



การประเมินมิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน

ESTIMATION OF STEEL PLATE DIMENSION ABUTTING
EXTENDED OCTAGONAL RING

ณัฐวุฒิ ส้มเกิด

NATTAWUT SOMKERD

พงษ์พัฒน์ ทอมเพียร

PONGPAT HOMPIAN

อันติมา สุวรรณธรรมา

ULTIMA SUWANTHANMA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินมิติแผ่นเหล็กทรงรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน

ESTIMATION OF STEEL PLATE DIMENSION ABUTTING
EXTENDED OCTAGONAL RING



ณัฐวุฒิ สัมเกิด

NATTAWUT SOMKERD

พงษ์พัฒน์ หอมเพียร

PONGPAT HOMPIAN

อันติมา สุวรรณธรรมา

ULTIMA SUWANTHANMA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESTIMATION OF STEEL PLATE DIMENSION ABUTTING
EXTENDED OCTAGONAL RING

NATTAWUT SOMKERD
PONGPAT HOMPIAN
ULTIMA SUWANTHANMA



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประเมินมิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน

PROJECT TITLE ESTIMATION OF STEEL PLATE DIMENSION FOR ABUTTING EXTENDED OCTAGONAL RING

ชื่อนักศึกษา นายณัฐวุฒิ สัมเกิด รหัสประจำตัว 60512050
นายพงษ์พัฒน์ หอมเพียร รหัสประจำตัว 60512077
นางสาวอันติมา สุวรรณธรรมมา รหัสประจำตัว 60513029


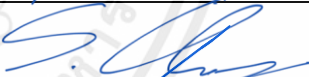


ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์

ปริญญาานิพนธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโศธานนท์

ปริญญาานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.จรัสชัย	เย็นพยับ	กรรมการสอบ	
อ.ดร.ศรีรัตน์	ช่วยบุญ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโศธานนท์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตุวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2564 เวลา 18.00-19.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประเมินมิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน	
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวุฒิ สัมเกิด นายพงษ์พัฒน์ หอมเพียร นางสาวอันติมา สุวรรณธรรมมา	รหัสประจำตัว 60512050 รหัสประจำตัว 60512077 รหัสประจำตัว 60513029
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
ปริญญานิพนธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสมานนท์	
ปริญญานิพนธ์ร่วม		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหามิติแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน (Extended Octagonal Ring, EOR) ที่ทำให้ทรานสดิวเซอร์สามารถวัดน้ำหนักได้อย่างถูกต้องในขั้นตอนแรกได้ทำการออกแบบแผ่นรองรับจำนวน 21 รูปแบบ และทำการไฟไนต์เอเลเมนต์แผ่นรองรับนี้กับ EOR ทุกแนวแกน (x, y และ z) พบว่ามีแผ่นรองรับ 3 ขนาด ($60 \times 96 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm, $60 \times 98 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm และ $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm) ที่มีค่าโมโครสเตรนใกล้เคียงกับแผ่นรองรับที่ติดกับ EOR เดิม ($60 \times 80 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm) จากนั้นติดตั้งแผ่นรองรับจุดจับยึดเข้ากับ EOR และทำการสอบเทียบทั้ง 3 แนวแกนพบว่าค่าที่ได้จากแผ่นรองรับขนาด $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm ใกล้เคียงกับแผ่นรองรับเดิม โดยความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ตามแนวแกน x, y และ z คิดเป็น 0.4193%, 0.0857% และ 0.0357% ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อน Cross-sensitivity ทุกแนวแกนมีค่าน้อยและเข้าใกล้ 0% กว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดอื่น ในตอนท้ายได้นำ EOR ทั้ง 2 ชั้นและแผ่นรองรับจุดยึดขนาด $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm มาประกอบเป็นแผ่นวัดแรงพบว่าสามารถวัดแรงได้ทุกทิศทาง และมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักมาตรฐานที่สุดในแนวแกน y และ z

คำสำคัญ: Extended Octagonal Ring, ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์, ความคลาดเคลื่อน Cross-sensitivity

Project Title	Estimation of Steel Plate Dimension for Abutting Extended Octagonal Ring	
Student	Mr. Nattawut Somkerd	Student ID 60512050
	Mr. Pongpat Hompian	Student ID 60512077
	Ms. Ultima Suwanthanma	Student ID 60513029
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Chompoonud Kulketwong	
Project Co-advisor	Asst.Prof.Dr. Dithaporn Thungsotanon	

ABSTRACT

The objective of this project was to determine the dimensions of the abutting plates for mounting the extended octagonal rings (EORs) that were able to measure the load accurately. Firstly, the 21 patterns of the abutting plates were designed and simulated using the finite element analysis with attached on EOR in all axes (x, y and z) and found that the values of the micro-strain of the 3 sizes of plates (60×96 mm² and thickness of 2.5 mm, 60×98 mm² and 2.5 mm thickness and 60×100 mm² and thickness of 3 mm) were similar to the original EOR steel plate (60×80 mm² and 2.5 mm thickness). Then the abutting plates were mounted on EORs and calibrated in the 3 axes and showed that obtained values from the plate size of 60×100 mm² and thickness of 3 mm were approximately the original plate, i.e., the relative error of x, y and z were 0.4193%, 0.0857% and 0.0357%, respectively, and the Cross-sensitivity error in all axes was less and closely 0% than the other. Finally, the results were found that the assembled flatbed scale from the 2 EORs and the 60×100 mm² and thickness of 3 mm of abutting plates was able to measure in all axes and the measured weight in the y- axis and z-axis were approximate to the standard loads.

Keywords: Extended Octagonal Ring, Relative error, Cross-sensitivity error

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และ ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนถึงขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ชาติมิได้เลยคือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยศเรพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการประเมินมิติแผนเหล็กกรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน

ณัฐวุฒิ ส้มเกิด

พงษ์พัฒน์ หอมเพียร

อันติมา สุวรรณธรรมมา

พฤษภาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของโครงการ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนดำเนินการ	2
1.7 แผนการดำเนินการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	15
3.1 การออกแบบแผ่นรองรับจุดจับยึดและการไฟไนต์เอเลเมนต์	15
3.2 การสร้างชิ้นงานแผ่นรองรับจุดจับยึดทราวดิวเซอร์	16
3.3 การดัดแปลงชุดสอบเทียบ	19
3.4 การสอบเทียบหาขนาดแผ่นรองรับจุดจับยึด	22
3.5 การสอบเทียบทราวดิวเซอร์	24
	26
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	
4.1 ผลการไฟไนต์เอเลเมนต์แผ่นรองรับ	26
4.2 ผลของแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring	28
4.3 ผลการสอบเทียบ Flatbed Scale	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ปัญหาที่พบ	46
5.3 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	50
ภาคผนวก ข การเขียนโปรแกรม LabVIEW	60
ประวัติผู้จัดทำ	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินการ	3
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างความเครียด EOR	27
4.2	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน z	29
4.3	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน z	29
4.4	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน x	33
4.5	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน x	34
4.6	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน y	38
4.7	การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน y	38
4.8	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน z	42
4.9	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x	43
4.10	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y	44
ก.1	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน x ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	51
ก.2	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน y ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	51
ก.3	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน z ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	52
ก.4	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน x ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	52
ก.5	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน y ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	53
ก.6	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน z ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	53
ก.7	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	54
ก.8	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	54
ก.9	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1	55
ก.10	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่กีดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.11	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	56
ก.12	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2	56
ก.13	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน x ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	57
ก.14	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน y ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	57
ก.15	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน z ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	58
ก.16	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	58
ก.17	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	59
ก.18	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กดน้ำหนักบนแผ่นวัดแรง	59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1	แผ่นวัดแรงจาก EOR	4
2.2	การตั้งค่าการทดลองสำหรับการวัดแรงของ SDOF	7
2.3	การทดสอบการตัดเฉือนด้วยไดนาโมมิเตอร์ (ก) วงแหวนแปดเหลี่ยม	8
2.3	การทดสอบการตัดเฉือนด้วยไดนาโมมิเตอร์ (ข) วงแหวนสี่เหลี่ยม	8
2.4	ทรานสดิวเซอร์	9
2.5	(ก) พารามิเตอร์การออกแบบที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์ EOR	9
2.5	(ข) ขนาดทรานสดิวเซอร์	9
2.6	แผนผังระบบการวัดแรงตัด	10
2.7	ไฟไนต์เอเลเมนต์ (ก) ความเครียดในทิศทาง X	11
2.7	ไฟไนต์เอเลเมนต์ (ข) ความเค้นในทิศทาง X	11
2.7	ไฟไนต์เอเลเมนต์ (ค) ความเค้นในทิศทาง Y	11
2.7	ไฟไนต์เอเลเมนต์ (ง) ความเค้นในทิศทาง Z	11
2.8	แผนผังการทดลองไดนาโมมิเตอร์วัดแรงป้อน (F_r) แรงผลึก (F_c) และแรงตัดหลัก (F_c) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการกลิ้ง	12
2.9	ภาพประกอบวงแหวนแปดเหลี่ยม	12
2.10	ไดนาโมมิเตอร์แบบวงแหวนแปดเหลี่ยม (EORDI)	13
2.11	แรงตัดในการกักรอบนอก	13
2.12	ตำแหน่งสเตรนเกจของวงจรแบบ Wheatstone bridge บนเซ็นเซอร์วงแหวน	14
3.1	(ก) แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด	15
3.1	(ข) โครงสร้าง Extended Octagonal Ring เมื่อทำการประกอบแผ่นรองรับจุดจับยึด	16
3.2	ตำแหน่งที่ติดตั้งสเตรนเกจ	16
3.3	แบบขนาดแผ่นเหล็กที่เหมาะสม (ก) 60x96 mm ² หนา 2.5 mm	17
3.3	แบบขนาดแผ่นเหล็กที่เหมาะสม (ข) 60x98 mm ² หนา 2.5 mm	17
3.3	แบบขนาดแผ่นเหล็กที่เหมาะสม (ค) 60x100 mm ² หนา 3 mm	17
3.4	(ก) กัดปาดหน้าชิ้นงาน	18
3.4	(ข) เจาะรูแผ่นเหล็ก	18
3.4	(ค) ตกแต่งขอบชิ้นงาน	18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.5	แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด	19
3.6	(ก) แบบจำลองชุดสอบเทียบแนวตั้ง	20
3.6	(ข) แบบจำลองชุดสอบเทียบแนวระดับ	20
3.7	ปรับน้ำหนักต่อกับ Load Cell	20
3.8	ด้ามจับปรับน้ำหนัก	21
3.9	แผ่นรองยึดชุดสอบเทียบ	21
3.10	แผ่นยึดชุดสอบเทียบกับ EOR	21
3.11	(ก) ชุดสอบเทียบแนวตั้ง	22
3.11	(ข) ชุดสอบเทียบแนวระดับ	22
3.12	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับทรานสดิวเซอร์ในแนวตั้ง	23
3.13	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับทรานสดิวเซอร์ในแนวระดับ (ก) ใช้ Load Cell 150 kg กดในแนวแกน x	23
3.13	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับทรานสดิวเซอร์ในแนวระดับ (ข) Load Cell 150 kg กดในแนวแกน y	23
3.14	ตำแหน่งการเจาะรูแผ่นเพลต	24
3.15	แผ่นเพลตยึดกับตัว EOR ทั้งสองตัว	25
3.16	(ก) การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ในแนวตั้ง	25
3.16	(ข) การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ในแนวระดับ	25
4.1	ไฟไนต์เอเลเมนต์ Extended Octagonal Ring	26
4.2	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน z	28
4.3	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน z	28
4.4	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน z	30
4.5	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน z	30
4.6	Cross-sensitivity ในแนวแกน z แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด	32
4.7	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน x	32
4.8	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน x	33
4.9	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน x	34
4.10	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน x	35
4.11	Cross-sensitivity ในแนวแกน x แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน y	37
4.13	การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน y	37
4.14	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน y	39
4.15	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน y	39
4.16	Cross-sensitivity ในแนวแกน y แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด	41
4.17	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน z	41
4.18	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน z	42
4.19	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x	43
4.20	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน x	43
4.21	การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y	44
4.22	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน y	45
ข.1	การเขียนโปรแกรม LabVIEW สอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึด EOR แนวแกน z	61
ข.2	การเขียนโปรแกรม LabVIEW สอบเทียบแผ่นวัดแรง Flatbed Scale แนวแกน z	62
ข.3	การเขียนโปรแกรม LabVIEW สอบเทียบแผ่นรองรับรองรับจุดจับยึด EOR แนวแกน x และ y	63
ข.4	การเขียนโปรแกรม LabVIEW สอบเทียบแผ่นวัดแรง Flatbed Scale แนวแกน x และ y	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

Extended Octagonal Ring (EOR) ที่ได้ทำการสร้างมาใช้งานก่อนหน้านี้ไม่ได้ทำการหามิติแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมกับ EOR ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ ได้กล่าวว่า EOR แต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะและสมบัติที่แตกต่างกัน ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องมีมิติแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมกับ EOR นั้นๆ เพราะถ้าหากแผ่นรองรับมีขนาดที่บางจนเกินไปจะส่งผลให้เครื่อง EOR เกิดความเสียหายได้ แต่ถ้าหากแผ่นรองรับมีขนาดที่หนาเกินไปจะทำให้เกิดค่า Cross-sensitivity สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ [1-3] โดย EOR เป็นเครื่องมือวัดแรงชนิดหนึ่งซึ่งสามารถวัดแรง 3 แกนในทิศทาง x , y และ z ได้อย่างอิสระ [4-6] และออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกและมีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น วัดแรงตึงระหว่างการกัด วัดแรงระหว่างรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์การเกษตร [7-8] โดยการกระจายตัวของความเครียดใน EOR ถูกวัดด้วยแรงดันไฟฟ้าโดยใช้วงจรแบบ Wheatstone bridges [9-10] ซึ่งเครื่องมือนี้ควรมีความเป็นเชิงเส้นสูง ฮิสเทอรีซิสต่ำและมีค่าความคลาดเคลื่อน Cross-sensitivity น้อย [11-12] ทั้งนี้การหามิติแผ่นรองรับที่เหมาะสมของ EOR สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อน ค่าฮิสเทอรีซิส และค่าความไม่เป็นเชิงเส้นได้ [13]

ดังนั้น โครงการนี้จึงได้ทำการประเมินหามิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดที่มีความยาวและความหนาที่เหมาะสมกับ Extended Octagonal Ring ที่สามารถวัดแรงในแนวแกน x , y และ z ได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อหาขนาดความยาวและหนาของแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกนที่เหมาะสม

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 แผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกนที่บางจะรับแรงได้แม่นยำกว่าแผ่นหนา

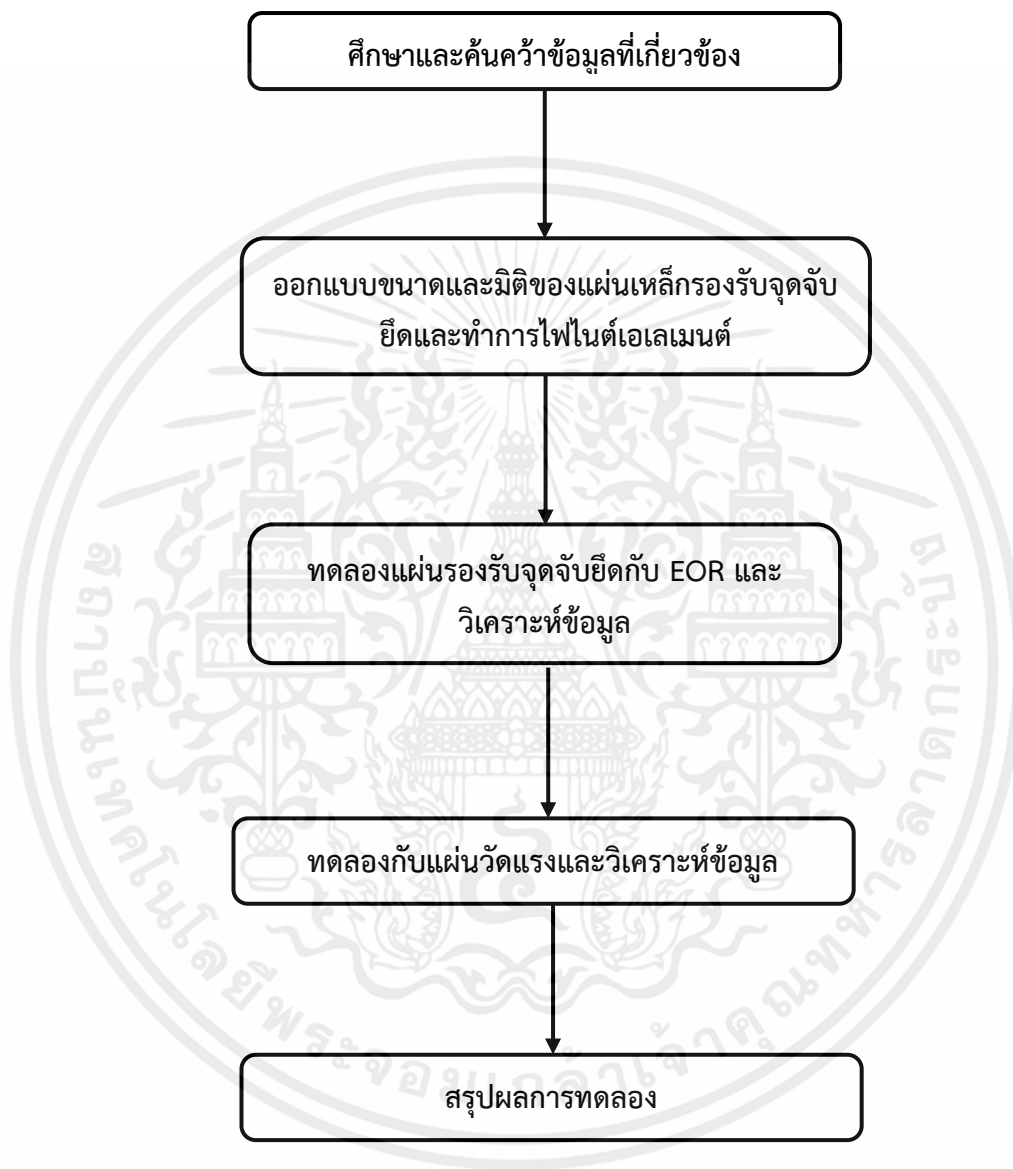
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.4.1 ทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกนชนิด Extended Octagonal Ring ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาขนาดแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมสามารถวัดแรงในแนวแกน x , y และ z ได้ไม่เกิน 80, 80 และ 160 kg ตามลำดับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้มิติของแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกนที่เหมาะสม

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างแผ่นรองรับจุดจับยึดวัดแรงในแนวแกนสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างแผ่นรองรับจุดจับยึดวัดแรงในแนวแกนสามมิติ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2563 – 2564									
	2563					2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←————→									
2.ออกแบบขนาดและมิติของแผ่นรองรับจุดจับยึดและทำการไฟไนต์เอเลเมนต์	←————→									
3.สร้างชิ้นงาน	←————→									
4.ทดลองแผ่นรองรับจุดจับยึดกับ EOR และวิเคราะห์ข้อมูล	←————→									
5.ทดลองแผ่นวัดแรงและวิเคราะห์ข้อมูล	←————→									
6.สรุปผลการทดลอง	←————→									
7.ทำเล่มปริญญานิพนธ์	←————→									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินมิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาข้อมูลจากแนวคิด ทฤษฎี บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อมาเป็นแนวทางในการออกแบบแผ่นเหล็ก

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครื่องมือวัดแรงแบบ Extended Octagonal Ring (EOR)

เป็นอุปกรณ์วัดแรงและโมเมนต์ในงานวิจัยทางวิศวกรรมเพราะสามารถวัดแรงกระทำในแต่ละแนวแกน คือ แรงดึงในแนวราบ แรงในแนวตั้ง และแรงดัดข้าง ได้อย่างอิสระ การกระจายตัวของความเครียดใน EOR สามแกนถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสเตรนเกจ [14]



รูปที่ 2.1 แผ่นวัดแรงจาก EOR [14]

2.1.2 ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

ฮิสเทอรีซิส คือ ค่าความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตของเซ็นเซอร์ในกระบวนการเพิ่มโหลดและลดโหลดในช่วงเดียวกัน ข้อผิดพลาดของฮิสเทอรีซิสสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 [10]

$$\text{Hysteresis} = \pm \frac{\Delta y_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

Δy_{\max} คือ ค่าเบี่ยงเบนเอาต์พุตสูงสุดระหว่างกระบวนการโหลดและการลดโหลด (%)

y_{\max} คือ ค่าสัญญาณเอาต์พุตสูงสุดของเซ็นเซอร์ (kg)

y_{\min} คือ ค่าสัญญาณเอาต์พุตต่ำสุดของเซ็นเซอร์ (kg)

2.1.3 Cross-sensitivity

Cross sensitivity ถูกกำหนดให้เป็นความเครียดที่เกิดขึ้นบนแกนรอง ซึ่งค่าเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทดลองกับแกนหลักหรือทิศทางของโหลดบนทรานสดิวเซอร์ [15] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{Cross - sensitivity} = \left| \frac{m_2}{m_1} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ

Cross-sensitivity error คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการรบกวนของน้ำหนักในแกนรอง (%)

m_1 คือ ค่าความชันที่ได้จากเส้นแนวโน้มแกนหลัก (ไร้หน่วย)

m_2 คือ ค่าความชันที่ได้จากเส้นแนวโน้มแกนรอง (ไร้หน่วย)

2.1.4 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error)

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 [16]

$$\text{Relative error} = \left| \frac{X_M - X_T}{X_T} \right| \times 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ

Relative error คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการวัดกับค่าจริง (%)

M_M คือ ค่าที่วัดได้ (kg)

M_T คือ ค่าจริง (kg)

