผล หลังจากนั้นได้นำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาสอบเทียบกับคัมมุน้ำหนักที่เป็นมาตรฐานเพื่อสอบเทียบแรงว่าสามารถอ่านค่าได้ถูกต้องแม่นยำเพียงใด ตลอดจนการทดสอบซ้ำเพื่อตรวจสอบค่าความแม่นยำ จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่เป็นมาตรฐาน เพื่อประเมินผลว่ามีค่าที่วัดได้ถูกต้องแม่นยำ หรือใกล้เคียงกับอุปกรณ์มาตรฐานจนเป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้งานได้

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาและประเมินความเป็นไปได้สำหรับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร เพื่อเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์มาเป็นตัวอย่างทดสอบ
- 1.4.2 ศึกษาหลักในการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ทดสอบทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยอาศัยหลักการของการวัดแรงกดหรือแรงดึงจากตัวตรวจวัดความเครียด จากนั้นนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปประมวลผล
- 1.4.3 ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร
- 1.4.4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหารราคาต่ำ
- 1.5.2 สามารถนำไปใช้ทดสอบแรงดึงกับบรรจุภัณฑ์อาหาร หรืองานประเภทอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น การทดสอบความตืดแน่นของกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจคุณภาพการติดแน่นของบรรจุภัณฑ์

การตรวจสอบคุณภาพการติดแน่นของกระดาษพอยล์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation method) และการทดสอบทางกายภาพหรือการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ (Physical method or instrument method) ซึ่งการทดสอบทางกายภาพจะใช้เครื่องมือวัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวลา การเปลี่ยนแปลงรูป หรือเวลา ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นรูปกราฟเรียกว่า Force-Deformation curve และ Force-Time curve และ Stress-Strain curve ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้คนเป็นผู้ทดสอบโดยอาศัยความรู้สึกทางประสาทสัมผัสทางรูป หรือการสัมผัส แต่จะขาดความแม่นยำ เนื่องจากมีอคติและความแปรปรวนจากผู้ทดสอบเกิดขึ้น ต่างจากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำมากกว่า ตัวอย่างการทดสอบโดยใช้ประสาทสัมผัสและการใช้เครื่องมือทดสอบชนิดทำงานโดยอาศัยการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงในภาพที่ 2.1



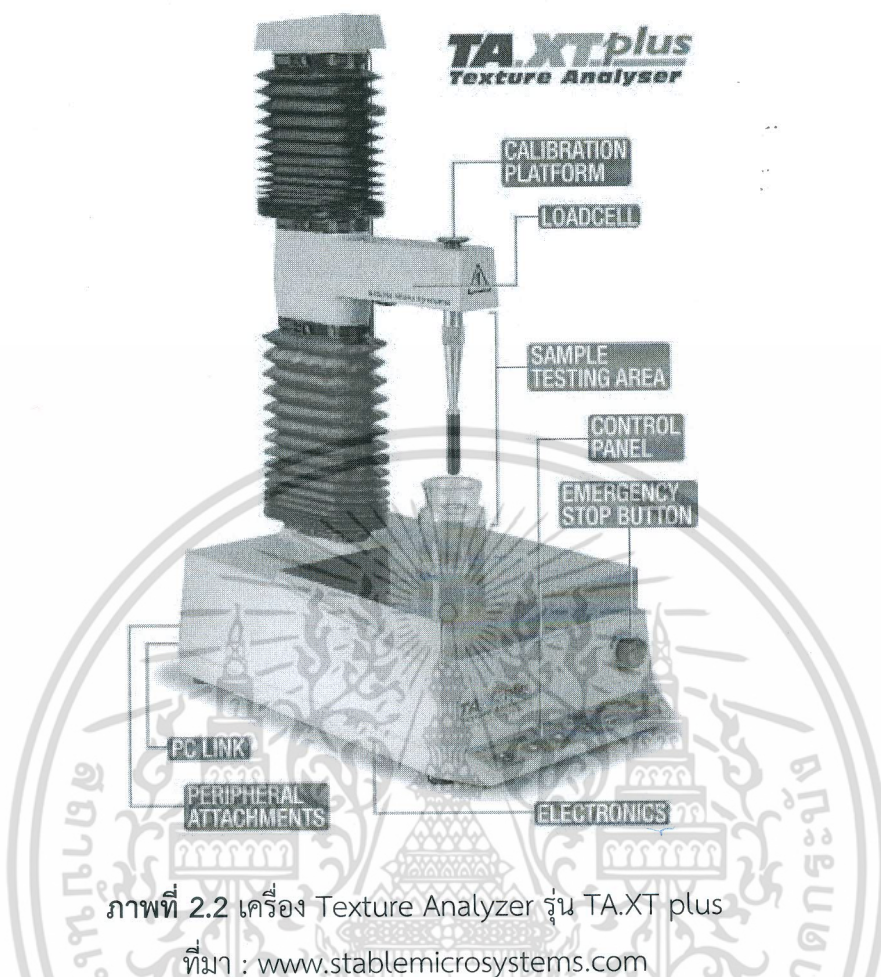
ภาพที่ 2.1 (ก) การทดสอบทางประสาทสัมผัส และ (ข) การทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและวิธีการทดสอบ

2.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส มีหลักการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเป็นเครื่องมือแบบเดียวกันกับวิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ที่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับวัตถุและระยะทาง หรือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัตถุทดสอบได้ ตัวอย่างเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ Texture Analysis (ภาพที่ 2.2) และ Universal Testing Machine เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



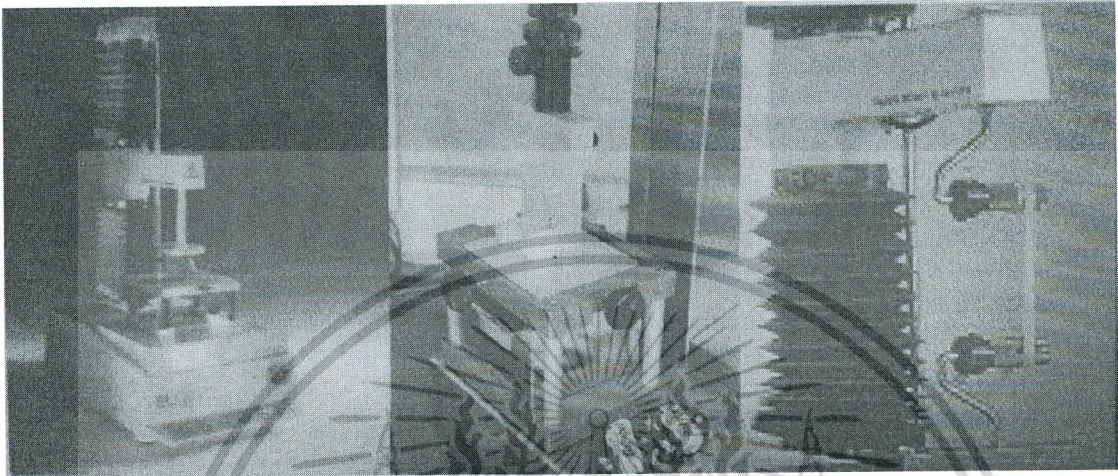
ภาพที่ 2.2 เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT plus

ที่มา : www.stablemicrosystems.com

เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัสนี้สามารถทดสอบด้วยแรงกด แรงเฉือน หรือแรงดึง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.3 การให้แรงชนิดใดขึ้นอยู่กับลักษณะห้วงและทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวกด หลักการทำงานของเครื่อง Texture Analyser คือ หัววัด หรือ probe เชื่อมต่ออยู่กับโหลดเซลล์ เมื่อ probe ได้รับแรงกระทำจะทำให้โหลดเซลล์ได้รับแรงกระทำด้วย และเปลี่ยนค่าแรงดังกล่าวเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และแปลค่าออกมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา (Force-Time) หรือแรงกับระยะทาง (Force-Distance) ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ แท่นวางวัสดุ ที่ติดตั้งหัววัด หัววัด โหลดเซลล์ที่ใช้เป็นตัวตรวจรับแรง ตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัววัดด้วยคอมพิวเตอร์ และข้อมูลแรง ระยะทางและเวลา ซึ่งบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ โดยแท่นวางวัสดุ บางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องใช้ เช่นการวัดแบบแรงดึง หัววัดจะจับยึดปลายทั้งสองของวัสดุ โดยหัววัดจะสัมผัสกับตัวอย่างและติดกับตัวตรวจรับแรง หัววัดมีหลายชนิดขึ้นกับลักษณะการวัดที่ต้องการ เช่น หัววัดแบบแผ่นแบน หัววัดแบบทรงกระบอก เป็นต้น โดยในการทดสอบต้องกำหนดวิธีการทดสอบ ชนิดของหัววัดและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วหัววัด (ที่ติดตั้งหัววัด) ก่อนถึงตัวอย่าง (Pre-test speed) ความเร็วไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัววัดขณะสัมผัสกับตัวอย่างหรือความเร็วขณะทดสอบ (Test speed) ความเร็วหัววัดหลังจากการทดสอบครบขั้นตอนหรือความเร็วถอยขึ้น (Post-test speed) ขนาดแรงเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบหรือระยะทางเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบ หรือค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด (% Strain) เมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบ และความละเอียดของการบันทึกข้อมูล เป็นต้น



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ก) แรงกด (ข) แรงเฉือน และ (ค) แรงดึง

ข้อดีของการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในการทดสอบความต้านทานแรง มีดังนี้

- เครื่องสามารถวัดและประมวลผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากก่อนการวัดเนื้อสัมผัสมีการสอบเทียบ (Calibrate) ก่อนทุกครั้ง
 - เครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ภายใต้สภาวะเงื่อนไขควบคุม
 - เครื่องคอมพิวเตอร์มีโปรแกรมที่ประมวลผลเป็นค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขได้
- จึงง่ายต่อการนำไปใช้งาน

- ให้ค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขในหน่วยมาตรฐาน
- ผู้ใช้เครื่องสามารถศึกษาจากข้อมูลต่าง ๆ จากคู่มือการใช้และทำการวัดตามคู่มือได้

ง่าย

- นำไปประยุกต์ใช้กับอาหารได้หลายชนิด
- ใช้คนจำนวนน้อยในการวัด

ข้อด้อยของการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในการทดสอบความต้านทานแรง มีดังนี้

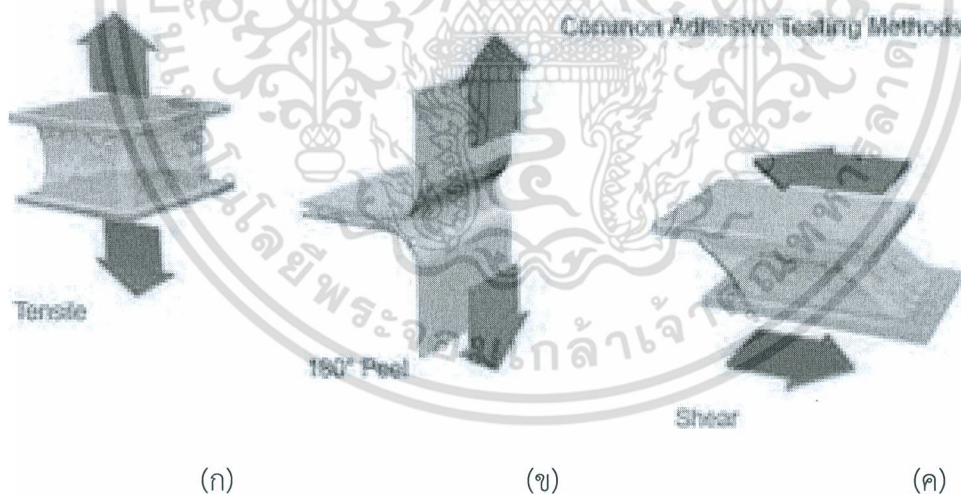
- เครื่องมีราคาแพง
- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้เครื่องเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส(Texture Analyzer) และการเลือกใช้หัววัดให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสเพื่อใช้ในการแปรผลค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส
- ผู้ใช้เครื่องต้องทราบความหมายของค่าเนื้อสัมผัสต่างๆ จึงจะสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และนำไปใช้ได้ถูกต้อง
- เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ทำการเคลื่อนย้ายยาก ต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเคลื่อนย้าย จึงต้องทำการวัดเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

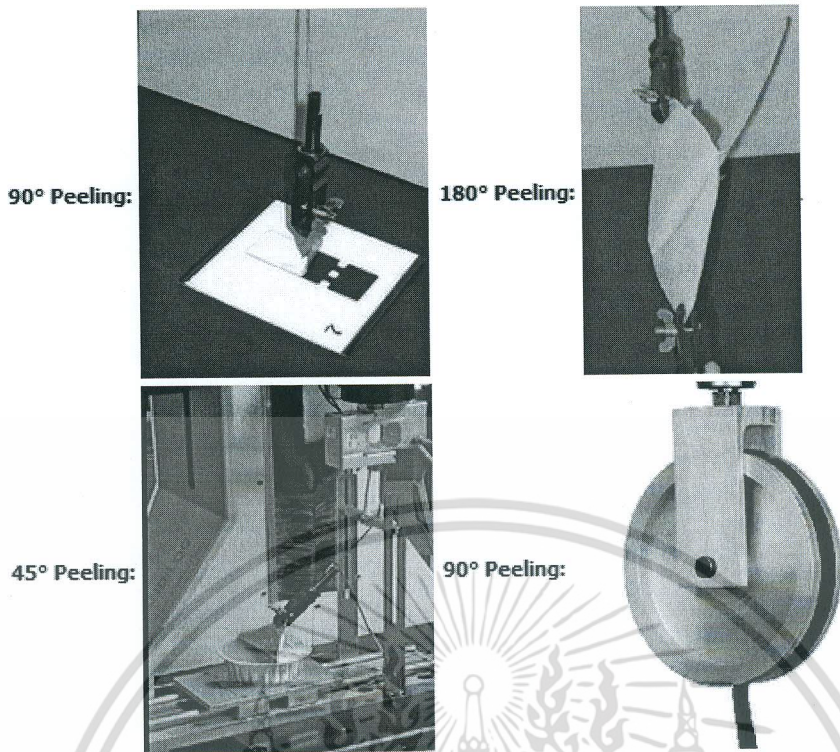
2.2.2 วิธีการทดสอบความต้านทานแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบเพื่อวัดแรงยึดเกาะ วัดค่าความเหนียวว่ามีการยึดเกาะได้ดีมากน้อยเพียงใด ด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดการแบ่งแยกออกจากกันจนกระทั่งเกิดการแตกหัก (Break) ของอาหาร โดยมีรอยแยกที่ไม่เป็นระเบียบ สิ่งที่ต้านแรงแยกคือความเหนียว เช่น ความเหนียวของเส้นใย รูปแบบการทดสอบแรงดึงมี ดังนี้ การดึงในแนวตั้งฉากกับการยึดติด (Tensile) การดึงในแนวระนาบขนานกับแนวการยึดติด (Shear) และ การดึงลอก (Peeling) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ ตัวอย่างการทดสอบโดยการดึง (ภาพที่ 2.5) โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ คือ Peak force ซึ่งเป็นค่าแรงสูงสุดที่ทำให้อาหารเกิดการแยกตัวหรือการเสียหาย