2.1.5 ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity error)

ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้นความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 [17]

$$\text{Non-linearity error} = \frac{N}{M_{\max} - M_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

เมื่อ

Non-linearity error	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่วัดได้กับน้ำหนักมาตรฐาน (%)
N	คือ ค่าความแตกต่างของชุดข้อมูล (kg)
M_{\max}	คือ ค่าสูงสุดหลังการวัด (kg)
M_0	คือ ค่าเริ่มต้นก่อนการวัด (kg)

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Korkut [1] ได้ออกแบบและสร้างไดนาโมมิเตอร์แบบใช้สเตรนเกจที่สามารถวัดส่วนประกอบสามแรงระหว่างการตัดโลหะได้ เพื่อที่จะอ่านและบันทึกข้อมูลแรงตัดโดยอัตโนมัติบนคอมพิวเตอร์ระหว่างการตัดโลหะ จึงมีการคิดค้นระบบเก็บข้อมูลพร้อมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่จำเป็นและเชื่อมต่อกับไดนาโมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นด้วย สัญญาณแรงตัดถูกตรวจจับและประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ผ่านเครื่องขยายสัญญาณและตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แม้ว่าไดนาโมมิเตอร์จะได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับงานกัดเป็นหลัก แต่ก็สามารถใช้วัดแรงตัดในระหว่างการตัดเฉือนได้เกือบทั้งหมด

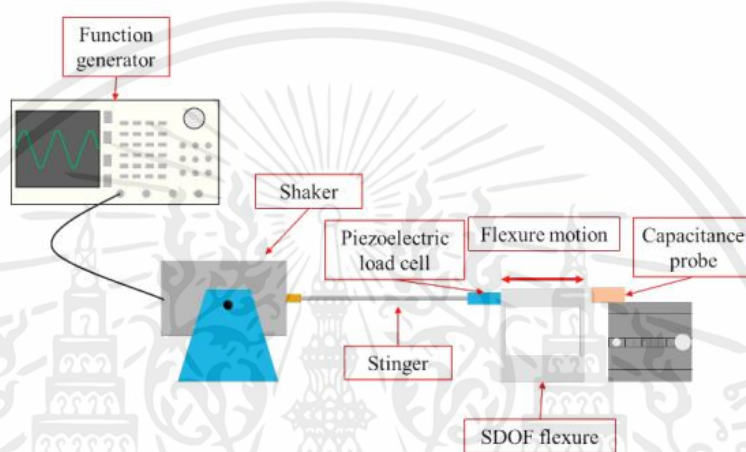
Wan et al. [2] ได้ใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบตั้งโต๊ะเพื่อวัดแรง ข้อมูลการทดลองการถ่ายโอนฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบการวัดแรงตัดและแรงกระแทกจะถูกนำมาวิเคราะห์ พบว่าเนื่องจากไดนามิกของโครงสร้าง ในโดเมนความถี่และข้อผิดพลาดของแรงตัดที่สำคัญเกิดขึ้น ควรคำนึงถึงความถี่ในการผ่านพินเพื่องเท่านั้น การใช้เทคนิคการประมาณค่าของสมการ Linear quadratic โดยการประมาณตัวแปรสถานะของระบบพลวัตนี้จะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการประมาณตัวแปรสถานะที่ถูกสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้แรงตัดที่มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดจากแรงตัดที่วัดได้ ตามฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Curve Fitted คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการกำหนดรูปแบบการทำงานจากนั้นค้นหาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขั้นต่ำ

Totis et al. [3] ได้พัฒนานวัตกรรมไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดแรงตัดในการกัด อุปกรณ์นี้สามารถให้ข้อมูลแรงตัดแบบสามแกนอิสระจากคมตัดแต่ละคมพร้อมการตอบสนองแบบไดนามิกที่ดี ไดนาโมมิเตอร์นี้สามารถวัดแรงตัด 3D ที่แต่ละขอบของการตัดชิ้นงานได้ทั้ง 3 แกน มีแรงที่มากกว่า 900 N ตามทิศทาง Y อาจทำให้ระบบเซ็นเซอร์หมุนตามตัวคัตเตอร์ ความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดมีค่าน้อยกว่า 3% ตามทิศทาง X ในขณะที่มีขนาดน้อยกว่า 6.6% ตามทิศทาง Y และ Z ในแรงป้อนเข้าและสภาวะการตัดที่หลากหลายสัญญาณรบกวน Cross-talk แบบคงที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 3% ในทุกทิศทางในแรงอินพุต

Gomez and Schmitz [4] นำเสนอวิธีการใหม่ในการวัดแรงตัดระหว่างการกัดโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบดิสเพลสเมนต์ การกระจัดของการตั้งอูกวัดและแรงจะถูกกำหนดโดยการแยกตัวของโครงสร้าง ในแนวทางนี้แรงจะถูกดึงออกจากการกระจัดโดยการกรองสัญญาณการกระจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโดเมนความถี่โดยใช้ฟังก์ชันตอบสนองความถี่การกระจัดของแรงดัดงอ แสดงให้เห็นว่าสำหรับแรงกระตุ้นในช่วงหนึ่งสามารถใช้การกระจัดที่วัดได้เพื่อสร้างโปรไฟล์แรงขึ้นใหม่ ประการแรกระบบดัดงออิสระระดับเดียวถูกใช้เพื่อกำหนดแรงกระตุ้น ประการที่สองเทคนิคการแยกตัวของโครงสร้างถูกนำไปใช้กับระบบการดัดงออิสระหลายระดับ ทำการเปรียบเทียบแรงดัดระหว่างไดนาโมมิเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกแบบหลายแกนกับโปรไฟล์แรงตามการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นใหม่ พบว่าสิ่งสำคัญคือต้องพิจารณาอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวนสำหรับตัวแปลงสัญญาณดิสเพลสเมนต์เนื่องจากขั้นตอนการกรองโดเมนความถี่มีความไวต่อสัญญาณรบกวน

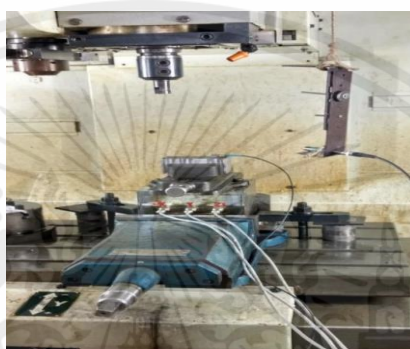


รูปที่ 2.2 การตั้งค่าการทดลองสำหรับการวัดแรงของ SDOF [4]

Mohanraj et al. [5] ได้ออกแบบและทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบมิลลิ่งโดยมีการติดสเตรนเกจเข้ากับ Mechanical Rings เพื่อตรวจจับความผิดปกติในระหว่างกระบวนการตัดเฉือนสเตรนเกจของวงจรแบบ Wheatstone bridge เพื่อรับความเครียดเป็นแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของ Mechanical Rings เมื่อเกิดการตัดเฉือน การวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์ (FEA) ถูกใช้เพื่อระบุตำแหน่งของความผิดปกติและความเครียดสูงสุด กำหนดทิศทางของวงแหวนและตำแหน่งของสเตรนเกจเพื่อเพิ่ม Sensitivity และลด Cross-sensitivity จากนั้นจึงได้รับแรงดัดผ่าน NI 6221 M series Data Acquisition (DAQ) Card ไดนาโมมิเตอร์ได้ผ่านการทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติคงที่และไดนามิก ค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยดำเนินการตามขั้นตอนการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO 376 – 2011 แรงดัดที่วัดได้มีตั้งแต่ 300 N ถึง 550 N การสอบเทียบแสดงให้เห็นว่าไดนาโมมิเตอร์แบบวงแหวนสี่เหลี่ยมให้คุณลักษณะแบบสถิตและไดนามิกที่ดีขึ้นในแง่ของความแม่นยำเชิงเส้นและ Cross-sensitivity น้อยมาก (4%) Relative error โดยรวมของวงแหวนแปดเหลี่ยมเท่ากับ 0.15923% และไดนาโมมิเตอร์แบบวงแหวนสี่เหลี่ยมเท่ากับ 0.080609%



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 การทดสอบการตัดเฉือนด้วยไดนาโมมิเตอร์ (ก) วงแหวนแปดเหลี่ยมและ (ข) วงแหวนสี่เหลี่ยม [5]

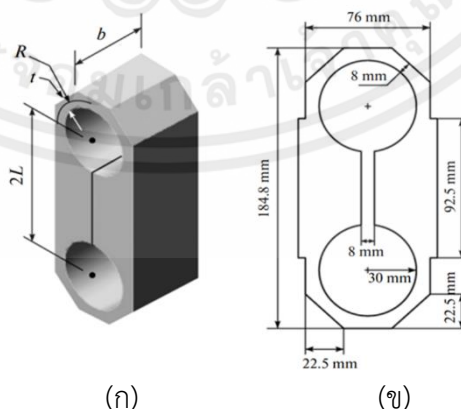
Zhang et al. [6] ได้ศึกษาแนวทางการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ในโมเดลการกัด ความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์มีผลอย่างมากต่อความผิดพลาดการพยากรณ์ประสิทธิภาพการตัดเฉือนสำหรับโมเดลแรงกัดและโมเดลแรงตัด มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและการใช้ข้อมูลการทดลองเฉลี่ยในการสอบเทียบสัมประสิทธิ์แรงตัดเป็นวิธีที่ครอบคลุมและตรวจสอบการทดลองว่าใช้ได้จริง ข้อเสนอหลักในทางทฤษฎีการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงตัดและดัชนีสามารถใช้ข้อมูลการทดลองที่ความถี่ที่แตกต่างกันเพื่อให้มีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดการสอบเทียบสามารถใช้ข้อมูลการทดลองที่ความถี่เดียวเพื่อสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงตัดและเลขชี้กำลังได้

Yaldiz et al. [7] ได้ออกแบบและพัฒนาไดนาโมมิเตอร์แบบวัดความเครียด ได้รับการวางแผนและเชื่อมต่อกับระบบเก็บข้อมูลที่จำเป็นซึ่งประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ไดนาโมมิเตอร์สามารถวัดส่วนประกอบแรงตัดตั้งฉากสามองค์ประกอบและแรงบิดพร้อมกันระหว่างการกัดและค่าตัวเลขที่วัดได้สามารถจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์โดยระบบเก็บข้อมูล ไดนาโมมิเตอร์นี้ออกแบบมาเพื่อวัดแรงสูงสุด 5000 N และ Sensitivity ของระบบคือ 75 N เฟอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดของ F_r , F_c และ F_t คำนวณเป็น 1.3%, 1.4% และ 1.2% ตามลำดับและมีค่า Cross-sensitivity ต่ำในช่วง 0.6–1.7% ในการกัดปาดหน้าได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการวัดกำลังตัด



รูปที่ 2.4 ทรานสดิวเซอร์ [7]

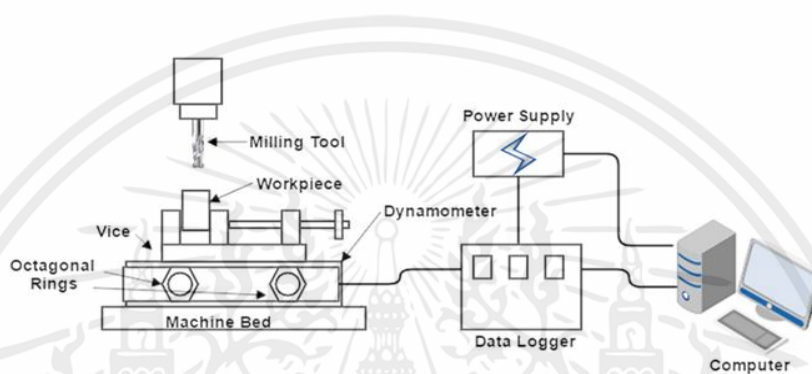
Yousef and Sina [8] ได้สร้างและสอบเทียบของเครื่องมือวัดแรงแบบ EOR ซึ่งสามารถวัดแรงระหว่างรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์การเกษตร ทรานสดิวเซอร์ถูกออกแบบมาเพื่อวัดแรงดึงของรถแทรกเตอร์ในทั้งสองทิศทางต้องวัดแรงที่ Cross-sensitivity ต่ำสุด หนึ่งในวิธีที่ใช้กันทั่วไปและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการออกแบบทรานสดิวเซอร์คือการกำหนดโมเมนต์ภายนอกสูงสุดก่อน นอกจากนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ทรานสดิวเซอร์ EOR ควรได้รับแรงจากในแนวตั้งและแนวนอน ดังนั้นจึงไม่ควรมีความต้านข้างของทรานสดิวเซอร์ การกระจายตัวของความเครียดใน EOR ได้รับการวิเคราะห์ใช้ทฤษฎีพลังงานความเครียดและสูตรการออกแบบที่ได้รับการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม MATLAB และ FEA เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงและหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งสเตรนเกจ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของความเครียดในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น (Linear elastic) สเตรนเกจคือติดตั้งที่มุม 90° และ 39.54° Cross-sensitivity ของ EOR ทรานสดิวเซอร์ตัวที่ 1 คือ 0.99 และ 0.92% ตามลำดับสำหรับแรงแนวนอนและแนวตั้ง ทรานสดิวเซอร์ตัวที่ 2 คือ 0.99 และ 0.93% ตามลำดับสำหรับแรงแนวนอนและแนวตั้ง ทรานสดิวเซอร์ตัวที่ 3 คือ 0.97 และ 0.96% ตามลำดับสำหรับแรงแนวนอนและแนวตั้ง ทรานสดิวเซอร์ตัวที่ 4 Cross-sensitivity เท่ากับ 1.1 และ 2.1% สำหรับแรงแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ



รูปที่ 2.5 (ก) พารามิเตอร์การออกแบบที่สำคัญของทรานสดิวเซอร์ EOR
(ข) ขนาดทรานสดิวเซอร์ EOR [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

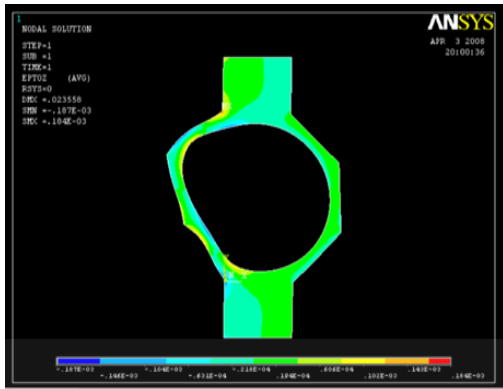
Pathri et al. [9] นำเสนอการออกแบบและพัฒนาทรานสดิวเซอร์วัดแรงในการกัด ประกอบด้วยวงแหวนแปดเหลี่ยมสี่ตัวที่ติดตั้งสเตรนเกจ ความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกัด ระหว่างการตัดถูกวัดในรูปของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ Wheatstone bridges ระบบเก็บข้อมูลเชื่อมต่อกับไดนามิเตอร์เพื่อรับข้อมูลสำหรับการอ่านและจัดเก็บไฟล์ข้อมูลแรงตัดบนคอมพิวเตอร์ ระบบบันทึกข้อมูลพร้อมฮาร์ดแวร์เชื่อมต่อกับไดนามิเตอร์ที่พัฒนาแล้ว ข้อมูลแรงตัดที่จัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Excel ไดนามิเตอร์นี้ออกแบบมาเพื่อวัดแรงได้ถึง 3000 N พบว่าการตั้งค่าที่นำเสนอสามารถวัดแรงตัดในทิศทาง x, y และ z ไม่มี Cross-sensitivity ที่เห็นได้ชัด



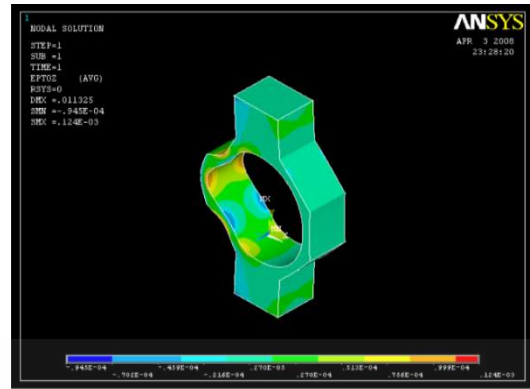
รูปที่ 2.6 แผนผังระบบการวัดแรงตัด [9]

Zhao et al. [10] ได้ทำการศึกษาเซ็นเซอร์วัดแรงตัด 3 แกน โดยใช้ MEMS และวิธีเมทริกซ์ เพื่อปรับปรุง Sensitivity และลดข้อผิดพลาดของ Cross-sensitivity เซ็นเซอร์นี้ช่วยปรับปรุง Sensitivity ของเซ็นเซอร์แรงตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ MEMS ซึ่งผลการสอบเทียบแบบคงที่แสดงให้เห็นว่า Sensitivity ของเซ็นเซอร์สูงกว่า 27 – 30 เท่ากว่าเซ็นเซอร์ที่พัฒนามาก่อนหน้านี้ เมทริกซ์สามารถทำให้ค่า Cross-interference ลดลงได้ 0.14%, 0.25% และ 4.42% การวัดแรงตัดแบบไดนามิกแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์แรงตัดสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการตัดได้ดีมาก จึงมีคุณสมบัติในการวัดแรงตัดแบบสามแกนในการใช้งานจริง

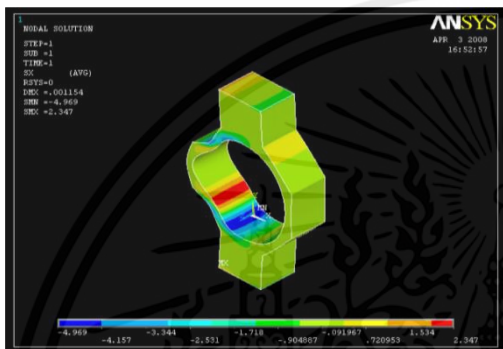
Dhanal [11] นำเสนอทรานสดิวเซอร์เครื่องกัด 3 แกนออกแบบและพัฒนา ทรานสดิวเซอร์ EOR ที่ใช้ในเครื่องกัดสามแกน สร้างแบบจำลองสองมิติของ EOR ใช้ FEA โดยซอฟต์แวร์ ANSYS ในการวิเคราะห์ค่าความเค้นและความเครียดในวงแหวนแปดเหลี่ยมสามทิศทางในทิศทาง X การประมาณคือ 6 ถึง 11 $\mu\epsilon$ ในทิศทาง Y 13 ถึง 30 $\mu\epsilon$ และในทิศทาง Z 34 ถึง 54 $\mu\epsilon$ โดยการเปรียบเทียบผลของการสอบเทียบและการวิเคราะห์ FEA สรุปได้ว่าประหยัดเวลาและพลังงานที่จำเป็น สำหรับการทดลองสามารถใช้ในการวัดเครื่องมือตัดอายุการใช้งานเครื่องมือ การสึกหรอของเครื่องมือ และความขรุขระของพื้นผิวสามารถกำหนดได้โดยใช้แรงตัดเป็นค่าอ้างอิง



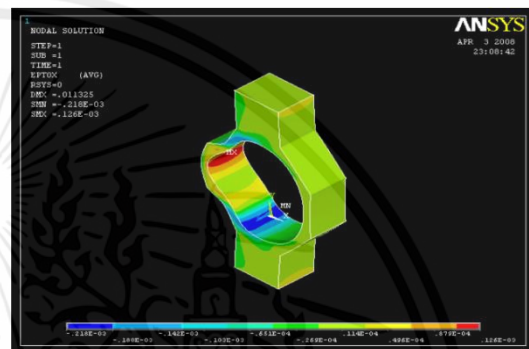
(ก)



(ข)



(ค)



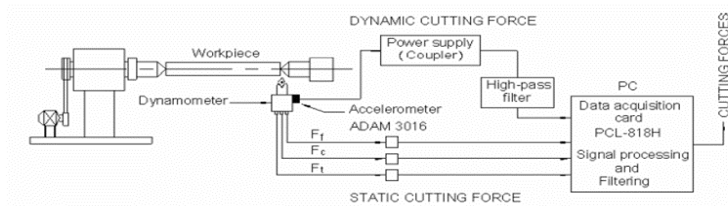
(ง)

รูปที่ 2.7 (ก) ความเครียดในทิศทาง X (ข) ความเค้นในทิศทาง X (ค) ความเค้นในทิศทาง Y (ง) ความเค้นในทิศทาง Z [11]

McLaughlin et al. [12] นำเสนอการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีโดยใช้สมการวิเคราะห์ สำหรับทรานสดิวเซอร์ Extended Ring (ER) เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการปรับแนวของสเตรนเกจ การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการวางแนวไม่ตรงกันเพียงหนึ่งองศาสำหรับสเตรนเกจหนึ่งอันในวงจร Arm Bridge ทั้งสี่จะส่งผลให้เกิด Cross-sensitivity ประมาณ 0.004 N N^{-1} และ 0.012 N N^{-1} สำหรับโหลดแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ

Yaldiz and Ünsaç [13] ได้ออกแบบและพัฒนาไดนาโมมิเตอร์แบบสเตรนเกจ เชื่อมต่อกับระบบเก็บข้อมูลที่เป็นเชิงประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบวัดความเร็วสามส่วนของแรง ตัดตรงข้ามได้ในกระบวนการกลึงและค่าที่วัดได้จะถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเก็บข้อมูล ไดนาโมมิเตอร์นี้ออกแบบมาเพื่อวัดแรงสูงสุด 3500 N และ Sensitivity ของระบบคือ $\pm 5 \text{ N}$ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ไดนาโมมิเตอร์ถูกปรับให้ความเร็วคงที่ทดสอบ Cross-sensitivity และทดสอบความผิดปกติ ค่า Cross-sensitivity ของไดนาโมมิเตอร์สำหรับสามทิศทางคำนวณได้ในช่วง 0.17% – 0.92% ระดับความเร็วถือว่าได้รับผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการวัดกำลังตัด ผลการทดสอบการตัดเนื้อที่ไดจากพารามิเตอร์การตัดที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าไดนาโมมิเตอร์สามารถใช้วัดแรงตัดได้อย่างน่าเชื่อถือ แม้ว่าจะได้รับการออกแบบมาเพื่อการกลึงเป็นหลักแต่ก็ยังสามารถใช้สำหรับการกัด การเจาะได้เช่นกัน

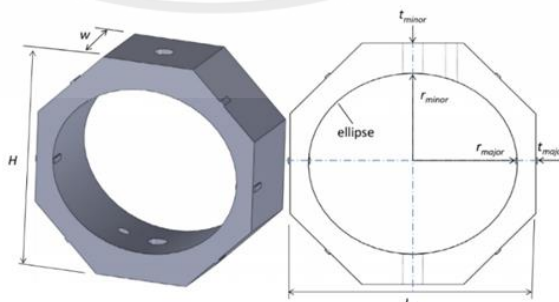
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนผังการทดลองไดนามิเตอร์วัดแรงป้อน (F_f) แรงผลึก (F_c) และแรงตัดหลัก (F_t) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการกลึง [13]

Sheikh Ahmad et al. [14] ในการศึกษาปัจจุบันได้ตรวจสอบผลของรัศมีวงแหวนแปดเหลี่ยม ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งของ Strain node และ Sensitivity ของทรานสดิวเซอร์ EOR ผลการศึกษาของตำแหน่งของ Strain node สำหรับทรานสดิวเซอร์ EOR จะแตกต่างกันไปตามรัศมีและความหนาของวงแหวนสำหรับตำแหน่งของ Strain node การวัดแรงในแนวตั้งจะย้ายตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจากตำแหน่งแนวนอน $5^\circ - 8^\circ$ และเข้าใกล้ตำแหน่งแนวนอนมากขึ้นเมื่อความหนาและรัศมีของวงแหวนเพิ่มขึ้น สำหรับการวัดแรงในแนวนอนจะเลื่อนทวนเข็มนาฬิกาสำหรับตำแหน่งที่ทราบ -39.6° ของวงแหวนวงกลม และจะเคลื่อนเข้าใกล้ตำแหน่งนี้มากขึ้นเมื่อความหนาและรัศมีของวงแหวนเพิ่มขึ้น ตำแหน่งสำหรับ Sensitivity สูงสุด ไม่ตรงกับตำแหน่งของ Node ไม่มี Cross-talk สำหรับการวัดแรงในแนวนอน ตำแหน่งสำหรับ Sensitivity สูงสุดจะตรงกับตำแหน่งของ Node ตามทฤษฎีของ Circular ring

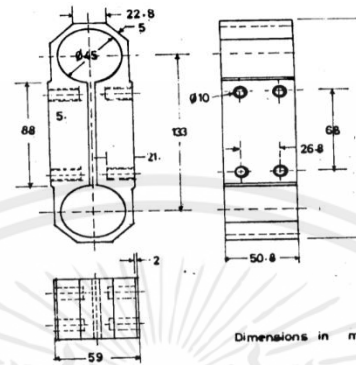
Uddin and Songyi [15] ได้ศึกษาการออกแบบการร้าวแบบจำลองและการวิเคราะห์วงแหวนแปดเหลี่ยม รูปร่างของวงแหวนแปดเหลี่ยมถูกดัดแปลงแก้ไขโดยการเปลี่ยนรูปทรงเรขาคณิตของวงกลมเป็นวงรี วัตถุประสงค์หลักคือการเพิ่มความเครียดให้กับอัตราส่วนการเคลื่อนที่ภายใต้โหลดที่กำหนดเพื่อเพิ่ม Sensitivity ด้วย FEA เซ็งวิเคราะห์และสามมิติถูกนำไปใช้เพื่อประเมินการตอบสนองเชิงกลเช่น การกระจายตัวของความเครียดและความเครียดของเซ็นเซอร์ การสอบเทียบพบว่าเซ็นเซอร์ที่มีแหวนวงรีทรงแปดเหลี่ยมที่สามารถวัดแรงได้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 2% มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดใน Cross-sensitive พบว่าน้อยกว่า 5% ในขณะที่โดยรวม Uncertainty สูงถึง 1.78%



รูปที่ 2.9 ภาพประกอบวงแหวนแปดเหลี่ยม [15]

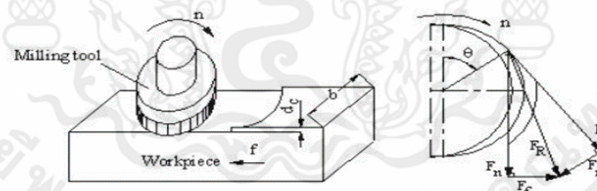
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Onwualu [18] ได้ออกแบบไดนาโมมิเตอร์แบบวงแหวนแปดเหลี่ยมมาเพื่อวัดแรงในแนวอน แรงแนวตั้ง และโมเมนต์ในระนาบของแรงสำหรับเครื่องมือทางการเกษตร การออกแบบมีพื้นฐานขึ้นอยู่กับหลักการของ Linearity ไม่พบผลของฮิสเทรีซิสและค่าสูงสุดของ Cross-sensitivity น้อยกว่า 6% ระบบไดนาโมมิเตอร์รวมเข้ากับระบบการวัดและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.10 ไดนาโมมิเตอร์แบบวงแหวนแปดเหลี่ยม (EORDI) [18]

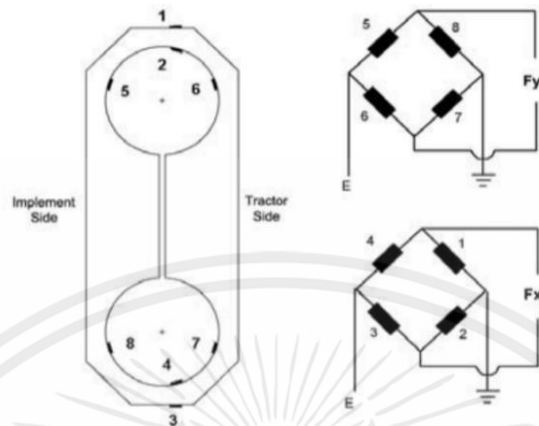
Saglam and Unuvar [19] ได้ออกแบบและการสร้างไดนาโมมิเตอร์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อวัดแรงตัดในการกัด อุปกรณ์นี้สามารถวัดแรงที่มีความเร็วคงที่และวัดแรงไดนามิก สเตรนเกจที่ติดตั้งบนวงแหวนแปดเหลี่ยมใช้สำหรับตรวจจับสัญญาณแรงแอนะล็อกและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านที่เก็บข้อมูลและบันทึกในคอมพิวเตอร์ การทดสอบไดนาโมมิเตอร์ได้ทำการกัดปาดหน้า พบว่าแรงตัดที่บันทึกพร้อมกันจากการทดสอบนั้นสอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้



รูปที่ 2.11 แรงตัดในการกัดรอบนอก [19]

Shishvan et al. [20] ได้ทำการศึกษาเซ็นเซอร์วงแหวนแปดเหลี่ยมด้านวิศวกรรมเกษตร โดยเฉพาะ เพื่อประเมินตำแหน่งของ Strain node และการคำนวณการกระจายความเครียดบนเซ็นเซอร์วงแหวนแปดเหลี่ยมเพื่อระบุตำแหน่งสเตรนเกจที่เหมาะสมที่สุดและลด Cross-sensitivity ใช้ทฤษฎีพลังงานความเครียดและการวิเคราะห์ FEA และผลการวิจัยพบว่าเมื่อเทียบกับการเลือกตำแหน่งสเตรนเกจโดยใช้ทฤษฎีความเครียดได้ถูกเลือกตามโปรแกรมที่สร้างขึ้นใน MATLAB คือ สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข และสร้างแบบจำลอง FEA ด้วยโปรแกรม ANSYS จากผลของทฤษฎี

พลังงานความเครียดติดตั้งสเตรนเกจที่มุม 90° และ 39.54° สำหรับการวัดโหลด F_x และ F_y แบบอิสระตามลำดับ



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งสเตรนเกจของวงจรแบบ Wheatstone bridge บนเซ็นเซอร์วงแหวน [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ผลความเครียดและนำแบบที่ได้มาสร้างเป็นแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด EOR และสอบเทียบหาแรงในแนวสามแกน เพื่อหามิติแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมกับ EOR

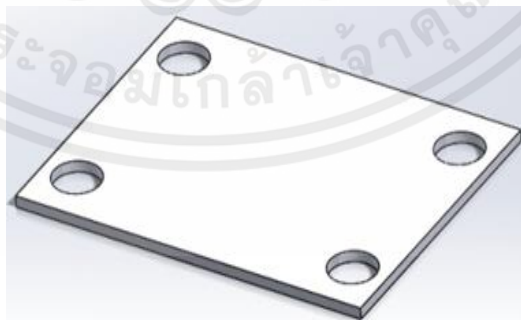
3.1 การออกแบบแผ่นรองรับจุดจับยึดและการไฟไนต์เอลิเมนต์หาแรงในแนว 3 แกน

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

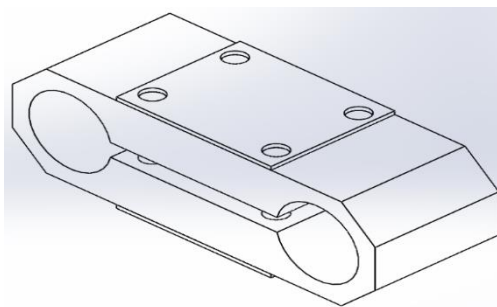
1. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150 mm Digital รุ่น CD-8 ASX
2. คอมพิวเตอร์ ASUS FX504 SERIES
3. โปรแกรม SOLIDWORKS 2020
4. Extended Octagonal Ring (EOR)

3.1.2 วิธีการดำเนินงาน

1. วัดขนาดตัว EOR เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองใน SOLIDWORKS 2020
2. ออกแบบมิติแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์ขนาดความกว้าง 60 mm ความหนา 2.5 mm และ 3 mm ความยาวตั้งแต่ 80 mm โดยเพิ่มความยาวแผ่นละ 2 mm จนถึง 100 mm (ดังรูปที่ 3.1 (ก))
3. นำ EOR ประกอบกับแผ่นรองรับจุดจับยึด (ดังรูปที่ 3.1 (ข))
4. ทำการการไฟไนต์เอลิเมนต์ในแนวแกน x y และ z โดยใส่แรงกระจาย 5000 N จากนั้นทำการประเมินค่าความเครียดในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นที่จุดติดตั้งสเตรนเกจในแต่ละแกน จำกัดผลต่างที่ไม่เกิน $3 \mu\epsilon$ (ดังรูปที่ 3.2)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด (ข) โครงสร้าง Extended Octagonal Ring เมื่อทำการประกอบแผ่นรองรับจุดจับยึด



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งสเตรนเกจ

3.2 การสร้างชิ้นงานแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นเหล็ก Steel AISI304
2. เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150 mm Digital รุ่น CD-8 ASX
3. เครื่องเลื่อยสายพานตัดเหล็ก HERO HR-812C
4. เครื่องกัดอเนกประสงค์ PAOFONG รุ่น PF-6SH NC
5. เครื่องเจียรราบ KGS-510AH/AHD
6. ดอกเจาะ ขนาด 14 mm ยี่ห้อ JK รุ่น HSS Series drills Inches

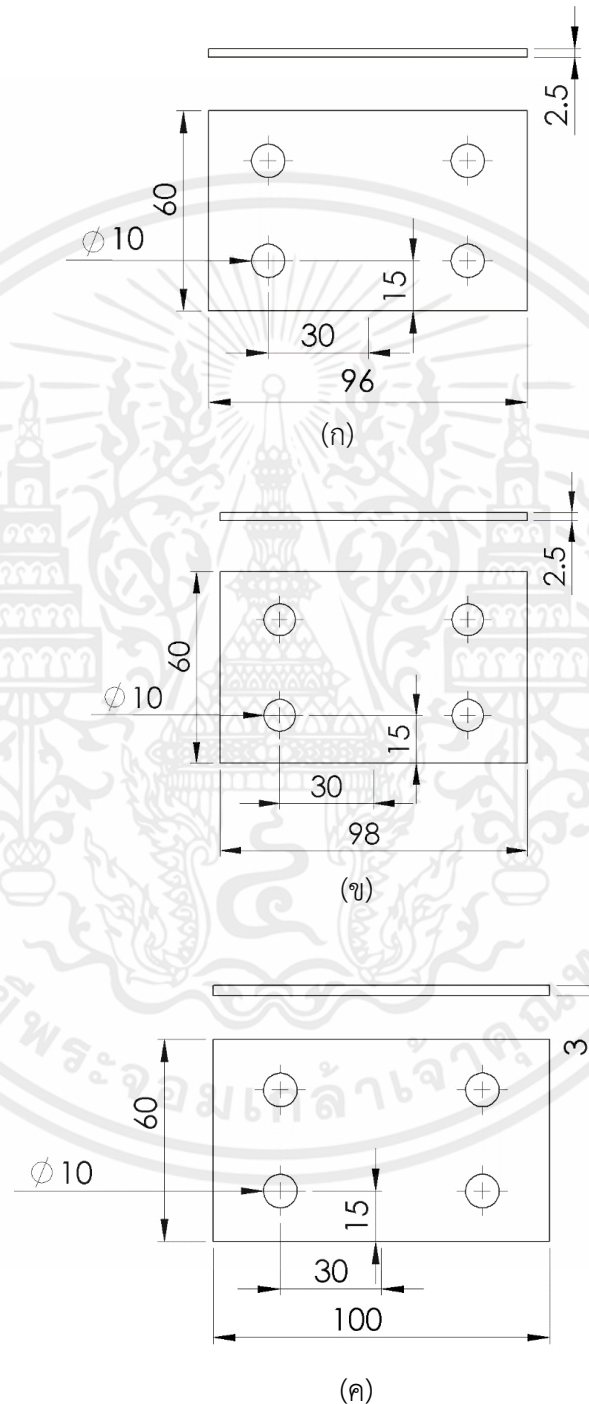
3.2.2 วิธีการดำเนินงาน

1. นำแผ่นเหล็กไปตัดด้วยเลื่อยสายพานตัดเหล็ก จำนวน 6 แผ่น และวัดขนาดแผ่นเหล็กด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ให้ได้ขนาดที่ออกแบบ (ดังรูปที่ 3.3 (ก) - (ค))
2. กัดแผ่นเหล็กให้มีขนาดความหนาใกล้เคียงกับแบบที่ต้องการด้วยเครื่องกัดอเนกประสงค์ (ดังรูปที่ 3.4 (ก))
3. กัดขอบแผ่นเหล็กให้ได้ขนาด $60 \times 96 \text{ mm}^2$ $60 \times 98 \text{ mm}^2$ และ $60 \times 100 \text{ mm}^2$ ด้วยเครื่องกัดอเนกประสงค์ (ดังรูปที่ 3.4 (ข))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เจาะรูขนาด 14 mm จำนวน 4 รูบนแผ่นเหล็กทั้ง 6 แผ่นด้วยเครื่องกัดอเนกประสงค์ (ดังรูปที่ 3.4 (ค))

5. นำมาเจียรระโนให้ได้ขนาด 60x96 mm² หนา 2.5 mm 60x98 mm² หนา 2.5 mm และ 60x100 mm² หนา 3 mm (ดังรูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.3 แบบขนาดแผ่นเหล็กที่เหมาะสม (ก) 60x96 mm² หนา 2.5 mm

(ข) 60x98 mm² หนา 2.5 mm (ค) 60x100 mm² หนา 3 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.4 (ก) กัดปาดหน้าชิ้นงาน (ข) เจาะรูแผ่นเหล็ก (ค) ตกแต่งขอบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด

3.3 การตัดแปลงชุดสอบเทียบ

3.3.1. วัสดุและอุปกรณ์

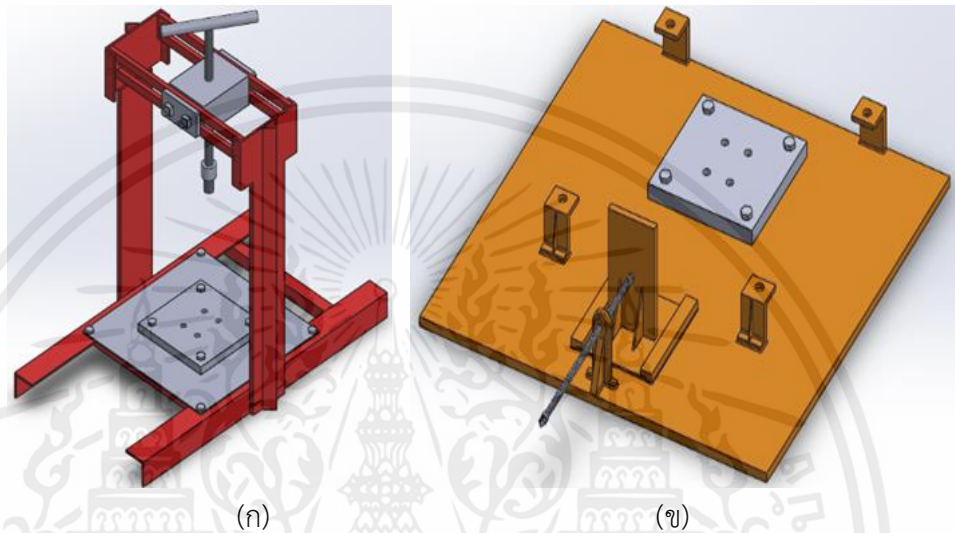
1. คอมพิวเตอร์ ASUS FX504 SERIES
2. โปรแกรม SOLIDWORKS 2020
3. เหล็กแผ่นขนาด $340 \times 340 \text{ mm}^2$ 1 แผ่น และ $180 \times 180 \text{ mm}^2$ 2 แผ่น
4. เหล็กก้อนขนาด $100 \times 130 \text{ mm}^2$
5. เหล็กแท่งกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ยาว 200 mm
6. สัตัดเหล็กเกลียว M8 ยาว 300 mm
7. น็อตหัวจม 8 ตัว ขนาด 1.5"
8. ดอกเจาะ ขนาด 16 mm ยี่ห้อ JK รุ่น HSS Series drills Inches
9. ดอกตัดเกลียว WARRIOR ขนาด 3/8"
10. ขาตั้งโพลดเซลล์
11. เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150 mm Digital รุ่น CD-8 ASX
12. เครื่องเลื่อยสายพานตัดเหล็ก HERO HR-812C
13. เครื่องกัดอเนกประสงค์ PAOFONG รุ่น PF-6SH NC

3.3.2 วิธีการดำเนินงาน

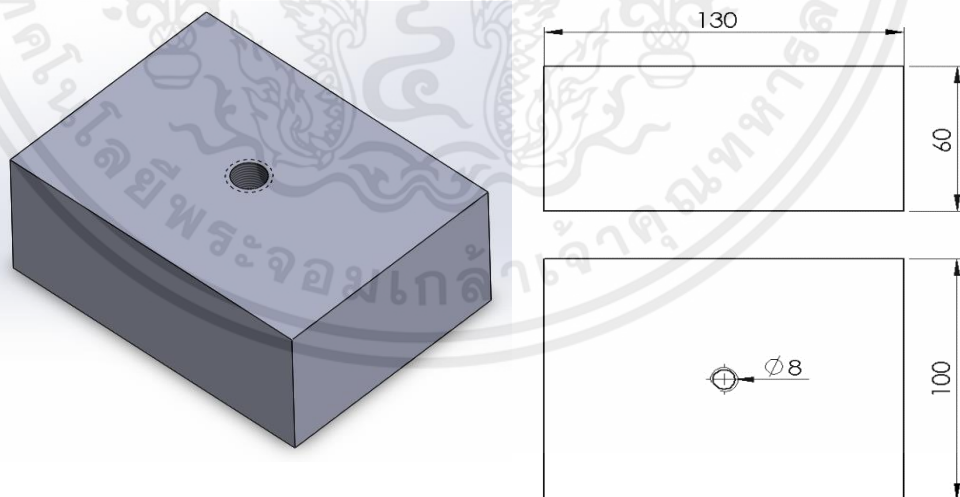
1. ออกแบบชุดสอบเทียบในแนวตั้งและแนวระดับในโปรแกรม SOLIDWORKS 2020 (ดังรูปที่ 3.6 (ก) และ (ข))
2. ตัดเหล็กก้อนด้วยเครื่องกัดอเนกประสงค์ขนาดความกว้าง 60 mm ยาว 130 mm หนา 100 mm และเจาะรูตรงกลางเพื่อทำเกลียวขนาด 8 mm (ดังรูปที่ 3.7)
3. ตัดเหล็กแท่งกลมด้วยเครื่องกัดอเนกประสงค์ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ยาว 200 mm และเจาะรูตรงกลาง ขนาด 8 mm (ดังรูปที่ 3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัดเหล็กแผ่นขนาด $180 \times 180 \text{ mm}^2$ หนา 16 mm เจาะรูขนาด 16 mm ลึกลง 10 mm 4 รูเพื่อยึดกับตัว EOR และเจาะรูที่มุมขนาด 10 mm 4 รู เพื่อยึดกับชุดสอบเทียบ (ดังรูปที่ 3.9)
5. ตัดเหล็กแผ่นขนาด $340 \times 340 \text{ mm}^2$ เจาะรูตรงกลางขนาด 10 mm 4 รู และที่มุม 4 รู เพื่อยึดกับ EOR และชุดสอบเทียบ (ดังรูปที่ 3.10)
6. นำชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันและนำไปติดตั้งกับชุดสอบเทียบในแนวตั้งและแนวระดับ (ดังรูปที่ 3.11 (ก) และ (ข))