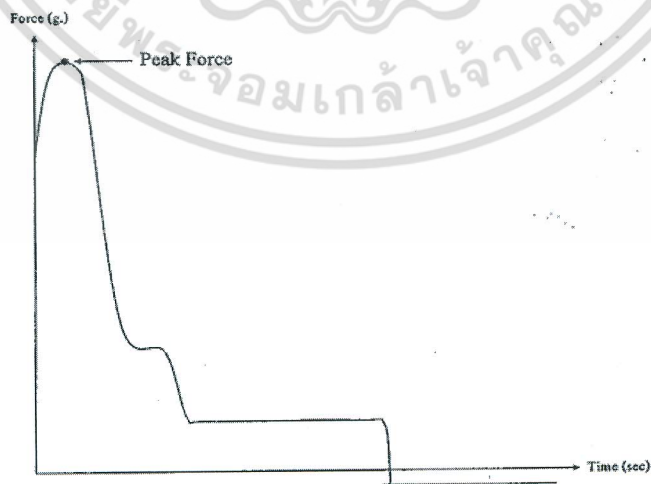
ภาพที่ 2.4 การทดสอบแรงดึง ก) การดึงแนวตั้งฉาก ข) การดึงลอก และ ค) การดึงแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 การทดสอบด้วยวิธีตั้งในมุมที่ต่างกัน

เงื่อนไขข้อกำหนดในการทดสอบขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ รูปร่างของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ Rivals et al (2005) ศึกษาการทดสอบแรงดึงด้วยหัววัดแบบต่าง ๆ โดยอาศัยวิธีการทางสถิติในการประเมินวิธีที่เหมาะสม ตัวอย่างอาหารที่ทดสอบด้วยวิธีนี้ที่ผลิตภัณฑ์เป็นอาหาร เช่น พืชซ่า และเส้นบะหมี่ เป็นต้น หัววัดที่นิยมใช้ ได้แก่ SMS/Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig, Spaghetti/Noodle Test Rig, Tensile Grips, Self-Tightening Roller Grips และ Peel Strength Rig ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบดังแสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการดึงของพืชซ่า

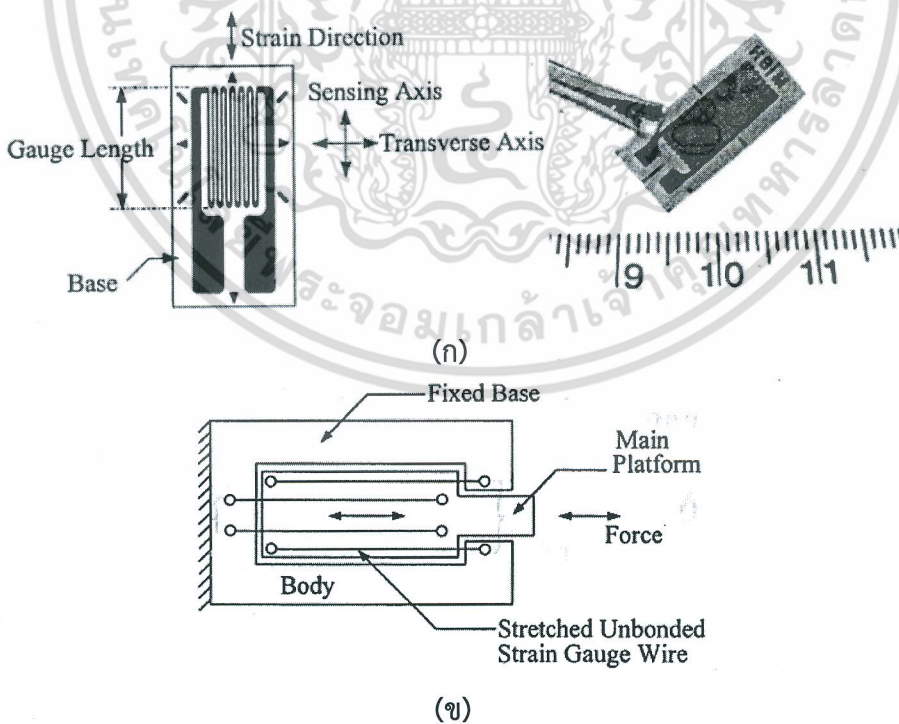
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สเตรนเกจและโหนดเซลล์

สเตรนเกจ เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แบบพาสซีฟ (Passive transducer) โดยใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าภายในเส้นลวดเพื่อตรวจวัดความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวด สเตรนเกจสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบยึดติด (Bonded Strain Gauge) และแบบไม่ยึดติด (Unbonded Strain Gauge) แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.7 ซึ่งสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่คล้ายกันคือ ทำด้วยเส้นเล็กๆ ขดไปขดมาและนำไปติดกับวัสดุที่ต้องการวัดความเครียดเมื่อสเตรนเกจ ถูกดึงให้ยืดออก ความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาวและแปรค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่ R เป็นค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม
 ρ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร
 L เป็นความยาวของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร
 A เป็นพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร

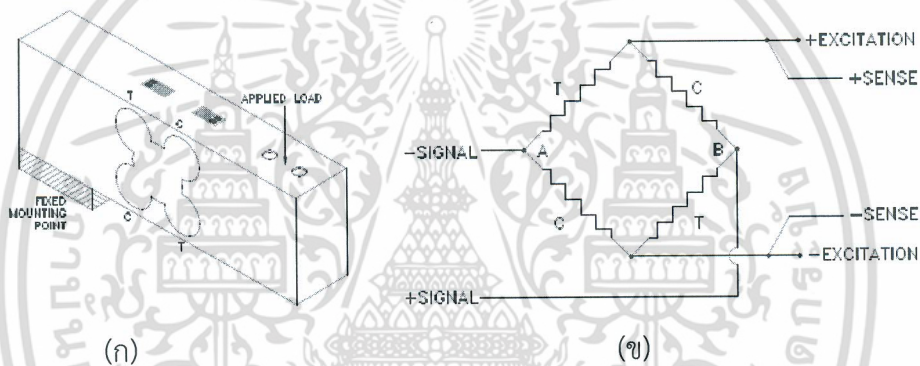


ภาพที่ 2.7 ลักษณะรูปร่างของสเตรนเกจในแบบต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตรนเกจไม่เพียงจะนำมาใช้วัดค่าความเครียดเพียงอย่างเดียว แต่ยังมาใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณ(Transducer) เช่น โหลดเซลล์ สำหรับวัดแรงเป็นต้น

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกดหรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกด แรงดึงของชิ้นงาน โดยแบบที่เลือกใช้เป็นชนิดโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ซึ่งเป็นหลักการเช่นเดียวกับสเตรนเกจ ปกติแล้วมักจะใช้สเตรนเกจวัดความเครียด 4 ตัว โหลดเซลล์แบบคานจะประกอบด้วยสองส่วน คือ คานยื่นและสเตรนเกจ จากภาพที่ 2.8 (ก) คานยื่นมี สเตรนเกจสองตัวอยู่ที่พื้นผิวด้านบน และอีกสองตัวอยู่บนพื้นผิวด้านล่าง โดยทั้งหมดจะต่อกันเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) ดังภาพที่ 2.8 (ข)



ภาพที่ 2.8 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

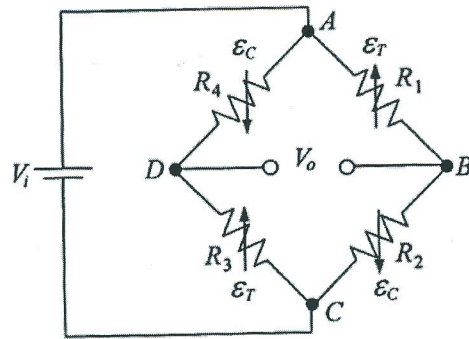
ก) คานยื่นสำหรับยึดสเตรนเกจ และ ข) สเตรนเกจที่ต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์

การต่อวงจรสำหรับตรวจวัดความเครียด โดยปกติแล้วจะใช้วงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบสี่แขน ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งระหว่างจุด B และ D ซึ่งเป็นแรงดันเอาพุท (Voltage output, V_O) จะมีความต่างศักย์เท่ากับ

$$V_O = V_{AB} - V_{AD} \quad (2.2)$$

ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุท (V_O) จะเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อ $R_1 R_3 = R_2 R_4$ ซึ่งในสภาวะนี้จะถือว่าบริดจ์มีความสมดุล ดังนั้นจึงสามารถปรับค่าความต้านทานที่แขนของบริดจ์ได้ตามต้องการเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุท (V_O) เท่ากับศูนย์เมื่อไม่มีความเครียดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 วงจรวีทสโตนบริดจ์

ในการวัดแรงโดยสเตรนเกจ ตัวต้านทานทั้งสองจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึง จากนั้นจะส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเทียบเป็น mV/V หมายความว่า ถ้าจ่ายแรงดัน 10 V ให้กับโหลดเซลล์ที่มีข้อกำหนด (Specification) เป็น 2 mV/V ที่ภาระสูงสุด(Full load) สมมุติว่าน้ำหนักเป็น $2,000 \text{ กิโลกรัม}$ ดังนั้น เมื่อมีแรงกระทำต่อโหลดเซลล์ที่ภาระสูงสุด สัญญาณที่จะได้ก็จะได้เท่ากับ 20 mV ซึ่งจะแสดงแรงดันเข้าพุทเป็นสัดส่วน คือ

0 Kg	จะได้ $V_o = 0 \text{ mV}$
1000 Kg	จะได้ $V_o = 10 \text{ mV}$
2000 Kg	จะได้ $V_o = 20 \text{ mV}$

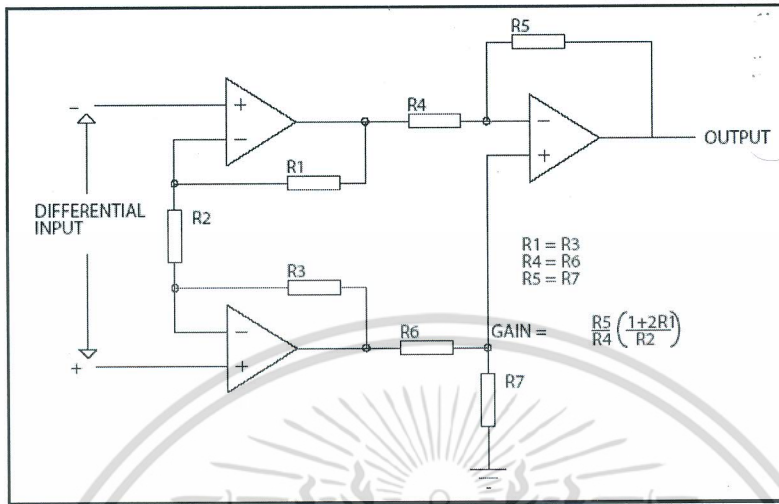
2.4 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument Amplifier)

วงจรขยายแบบเครื่องมือวัด นำมาใช้เพื่อขยายสัญญาณจากโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ เมื่อได้รับแรงกระทำจากโหลด ค่าความต้านทานของสเตรนเกจที่ตัวโหลดเซลล์จะเปลี่ยนแปลง ทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุล ทำให้เกิดมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าออกมาจากวงจรวีทสโตนบริดจ์ เหตุผลที่ไม่ใช้วงจรขยายความแตกต่าง (Differential amplifier) เนื่องจากอาจจะมี Common Mode Rejection Ratio (CMRR) สูง แต่ Input impedance ถูกจำกัดโดยค่าความต้านทานที่ขา Input ทำให้บางครั้งอาจจะมี Input Impedance ต่ำ จะเป็นเหตุให้มีการดึงกระแสจาก Signal source โหลดเข้าสู่วงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่มี Signal source ใดถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานได้สูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้การออกแบบวงจรขยายไม่ต้องเป็นโหลดของตัวตรวจจับสัญญาณ(Sensor) อีก และนอกจากนั้นการที่มีกระแสไหลจาก Signal Source ไปสู่วงจรขยาย อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามาในวงจรได้ง่าย

ส่วนวงจรขยายแบบเครื่องมือวัดจะไม่มีการดึงกระแสจาก Signal Source เนื่องจาก Input impedance ของวงจรเท่ากับ Input impedance ของ Op-Amp ซึ่งปกติมีค่าสูง ข้อดีอีกอย่างคือมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMRR สูง จึงเหมาะกับการนำไปใช้กับตัวตรวจจับสัญญาณซึ่งส่วนใหญ่จะให้สัญญาณ Amplitude ต่ำในสถานะที่มีสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปขยายสัญญาณจากโพลดเซลล์



ภาพที่ 2.10 วงจรขยายแบบเครื่องมือวัด

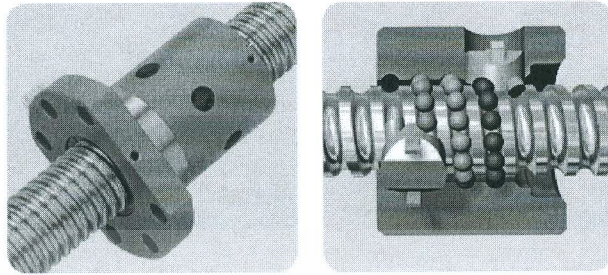
2.5 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่

ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังต่อไปนี้

2.5.1 มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังขดลวดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทาง สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณพัลส์ โดยภายในเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบไปด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดเกียร์และส่วนควบคุม โดยจะประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะทำให้หมุนไปทางซ้ายได้ 90 องศา และไปทางขวาได้ 90 องศา (รวมเป็น 180 องศา) และสามารถสั่งให้หมุนตามองศาที่กำหนดได้ (ในการที่จะทำให้หมุนได้ 360 องศา สามารถทำได้โดยการตัดแปลงแก้ไขวงจรภายใน) การใช้งานเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำ ในเรื่องขององศาหรือการหมุนไปในทิศทางที่ต้องการ ความเร็วหรือระยะทางตามที่กำหนด โดยมีวงจรในการป้อนกลับเพื่อควบคุมความเร็วหรือระยะทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.5.2 Ball screw เป็นระบบการขับเคลื่อนแบบหนึ่งในระบบขับเคลื่อนประเภทเครื่องกล (Mechanic) โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ เพลาเกลียว (Screw shaft) และ Nut มีเม็ดลูกปืนกลม (Ball) เป็นตัวรับน้ำหนักและแรงเสียดทาน Ball screw มีส่วนดีกว่าระบบขับเคลื่อนอื่นๆ มีส่วนประกอบที่น้อย ไม่ซับซ้อน และมีความแข็งแรงกว่าระบบอื่นๆ Ball screw แบบเจีย (Grounded or precision ball screw) ผลิตโดยการนำเพลาคูที่ชุบแข็งแล้ว (Case hardening) มาเจียทางวิ่ง โดยสามารถควบคุมการเจียเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