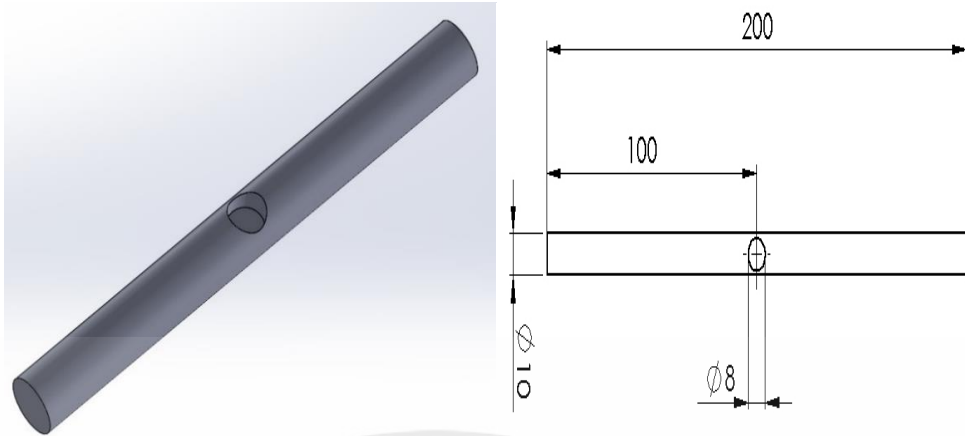


รูปที่ 3.6 (ก) แบบจำลองชุดสอบเทียบแนวตั้ง (ข) แบบจำลองชุดสอบเทียบแนวระดับ

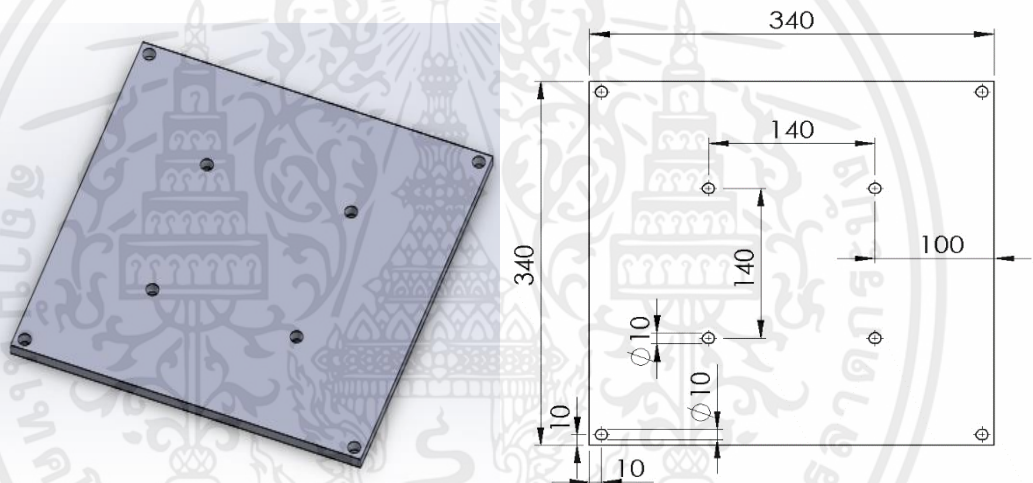


รูปที่ 3.7 ที่รับน้ำหนักต่อกับ Load Cell

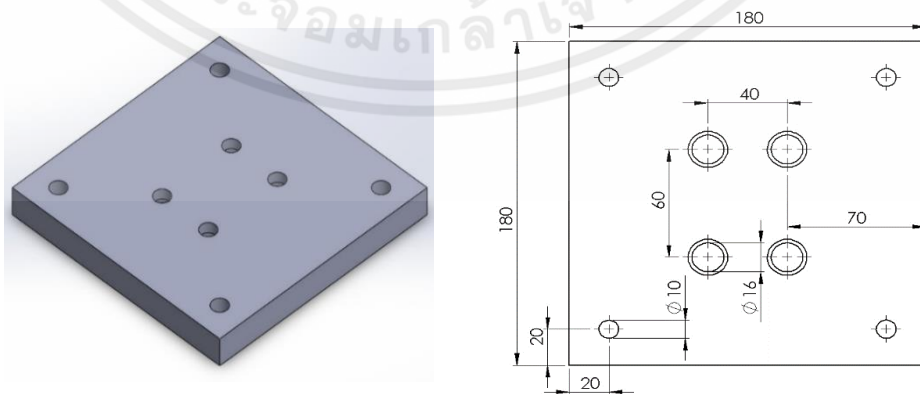
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ต่ำนจับปรับน้ำหนัก



รูปที่ 3.9 แผ่นรองยึดชุดสอบเทียบ



รูปที่ 3.10 แผ่นยึดชุดสอบเทียบกับ EOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 (ก) ชุดสอบเทียบแนวตั้ง (ข) ชุดสอบเทียบแนวระดับ

3.4 การสอบเทียบหาขนาดแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมกับ EOR

3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

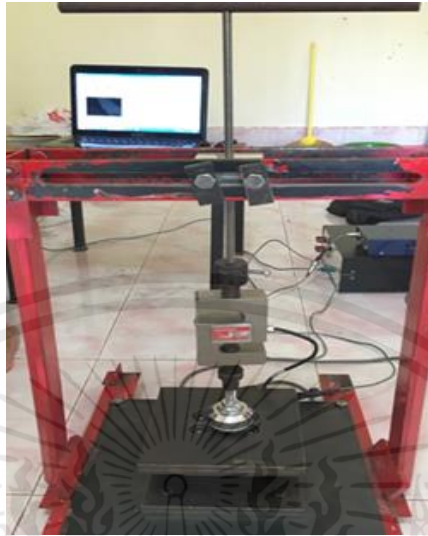
1. ชุดสอบเทียบแนวตั้ง
2. ชุดสอบเทียบแนวระดับ
3. โหลดเซลล์แบบ S ยี่ห้อ Bongshin รุ่น DBBP พิกัดโหลด 2T
4. โหลดเซลล์แบบ S ยี่ห้อ IEN รุ่น 408 พิกัดโหลด 150 kg
5. คอมพิวเตอร์ Lenovo G450
6. โปรแกรม LabVIEW 2014
7. NI USB-6210
8. แบตเตอรี่รถยนต์แบบกึ่งแห้ง ยี่ห้อ GS รุ่น 46B24L-MF ขนาด 12 V 45 A
9. Extended Octagonal Ring 2 ตัว

3.4.2 วิธีการดำเนินการ

1. นำแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดประกบติดตั้งกับตัว EOR บนและล่าง
2. นำ EOR และ Load Cell ติดตั้งเข้ากับชุดสอบเทียบ ต่อตัว EOR และโหลดเซลล์เข้ากับ NI USB-6210 และคอมพิวเตอร์
3. ในแนวตั้งใช้ Load Cell พิกัดโหลด 2T กدن้าหนัก 0-160 kg โดยช่วงน้ำหนัก 0-10 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 2 kg ช่วงน้ำหนัก 10-30 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 5 kg ช่วงน้ำหนัก 30-80 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 10 kg ช่วงน้ำหนัก 80-160 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 20 kg และลดน้ำหนักลงในเวลาเดียวกัน โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง (ดังรูปที่ 3.12)
4. ในแนวระดับใช้ Load Cell พิกัดโหลด 150 kg กدن้าหนัก 0-80 kg โดยช่วงน้ำหนัก 0-4 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 kg ช่วงน้ำหนัก 4-10 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 2 kg ช่วงน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10-40 kg เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 5 kg ช่วงน้ำหนัก 40-80 เพิ่มน้ำหนักครั้งละ 10 kg และลดน้ำหนักลง
ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง (ดังรูปที่ 3.13 (ก) และ (ข))



รูปที่ 3.12 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับทรานสดิวเซอร์ในแนวตั้ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับทรานสดิวเซอร์ในแนวระดับ (ก) ใช้ Load Cell 150 kg กด
ในแนวแกน x (ข) Load Cell 150 kg กดในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

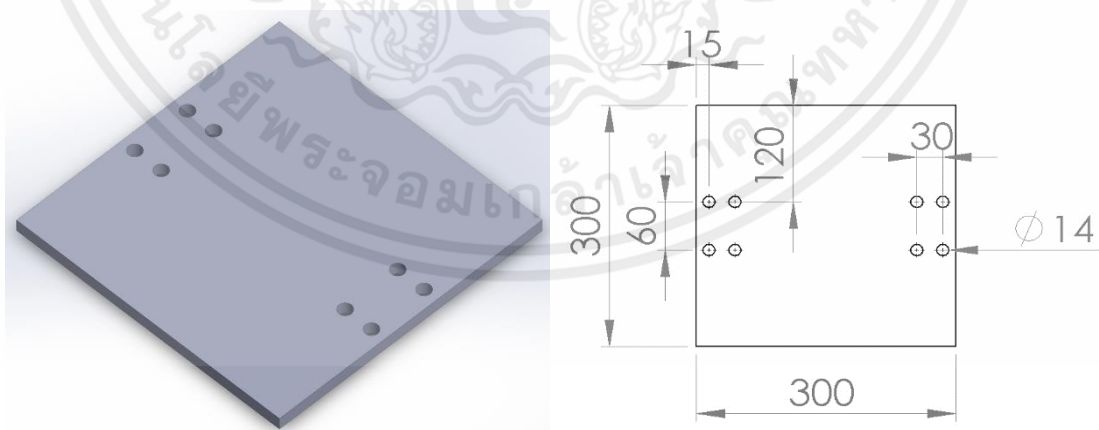
3.5 การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์วัดแรงสามแกน

3.5.1 วัสดุและอุปกรณ์

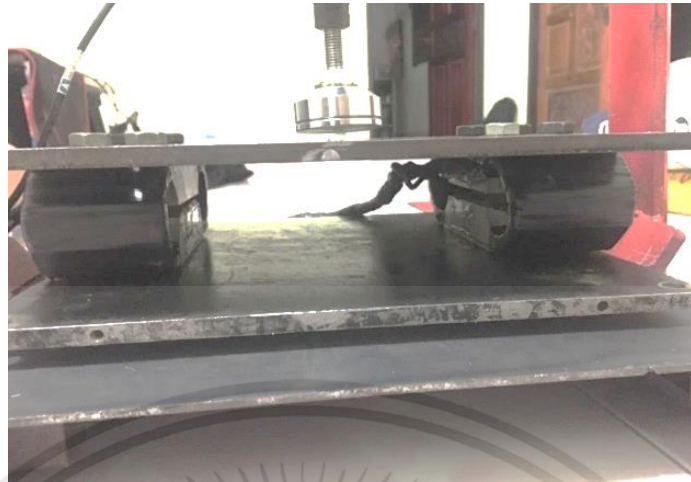
1. ชุดสอบเทียบแนวตั้ง
2. ชุดสอบเทียบแนวระดับ
3. โหลดเซลล์แบบ S ยี่ห้อ Bongshin รุ่น DBBP พิกัดโหลด 2T
4. โหลดเซลล์แบบ S ยี่ห้อ IEN รุ่น 408 พิกัดโหลด 150 kg
5. คอมพิวเตอร์ Lenovo G450
6. โปรแกรม LabVIEW 2014
7. NI USB-6210
8. แบตเตอรี่รถยนต์แบบกึ่งแห้ง ยี่ห้อ GS รุ่น 46B24L-MF ขนาด 12 V 45 A
9. Extended Octagonal Ring 2 ตัว
10. แผ่นเพลตขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$ หนา 8 mm 2 แผ่น
11. แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดขนาด $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm 4 แผ่น

3.5.2 วิธีการดำเนินการ

1. เจาะรูขนาด 14 mm บนแผ่นเพลตขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$ (ดังรูปที่ 3.14)
2. นำมายึดกับตัว EOR ทั้งสองตัว ที่มีแผ่นรองรับจุดจับยึดขนาดยาว 100 mm หนา 3 mm ประกอบบนล่างเข้าด้วยกัน
3. นำทรานสดิวเซอร์ที่ประกอบเสร็จแล้วมาติดตั้งกับชุดทดสอบ จากนั้นต่อตัว EOR ทั้ง 2 ตัว และโหลดเซลล์เข้ากับ NI USB-6210 และคอมพิวเตอร์ (ดังรูปที่ 3.15)
4. ทำตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 ในหัวข้อที่ 3.4.2 (ดังรูปที่ 3.16 (ก) และ (ข))



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการเจาะรูแผ่นเพลต



รูปที่ 3.15 แผ่นเพลตยึดกับตัว EOR ทั้งสองตัว



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.16 (ก) การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ในแนวตั้ง

(ข) การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ในแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

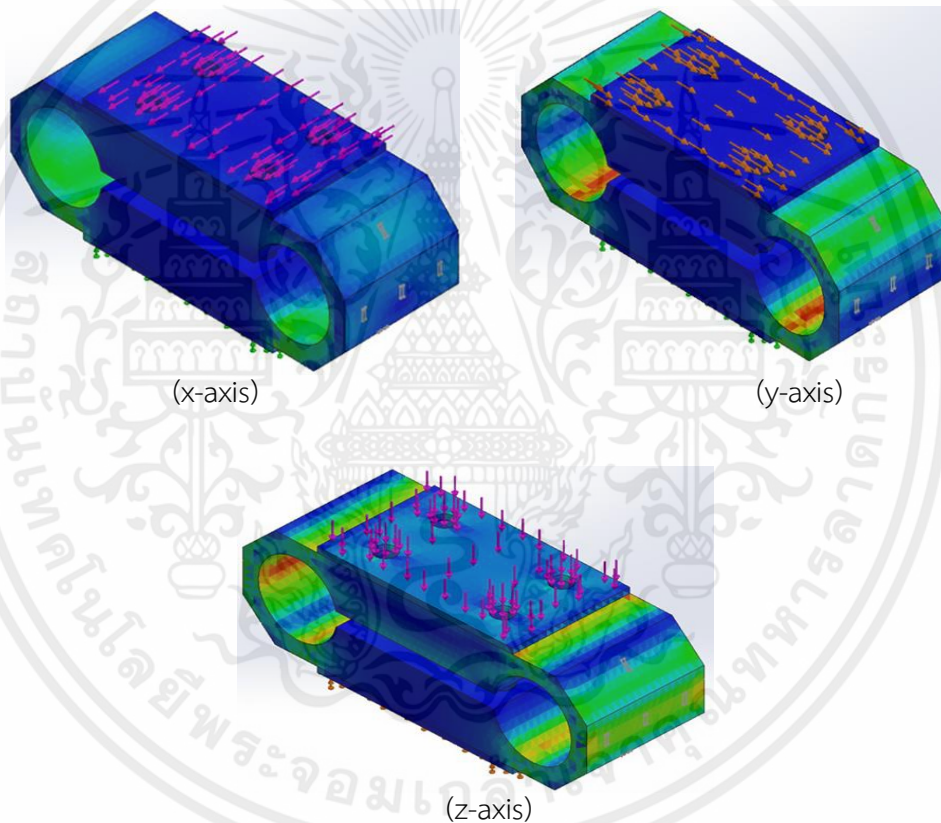
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลการทดลองแผ่นรองรับจุดจับยึดของ Extended Octagonal Ring รวมถึงผลของ Flatbed Scale จาก EOR

4.1 ผลการไฟไนต์เอลิเมนต์แผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของความเครียดตำแหน่งที่ติดตั้งสตรนเกจของโพลดเซลล์ ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในแนวแกน x, y และ z โดยใส่แรงกระจาย 5000 N (ดังรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ไฟไนต์เอลิเมนต์ Extended Octagonal Ring

จากรูปที่ 4.1 คือผลการวิเคราะห์แผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงแบบ EOR สามแกน ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทาง Finite element หลังจากใส่โพลดแล้วผลปรากฏว่าในแนวแกน x ตำแหน่งที่ (3,9) หรือ ด้านซ้าย และ ตำแหน่งที่ (4,10) หรือ ด้านขวา มีค่าความเครียดที่สม่ำเสมอคือแถบสีน้ำเงิน จึงไม่มีตำแหน่งไหนที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด แนวแกน y ตำแหน่งที่ (5,11) หรือ ด้านบน มีค่าความเครียดสูงสุดคือแถบสีแดง ตำแหน่งที่ (6,12) หรือ ด้านล่าง มีค่าความเครียดต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือแถบสีฟ้าเขียว และในแนวแกน z ตำแหน่งที่ (1,7) หรือ ภายในวงแหวน มีค่าความเครียดสูงสุดคือ แถบสีแดง ตำแหน่งที่ (2,8) หรือ ตรงกลางภายนอกวงแหวน มีค่าความเครียดต่ำสุดคือแถบเขียว เหลือง

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างความเครียด EOR ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แผ่นเหล็ก (W×L) (mm ²)	หนา (mm)	ค่าความแตกต่างความเครียดตำแหน่งที่ติดตั้งสตรนเกจ ($\mu\epsilon$)					
		ตำแหน่ง (1,7)	ตำแหน่ง (2,8)	ตำแหน่ง (3,9)	ตำแหน่ง (4,10)	ตำแหน่ง (5,11)	ตำแหน่ง (6,12)
60×80	2.5	1.2	0.6	0.6	1.6	1.2	1.7
60×80	3	1.8	1.2	2.5	2.4	2.2	1.1
60×82	2.5	2.05	6	2.3	2.4	1.3	1.8
60×82	3	11.3	3	1.3	3.7	0.4	7
60×84	2.5	14.1	47	1.4	4.7	1.2	7
60×84	3	11.4	14.7	1.1	7.1	15.5	7.1
60×86	2.5	8	2.9	37.2	12.4	2.3	1.7
60×86	3	1.7	2.3	1.1	1.2	2	18.4
60×88	2.5	1.6	2.9	2.4	3.6	3.6	2.3
60×88	3	8.9	14.9	4.5	4.7	0.3	2.3
60×90	2.5	8.3	6.5	3.3	3.4	2.1	3.2
60×90	3	7.3	8.2	16.7	15.4	5.1	16.2
60×92	2.5	9.6	0.1	7.3	6.2	0.3	7.3
60×92	3	1.9	21.4	2.2	0.8	4.4	5.5
60×94	2.5	3.1	8.8	6.8	6.3	2.6	7.4
60×94	3	0.5	1	8	7.1	1.6	7.2
60×96	2.5	0.7	1.5	2.9	0.5	1	2.4
60×98	3	0.8	2.4	0.2	0.6	0.2	0.6
60×98	2.5	10.8	10.5	6.5	4.7	8.1	4.8
60×100	2.5	4.6	5.4	15.5	18.9	2.5	0.7
60×100	3	0.8	0.9	1.8	0.9	0.3	0.2

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ EOR ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิเคราะห์ที่ ตำแหน่งติดตั้งสตรนเกจทั้ง 2 ฝั่ง โดยนำค่าความเครียดในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นของตำแหน่ง สตรนเกจที่อยู่ฝั่งตรงข้ามกันของในแต่ละแนวแกนมาเทียบกับและมีแผ่นขนาดเดิม คือ 60×80 mm² หนา 2.5 mm (L1) เป็นตัวเทียบ พบว่าค่าที่ใกล้เคียงที่สุด 3 ขนาด ได้แก่ 60×96 mm² หนา 2.5 mm (L2) 60×98 mm² หนา 2.5 mm (L3) และ 60×100 mm² หนา 3 mm (L4) เพราะ

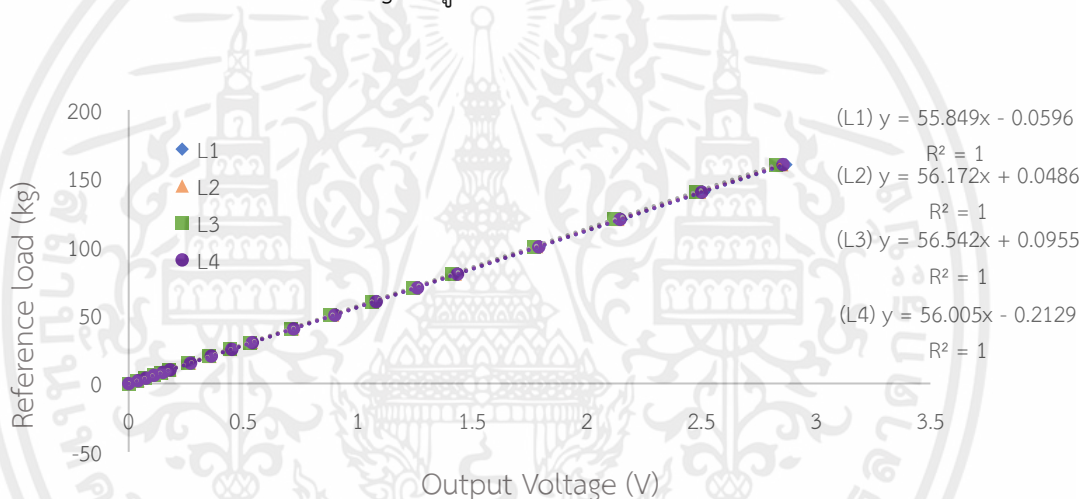
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าความแตกต่าง $\mu\epsilon$ น้อยที่สุดในแต่ละตำแหน่งที่มีการติดตั้งสเตรนเกจ หาก $\mu\epsilon$ มีค่าต่างกันมาก เมื่อมีการใส่โหลด การกระจายความเครียดที่ตำแหน่งติดตั้งสเตรนเกจทั้ง 2 ฝั่งไม่สมดุลกันจะทำให้เกิดค่า Cross-sensitivity สูงเกินกว่าเกณฑ์ที่จะรับได้ไม่เกิน 3 $\mu\epsilon$ ตำแหน่งที่มีผลมากที่สุดคือภายในวงแหวนหรือตำแหน่งที่ (1,7) เพราะมีค่าความเครียดสูงสุดในขณะที่ตำแหน่งอื่น ๆ มีค่าความเครียดน้อยกว่า โดยเกิดจากการกดแรงในแนวแกน z