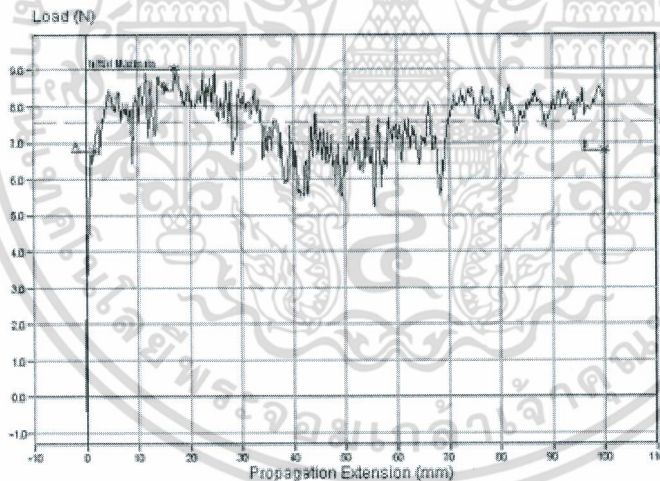
ให้ได้ความละเอียดตามความต้องการ ซึ่งความผิดพลาดจะเกิดขึ้นในช่วงหนึ่ง แต่จะไม่สะสมตามความยาวเหมือนแบบรีด ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง



ภาพที่ 2.11 Ball screw

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chuang และคณะ (1997) แสดงลักษณะกราฟการทดสอบแรงดึง ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดสูงสุดของแรงและหลังจากนั้นจะกลายเป็นลักษณะฟันเลื่อย จนกราฟตกมาที่จุดต่ำสุดเนื่องจากการลอกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ผลการทดสอบด้วยวิธีการดึง

นักวิจัยหลายกลุ่มได้นำวิธีการทดสอบแรงดึงไปใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การทดสอบประสิทธิภาพการยึดติดของเทปกาวเมื่อสัมผัสน้ำด้วยวิธีทดสอบแรงดึง (Jackson et al., 1998) การศึกษาผลของคุณสมบัติทางความร้อนที่มีต่อความแข็งแรงในการดึงลอกกาวพอลิเมอร์ (Trenor et al., 2002) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่พื้นผิวที่มีต่อแรงยึดติดของเทปกาว (McGuiggan et al., 2008) การศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดของกาวธรรมชาติชนิดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (KIM, 2009) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.2 กล่าวนำ

การทดสอบเนื้อสัมผัสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation method) และการทดสอบทางกายภาพหรือการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ (Physical method or instrument method) โดยการทดสอบด้วยเครื่องมือตรวจวิเคราะห์จะให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงที่ดี เนื่องจากไม่มีปัญหาทางด้านความแตกต่างของการตัดสินใจและความลำเอียงของผู้ทดสอบ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการยึดติดของบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งใช้หลักการเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยควบคุมการทำงานของชุดหัววัดและประมวลผลการทำงานด้วยโปรแกรม LABVIEW และแสดงผลออกมาในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวลาการเปลี่ยนรูปหรือเวลา

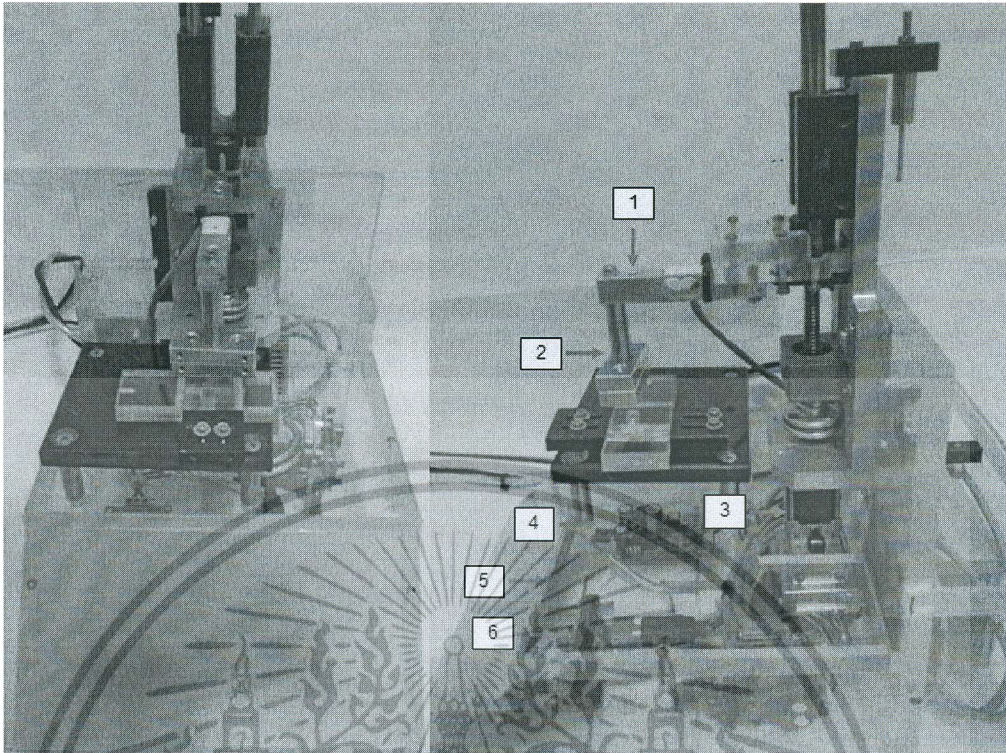
3.2 การออกแบบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



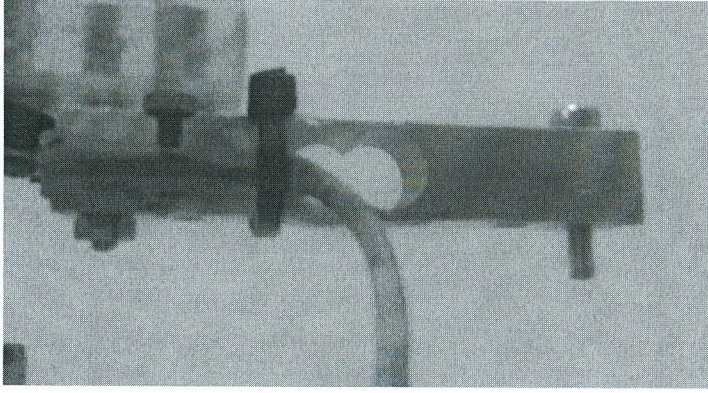
ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 โหลดเซลล์(Load cell)

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

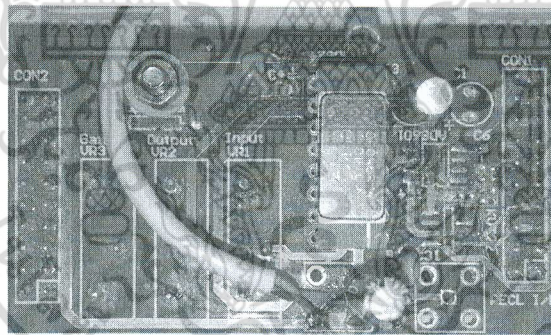
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 โหลดเซลล์ที่นำมาใช้งาน

3.2.2 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument amplifier)

เนื่องจากโหลดเซลล์มีการเปลี่ยนของค่าความต้านทานค่อนข้างน้อย การวัดความต่างศักย์ที่เป็นแรงดันเอาต์พุตของวงจรบริดจ์จึงจำเป็นต้องใช้วงจขยายสัญญาณ ซึ่งจากทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงเลือกใช้วงจขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument amplifier) โดยใช้ IC ของ Analog device เบอร์ AD624 มาใช้ในการขยายสัญญาณ แสดงวงจรดังภาพที่ 3.3



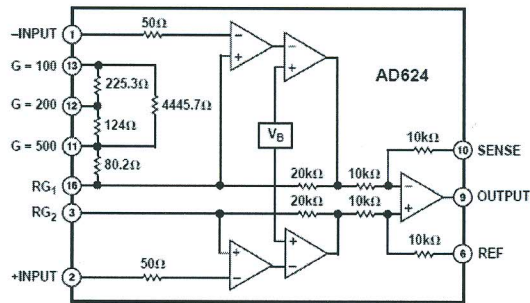
ภาพที่ 3.3 วงจขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัดโดยใช้ IC เบอร์ AD624

โดยอัตราการขยายสัญญาณ (Gain) จะเกิดจากการกำหนด R_G ตามสมการที่ 3.1

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

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

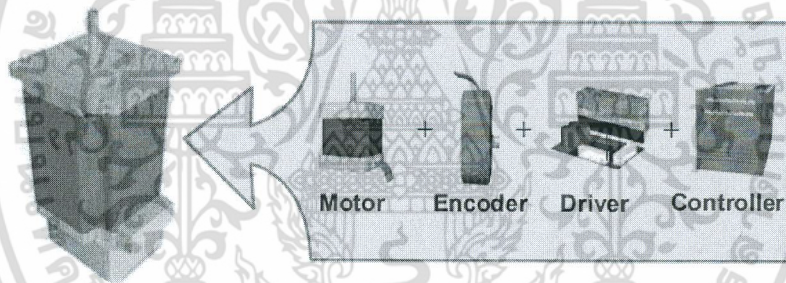
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 วงจรภายในของ Instrument amplifier AD624

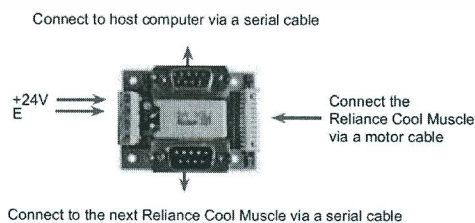
3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

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



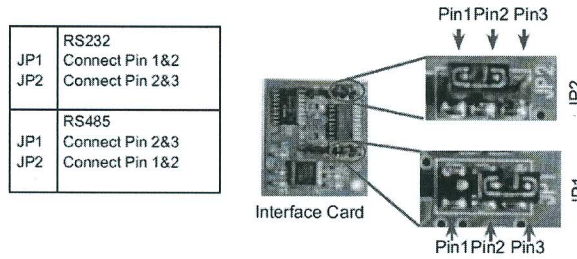
ภาพที่ 3.5 ส่วนประกอบของ Servo motor Reliance Cool Muscle

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

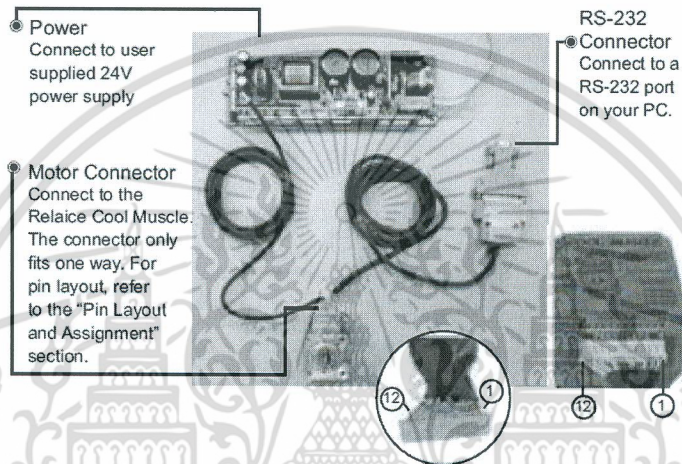


ภาพที่ 3.6 รูปแสดงตำแหน่งของการเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 การเสียบ Jumper เพื่อเลือกการติดต่อสื่อสารแบบ RS-232

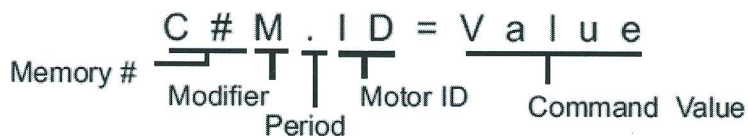


ภาพที่ 3.8 แสดงการเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน

สำหรับคำสั่งในการควบคุม Servo motor ชนิดนี้มีสองประเภทคือ

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

โดยรูปแบบของคำสั่งตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเตรียม Servo motor ให้พร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Memory# คือ ตำแหน่งของหน่วยความจำ

Modifier คือ การเพิ่มค่าเข้าไปในหน่วยความจำ

Motor ID คือ หมายเลขที่ใช้อ้างอิง motor

Command Value คือ ค่าของคำสั่ง

การตั้งค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะถูกระบุที่ส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม โดยแต่ละพารามิเตอร์จะถูกระบุถึงตำแหน่งของหน่วยความจำ ทำตามรูปแบบด้านล่าง

K#=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)

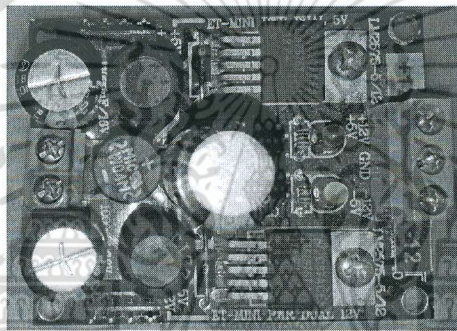
| ใช้ในการกำหนดให้มอเตอร์กลับไปยังจุดเริ่มต้น (Origin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.2.4 วงจรจ่ายไฟฟ้า

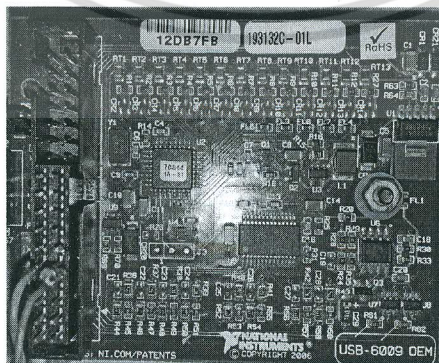
งานวิจัยนี้ได้เลือกวงจรจ่ายไฟฟ้าที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12 โวลต์ และ -12 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 3.10 เพื่อจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด เซอร์โวมอเตอร์ และวงจรวิหสโตแกรม



ภาพที่ 3.10 วงจรจ่ายไฟฟ้า

3.2.5 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

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



ภาพที่ 3.11 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

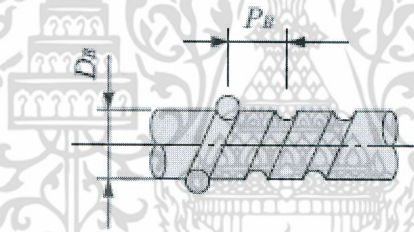
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+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) เป็นกึ่งองศาสามารถคำนวณได้ตามสมการ 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

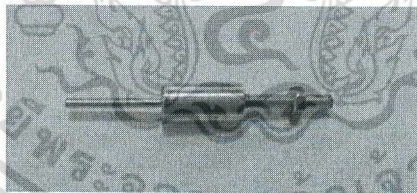
โดยที่ A คือ จำนวน Pulse

l คือ ระยะทาง(mm.) การเคลื่อนที่ในแนวขนานกับแกน

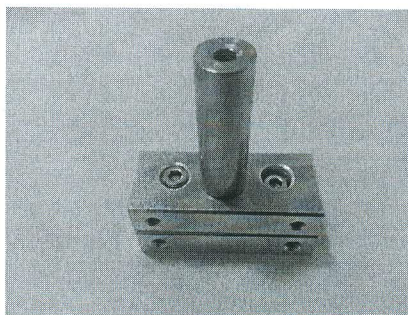
เมื่อนำค่าระยะทาง (l) เท่ากับ 2 mm. P_B เท่ากับ 2 mm. และ θ_s เท่ากับ 0.072 องศา ใส่กลับเข้าไปในสมการที่ 3.3 จะทำให้ได้จำนวน pulse (A) เท่ากับ 5,000 ซึ่งเป็นจำนวน pulse ที่กำหนดเป็นความละเอียดต่อการหมุนหนึ่งรอบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 โปรแกรมควบคุม

งานวิจัยนี้ได้ทำการวางแผนการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบเนื้อสัมผัสดังภาพที่ 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 ส่วน คือ Front panel, Block diagram และ Icon & Connector ทั้ง 3 ส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ตามลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้ง 3 โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

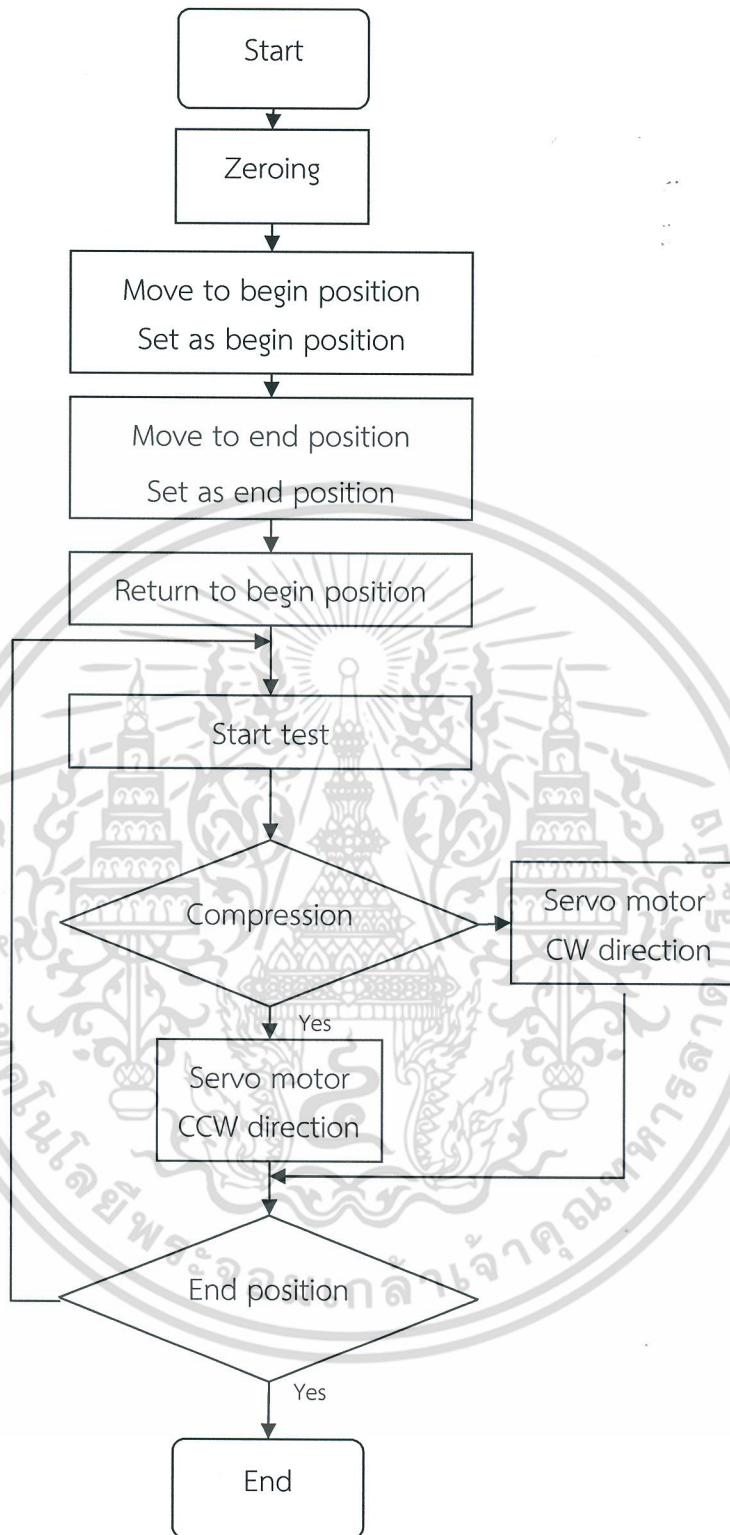
ส่วนที่ 1 Front panel เป็นส่วนในการสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม หรือที่เรียกกันว่า User interface โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่วไป เช่น มีสวิตช์ปิดเปิด ปุ่มกด จอแสดงผล ดังนั้น Front panel นี้จึงเปรียบเสมือน GUI ของโปรแกรม ลักษณะของ Front panel 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

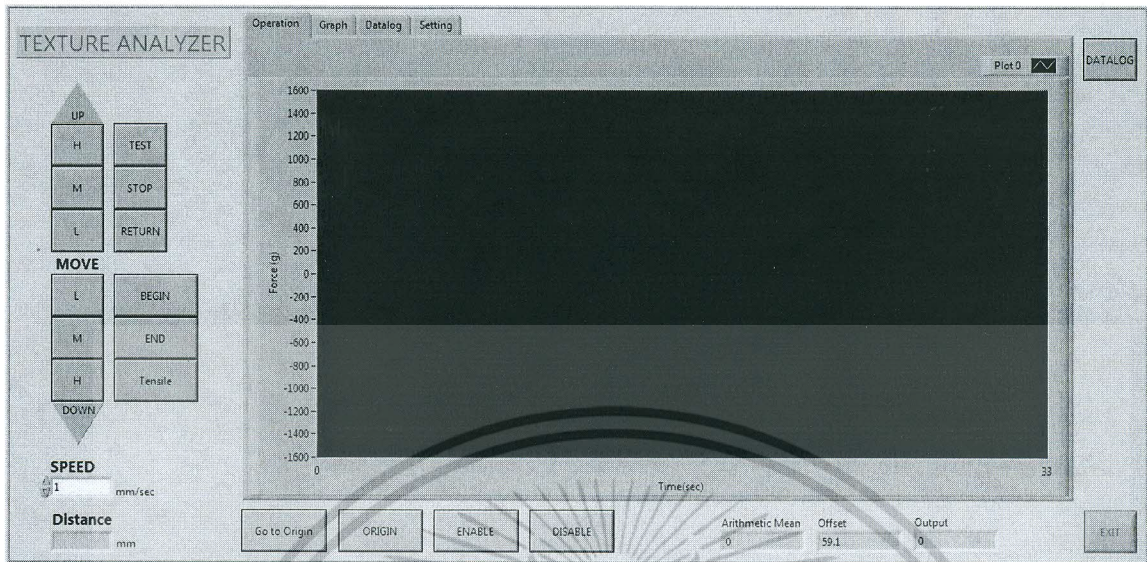
ส่วนประกอบภายใน Block diagram จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นแต่ละส่วนจะปรากฏอยู่ในรูปของ Block เราจะได้รับ การต่อสาย(wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้ได้เขียน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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

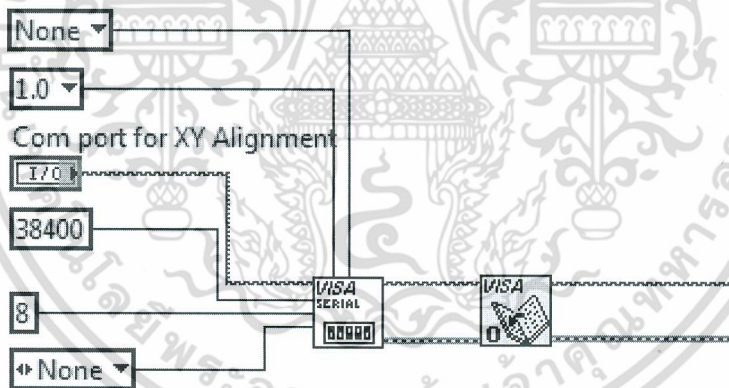


ภาพที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



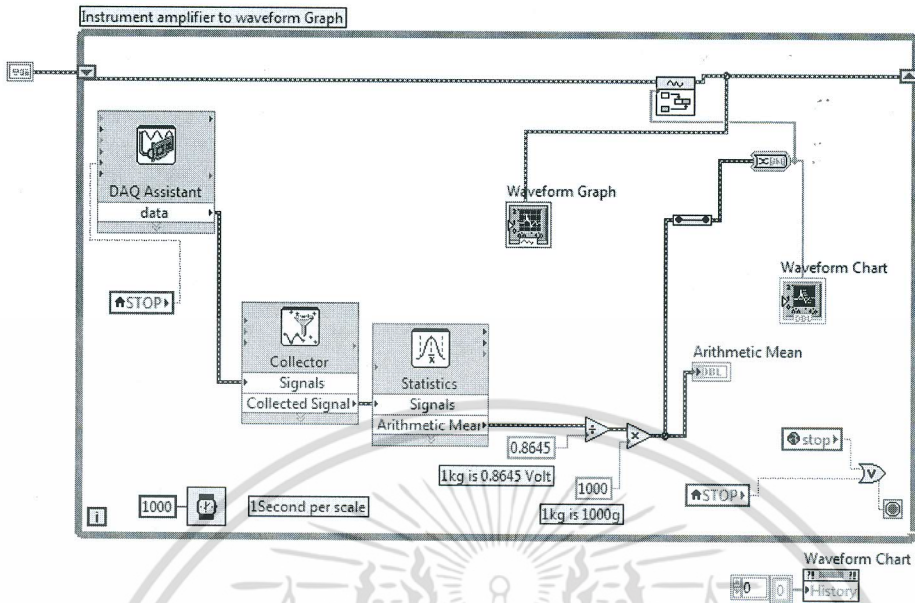
ภาพที่ 3.17 Front panel ของโปรแกรม Labview ที่ใช้ในการควบคุม



ภาพที่ 3.18 Block diagram ที่กำหนดในการเชื่อมต่อผ่านทาง RS-232

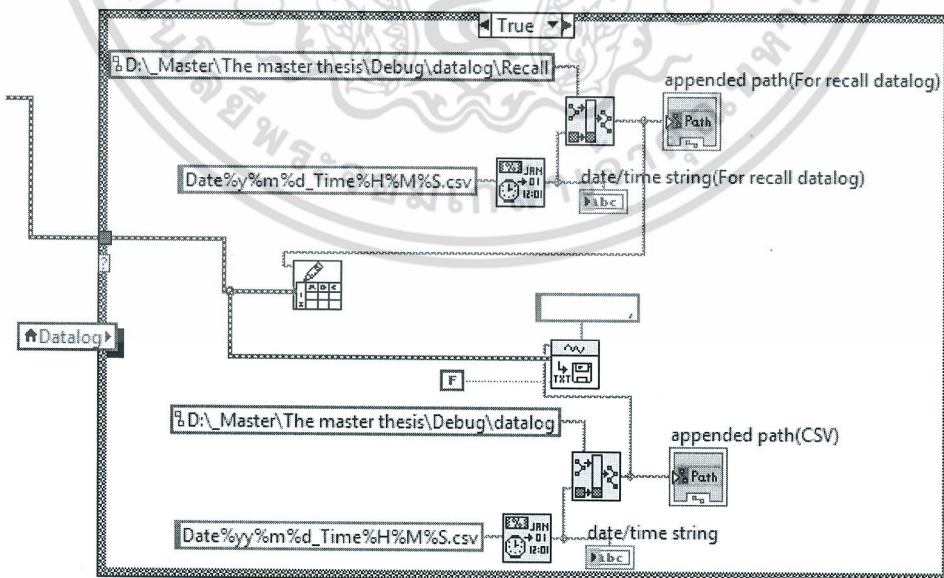
Block diagram ส่วนที่ใช้รับคำสั่ง และส่งข้อมูลให้กับชุดควบคุม Servo motor ดังแสดงตามภาพที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.21 Block diagram ในการรับค่าจากวงจรขยายสัญญาณและการแสดงผลกราฟ

จากนั้นสามารถนำกราฟที่เป็นข้อมูลเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ และสามารถเรียกดูในภายหลัง ตาม Block diagram ตามภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 Block diagram ในการเก็บผลกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 จึงทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุล เกิดเป็นค่าความต่างศักย์ซึ่งแปรผันตรงกับแรงที่ทำให้วัสดุเสียรูป (เพ็ญศิริ ทองผดุงโรจน์, 2547) จากนั้นโปรแกรมจะประมวลค่าแรงในหน่วยกรัมน้ำหนัก ส่งค่าเป็นกราฟแสดงผลออกมา และยังสามารถบันทึกค่าเก็บไว้ไปข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์

3.3 การสอบเทียบ

เนื่องจากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นลักษณะเครื่องมือวัด จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดเพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความน่าเชื่อถือ วิธีการสอบเทียบอาจจะใช้เครื่องมือวัดแรงขนาดเล็ก วัดน้ำหนักจากการกด หรือใช้ตุ้มน้ำหนักซึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามภาพที่ 3.23 แขนงลงบนโพลดเซลล์ตามตัวอย่างภาพที่ 3.24 เนื่องจากสเตรนเกจที่ต่ออยู่ในโพลดเซลล์มีลักษณะเป็นวงจรวิสโตนบริดจ์ ซึ่งเป็นบริดจ์สมดุล การกดลงของหัววัดกับการรับน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนักจะมีค่าเท่ากันแต่เป็นทางตรงกันข้ามเท่านั้น หลักการดังกล่าวสามารถทดสอบเทียบได้เช่นเดียวกัน

เมื่อนำตุ้มน้ำหนักมาสอบเทียบกับอุปกรณ์ทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้น หาย่านการวัดที่เหมาะสม โดยมีลักษณะเป็นเชิงเส้น เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง



ภาพที่ 3.23 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.24 การสอบเทียบโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก

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

- 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 เปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส 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

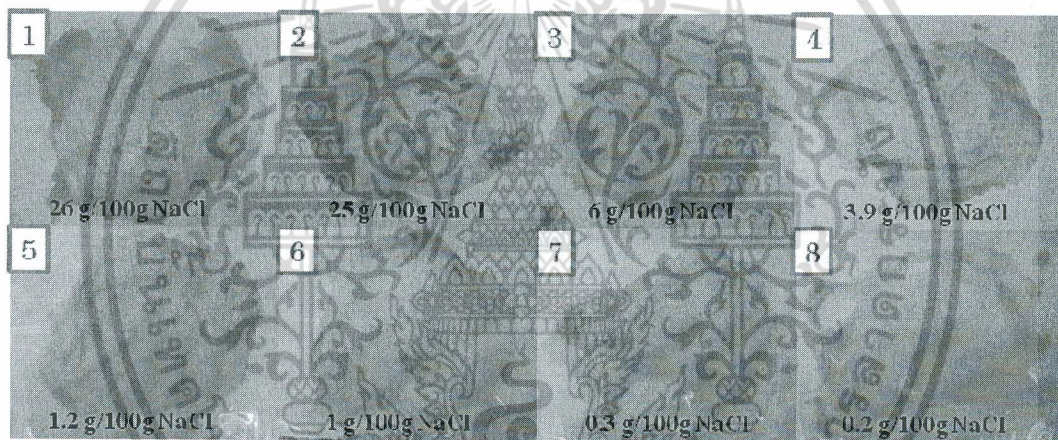
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

แบ่งการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบด้วยวิธีการเจาะทะลุและวิธีการดึง

3.4.1 การทดสอบด้วยวิธีการเจาะทะลุโดยใช้หัววัดทรงกระบอก

วัตถุดิบที่นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีการเจาะ ได้แก่ แยมกะพ룬ดองแห้งส่วนร่วมที่ยังไม่ล้างน้ำและที่ผ่านการล้างน้ำสะอาดแล้ว (ล้างทำความสะอาดในอัตราส่วนน้ำ 5 ลิตรต่อแยมกะพ룬 1 ตัว) เยลลี่ และเยลลี่สติ๊ก 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 ทำการทดสอบ 5 ซ้ำ การเตรียมตัวอย่างทดสอบแสดงในภาพที่ 3.25 - 3.27 ตัวอย่างภาพการทดสอบแสดงในรูปที่ 3.28