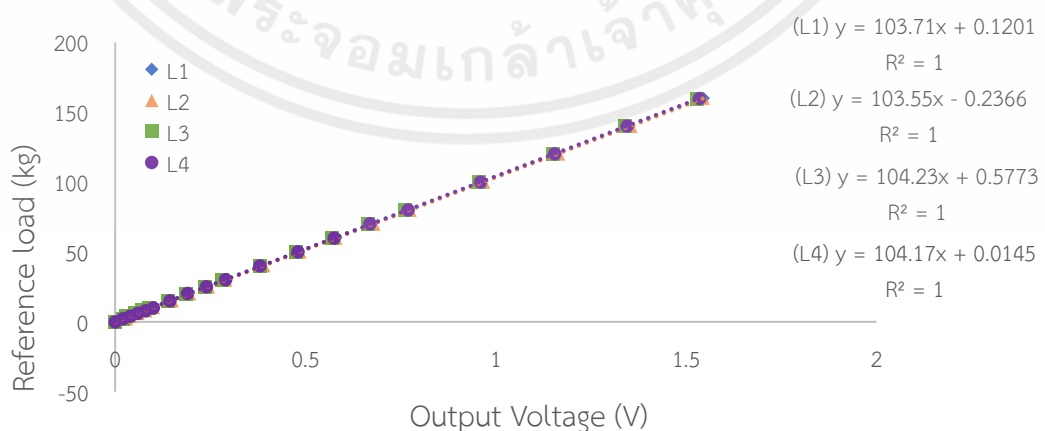
4.2 ผลของแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring

4.2.1 การสอบเทียบแผ่นรองรับในแนวแกน z

สอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้งหมด 4 ขนาด ได้แก่ คือ $60 \times 80 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm (L1) $60 \times 96 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm (L2) $60 \times 98 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm (L3) และ $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm (L4) ระหว่างน้ำหนัก (kg) กับแรงดันไฟฟ้าขาออก (V) โดยกदनน้ำหนักในแนวแกน z ลงบน EOR ในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0 – 160 kg (ตั้งรูปที่ 4.2 และ 4.3)



รูปที่ 4.2 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน z



รูปที่ 4.3 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 เป็นผลการสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ระหว่างน้ำหนักกับแรงดันไฟฟ้าขาออกในแนวแกน z ของแผ่นเหล็กทรงรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดของ EOR ทั้ง 2 ตัว จะเห็นได้ว่าเมื่อกดน้ำหนักอ้างอิงลงบนทรานสดิวเซอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้นั้นมีแนวโน้มแปรผันตรงตามน้ำหนักอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีความเป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน z

Parameters		Extended Octagonal Ring			
		L1	L2	L3	L4
Slope		55.849	56.172	56.542	56.005
R ²		1	1	1	1
Hysteresis error (%)		0.3495	0.3560	0.9203	0.5251
Non-linearity error (%)		0.2138	0.1895	0.1944	0.3723
Cross-sensitivity error (%)	X	0.0340	0.0096	0.0042	0.0041
	Y	0.0045	0.0098	0.0161	0.0052

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดในแนวแกน z เมื่อนำผลมาวิเคราะห์นั้นพบว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดที่ติดตั้งบน EOR ตัวที่ 1 มีค่าความชันสูง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดมีค่าเท่ากันคือ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 สำหรับ L2 มีค่าฮิสเทอรีซิสและค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นใกล้เคียงกับ L1 มากที่สุด โดยมีค่าต่างกันอยู่ที่ 0.0065% และ 0.0243% ตามลำดับ สำหรับ Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ y ขนาด L4 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0299% และ 0.0007% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ไม่เกิน $\pm 1\%$

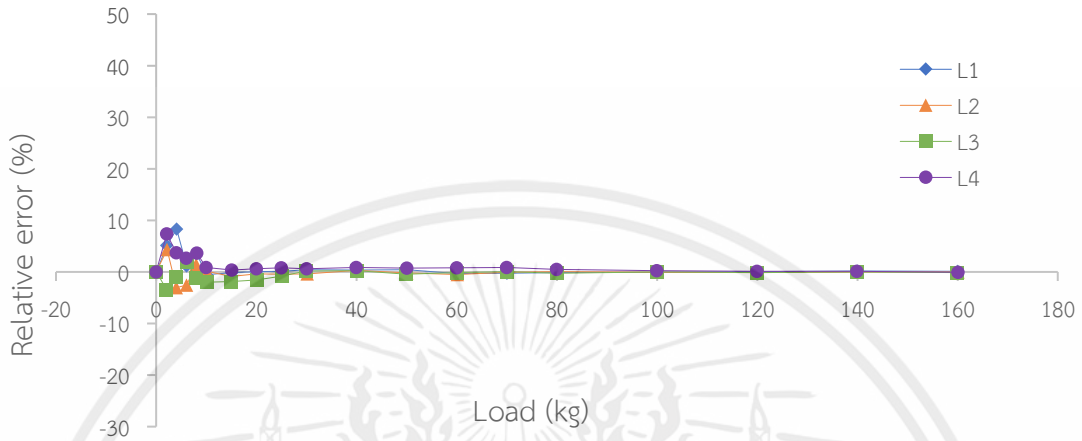
ตารางที่ 4.3 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน z

Parameters		Extended Octagonal Ring			
		L1	L2	L3	L4
Slope		103.71	103.55	104.23	104.17
R ²		1	1	1	1
Hysteresis error (%)		0.6491	0.4312	0.3393	0.6567
Non-linearity error (%)		0.3238	0.6059	0.5573	0.3723
Cross-sensitivity error (%)	X	0.0630	0.0200	0.0092	0.0191
	Y	0.0267	0.0160	0.0208	0.0145

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดในแนวแกน z ที่ติดตั้งบน EOR ตัวที่ 2 มีค่าความชันสูง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) แผ่นรองรับ

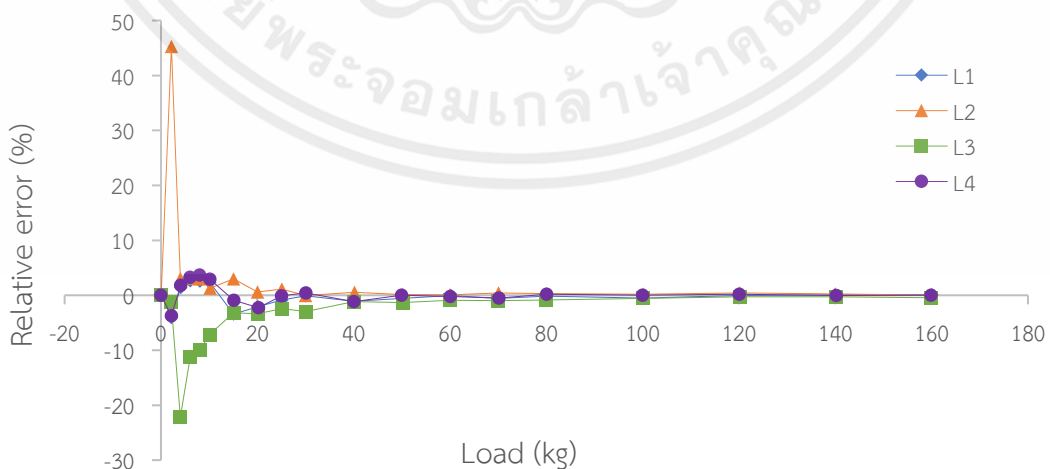
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดมีค่าเท่ากันคือ 1 ซึ่ง สำหรับค่าฮีสเทอรีซิส L3 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.3098% ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น L4 มีค่าน้อยซึ่งใกล้เคียงกับ L1 โดยมีค่าต่างกันอยู่ที่ 0.0485% และ Cross-sensitivity ในแนวแกน x ขนาด L3 มีค่าน้อยที่สุด และในแนวแกน y ขนาด L4 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0538% และ 0.0122% ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน z

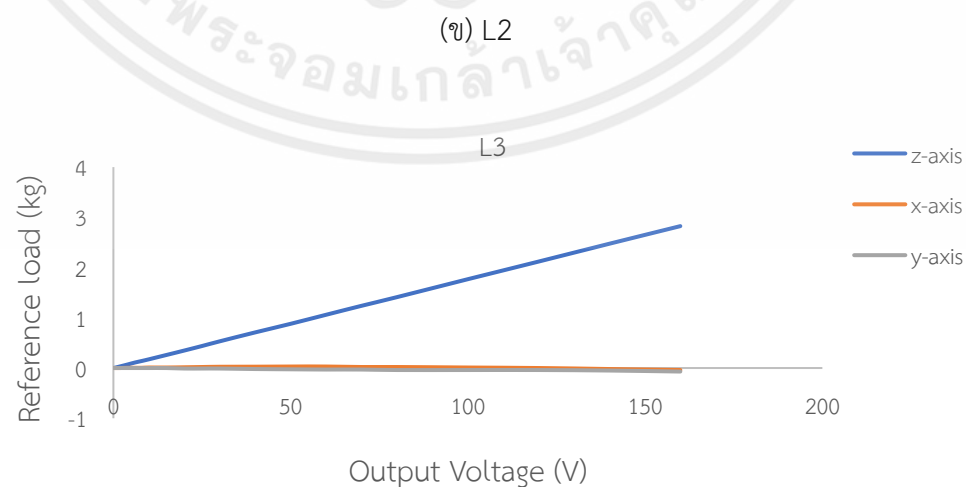
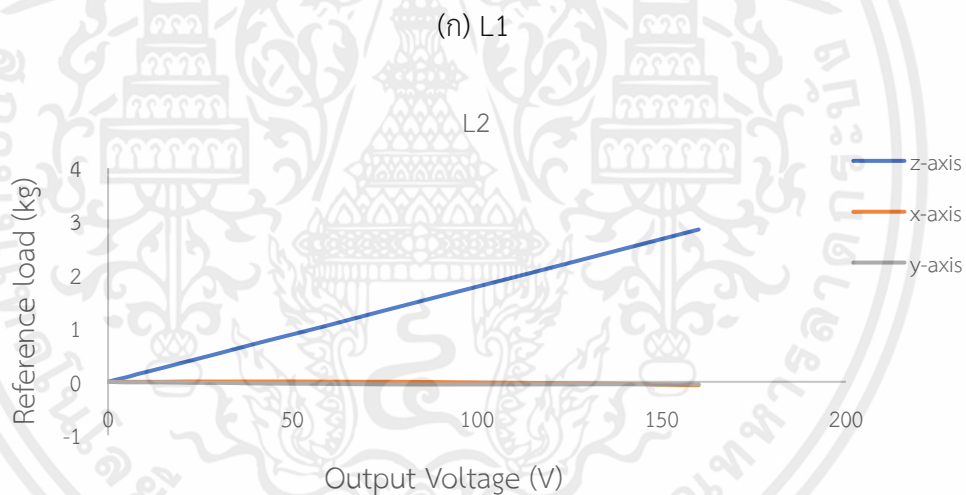
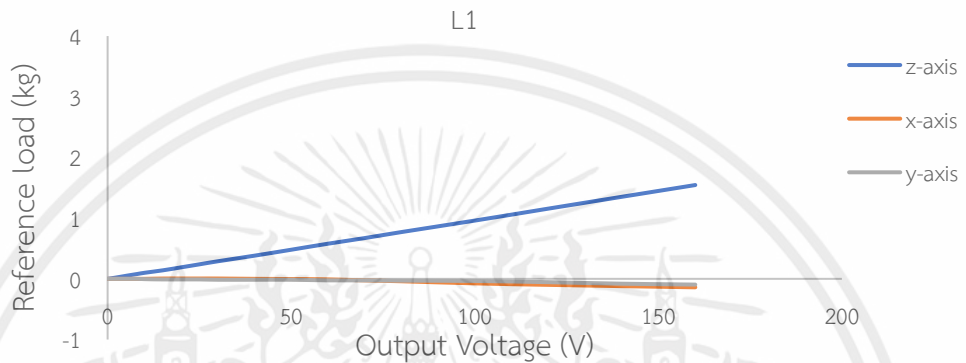
จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด บน EOR ตัวที่ 1 จากการสังเกตในช่วงน้ำหนัก 20-160 kg จะเห็นได้ว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด มีค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้นั้น เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วงน้ำหนัก 20-160 kg แสดงให้เห็นว่า แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดเหมาะสมสำหรับวัดแรงในแนวแกน z ในช่วงน้ำหนัก 20-160 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L2 L3 L4 มีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0577% 0.0589% และ 0.0068% ตามลำดับ ดังนั้น L3 มี Relative error น้อยสุดอยู่ที่ 0.0003% ที่น้ำหนัก 100 kg



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน z

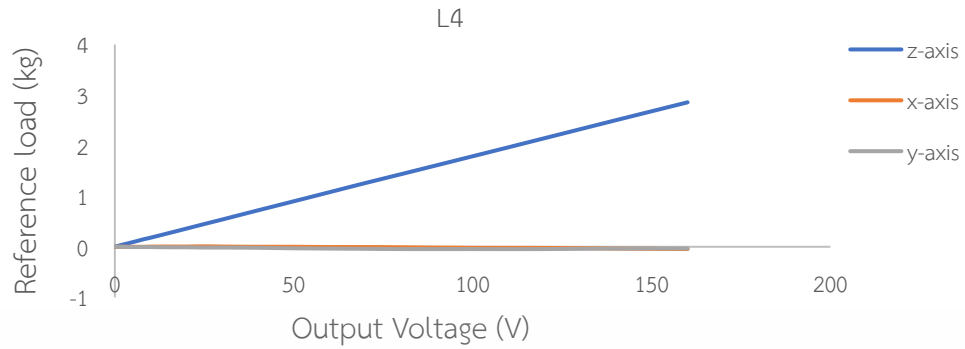
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จากกราฟจะเห็นได้ว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด ที่ติดตั้งกับ EOR ตัวที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้นั้น เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วงน้ำหนัก 20-160 kg แสดงให้เห็นว่า แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดเหมาะสมสำหรับวัดแรงในแนวแกน z ในช่วงน้ำหนัก 20-160 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L2 L3 L4 มีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0071% 0.2353% และ 0.0275% ตามลำดับ ดังนั้น L4 มี Relative error น้อยสุดอยู่ที่ 0.0053% ที่น้ำหนัก 100 kg



(ค) L3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



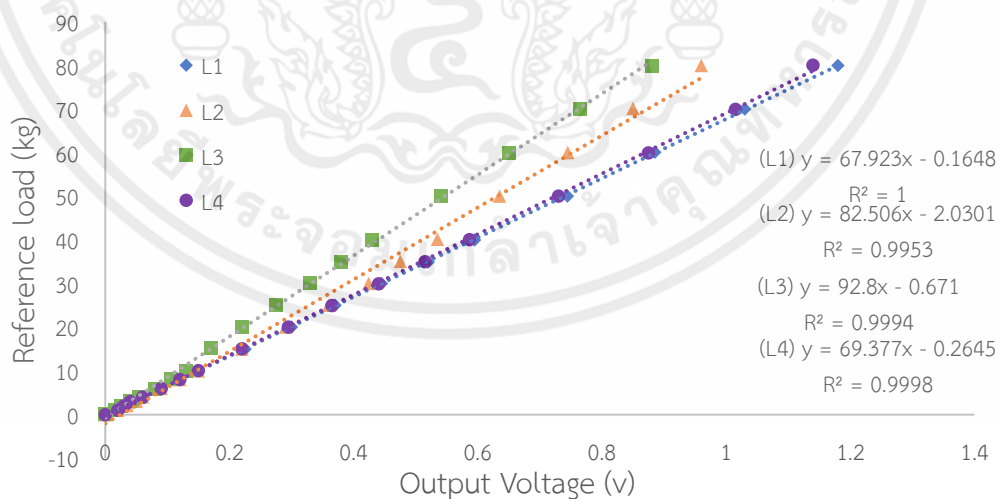
(ง) L4

รูปที่ 4.6 Cross-sensitivity ในแนวแกน z แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด

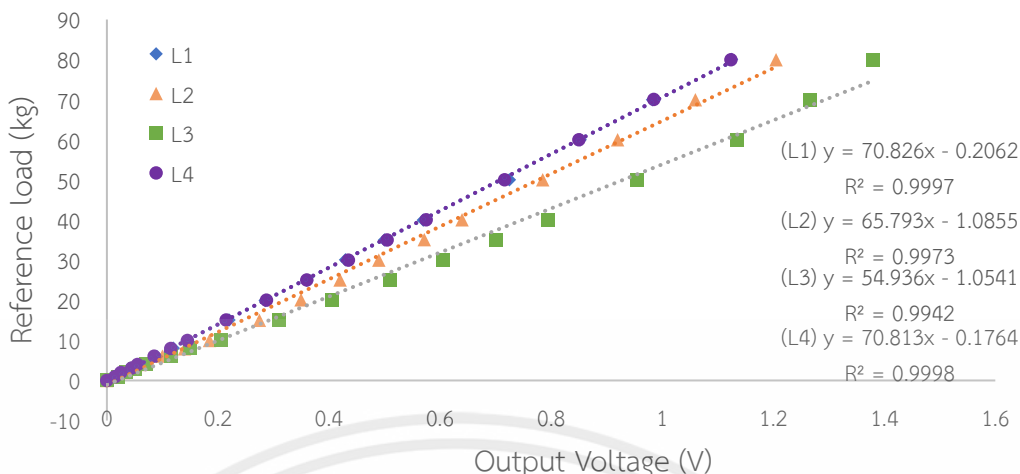
จากรูปที่ 4.6 แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดขนาด L2 L3 L4 มีค่า Cross-sensitivity ที่เกิดขึ้นในแนวแกน x และ y มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ L2 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ y ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0430% และ 0.0107% ตามลำดับ L3 อยู่ที่ 0.0538% และ 0.0059% ตามลำดับ L4 อยู่ที่ 0.0439% และ 0.0122% ตามลำดับ ดังนั้น L3 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x น้อยสุดอยู่ที่ 0.0092% และ L4 ในแนวแกน y มีค่า Cross-sensitivity น้อยสุดอยู่ที่ 0.0145%

4.2.2 การสอบเทียบแผ่นรองรับในแนวแกน x

สอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึด โดยกหนดน้ำหนักในแนวแกน x ลงบน EOR ในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0 – 80 kg (ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8)



รูปที่ 4.7 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน x



รูปที่ 4.8 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน x

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับแรงดันไฟฟ้าขาออก เมื่อทำการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดในแนวแกน x จากแนวโน้มจะเห็นได้ว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดขนาด L4 มีเส้นกราฟมีความเป็นเชิงเส้นใกล้เคียงกับ L1 มากที่สุด

ตารางที่ 4.4 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน x

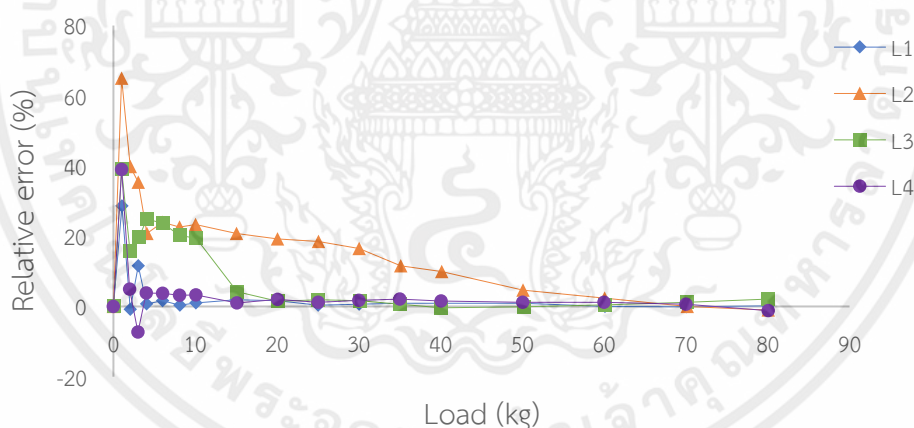
Parameters	Extended Octagonal Ring			
	L1	L2	L3	L4
Slope	67.923	82.506	92.8	69.377
R ²	1	0.9953	0.9994	0.9998
Hysteresis error (%)	2.5843	5.2140	4.2475	2.6426
Non-linearity error (%)	0.5692	6.1854	2.4489	1.1993
Cross-sensitivity error	Z	0.0698	0.0403	0.0087
(%)	Y	0.0412	0.0245	0.0365

จากตารางที่ 4.4 เมื่อนำผลสอบเทียบกับ EOR ตัวที่ 1 มาวิเคราะห์นั้นพบว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด มีค่าความชันสูง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) L4 มีค่าใกล้เคียงกับ L1 มากที่สุด ค่าฮิสเทอรีซิสน้อยที่สุดและค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นน้อยสุด L4 มีค่าใกล้เคียงกับ L1 ต่างกันอยู่ที่ 0.0583% และ 0.6301% ตามลำดับ สำหรับค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน z ขนาด L3 มีค่าน้อยที่สุด และ ในแนวแกน y ขนาด L2 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0611% และ 0.0167% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน x

Parameters		Extended Octagonal Ring			
		L1	L2	L3	L4
Slope		70.826	65.793	54.936	70.813
R^2		0.9997	0.9973	0.9942	0.9998
Hysteresis error (%)		4.2420	3.2034	3.1130	1.7741
Non-linearity error (%)		1.5984	3.8653	5.2291	0.9387
Cross-sensitivity error	Z	0.0347	1.0000	0.0468	0.0301
(%)	Y	0.0147	0.7176	0.0014	0.0179