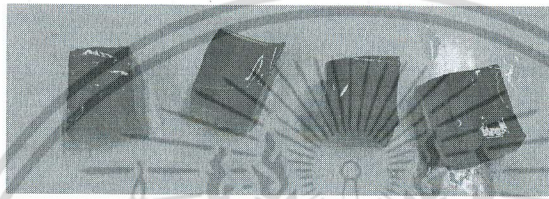
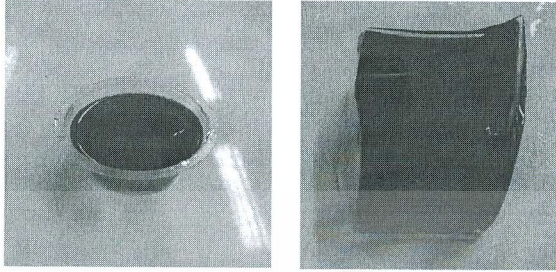
ภาพที่ 3.25 ตัวอย่างรุ่มแยมกะพ룬ที่ระดับความเค็มต่าง ๆ

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) : ความแข็งแรงของเนื้ออาหาร หาได้จากค่าความชันจากจุดเริ่มต้นถึงจุด Yield point (N/mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

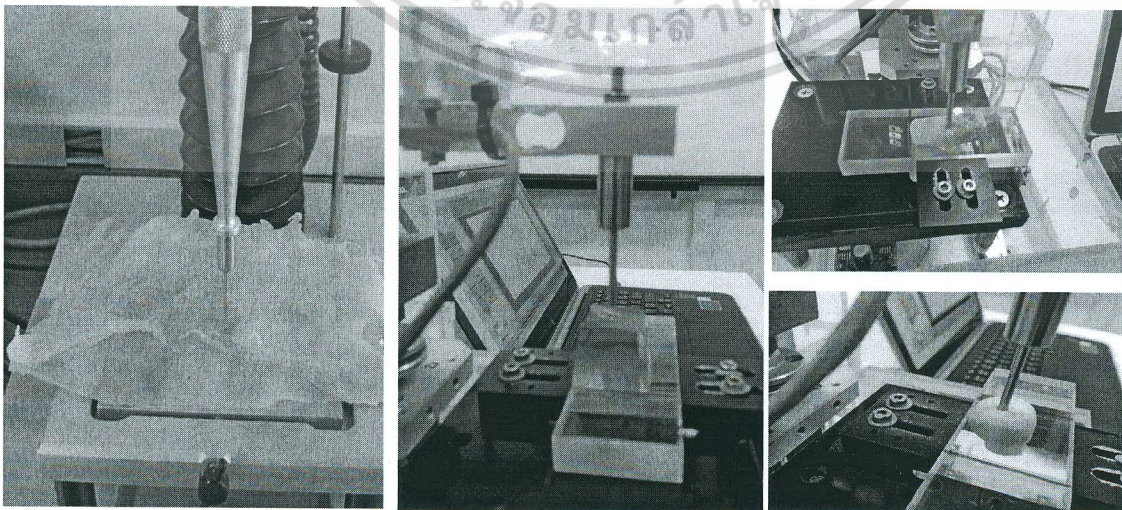
- E (Elasticity) : ค่าความยืดหยุ่นของเนื้ออาหาร หาได้จากค่าความชันก่อนถึงจุด Yield point ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงมากที่สุด (N/mm)



ภาพที่ 3.26 ตัวอย่างเยลลี่ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3.27 ตัวอย่างเยลลี่สดกที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3.28 การทดสอบแบบเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรวิจัยและพัฒนาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดสอบด้วยวิธีการดึง

วัตถุดิบที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการดึง คือ ถ้วยโยเกิร์ตปิดฝาด้วยฟอยล์ ทำการทดสอบด้วยวิธีการดึงที่แผ่นฟอยล์ที่ซีลปิดเป็นผาถ้วย 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้นของความต้านทานแรง โดยใช้
อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น จึงทำการทดสอบเพิ่มเติมกับวัสดุชนิดอื่น เช่น การทดสอบการยึดติดของซองบรรจุยา
และการทดสอบการยึดติดของแผงวงจรแบบยืดหยุ่นด้วยการใช้แรงดึงแยกแผงวงจรออกจากสแตนเลสที่ยึด
ติด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การสอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

การสอบเทียบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมาห้อยไว้ที่ตัวโพลดเซลล์ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการวัด โดยตุ้มน้ำหนักเปรียบเสมือนแรงที่กระทำกับตัวโพลดเซลล์ที่เกิดจากแรงดึง โดยใช้ตุ้มน้ำหนักเพื่อทำการสอบเทียบตั้งแต่ 0 g จนถึง 1,300 g ผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานอยู่ที่ ไม่เกิน +/- 1% และผลการหาค่าสหสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.99 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันสูงมาก ดังนั้น จึงสามารถนำโพลดเซลล์ที่ติดตั้งในอุปกรณ์นี้ไปใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงได้

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

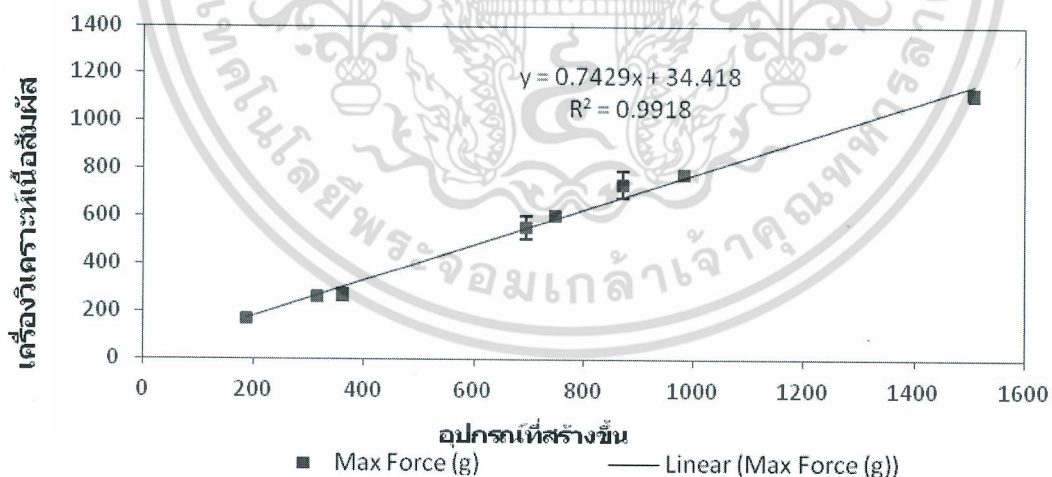
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

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

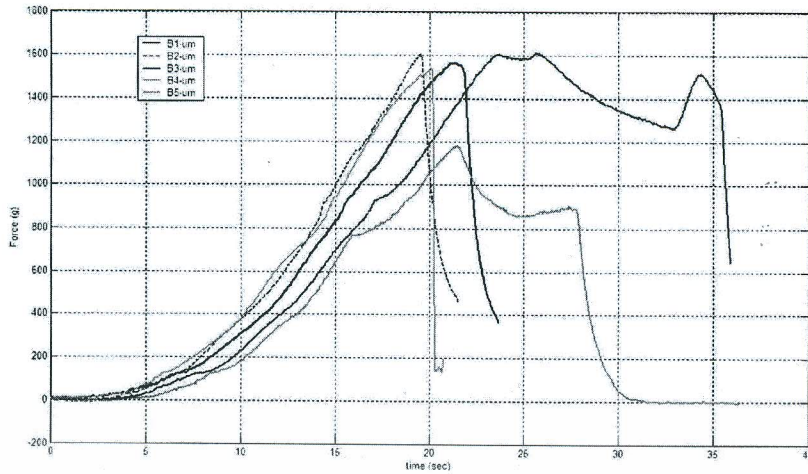
4.2 การหาค่าความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ทดสอบ

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

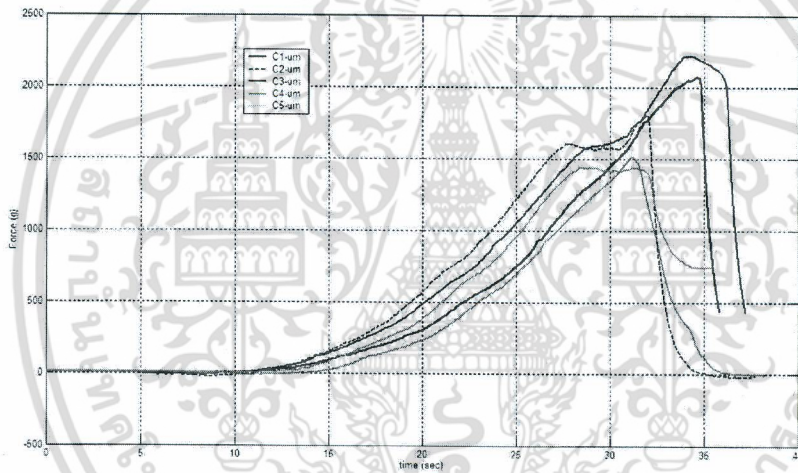


ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max Force ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสกับเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น

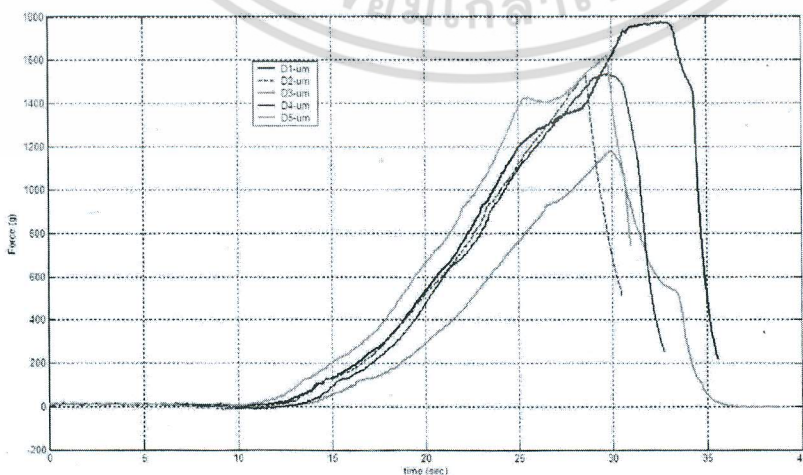
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 22.13 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

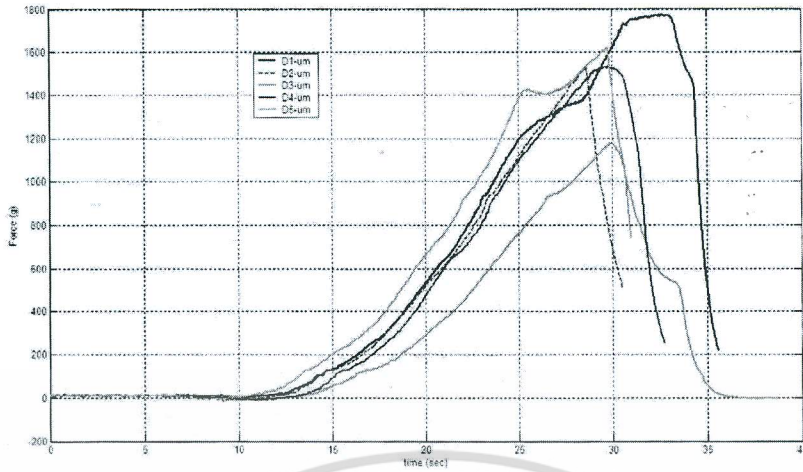


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 21.63 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

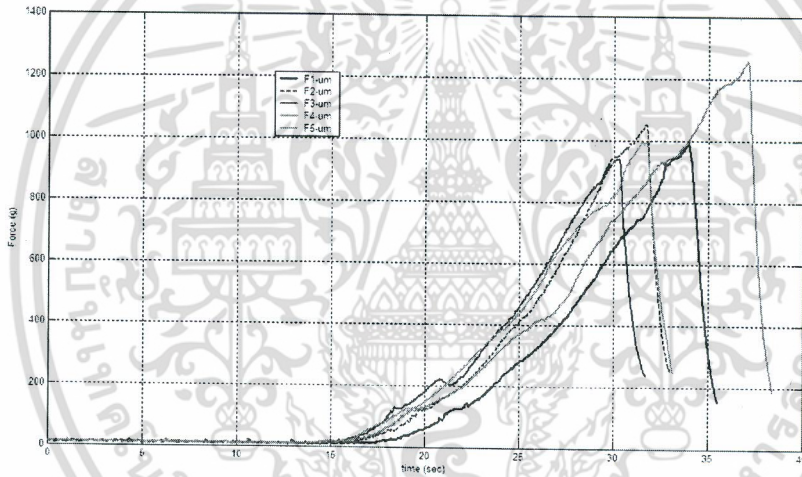


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 18.73 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

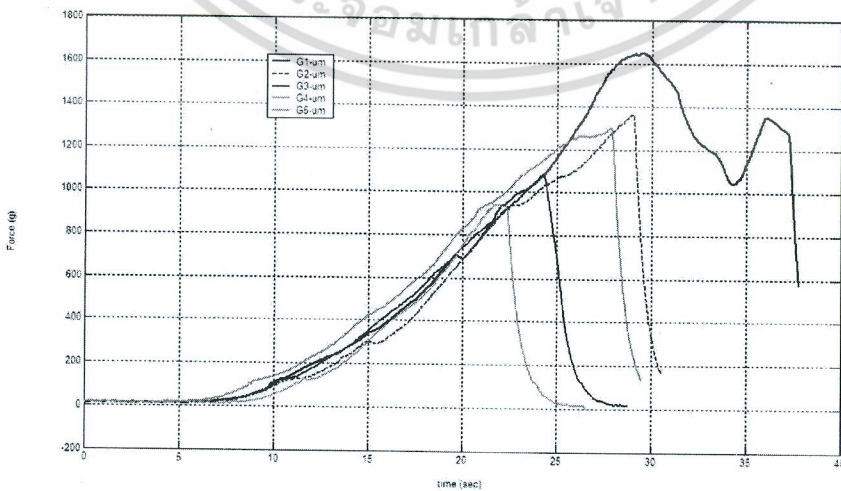
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 3.53 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

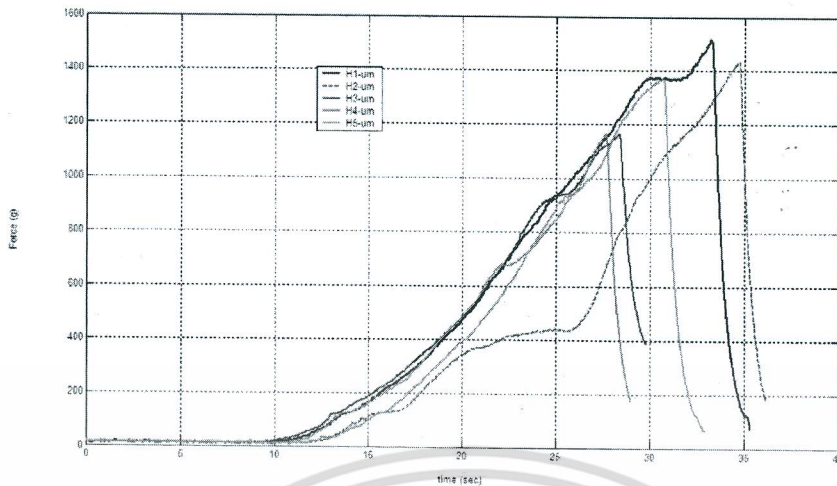


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 2.20 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการเจาะแมงกะพรุนที่ระดับความเค็ม 0.8 / 100g NaCl ซ้ำ 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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 ^c	1244.06 ± 365.97 ^{ab}
22.13	16.59 ± 4.45 ^c	1503.20 ± 180.43 ^{bc}
21.63	15.40 ± 0.82 ^c	1812.60 ± 341.51 ^c
18.73	11.14 ± 0.65 ^b	1527.80 ± 219.51 ^{bc}
3.53	9.10 ± 1.55 ^{ab}	1058.06 ± 249.58 ^a
2.20	8.91 ± 0.73 ^{ab}	1045.88 ± 123.96 ^a
0.80	7.05 ± 1.48 ^a	1268.80 ± 276.44 ^{ab}
0.73	6.58 ± 1.03 ^a	1331.20 ± 158.88 ^{ab}

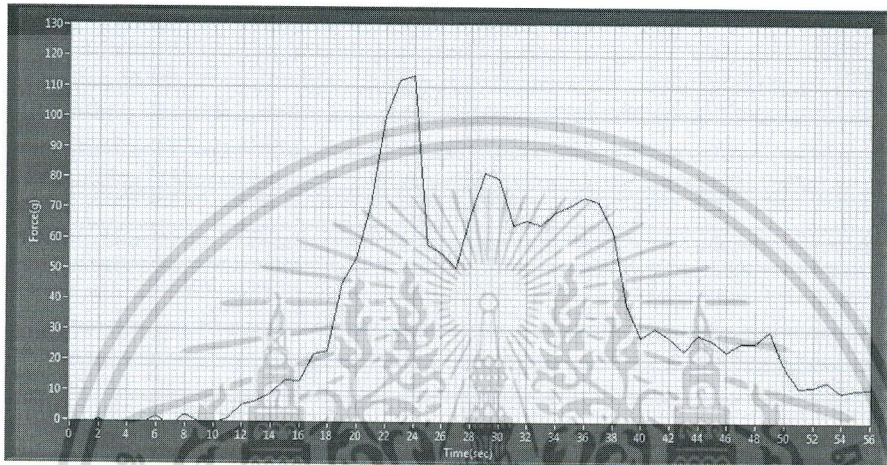
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแต่ละแถว (a b c และ d) แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$), $n=5$

พิจารณา ภาพที่ 4.3 ถึง 4.10 และตารางที่ 4.4 พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้นและเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสมีค่าต่างกัน และเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้นไม่สามารถใช้ค่า Max Force แยกความแตกต่างเนื้อสัมผัสส่วนร่วมของแมงกะพรุนที่มีปริมาณเกลือต่างกันได้จากความแปรปรวนภายในตัวของแมงกะพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดสอบความต้านทานแรงกดของเยลลี่

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

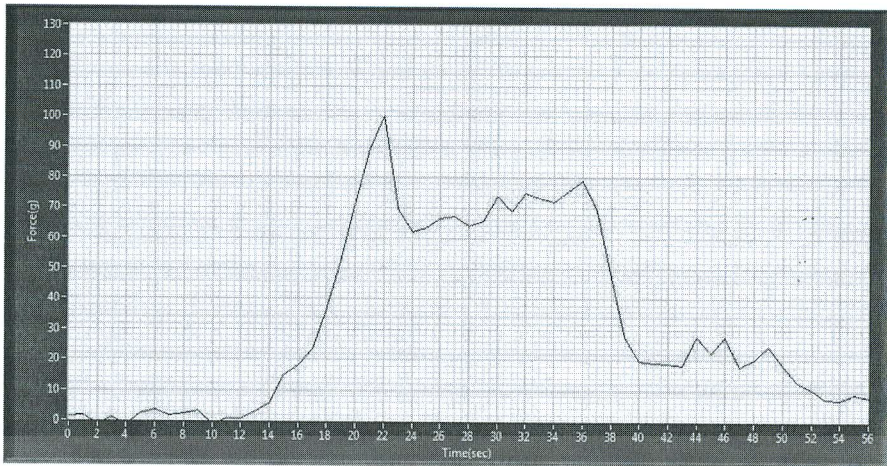


ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 1

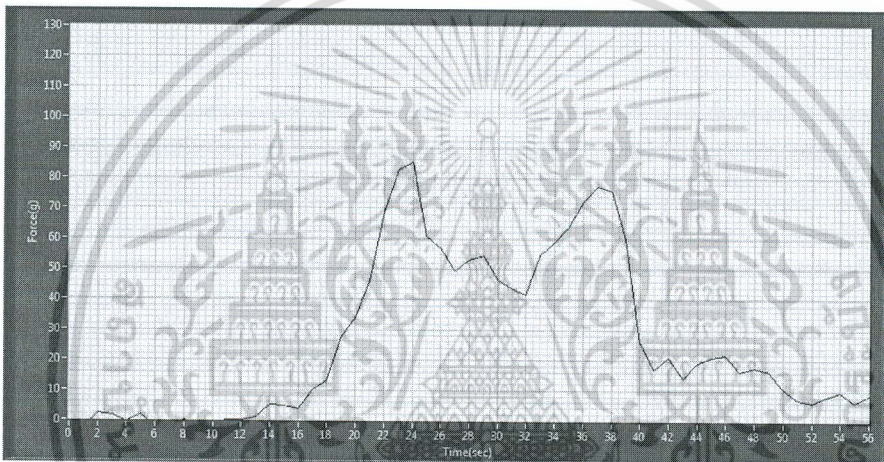


ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 2

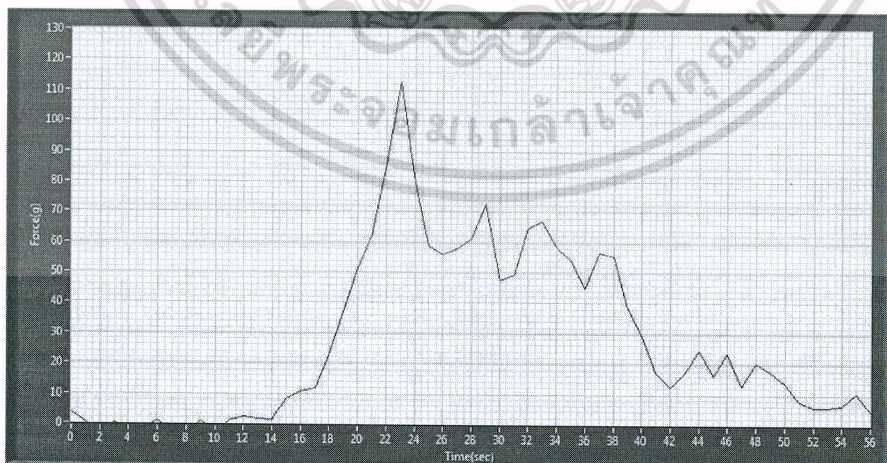
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 3



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 4



ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบของเยลลี่ชั้นที่ 5

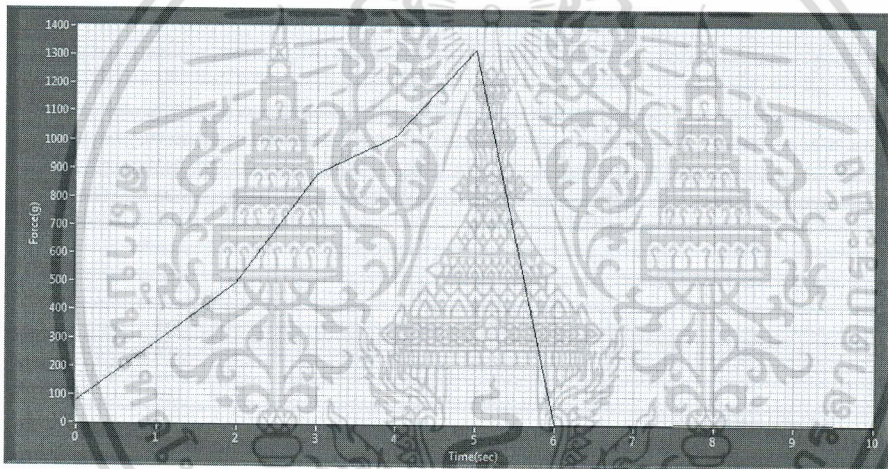
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบเนื้อสัมผัสของเยลลี่ และเยลลี่สติ๊กด้วยวิธีการเจาะทะลุ พบว่าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงที่สร้างขึ้นสามารถวัดแรงสูงสุดที่ใช้ในการเจาะทะลุผลิตภัณฑ์ได้โดยแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุเยลลี่มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 104 ± 11.4 g และแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุเยลลี่สติ๊กมีค่า 358 ± 99.8 g จะเห็นได้ว่าเนื้อเยลลี่มีค่าแรงสูงสุดในการเจาะทะลุที่ต่ำกว่าเยลลี่สติ๊ก ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง

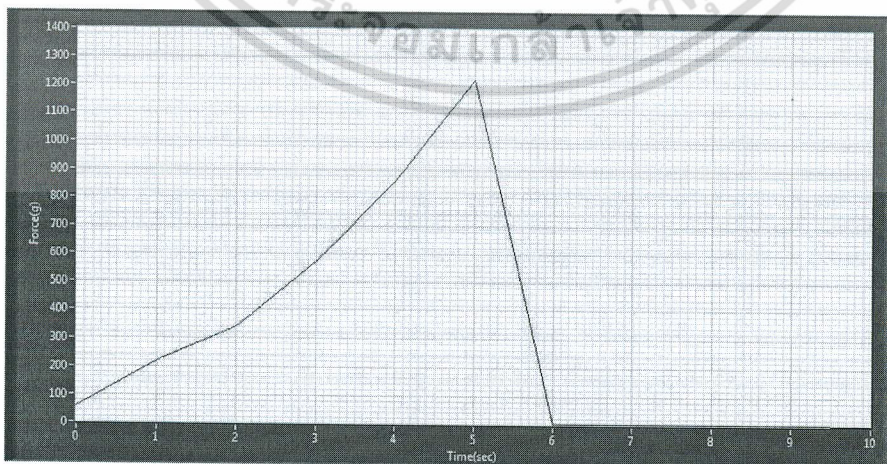
4.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

4.4.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผงวงจรแบบยืดหยุ่น

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผงวงจรแบบยืดหยุ่น เป็นการทดสอบโดยใช้แรงดึงแยกแผงวงจรแบบยืดหยุ่นออกจากสแตนด์ที่ยึดติด ผลการทดสอบที่ได้ตามภาพที่ 4.15 ถึง 4.19

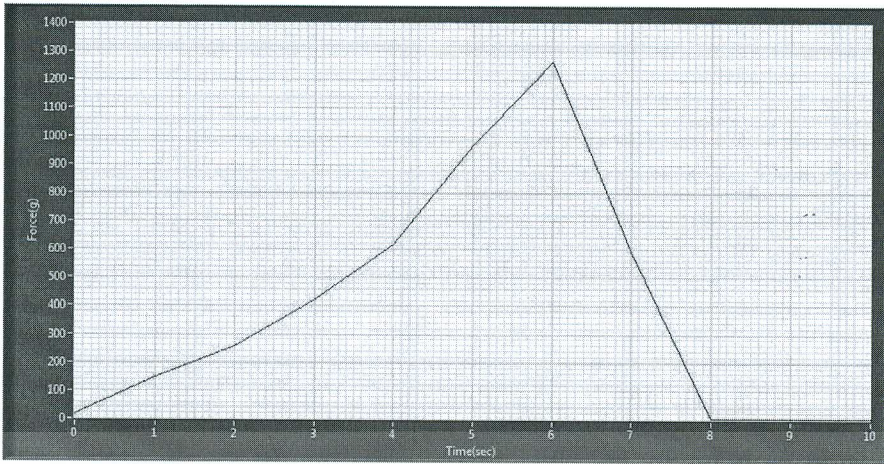


ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยืดหยุ่นชิ้นที่ 1

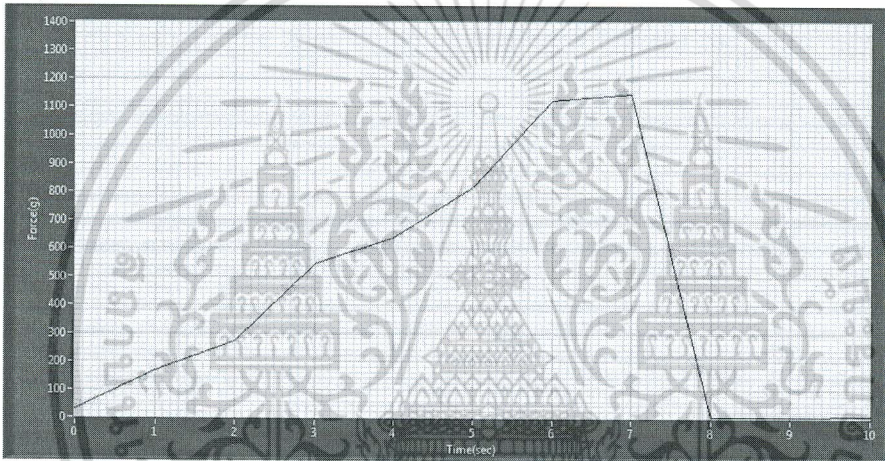


ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยืดหยุ่นชิ้นที่ 2

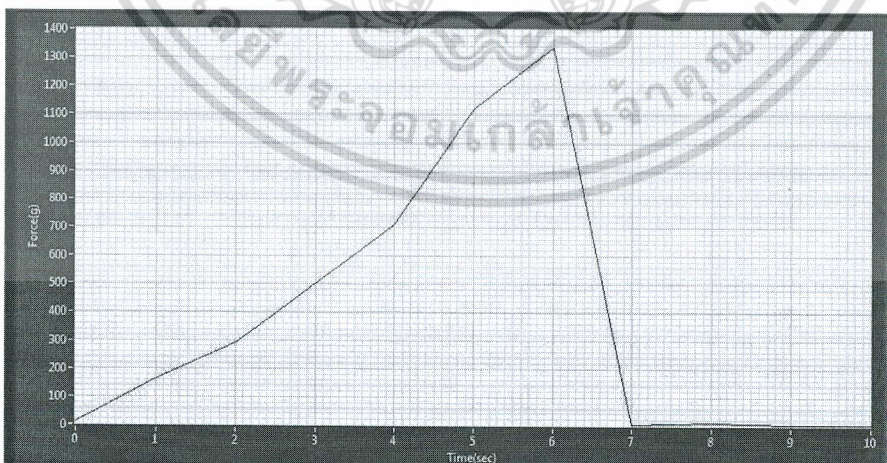
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 3