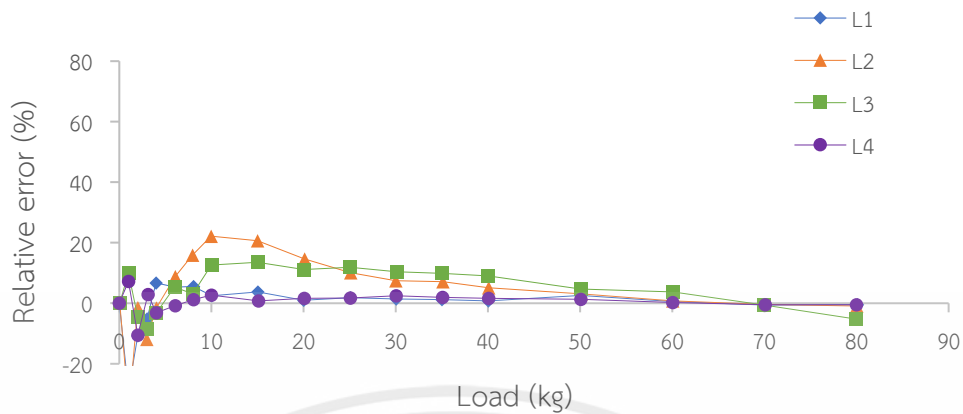
จากตารางที่ 4.5 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดในแนวแกน x ของ EOR ตัวที่ 2 มีค่าความชันสูง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) L4 มีค่ามากที่สุด สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสและค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น L4 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 2.4679% และ 0.6597% ตามลำดับ สำหรับ Cross-sensitivity ในแนวแกน z ขนาด L4 มีค่าน้อยที่สุด และ ในแนวแกน y ขนาด L3 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0046% และ 0.0133% ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน x

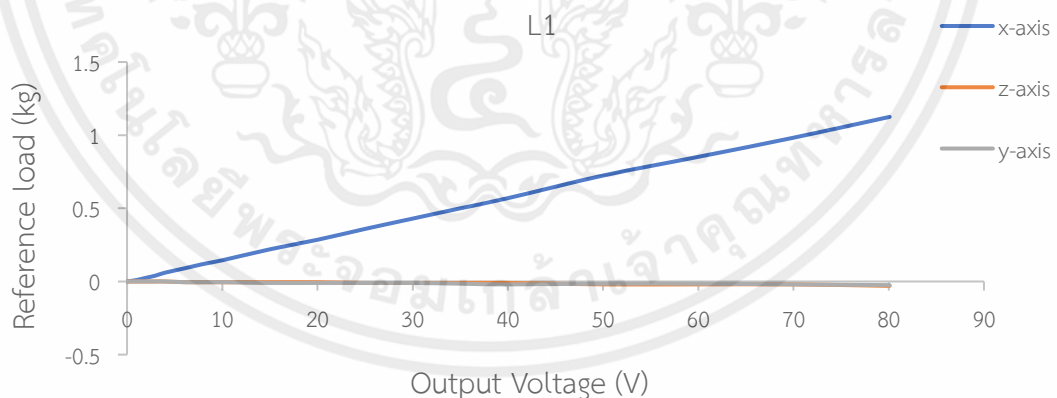
จากรูปที่ 4.9 จากการสังเกตแผ่นรองรับจุดจับยึดขนาด L1, L3 และ L4 บน EOR ตัวที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วง 15-80 kg แสดงให้เห็นว่า L2 ไม่เหมาะกับการวัดน้ำหนักในแนวแกน x เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เข้าใกล้ 0 ในช่วง 15-80 kg สำหรับแผ่นรองรับจุดจับยึดขนาด L1, L3 และ L4 เหมาะสำหรับการวัดน้ำหนักในแนวแกน x ในช่วงน้ำหนัก 15-80 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L3 L4 ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0699% และ 0.6157% ตามลำดับ ดังนั้น L3 มี Relative error มีค่าใกล้เคียงกับ L1 และมีค่าน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.0798% ที่น้ำหนัก 50 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



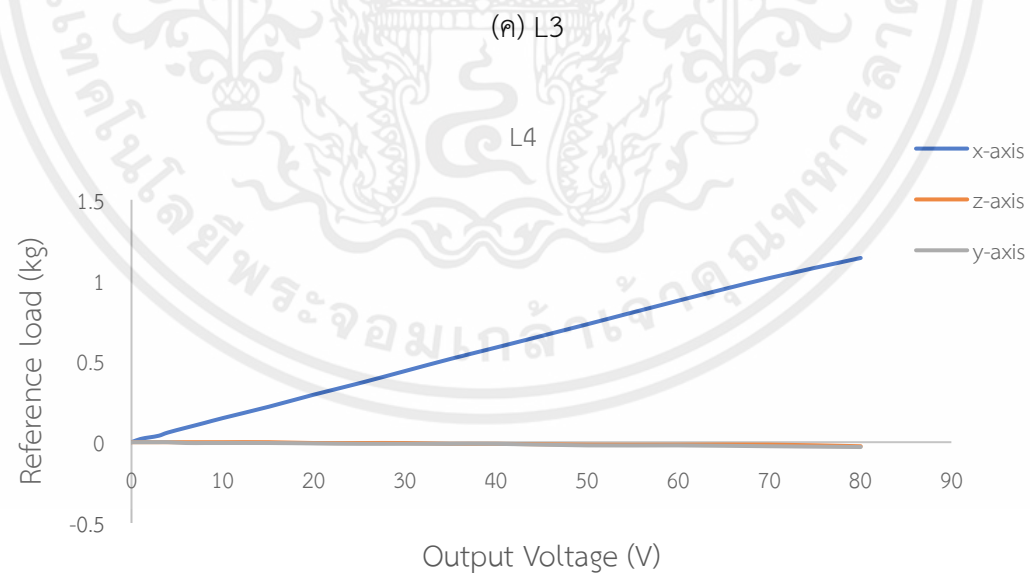
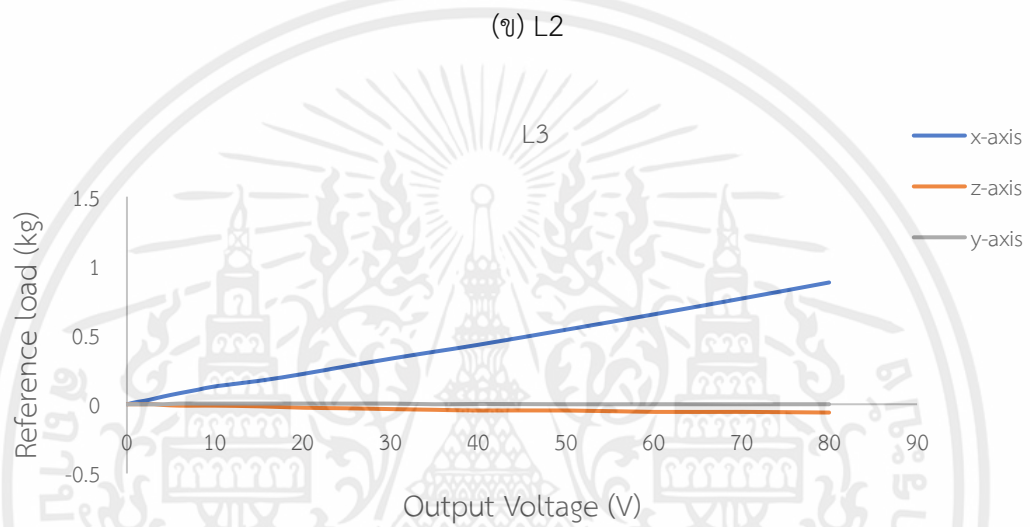
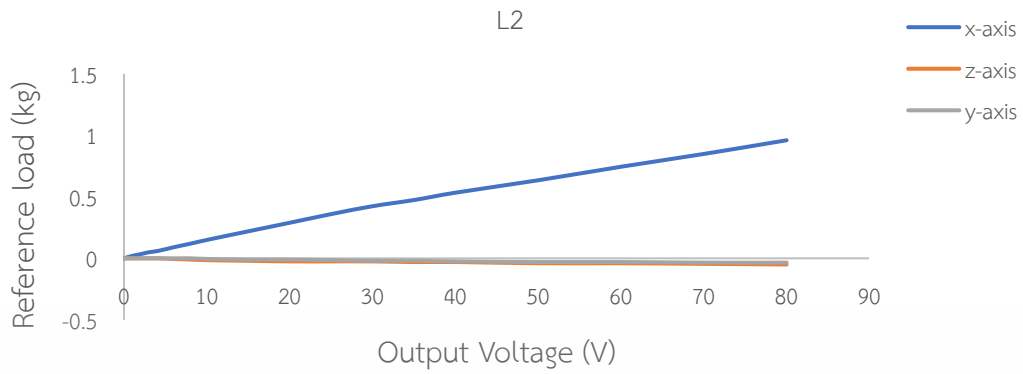
รูปที่ 4.10 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน x

จากรูปที่ 4.10 สังเกตได้ว่ามีแค่แผ่นรองรับจุดจับยึดขนาด L1 และ L4 บน EOR ตัวที่ 2 เท่านั้นที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วง 15-80 kg แสดงให้เห็นว่า L2 และ L3 ไม่เหมาะกับการวัดน้ำหนักในแนวแกน x เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เข้าใกล้ 0 ในช่วง 15-80 kg สำหรับแผ่นรองรับขนาด L1 และ L4 เหมาะสำหรับวัดน้ำหนักในแนวแกน x ในช่วงน้ำหนัก 15-80 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L4 น้อยสุดอยู่ที่ 0.2131% ที่น้ำหนัก 60 kg โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.3106%



(ก) L1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) L4

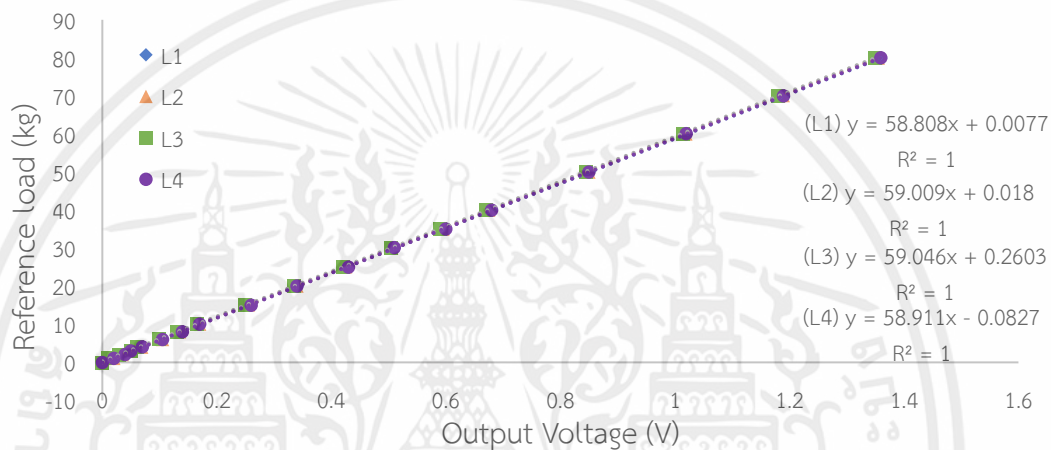
รูปที่ 4.11 Cross-sensitivity ในแนวแกน x แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

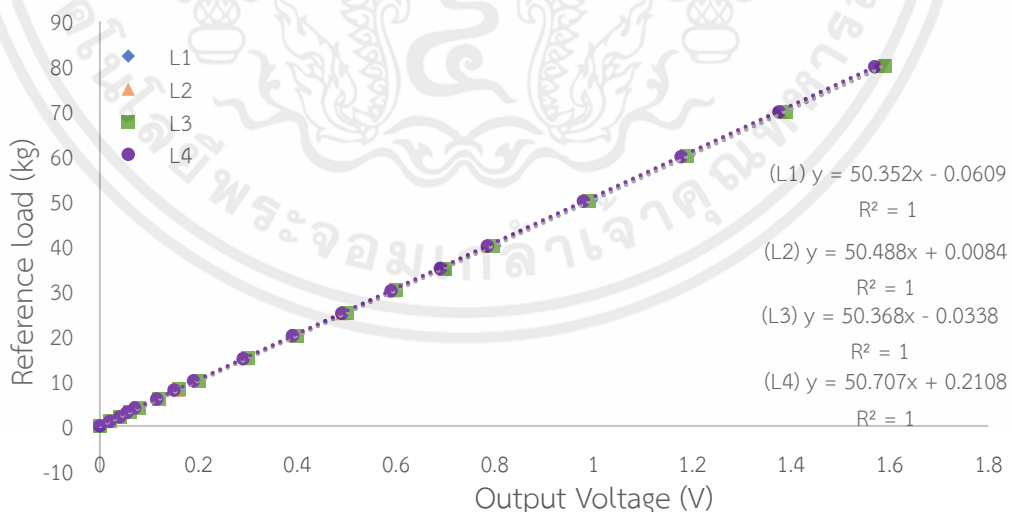
จากรูปที่ 4.11 แผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดขนาด L2 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ y ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.9653% และ 0.7029% ตามลำดับขนาด L3 อยู่ที่ 0.0121% และ 0.0133% ตามลำดับขนาด L4 อยู่ที่ 0.0046% และ 0.0032% ตามลำดับ ดังนั้น L4 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ y ใกล้เคียงกับ L1 มากที่สุด

4.2.3 การสอบเทียบแผ่นรองรับในแนวแกน y

สอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึด โดยยกคาน้ำหนักในแนวแกน y ลงบน EOR ในช่วงน้ำหนักเดียวกันกับในแนวแกน x ได้ผลการสอบเทียบ (ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13)



รูปที่ 4.12 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน y



รูปที่ 4.13 การสอบเทียบแผ่นรองรับกับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 เป็นผลการสอบเทียบแผ่นรองรับระหว่างน้ำหนักอ้างอิงกับแรงดันไฟฟ้าขาออกในแนวแกน y ของแผ่นเหล็กกรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดของ EOR ทั้ง 2 ตัว จะเห็นว่าเมื่อลดน้ำหนักอ้างอิงลงบนทรานสดิวเซอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้นั้นมีแนวโน้มแปรผันตรงตามน้ำหนักอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4.6 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 1 ในแนวแกน y

Parameters		Extended Octagonal Ring			
		L1	L2	L3	L4
Slope		58.808	59.009	59.046	58.911
R ²		1	1	1	1
Hysteresis error (%)		0.3751	0.7379	0.6524	0.7364
Non-linearity error (%)		0.2251	0.3259	0.6501	0.3874
Cross-sensitivity error (%)	X	0.0046	0.0438	0.0327	0.0374
	Z	0.0531	0.0508	0.0400	0.0422

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดบน EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน y เมื่อนำผลมาวิเคราะห์หานั้นพบว่าแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด มีความชันสูง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดมีค่าเท่ากันคือ 1 สำหรับฮีสเทอรีซิส L3 มีค่าใกล้เคียงกับ L1 ต่างกันอยู่ที่ 0.2773% ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น L2 ใกล้เคียงกับ L1 ต่างกันอยู่ที่ 0.1008% สำหรับ Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ z ขนาด L3 มีค่าใกล้เคียงกับ L1 โดยมีค่าต่างกันอยู่ที่ 0.0281% และ 0.0131% ตามลำดับ

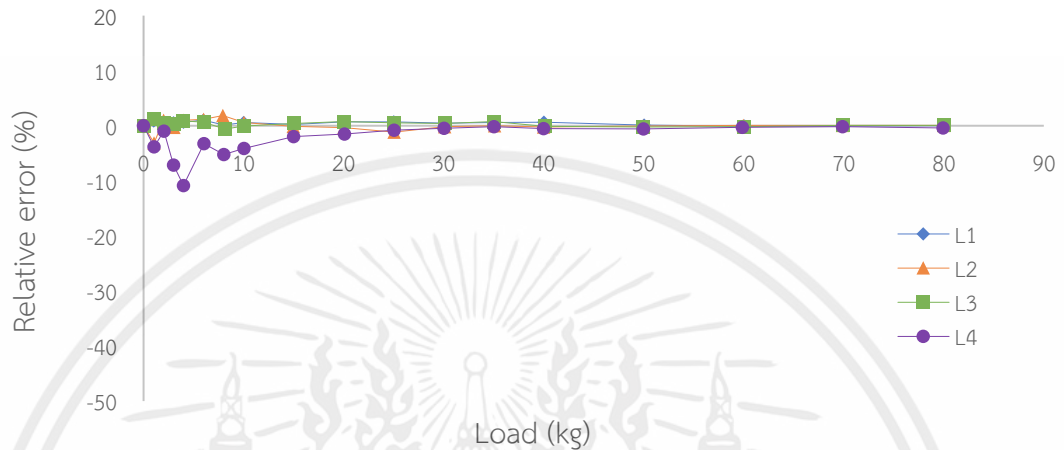
ตารางที่ 4.7 การสอบเทียบแผ่นรองรับ Extended Octagonal Ring ตัวที่ 2 ในแนวแกน y

Parameters		Extended Octagonal Ring			
		L1	L2	L3	L4
Slope		50.352	50.488	50.368	50.707
R ²		1	1	1	1
Hysteresis error (%)		0.4746	0.4499	0.6368	0.6406
Non-linearity error (%)		0.3114	0.3646	0.3248	0.5435
Cross-sensitivity error (%)	X	0.0259	0.0295	0.0198	0.0556
	Z	0.0864	0.0460	0.0525	0.1086

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาดในแนวแกน y กับ EOR ตัวที่ 2 พบว่ามีค่าความชันสูง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) แผ่นรองรับจุดจับ

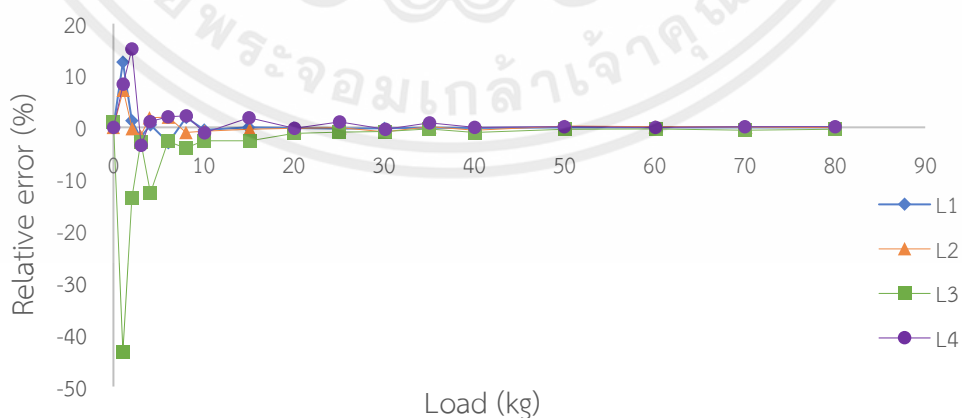
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยัดทั้ง 4 ขนาดมีค่าเท่ากันคือ 1 ซึ่ง สำหรับค่าฮีสเทอรีซิส L2 มีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0247% ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น L3 มีค่าใกล้เคียงกับ L1 ต่างกันอยู่ที่ 0.0134% และ Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ z ขนาด L2 และ L3 น้อยที่สุด โดยมีค่าต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0036% และ 0.0339% ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 1 ในแนวแกน y

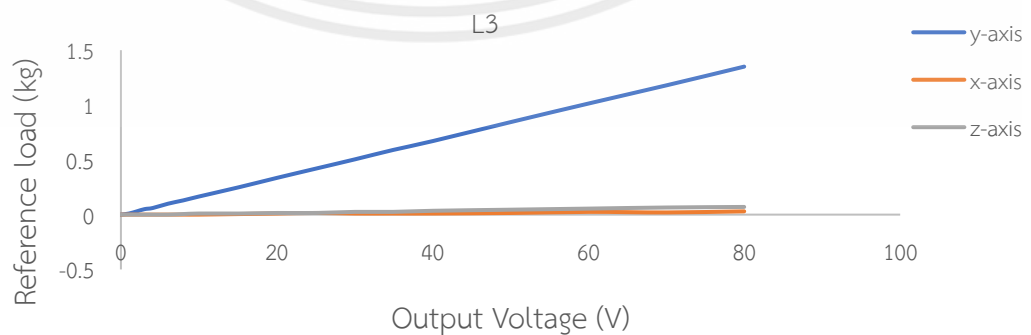
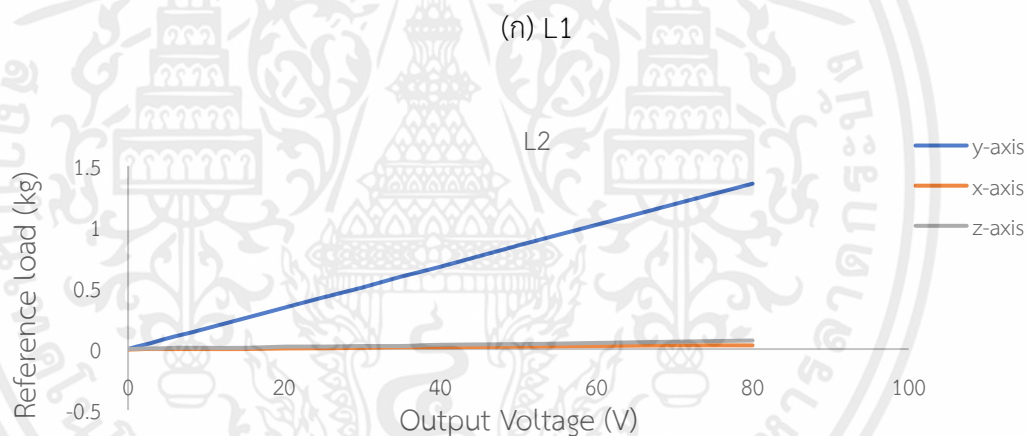
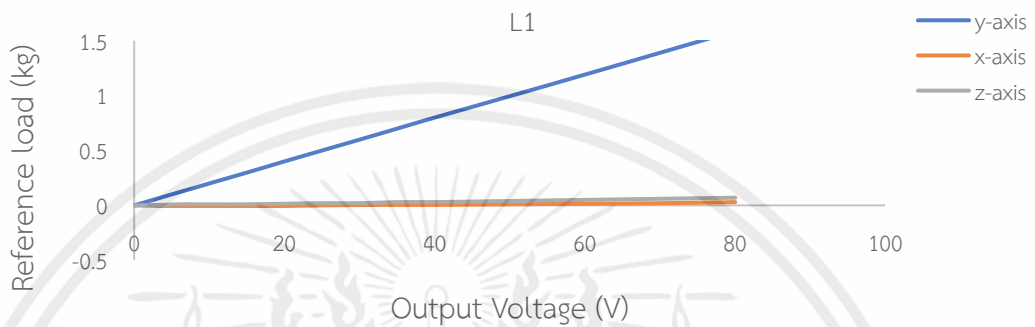
จากรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่าแผ่นรองรับจุดจับยัดทั้ง 4 ขนาดที่ติดกับ EOR ตัวที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วง 25-80 kg แสดงให้เห็นว่าเหมาะสำหรับวัดน้ำหนักในแนวแกน y ในช่วงน้ำหนัก 25-80 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิง และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L2 L3 L4 ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0548% 0.2876% และ 0.0111% ตามลำดับ ดังนั้น L4 มี Relative error ใกล้เคียงกับ L1 และมีค่าน้อยสุดอยู่ที่ 0.0151% ที่น้ำหนัก 60 kg



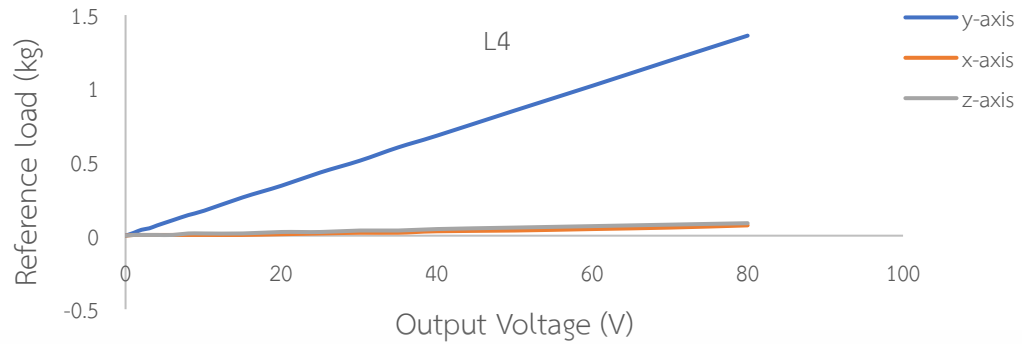
รูปที่ 4.15 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นรองรับ EOR ตัวที่ 2 ในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 สังเกตได้ว่ามีแค่แผ่นรองรับจุดจับยึดที่ติดกับ EOR ตัวที่ 2 ทั้ง 4 ขนาดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เข้าใกล้ 0 มากที่สุดในช่วง 15-80 kg และมีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ L2 L3 L4 ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.0070% 0.0471% และ 0.1438% ตามลำดับ ดังนั้น L2 มี Relative error ใกล้เคียงกับ L1 และมีค่าน้อยสุดอยู่ที่ 0.0195% ที่น้ำหนัก 35 kg



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) L4

รูปที่ 4.16 Cross-sensitivity ในแนวแกน y แผ่นรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด

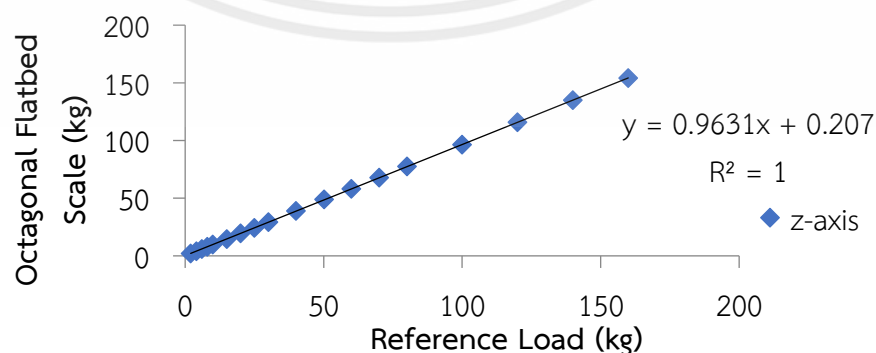
จากรูปที่ 4.16 สังเกตได้ว่าแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึดทั้ง 4 ขนาด มีค่า Cross-sensitivity ที่เกิดขึ้นในแนวแกน x และ z ใกล้เคียงกัน โดยที่ L2 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ z ต่างจาก L1 อยู่ที่ 0.9653% และ 0.7029% ตามลำดับ L3 อยู่ที่ 0.0121% และ 0.0133% ตามลำดับ L4 อยู่ที่ 0.0046% และ 0.0032% ตามลำดับ ดังนั้น L4 มีค่า Cross-sensitivity ในแนวแกน x และ z ใกล้เคียงกับ L1 มากที่สุด

4.3 ผลการสอบเทียบ Flatbed Scale

เมื่อนำผลจากการ FEA และการสอบเทียบเพื่อหาแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับขนาด L1 มากที่สุด พบว่า L4 ขนาด $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (R^2) มากที่สุด ฮิสเทอริซิสต่ำสุด ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นน้อยที่สุด และ Cross-sensitivity น้อยที่สุด นำแผ่นรองรับจุดจับยึดนี้มาติดกับ EOR ทั้ง 2 ตัว และทำการทดลองได้ผลดังนี้

4.3.1 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน z

สอบเทียบ Flatbed Scale และน้ำหนักอ้างอิงโดยกหนดน้ำหนักลงบนแผ่นวัดแรงในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0 – 160 kg (ดังรูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน z

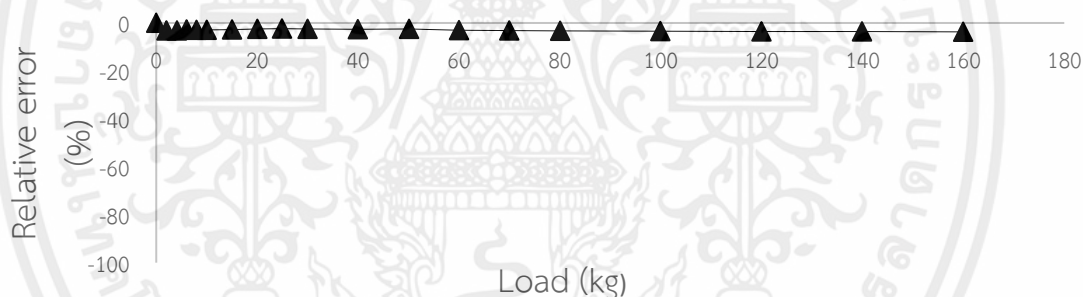
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 เมื่อกดน้ำหนักอ้างอิงลงบนแผ่นวัดแรง แนวโน้มของกราฟที่ได้จะแปรผันตรงตามน้ำหนักอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4.8 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน z

Parameters		Flatbed Scale
Slope		0.9631
R^2		1
Total Error (%)		3.69
Cross-sensitivity error (%)	X	0.0298
	Y	0.0118

จากตารางที่ 4.8 เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ห้พบว่าแผ่นวัดแรง มีค่าความชันอยู่ที่ 0.9631 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.17 ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมอยู่ที่ 3.69% สำหรับค่า Cross - sensitivity ที่เกิดขึ้นในแนวแกน x และ y มีค่าอยู่ที่ 0.0298% และ 0.0118% ตามลำดับ

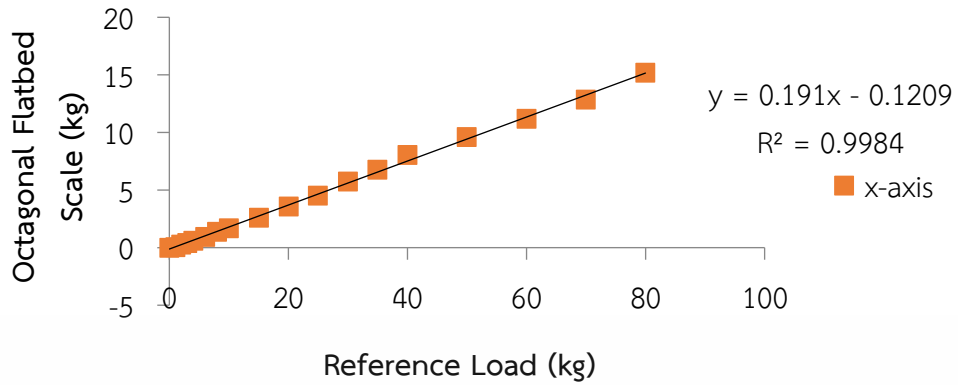


รูปที่ 4.18 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน z

จากรูปที่ 4.18 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน z จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มากที่สุดอยู่ที่ 3.7165% ที่น้ำหนัก 160 kg และค่าที่น้อยสุดอยู่ที่ 2.4074% ที่น้ำหนัก 25 kg ทรานสดิวเซอร์นี้จึงเหมาะสำหรับใช้เพื่อทำการวัดแรงในแนวแกน z ในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0-160 kg

4.3.2 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x

การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x โดยกดน้ำหนักตั้งแต่ 0 - 80 kg ทำการสอบเทียบด้วยน้ำหนักข้างต้นทั้งขาไปและขากลับ (ดังรูปที่ 4.19)



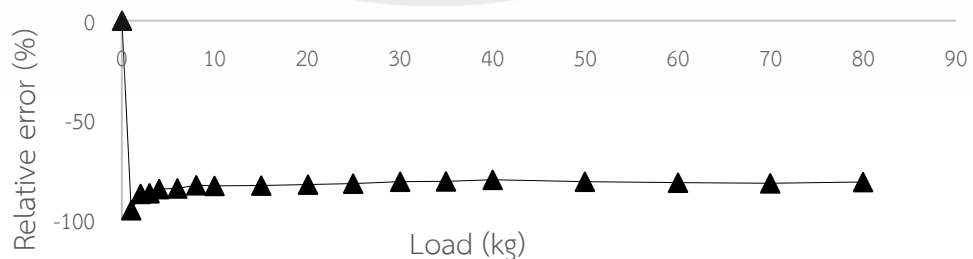
รูปที่ 4.19 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x

จากรูปที่ 4.19 จากกราฟพบว่าแนวโน้มของเส้นกราฟมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่โหลดเซลล์มาตรฐาน ส่งผลให้ Flatbed Scale สามารถวัดน้ำหนักได้สูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.9 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน x

Parameters		Flatbed Scale
Slope		0.191
R ²		0.9984
Total Error (%)		80.9
Cross-sensitivity error (%)	Z	0.4773
	Y	0.0583

จากตารางที่ 4.9 แผ่นวัดแรงมีค่าความชันอยู่ที่ 0.191 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจ (R²) มีค่าอยู่ที่ 0.9984 ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมอยู่ที่ 80.9% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไม่เกิน ±1% สำหรับค่า Cross – sensitivity ที่เกิดขึ้นในแนวแกน z และ y มีค่าอยู่ที่ 0.4773% และ 0.0583% ตามลำดับ



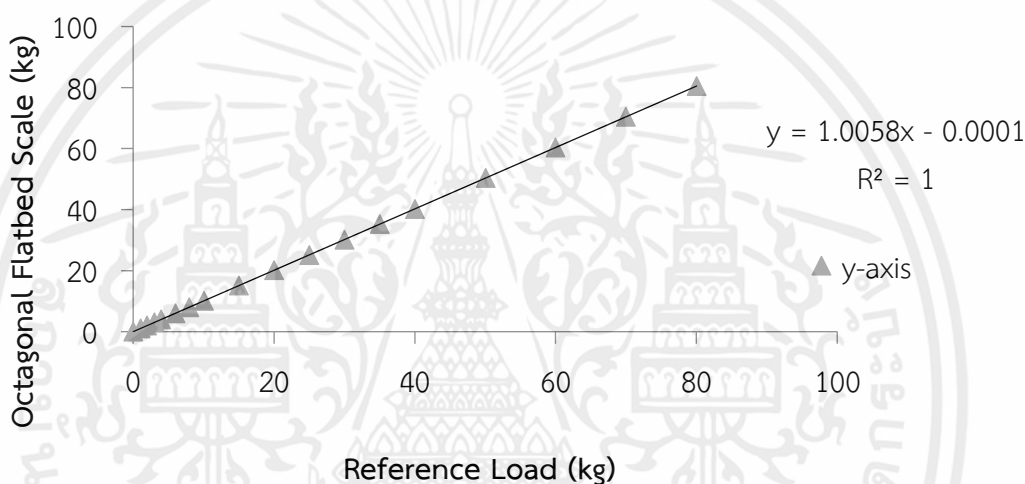
รูปที่ 4.20 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 ในช่วงที่กหนดน้ำหนัก 0 – 80 kg เส้นกราฟติดลบ (-) ค่าที่แผ่นวัดแรงอ่านได้ จึงมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักมาตรฐานและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มากที่สุดอยู่ที่ 95.1898% ที่น้ำหนัก 1 kg และมีแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของข้อมูลไม่เข้าใกล้ 0 ตลอดช่วงการกหนดน้ำหนัก Flatbed Scale นี้จึงไม่เหมาะสำหรับใช้ทำการวัดแรงในแนวแกน x เพราะเมื่อทำการกหนดน้ำหนักในแนวแกน x ทำให้ EOR 2 ตัวเกิดการค้ำกันส่งผลให้โครงสร้างอลูมิเนียมของ EOR ไม่เกิดการเสียรูป จึงทำให้ไม่เกิดค่าความเครียดที่วัดได้

4.3.3 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y

การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y โดยกหนดน้ำหนักลงบน EOR ในช่วงน้ำหนักเดียวกันกับในแนวแกน x ได้ผลการสอบเทียบ (ดังรูปที่ 4.21)



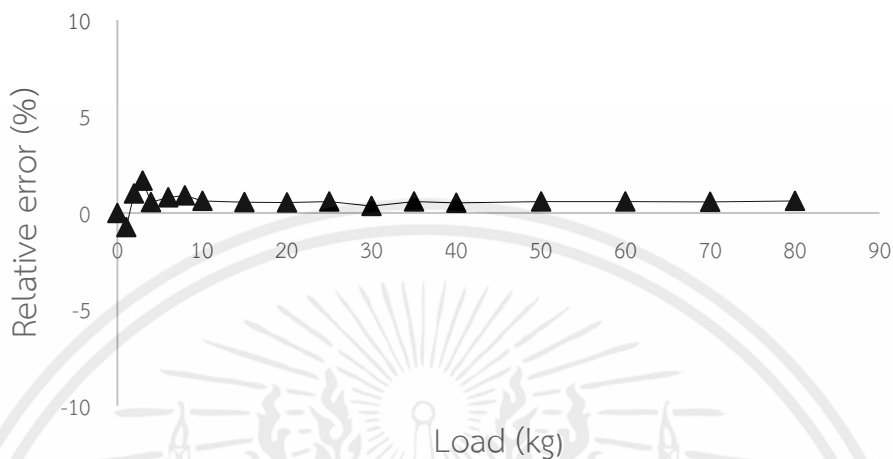
รูปที่ 4.21 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y

จากรูปที่ 4.21 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อกหนดน้ำหนักอ้างอิงลงบนแผ่นวัดแรงค่า Flatbed Scale ที่ได้นั้นมีแนวโน้มของกราฟแปรผันตรงตามน้ำหนักอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 4.10 การสอบเทียบ Flatbed Scale ในแนวแกน y

Parameters		Flatbed Scale
Slope		1.0058
R ²		1
Total Error (%)		0.58
Cross-sensitivity error (%)	X	0.1719
	Z	0.0323

จากตารางที่ 4.10 แผ่นวัดแรงมีค่าความชันอยู่ที่ 1.0058 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมอยู่ที่ 0.58% สำหรับค่า Cross – sensitivity ที่เกิดขึ้นในแนวแกน x และ z มีค่าอยู่ที่ 0.1719% และ 0.0323% ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน y

จากรูปที่ 4.22 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของน้ำหนักและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์การสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ในแนวแกน y จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของน้ำหนักที่วัดได้นั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักอ้างอิงและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มากที่สุดอยู่ที่ 1.6667% ที่น้ำหนัก 3 kg และค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 0.3507% ที่น้ำหนัก 30 kg ทรานสดิวเซอร์นี้จึงเหมาะสำหรับใช้เพื่อทำการวัดแรงในแนวแกน y

จากผลการสอบเทียบแผ่นวัดแรงในแนวแกน x y และ z จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาค่าการรบกวนของน้ำหนักในแนวแกน z จะมีค่าน้อยกว่าแนวแกน x และ y

จากการไฟไนต์เอลิเมนต์และทดสอบหามิติแผ่นรองรับจุดจับยึดที่เหมาะสมกับ EOR พบว่าแผ่นรองรับ L4 หรือ $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm มีฮิสเทอรีซิสต่ำสุด ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นน้อยที่สุด และ Cross-sensitivity ในทุกแกนน้อยที่สุด รวมถึงเมื่อประกอบเป็น Flatbed Scale มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยรวมน้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการหามิติแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์ที่เหมาะสม ได้ทำการวิเคราะห์ Finite element กับแผ่นรองรับจำนวน 21 ขนาดและพบว่าแผ่นรองรับขนาด $60 \times 96 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm, $60 \times 98 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm และ $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm มีค่าความแตกต่างของค่าความเครียดบน EOR ใกล้เคียงกับขนาดของแผ่นรองรับเดิม ($60 \times 80 \text{ mm}^2$ หนา 2.5 mm) ที่สุดโดยมีค่าไม่เกิน 3 μE จากนั้นทำการสร้างแผ่นเหล็กรองรับจุดจับยึด EOR ขึ้นมาและสอบเทียบแรงในแกน x, y และ z กับน้ำหนักมาตรฐานพบว่าแผ่นเหล็กขนาด $60 \times 100 \text{ mm}^2$ หนา 3 mm มีสมบัติใกล้เคียงหรือดีกว่าแผ่นรองรับเดิมโดยค่าความไม่เป็นเชิงเส้นในแนวแกน x, y และ z มีค่า 1.1993, 0.3874 และ 0.3723 % ตามลำดับ ค่าฮิสเทอรีซิสตามแกน x, y และ z คิดเป็น 2.6426, 0.7364 และ 0.5251 % ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เกิน 1% สามารถใช้วัดแรงแกน z ได้ในช่วง 20-160 kg แกน x และ y ได้ในช่วง 15-80 kg โดยมีค่า Cross – sensitivity ที่พบในแนวแกน x/z 0.0604% และ x/y 0.0301% แกน y/x 0.0374% และ y/z 0.0422% แกน z/x 0.0041% และ z/y 0.0052% ซึ่งแผ่นรองรับจุดจับยึดทรานสดิวเซอร์วัดแรงนี้สามารถใช้แทนขนาดเดิมได้และเมื่อนำ EOR กับแผ่นรองรับจุดจับยึดนี้วางประกบเป็นแผ่นวัดแรงพบว่าสามารถวัดแรงได้ทั้งสามแนวแกน

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 สัตตเคลื่อนที่ที่ใช้ปรับน้ำหนักในแนวตั้งเกิดอตัวเมื่อคบน้ำหนักที่มากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรออกแบบชุดสอบเทียบให้ง่ายต่อการติดตั้งและแข็งแรง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Korkut, I. (2003). "A dynamometer design and its construction for milling operation." **Materials & design** 24, 8: 631-637.
- [2] Wan, M., W. Yin, and W.H. Zhang. (2016). "Study on the correction of cutting force measurement with table dynamometer." **Procedia CIRP** 56: 119-123.
- [3] Totis, G., et al. (2010). "Development of a dynamometer for measuring individual cutting edge forces in face milling." **Mechanical Systems and Signal Processing** 24, 6: 1844-1857.
- [4] Gomez, M.F., and T.L. Schmitz. (2019). "Displacement-based dynamometer for milling force measurement." **Procedia Manufacturing** 34: 867-875.
- [5] Mohanraj, T., et al. (2020). "Design, development, calibration, and testing of indigenously developed strain gauge based dynamometer for cutting force measurement in the milling process." **Journal of Mechanical Engineering and Sciences** 14, 2: 6594-6609.
- [6] Zhang, Zhihai, et al. (2005). "A study on calibration of coefficients in end milling forces model." **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 25, 7-8: 652-662.
- [7] Yaldız, Süleyman, et al. (2007). "Design, development and testing of a four-component milling dynamometer for the measurement of cutting force and torque." **Mechanical Systems and Signal Processing** 21, 3: 1499-1511.
- [8] Yousef, A.G., and H.S. Sina. (2011). "Extended octagonal ring transducers for measurement of tractor-implement forces." **Instruments and Experimental Techniques** 54, 1: 136-140.
- [9] Pathri, Bhargav Prajwal, et al. (2016). "Design and fabrication of a strain gauge type 3-axis milling tool dynamometer: fabrication and testing." **International Journal of Materials Forming and Machining Processes** 3, 2: 1-15.
- [10] Zhao, Y., Y. Zhao, and X. Ge. (2018). "The development of a triaxial cutting force sensor based on a MEMS strain gauge." **Micromachines** 9, 1: 30.
- [11] Dhanal, S.V. (2013). "Finite element analysis of octagonal ring for a three-component milling tool dynamometer." **IOSR Journal of Engineering** 3, 1: 16-19.
- [12] McLaughlin, N.B., B.S. Patterson, and S.D. Burt. (2012). "Effect of load fixture design on sensitivity of an extended octagonal ring (EOR) transducer." **Canadian Biosystems Engineering** 54: 2.17-2.22.
- [13] Yaldız, S., & F. Ünsaçar. (2006). "Design, development and testing of a turning dynamometer for cutting force measurement" **Materials & design** 27, 10: 839-846.