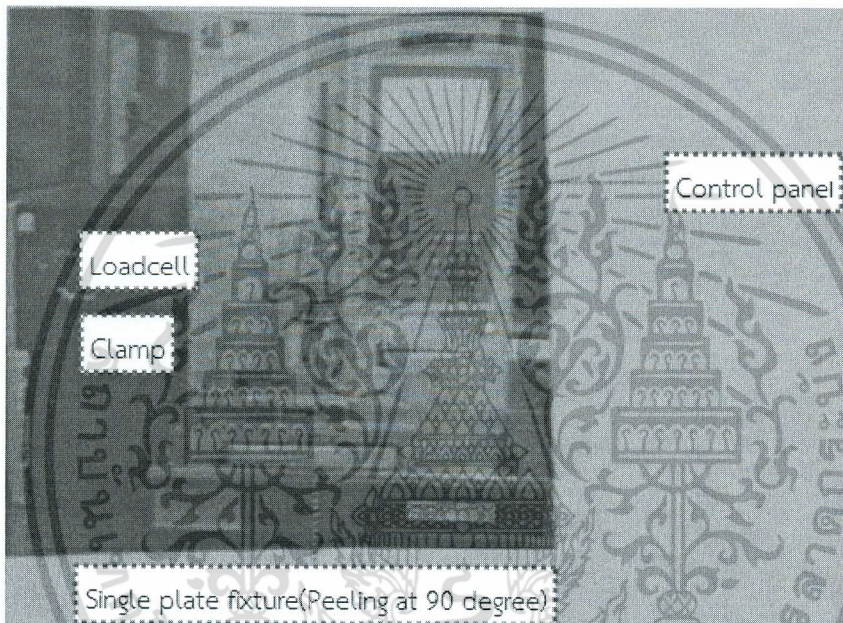
ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 4



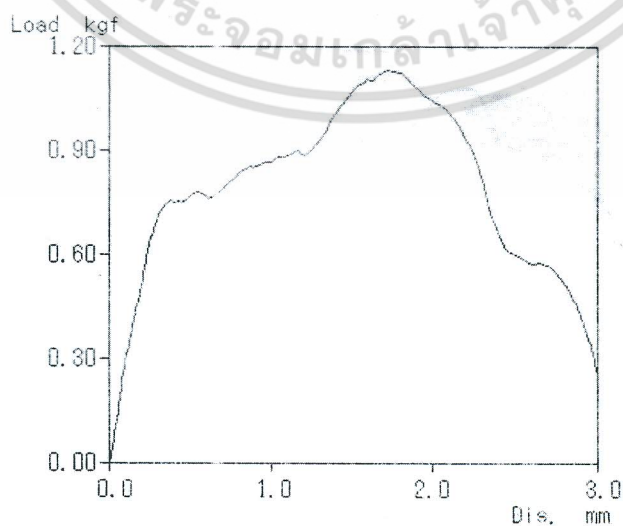
ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

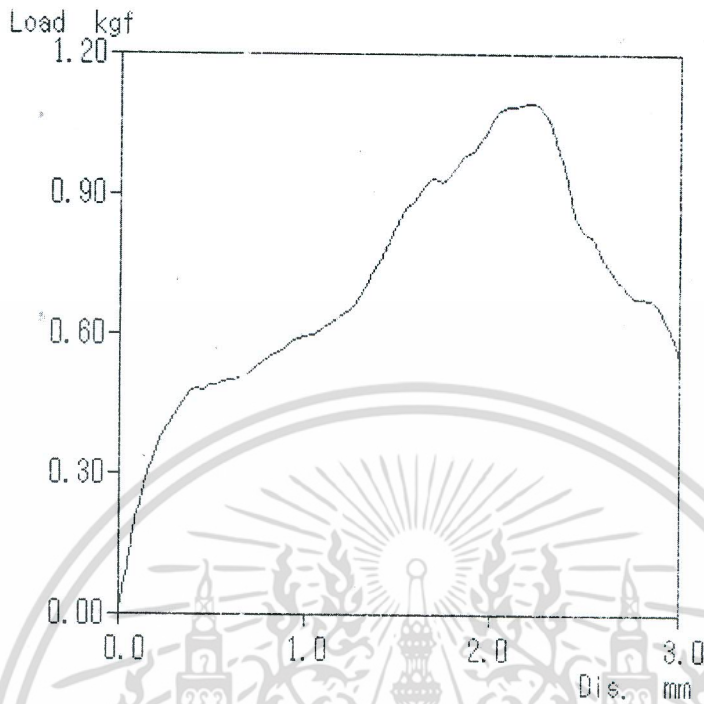


ภาพที่ 4.20 เครื่องมือวิเคราะห์ Damper testing machine

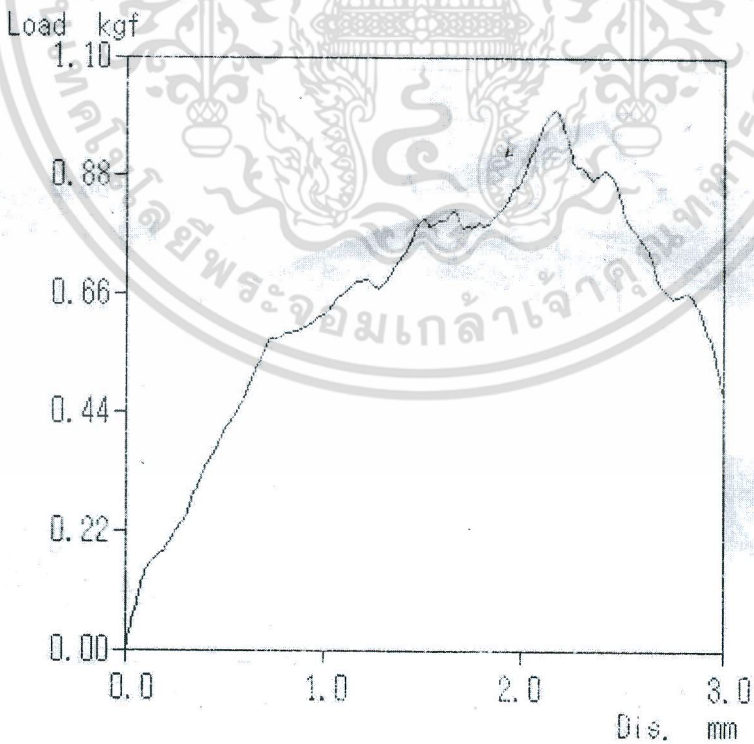


ภาพที่ 4.21 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นยนต์ ชั้นที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำเพื่อไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

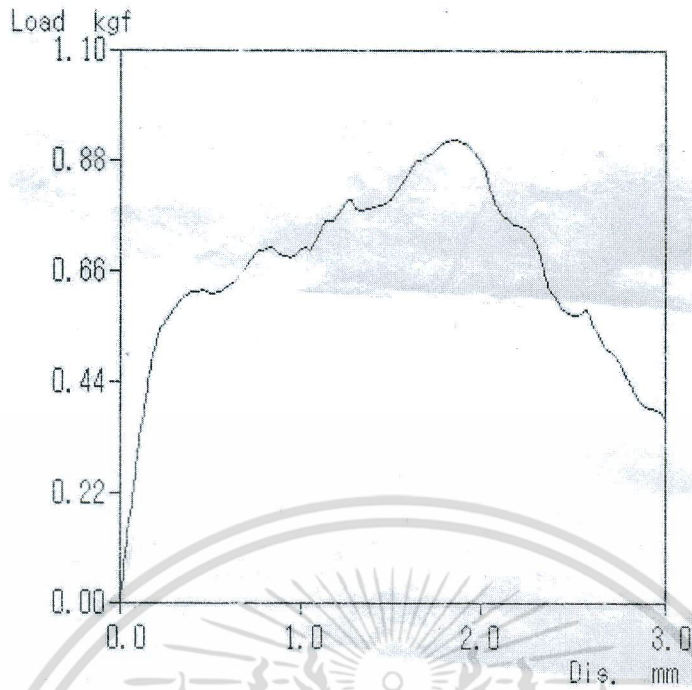


ภาพที่ 4.22 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นขึ้นที่ 7

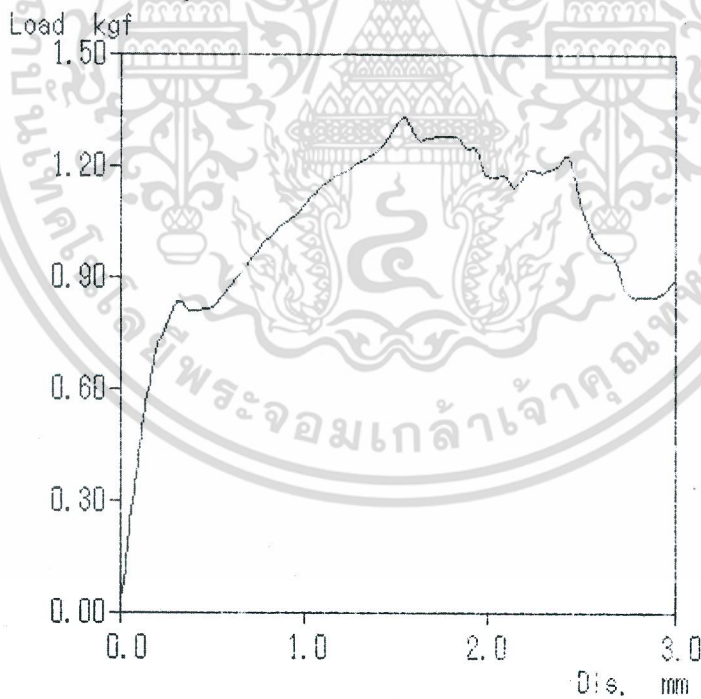


ภาพที่ 4.23 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นขึ้นที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 9



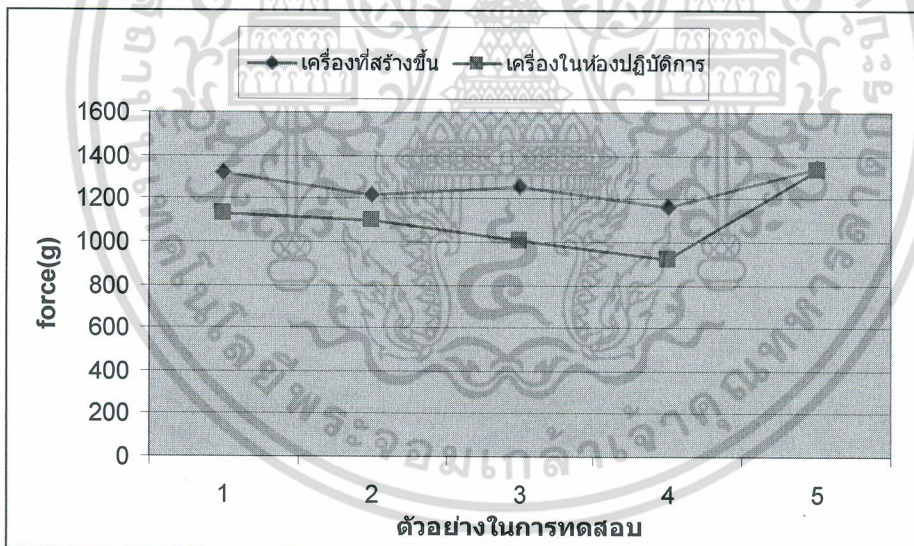
ภาพที่ 4.25 ผลการทดสอบของตัวอย่างแผงวงจรแบบยึดหุ่นชั้นที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



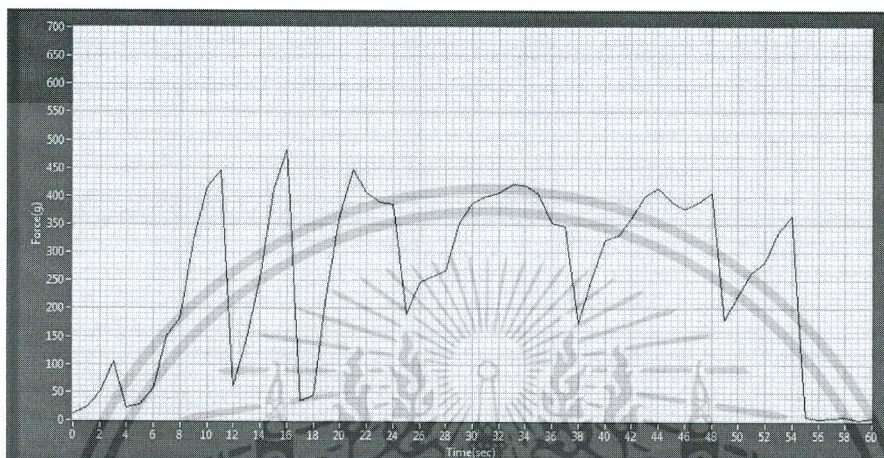
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

จากภาพที่ 4.26 เป็นการนำผลการทดสอบแผนวงจรมัดหยาบที่ได้ออกมาเปรียบเทียบกัน เห็นได้ชัดว่าเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น ให้ผลที่ใกล้เคียงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการจริง

4.4.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึงของซองบรรจุยาและถ้วยโยเกิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง โดยหาค่าแรงสูงสุด (Max force) จากแรงดึงที่จะทำให้ของบรรจุยาลอกออกจากกัน และแรงดึงสูงสุดที่ใช้สำหรับการดึงให้ฝาถ้วยโยเกอร์ตลอกเปิดออกได้ ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดของของบรรจุยาและถ้วยโยเกอร์ ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงและเวลา สำหรับการลอกของบรรจุยาแสดงในภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ผลการทดสอบของตัวอย่างของบรรจุยา

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงของของบรรจุยา และการเปิดฝอยล์ถ้วยโยเกอร์ พบว่า อุปกรณ์ทดสอบที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่าความต้านทานแรงหรือการยึดติดแน่นของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งลักษณะกราฟของของบรรจุยาที่ได้มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย เป็นไปตามลักษณะของการยึดติดของของบรรจุยา ทั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นค่ามาตรฐาน เพื่อระบุถึงคุณภาพในการยึดติดของของบรรจุยาได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานแรงของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการทดสอบ คือ โหลดเซลล์ วงจรขยายสัญญาณ เซอร์โวมอเตอร์ วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า Ball screw เป็นต้น ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมควบคุม และส่วนที่สามคือหัววัด โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นใช้หลักการวัดผลตอบสนองจากแรงที่กระทำกับผลิตภัณฑ์ โดยวางผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดสอบลงบนฐาน จากนั้นใช้โปรแกรมในการควบคุมหัววัดให้เคลื่อนที่มายังผลิตภัณฑ์ที่ทำการวัด และตั้งค่าที่โปรแกรมให้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้น ถัดไปจะทำการควบคุมให้หัววัดค่อย ๆ กดหรือดึงผลิตภัณฑ์ โดยมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะถูกควบคุมจากโปรแกรม โดยส่งคำสั่งไปยังชุดควบคุมของเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อหัววัดกดหรือดึงจะเกิดแรงต้านกลับกระทำต่อหัววัด ทำให้ค่าความต้านทานของสเตรนเกจในโหลดเซลล์เปลี่ยนไป จึงทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุล เกิดเป็นค่าความต่างศักย์ซึ่งแปรผันตรงกับแรงที่ทำให้วัสดุเสียรูป จากนั้นโปรแกรมจะประมวลค่าแรงในหน่วยกรัมน้ำหนัก ส่งค่าเป็นกราฟแสดงผลออกมา และยังสามารถบันทึกค่าเก็บไว้ไปข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ในการสอบเทียบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่เมื่อนำมาทดสอบกับผลิตภัณฑ์อาหารพบว่า ค่าค่าความถูกต้อง (%Accuracy) ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งต้องทำการพัฒนาให้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบกับวัสดุหลาย ๆ ชนิด พบว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถทดสอบความต้านทานแรงได้จริง โดยพิจารณาจากค่าแรงสูงสุด (Max force) ที่ผลิตภัณฑ์ด้านการเสียรูป และเมื่อทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง พบว่า ค่าที่ได้แต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน และสอดคล้องกับความเป็นจริง เช่น เมื่อใช้ทดสอบความต้านทานแรงของซองบรรจุยา จะได้ลักษณะกราฟเป็นฟันเลื่อย ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของการยึดติดของซองบรรจุยา ทั้งนี้สามารถนำไปสร้างเป็นค่ามาตรฐาน เพื่อระบุถึงคุณภาพในการยึดติดของซองบรรจุยาได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ทดสอบเนื้อสัมผัสที่สร้างขึ้นมีขนาดเล็ก มีระยะเวลาเคลื่อนที่ของหัววัดค่อนข้างน้อย จึงมีขีดจำกัดบางประการในเรื่องของผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ ถ้าต้องการนำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีความหลากหลายมาทดสอบ ควรเพิ่มระยะเวลาเคลื่อนที่ของหัววัด จากการเพิ่มระยะเวลาเคลื่อนที่ของ Ball screw เช่นเดียวกันกับหัวจับผลิตภัณฑ์ ควรจะมีหลายแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปานมนัส ศิริสมบุญ (2555) “เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร” พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์มีนเซอร์วิส ซัพพลาย
- [2] CHUANG, H. K., CHIU, C. & PANIAGUA, R. (1997). Avery Adhesive Test Yields More Performance Data Than Traditional Probe. *Adhesives Age*, September, 18-23.
- [3] JACKSON, M. L., LOVE, B. J., & HEBNER, S. R. (1998). Adhesive and electrical performance of environmentally exposed waterborne epoxies. Paper presented at EURADH '98 (4th European Conference on Adhesion) and WCARP 1 (1st World Congress on Adhesion and Related Phenomena), Garmisch Partenkirchen, Sept. 6-11, 1998.
- [4] KIM, S. (2009). Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission. *Bioresource Technology*, 100 (2), 744-748.
- [5] MCGUIGGAN, P. M., CHICHE, A., FILLIBEN, J. J. & YARUSSO, D. J. (2008). Peel of an adhesive tape from a temperature-gradient surface. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28, 185-191.
- [6] RIVALS, I., PERSONNAZ, L., CRETON, C., SIMAL, F., ROOSE, P. & VAN ES, S. (2005). A statistical method for the prediction of the loop tack and the peel of PSAs from probe test measurements. *Measurement Science and Technology*, 16 (10), 2020-2029.
- [7] TRENOR, S. R., SUGGS, A. E. & LOVE, B. J. (2002). Influence of penetration enhancers on the thermomechanical properties and peel strength of a poly(isobutylene) pressure sensitive adhesive. *Journal of Materials Science Letters*, 21, 1321-1323.

ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล ผศ. ดร. นวภัทรา หนูนา

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 07 กันยายน 2519 อายุ 38 ปี

สถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542
M.Eng.	Post-Harvest and Food Process Engineering	Asian Institute of Technology	2545
Dr.Nat.tech	Food Technology	University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria	2549

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ Food Properties (Mechanical, Optical, Thermal and Textural Properties), Measurement and Instruments in Food Processing, Hygienic Design of Food Processing Equipment

ตำรา

- นวภัทรา หนูนา และ ทวีพล ชื้อสตัย. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
- ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ธีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื้อสตัย และ นวภัทรา หนูนา 2555. การใช้เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อนอย่างมืออาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

ผลงานวิชาการ

International Journals

- Nunak N. and Schleining G. (2011). Instrumental Textural Changes in Raw White Shrimp during Iced Storage. Journal of Aquatic Food Product Technology, 20, 4, 350-360
- Pimpen Pornchaloempong Panmanas Sirisomboon and Navapattra Nunak. 2011. Mass-Volume-Area properties of frozen Skipjack tuna. International Journal of Food Properties Available online: 12 Feb 2011
- N.Nunak and T.Suesut. (2010). Measuring geometric mean diameter of fruits and vegetables using light sectioning method. Songklanakarin Journal Science Technology
- Nunak N. and Schleining G. (2006). A rapid blade cutting method for the evaluation of osmotic dehydration of apples and potatoes. Journal of Texture Studies, 37, 1, 80-92
- Jarimopas B., Nunak T., and Nunak N. (2005). Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology, 35, 25-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Journals

- นวภัทรา หนูนา และ อมรรัตน์ มุขประเสริฐ, “จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติกโซปัวหวาน”, วิศวกรรมสาร มช., ปีที่ 38, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2554
- นวภัทรา หนูนา, “ปัจจัยและกระบวนการเบื้องต้นที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลของชิ้นอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมติก”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2552

Selected Proceedings

- Navaphattra Nunak and Kiattisak Roonprasang, “Use of Electrical Conductivity to Monitor Gel Forming of Soft-Tofu, Hanoi, Vietnam, 3rd -4th March, 2011
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar Solution during Osmotic Process”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak, Teerawat Nunak and Taweepol Suesut, “Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Electrical Conductivity of Bonito Tuna during Ohmic Thawing”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- Navaphattra Nunak, Taweepol Suesut, and Sarayut Inthuset, “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- N.NUNAK and G.SCHLEINING, “Evaluation of the water transfer in osmotically dehydrated fruit and vegetables using TA-XT2”, International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/ Production Technology, 21 – 24 January 2007, pp.
- Schleining, G. and Nunak, N. A rapid texture measurement method to determine the mass transfer in osmotically dehydrated plant products. In: Pedro Fito and Fidel Toldra: Intrafood 2005: Innovations in Traditional foods, 25-28 October, Valencia; Conference Proceedings, Vol 1, 261- 264; Elsevier, London; ISBN 84-9705-880-1.

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 18 เมษายน 2515 อายุ 42 ปีสถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมการวัดคุม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2539
วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2541
Dr.Mont	Automation Engineering	University of Leoben, Austria	2551

สาขาที่ชำนาญพิเศษ

- การออกแบบเครื่องจักรและระบบโรงงานอัตโนมัติ
- การวัดคุมทางอุตสาหกรรม
- การวัดและทดสอบ
- ระบบตรวจสอบด้วยมาชีนวิชั่น ประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมอาหาร

ประสบการณ์ภาคอุตสาหกรรม

- ที่ปรึกษาในการออกแบบ สร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพของตัวเก็บประจุกำลังในโรงงานพานาโซนิคมีสซีซีประเทศไทย จำกัด
- ที่ปรึกษาในการออกแบบ ติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานเครื่องเยองพานอล
- ที่ปรึกษาในการออกแบบติดตั้งระบบแสดงผลแจ้งการทำงานในโรงงานฮอนด้าด้านเมนูแฟคเจอร์ประเทศไทย

ผลงานทางวิชาการ

ตำรา

1. ทวีพล ชื่อสัตย์ 2545, การวิจัยดำเนินงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 178 หน้า
2. นวภัทรา หนูนา และ ทวีพล ชื่อสัตย์, 2555, การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
3. ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ธีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื่อสัตย์ และ นวภัทรา หนูนา 2555, การใช้เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อนอย่างมีอาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ (International Publications)

- N.Nunak and T.Suesut, "Measuring geometric mean diameter of fruit and vegetable using computer vision", *Songklanakar Journal Science Technology* 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิชาการ International Proceeding

Selected Presentations

- Navaphattra Nunak and **Taweepol Suesut**, “Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar Solution during Osmotic Process”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak, Teerawat Nunak and **Taweepol Suesut**, “Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and **Taweepol Suesut**, “Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and **Taweepol Suesut**, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17th – 20th March, 2010
- Navaphattra Nunak and **Taweepol Suesut**, “Electrical Conductivity of Bonito Tuna during Ohmic Thawing”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- Nunak N. and **Taweepol S.** (2007). Measuring Geometric Mean Diameter of Fruit and Vegetable using Computer Vision. “PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment-ICEE-2007”, 10-11. May 2007, Phuket.
- **Taweepol Suesut** and Banchar Mongkhoin, “Demand Forecasting Approach Inventory Control for CIMS” , 2004 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Kunming, China, 6-9 December 2004
- **T.Suesut**, P.Inban, P.Nilas, P.Rerngerun and S.Gulphanich, “Interpretation Petri Net model to IEC 1131-3:LD For Programmable Logic Controller”, 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 1-3 December, 2004
- **T.Suesut**, V.Tipsuwanporn, P.Nilas, P. Rerngereun and A.Numsonran, “Multi-level Contract Net Protocol based on Holonic Control system Implement to Industrial Network”, 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 1-3 December, 2004
- **Taweepol Suesut**, Sathit Intajag and Prapas Roeruen, “Design of Automatic Warehouse and Inventory control under HMS concept”, ICCAS 2004 International Conference on Control, Automation and Systems, Bangkok, Thailand 25-27 August, 2004
- Phonphithak, P.Pannil, **T.Suesut**, R. Masuchun and P. Julsereewong, “Self-Tuning PID Controller Based on PLC”, ICCAS 2004 International Conference on Control, Automation and Systems, Bangkok, Thailand 25-27 August, 2004
- **T.Suesut**, P.Inban, A.Numsomran and V.Tipsuwanporn, “Redundant System based PLC Network for High Priority Process”, ICCAS 2003 International Conference on Control, Automation and Systems, Gyeongju, Korea 22-25 October, 2003
- **T.Suesut**, C. Hankarjonsook, N.Tammarugwattana and K.Tirasesth, “Internet Based for Computer Integration Manufacturing System”, ICCAS 2003 International Conference on Control, Automation and Systems, Gyeongju, Korea 22-25 October, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulphanich, V.Kongratana and **T.Suesut**, “Automation Cleaning Reverse Osmosis System based on Computer Analysis”, PSE Asia 2002 International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Process, Taipei, Taiwan 4-6 December, 2002
- **T. Suesut**, V.Tipsuwanporn, S.Gulphanich, J.Rodcumtui and P. Sukprasert, “A Design of Automatic Warehouse for Internet Based System”, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, Bangkok, Thailand 11-14 December, 2002
- V.Tipsuwanporn, A.Sangrayub, **T. Suesut**, A. Numsomran and S.Gulphanich, “Development of PLC Fiber-optic Network for Redundant System”, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, Bangkok, Thailand 11-14 December, 2002
- **Taweepol Suesut**, Viriya Kongratana, Vittaya Tipsuwanporn and Suphan Kulphanich, “ A Technique to Expand the I/O of the PLC Using Remote I/O module” , The 14 th Korea Automatic Control Conference, pp E-61 –64, Korea OCT 1999
- **T.Suesut** , P.Rerngruen, V.Tipsuwanporn, S.Kulphanich and S.Chuenarom, “ Design of the PLC network Using Remote I/O module Application for A multi grup of machine”, The 3rd Asian Control Conference pp2818-2821, Shanghai, China, July 2000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หนังสือรับรองการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์จากหน่วยงานภายนอก
ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. ข้าพเจ้า (นาย) ณรงค์เดช เพ็ชรโต
ตำแหน่ง วิศวกรอาวุโส
ชื่อหน่วยงาน Mektec Manufacturing Corporation (Thailand) Ltd.
สถานที่ตั้ง นิคมอุตสาหกรรมโรจนะ จ.พระนครศรีอยุธยา
เบอร์ติดต่อ 089 152 7646
ขอรับรองว่าได้นำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/งานวิชาการ เรื่อง Peel Strength Testing
Equipment for Food Packages

ซึ่งเป็นผลงานของ รศ. ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ และ ผศ. ดร.นงภัทรา หนูนาคน
สังกัดสาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม และสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มาใช้ประโยชน์ในองค์กร/หน่วยงาน/กลุ่มของ
ข้าพเจ้า ทางด้านต่อไปนี้ (โปรดเลือกรูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์และสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ ระบุ เครื่องต้นแบบสำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์
โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่6..... เดือนพฤษภาคม..... พ.ศ. ..2557..
ถึงวันที่6..... เดือนมิถุนายน..... พ.ศ. ..2557..
- () การใช้ประโยชน์ในเชิงสาธารณะ ระบุ
- โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่ เดือน พ.ศ.
ถึงวันที่ เดือน พ.ศ.
- () การใช้ประโยชน์ในเชิงนโยบาย ระบุ
- โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่ เดือน พ.ศ.
ถึงวันที่ เดือน พ.ศ.
- () การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ระบุ
- โดยเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่วันที่ เดือน พ.ศ.
ถึงวันที่ เดือน พ.ศ.

ทั้งนี้ ผลจากการที่องค์กร/หน่วยงาน/กลุ่มงาน ได้นำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/งาน
วิชาการ ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในองค์กร/หน่วยงาน/กลุ่ม พอสรุปได้คือ ได้แนวทาง
สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบความแข็งแรงของสารยึดติดที่แผงวงจร

ข้าพเจ้าขอลงนามในหนังสือรับรองการนำไปใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ของ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อเป็นหลักฐานการนำ
ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ มาใช้ประโยชน์ดังกล่าว

ลงลายมือชื่อ *Narongdech P.*
(ณรงค์เดช เพ็ชรโต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ...
ตำแหน่ง วิศวกรอาวุโส
วันที่ 6 / มิถุนายน / 2557

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่แท้จริงที่มีการนำไปใช้



คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ใบแนบหลักฐานการใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์จากหน่วยงานภายนอก
ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

หลักฐานที่แนบมาพร้อมนี้ เพื่อเป็นการยืนยันการนำผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ไปใช้ประโยชน์
(สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- () ภาพถ่ายกิจกรรม/โครงการ/ผลงานที่ได้พัฒนาจากผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์
- () เอกสารที่แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ไปปรับปรุงหรือพัฒนา
- () ผลงาน ผลิตภัณฑ์ หรือรางวัลที่เกิดขึ้น อันมีผลจากการใช้ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ไปปรับปรุงหรือพัฒนา
- () ผลประกอบการขององค์กร/หน่วยงาน/กลุ่ม ด้านบัญชี หรือรายได้ที่แสดงให้เห็นว่าเพิ่มขึ้นจากการได้พัฒนาจากผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์
- () ผลงานหรือหลักฐานอื่น ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Instrument information :

Texture Testing Machine For Industrial Product

Certificate information :

Date printed : 10 June 2013

Calibration date : 10 June 2013

Calibration due : 10 June 2014

Mektec Manufacturing Corporation(Thailand) Ltd (the undersigned is response) certifies that the above product was calibrated with standard weight and done correlation with Max Intelligent Load tester in peeling test function. The above product can working as normal with specific function.

The weight range, verification scale, operating range and temperature range refer to table 1.

The environment in which this product was calibrated is maintained within the operating specifications of the instrument and standard.

Table 1

Max load	2000g
Verification scale	100g
Operating range	0g-1300g
Temperature range	25±3°C

Signed,



Narongdes P.

Senior Engineer, Mektec Manufacturing Corporation (Thailand) Ltd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้