- [14] Sheikh-Ahmad, J.Y., D. Ali, and F. Meng. (2018). “Design and implementation of a force dynamometer for friction stir welding.” **Arabian Journal for Science and Engineering** 43, 9: 4649-4657.
- [15] Uddin, M.S., and D. Songyi. (2016). “On the design and analysis of an octagonal–ellipse ring based cutting force measuring transducer.” **Measurement** 90: 168-177.
- [16] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนวกัทรธา หนูนาถ. (2563). **Static error/ความคลาดเคลื่อน สถิต**. เข้าถึงเมื่อ 23 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4298/static-error>
- [17] Adam Hayes. (2021). **Nonlinearity**. เข้าถึงเมื่อ 23 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.investopedia.com/terms/n/nonlinearity.asp>
- [18] Onwualu, A.P. (2002). “An extended octagonal ring dynamometer for measurement of forces on a simple tillage tool.” **Nigerian Journal of Technology** 21, 1: 46-59.
- [19] Saglam, H., and A. Unuvar. (2001). “Three-component, strain gage based milling dynamometer design and manufacturing.” **Journal of Integrated Design and Process Science** 5, 2: 95-109.
- [20] Shishvan, Sina Haghghat, et al. (2011). “The Evaluation and Comparison of Stress Node on Extended Octogal Ring Transducers by Strain Energy Theory and Finite Element Method.” **Tarim Makinaları Bilimi Dergisi** 7, 3: 299-303.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลตเซลล์ในแนวแกน x ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาดของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.100	1.015	1	1	1	1	1	1
2	2.112	2.001	2	2.133	2	2.004	1.966	2
3	3.000	3.096	3	3.100	3.100	3.100	3	3
4	4.098	4.000	4.099	4.097	4.070	4.100	4.015	4.001
6	6.021	5.999	6	5.983	6	6	6.021	6.005
8	8.135	8.100	8.050	8.104	8.100	8.100	8.100	8.048
10	10.077	10.100	10.070	10	10.103	10.100	10.148	10.006
15	14.981	15.007	15	15.065	15.096	15.200	15.109	15.100
20	20.091	20.001	20.100	20.035	20.100	20.171	20.089	20.050
25	25.114	24.985	25	25.123	25.067	25.025	25	25.046
30	29.996	30.089	30	30.058	30.075	30.156	29.986	30.023
35	35	35.006	35.119	35.115	35	35.100	35.059	34.951
40	40.100	40.002	40.183	40.100	40.005	40.100	40	40.143
50	50.097	50.132	50.223	49.918	50.200	50.100	50	50.104
60	60.083	60.125	60.000	60.100	60.100	60	59.902	60.028
70	69.971	70.100	70.100	70.200	70.166	70.101	70.038	69.926
80	80.015	80.046	79.995	80.086	80	79.956	80.100	80

ตารางที่ ก.2 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลตเซลล์ในแนวแกน y ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.100	0.996	1.100	1.102	1.080	1.003	1	1.178
2	2.100	1.967	2.062	2.090	2	2.101	2	2.100
3	3	3	3	3.001	3.068	3	3.013	3.100
4	4.100	4.100	3.994	4	4.100	4.100	4.100	4.048
6	6.100	6.100	6.100	6.056	5.910	6.200	6.035	6.100
8	8.156	8	7.999	8.100	8.005	8.000	8.001	8.143
10	10.100	10.001	10.116	10.098	10	10.004	10.132	10.102
15	15	15	15.120	15.099	15.100	15.200	14.990	15.100
20	20.021	20	20.204	20	19.925	20.100	20.102	20.035
25	25	25.100	25.100	25.098	25.000	25.068	24.985	25.163
30	30	30.100	29.972	30.189	30.124	30.010	30.100	30.199
35	35	35.025	35.032	35.115	34.963	34.920	35.100	35
40	40.078	40.001	39.938	40.163	39.994	40.082	40.104	40
50	50	49.993	50.112	49.977	50.105	50]	50	50.003
60	59.965	60	60.137	60.012	60.200	60.006	60.100	60.098
70	69.900	70.025	70.216	70.029	69.989	70.102	70.105	69.900
80	79.900	79.999	80.067	79.941	79.963	80.003	79.924	80.099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน z ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นรองรับ
ทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.161	2.080	2.116	2.197	2.036	2.065	2.100	2.073
4	4.149	4.107	4.073	4.034	3.970	4.026	4.098	4.002
6	6.061	6.073	6.060	6.047	6.130	6.066	6.002	6
8	8.007	8.064	8.073	7.977	8.004	8.032	8.116	8.094
10	10.170	10.039	10.122	10.075	10.041	10.147	9.982	10.008
15	15.139	15.054	14.988	15.046	15.021	14.946	15.028	15.098
20	20.168	20.029	19.986	20.050	20.112	20.089	20.100	19.982
25	25.137	25.068	25.122	25.082	25.104	25.062	24.938	25.056
30	30.082	29.992	30.210	30.136	29.907	29.931	29.999	30.102
40	40.056	40.053	40.098	39.979	40.091	40.003	39.907	40.048
50	50.044	50.047	50.119	50.014	49.968	50.007	50.100	49.980
60	60.004	60.008	60.075	60.172	59.995	60.002	60.059	59.977
70	70.034	70.036	69.993	69.943	70.049	70.128	70.101	69.847
80	80.016	79.943	80.030	80.010	79.990	79.925	80.008	79.907
100	100.001	100.094	100.166	100.006	99.983	100.178	100.038	99.934
120	120.020	119.992	119.986	120.108	120.024	119.961	119.989	119.980
140	139.988	139.938	139.909	139.927	139.968	139.920	139.880	139.971
160	159.989	160.049	160.172	160.013	160.020	159.845	160.117	160.054

ตารางที่ ก.4 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน x ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นรองรับ
ทั้ง 4 ขนาดของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1.045	1	1	1	1.003	0.974
2	1.991	1.975	1.997	2	2.013	2.009	2	2
3	2.917	3.071	2.974	3	3	3.001	3.100	3.100
4	3.965	4	3.996	4.027	3.956	4.013	4.036	3.998
6	6	6.100	5.998	6.099	5.996	6	6.043	6.090
8	8.100	8.001	7.891	8	8	7.981	8.081	8.001
10	10.040	10	9.922	10	10	10	9.993	10.002
15	15.023	15.006	15	14.995	14.900	15.097	15.101	15.100
20	20	20	20.099	20.093	20.034	20.010	20.094	20.008
25	25.100	25.002	25.067	25.103	25.019	25.073	25.100	25
30	30.040	30	30	30	30.100	30.085	30.098	30
35	35	35	35.100	35.124	35	35.001	35.048	35.100
40	39.980	40.102	40	40.129	40	40.103	40.128	40.002
50	50.039	50.100	50.105	50.100	50.078	50.089	50	50.122
60	60.066	60	60.100	60	60.100	60.042	60.100	60.024
70	70.110	69.900	70.010	69.987	69.966	70.007	70.050	70.100
80	80.099	80.100	80.050	79.969	80.078	79.907	80	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน y ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นรองรับ
ทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.003	1	1.086	1	0.997	1	1.100	1
2	1.999	2.001	2	2	2	2.003	2.100	2
3	3	3.007	2.980	3.099	2.997	3.025	3.083	2.926
4	4.010	4	4	4	4	3.990	4.014	3.994
6	6	5.958	5.980	6	6	6	6	6.054
8	8	8.102	7.924	7.943	8.107	8.111	8.025	8.031
10	10.065	9.962	9.977	10.100	10.156	9.996	10.083	10
15	15.145	15	14.952	15	15	15.092	14.904	15.100
20	19.888	20.100	20.017	20	20	19.995	20.075	20.100
25	25.100	24.922	24.963	25.100	25.001	25.091	25	25.100
30	30.100	30.053	30.092	30.100	30.100	30.100	30	30.101
35	35.100	35.001	35.065	35.101	35	35	35	35.091
40	40.089	39.972	40.016	39.942	40.009	40.224	39.895	40.100
50	50.077	50.005	50.048	49.951	50.021	49.909	49.953	50.011
60	60.076	60.097	59.911	60.007	60.034	60.023	59.744	59.991
70	70.063	70.001	69.999	69.783	69.918	69.979	69.758	70
80	80	80.100	79.972	80	80.085	80	79.906	79.920

ตารางที่ ก.6 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากโพลดเซลล์ในแนวแกน z ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นรองรับ
ทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	L1		L2		L3		L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.159	2.157	2.178	2.104	2.106	2.108	2.158	2.163
4	4.178	4.009	4.064	3.969	3.988	4.054	4.079	4.113
6	6.062	6.055	6.033	6.011	6.148	6.052	6.043	6.057
8	8.066	8.119	7.975	8.106	8.065	8.154	7.963	8.107
10	10.112	10.149	10.240	10.217	10.145	10.057	10.069	10.182
15	14.966	15.098	15.144	15.023	15.035	15.099	15.056	15.150
20	20.138	20.096	20.040	20.101	20.056	20.044	20.277	20.217
25	25.158	25.063	25.144	25.029	25.101	25.089	25.023	25.038
30	30.058	30.157	30.007	30.077	30.083	30.040	30.027	30.140
40	40.137	39.926	40.176	40.151	39.952	40.180	40.145	39.928
50	50.151	49.975	50.153	50.148	50.167	50.149	50.027	49.939
60	60.162	60.178	60.009	60.013	59.980	59.950	60.010	60.065
70	69.740	70.039	70.233	69.964	70.050	69.969	70.132	70.152
80	80.071	79.868	79.940	80.024	79.938	79.876	80.111	79.997
100	100.183	99.973	100.110	100.101	100.339	99.901	99.902	100.088
120	119.804	119.943	119.982	120.257	120.117	120.247	119.946	120.206
140	139.828	139.988	139.987	139.954	139.998	140.074	140.038	140.328
160	159.987	160.180	159.859	160.045	159.880	159.937	159.702	160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
1	28.5907	65	39	39
2	0.7901	39.8598	15.8886	4.8911
3	11.5451	35.4098	19.6774	7.3333
4	0.7647	20.7884	24.8543	3.7878
6	1.6623	24.0039	23.6667	3.7737
8	0.4027	22.5748	20.2469	3.1680
10	1.0050	23.3653	19.3891	3.3053
15	1.9073	20.7382	4.1716	1.0304
20	1.6658	19.2468	1.4125	1.9933
25	0.3207	18.5078	1.8942	1.1866
30	0.6231	16.4867	1.6739	1.7524
35	0.9057	11.5974	0.5991	2.0717
40	0.8965	9.9614	0.3805	1.5688
50	0.9090	4.6718	0.0798	1.1948
60	0.0098	2.3647	0.4496	1.2259
70	0.1076	0.0285	1.2210	0.6256
80	0.1489	-1.0375	2.1030	1.1993

ตารางที่ ก.8 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
1	12.5904	7.1790	43.3433	8.3516
2	1.3115	0.2719	13.6788	15.1220
3	2	1.6826	2.7729	3.4765
4	0.4878	1.8234	12.6829	1.1338
6	2.9508	2.0056	2.7288	2.0222
8	1.8831	0.9882	4.0286	2.2072
10	0.5024	0.7639	2.6187	1.0559
15	0	0.3946	2.5743	1.8265
20	0.1023	0.2086	1.1612	0.1915
25	0.2395	0.0759	0.9353	1.0210
30	0.1997	0.8666	0.8212	0.3633
35	0.0639	0.1041	0.2908	0.8559
40	0.1235	0.5505	1.0191	0.0202
50	0.0133	0.2303	0.3444	0.1371
60	0.0040	0.0925	0.2876	0.0151
70	0.0250	0.0824	0.5363	0.1394
80	0.0256	0.0548	0.3411	0.1357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 1

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
2	5.1591	4.3442	3.4357	7.3616
4	8.2885	3.0443	0.9429	3.7039
6	1.2003	2.5294	2.0021	2.6502
8	3.5435	1.4330	1.2194	3.6353
10	0.5377	0.1121	2.0192	0.8525
15	0.1084	0.8428	1.8931	0.3786
20	0.0592	0.3874	1.5467	0.5945
25	0.1085	0.4077	0.8095	0.8116
30	0.4084	0.4063	0.1708	0.6306
40	0.3882	0.3039	0.2321	0.8577
50	0.4292	0.1733	0.4551	0.7196
60	0.3269	0.5045	0.1142	0.7865
70	0.2636	0.0543	0.0306	0.8518
80	0.1494	0.0379	0.2472	0.5161
100	0.0775	0.0562	0.0003	0.2441
120	0.0615	0.0974	0.1019	0.1216
140	0.1551	0.0086	0.0029	0.1034
160	0.1319	0.0015	0.1266	0.0661

ตารางที่ ก.10 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่กตน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
1	29	35.4416	10	7.2374
2	10.7509	1.4296	4.5319	10.5000
3	5.1451	11.9563	8.3479	2.9032
4	6.7201	1.5336	3.3835	3.1574
6	5.2893	8.7864	5.3668	0.7715
8	5.5838	15.9121	3.1216	1.2328
10	2.4960	22.1745	12.6000	2.7247
15	3.7669	20.6210	13.5443	0.7915
20	0.9500	14.5990	11.1280	1.5911
25	1.7924	10.1451	11.8729	1.7565
30	1.4654	7.4667	10.4586	2.4991
35	1.1714	7.0862	9.9128	1.9558
40	0.8214	5.1059	9.0348	1.6355
50	2.5570	3.0891	4.7450	1.3163
60	0.5449	0.7993	3.7936	0.2131
70	0.5787	0.3694	0.5380	0.4634
80	0.5237	0.8990	5.2291	0.5250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กหนดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
1	0.8531	3.1443	1.1445	3.8095
2	0.5000	1	0.4276	0.9756
3	0.5539	0.3100	0.2929	7.1301
4	0.6302	1	0.8701	10.8471
6	1.0181	1.1702	0.6667	3.2674
8	0.1121	1.8506	0.6000	5.2048
10	0.5678	0.6119	0.0602	4.0965
15	0.2482	0.1081	0.4239	1.9458
20	0.7293	0.3411	0.7622	1.5308
25	0.6759	1.1649	0.5342	0.7984
30	0.4442	0.1868	0.3987	0.4342
35	0.5692	0.0195	0.7429	0.1590
40	0.6227	0.2224	0.1155	0.4940
50	0.1182	0.0390	0.2094	0.5837
60	0.0775	0.0849	0.1477	0.2799
70	0.0603	0.0560	0.0879	0.1563
80	0.0125	0.0424	0.0596	0.3788

ตารางที่ ก.12 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กหนดน้ำหนักบนแผ่นรองรับทั้ง 4 ขนาด ของ EOR ตัวที่ 2

Weight (kg)	Relative error (%)			
	L1	L2	L3	L4
2	4.0729	45.2671	1.2746	3.7080
4	1.3844	3.0709	22.1616	1.8158
6	2.6636	3.1227	11.1475	3.3011
8	2.5654	2.9786	9.9849	3.6760
10	2.3644	1.2842	7.1376	2.9093
15	3.4074	2.9606	3.1647	0.9461
20	2.0743	0.5964	3.3899	2.2573
25	0.8776	1.1302	2.4116	0.1215
30	0.0913	0.0398	2.9327	0.4195
40	1.1021	0.5386	1.1378	1.1403
50	0.5655	0.1385	1.3321	0.0340
60	0.0328	0.0818	0.9256	0.2288
70	0.5722	0.4443	0.9989	0.5016
80	0.1370	0.3351	0.8722	0.1945
100	0.5179	0.1645	0.5795	0.0053
120	0.0697	0.4333	0.2681	0.2032
140	0.0730	0.2427	0.2829	0.0519
160	0.0917	0.0425	0.4616	0.0307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน x ที่กตน้ำหนักบนแผ่นวัด

แรง

Weight (kg)	L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	2.986
4	4	4.021
6	6	6.001
8	8	8.042
10	9.900	10.077
15	15.091	15
20	20.000	20.129
25	24.916	24.967
30	29.945	30.100
35	34.961	34.962
40	39.997	40.044
50	49.935	49.975
60	60	59.995
70	69.926	70.001
80	79.981	79.959

ตารางที่ ก.14 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน x ที่กตน้ำหนักบนแผ่นวัด

แรง

Weight (kg)	L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0
1	1.053	1.063
2	2.049	1.912
3	3	3
4	3.979	3.987
6	6	6
8	8	7.957
10	10.025	10.097
15	15.033	15
20	20.082	19.999
25	25	25.029
30	29.999	30.000
35	35.101	34.972
40	40.100	39.968
50	50.116	50
60	60	59.981
70	70.018	69.977
80	80.066	79.991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จาก Flatbed Scale ในแนวแกน z ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นวัด

Weight (kg)	L4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0
2	2	1.997
4	4.092	4.077
6	6	6
8	7.958	8
10	10	9.995
15	14.984	15.047
20	20.095	20.001
25	25	24.900
30	30.001	29.996
40	40	39.937
50	50.138	50.101
60	60.028	59.999
70	70.008	69.986
80	80.030	80.100
100	99.921	99.900
120	119.976	120.008
140	139.896	139.927
160	159.875	160.029

ตารางที่ ก.16 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน x ที่ก้นน้ำหนักบนแผ่นวัด

Weight (kg)	Relative error (%)
	L4
1	95.190
2	86.941
3	86.637
4	84.585
6	84.168
8	82.604
10	82.981
15	82.719
20	82.198
25	81.851
30	80.848
35	80.646
40	79.879
50	80.783
60	81.338
70	81.609
80	80.993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน y ที่กตน้ำหนักบนแผ่น
วัดแรง

Weight (kg)	Relative error (%)
	L4
1	0.7428
2	1.0053
3	1.6667
4	0.5648
6	0.8108
8	0.8977
10	0.6300
15	0.5549
20	0.5351
25	0.5918
30	0.3507
35	0.5899
40	0.5280
50	0.5831
60	0.5890
70	0.5787
80	0.6249

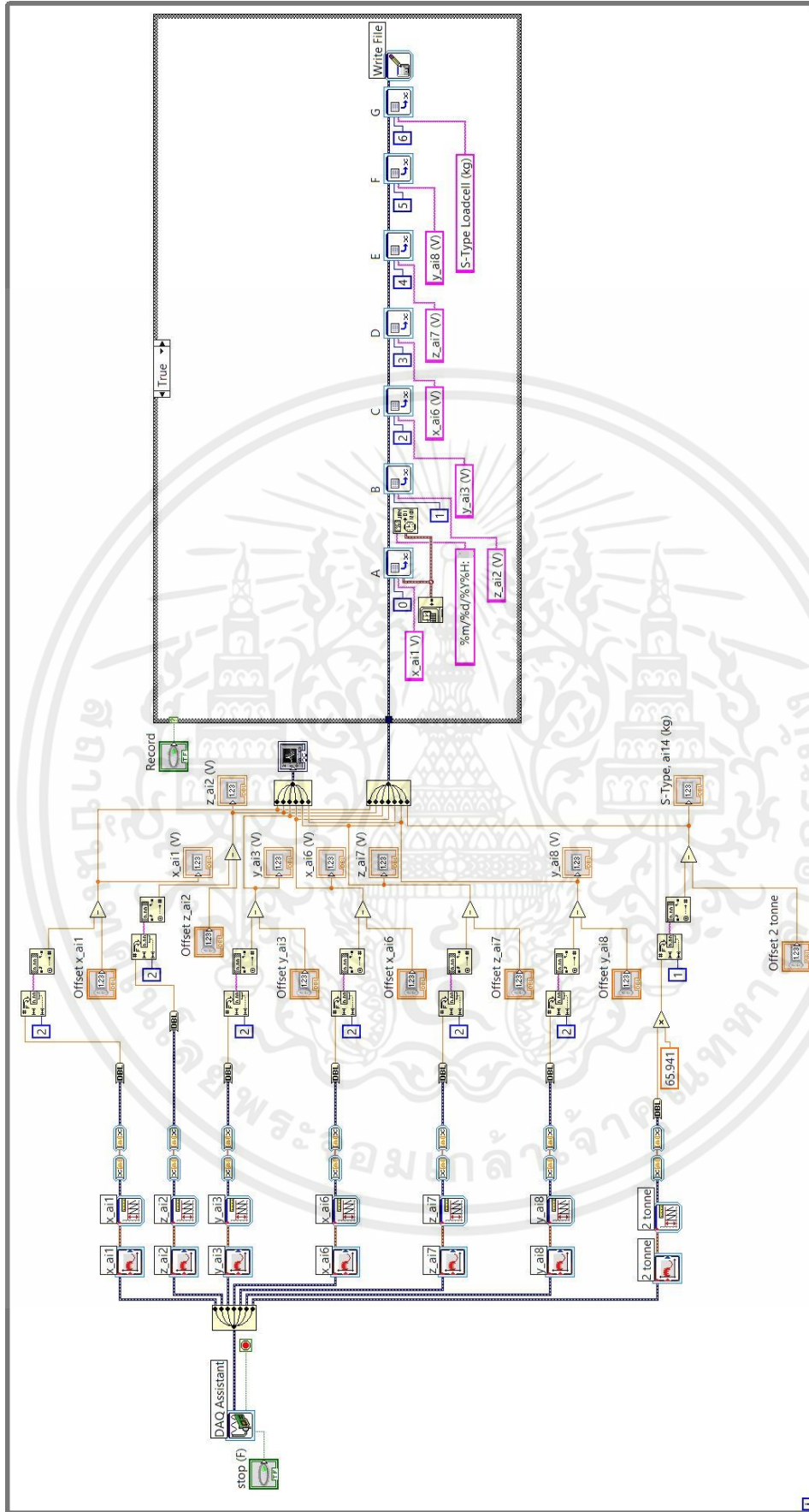
ตารางที่ ก.18 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในแนวแกน z ที่กตน้ำหนักบนแผ่น
วัดแรง

Weight (kg)	Relative error (%)
	L4
2	3.2250
4	3.2365
6	2.7961
8	2.8672
10	2.9681
15	2.7690
20	2.4837
25	2.4074
30	2.5423
40	2.6665
50	2.5659
60	3.1024
70	3.2226
80	3.2862
100	3.4331
120	3.5252
140	3.6354
160	3.7165

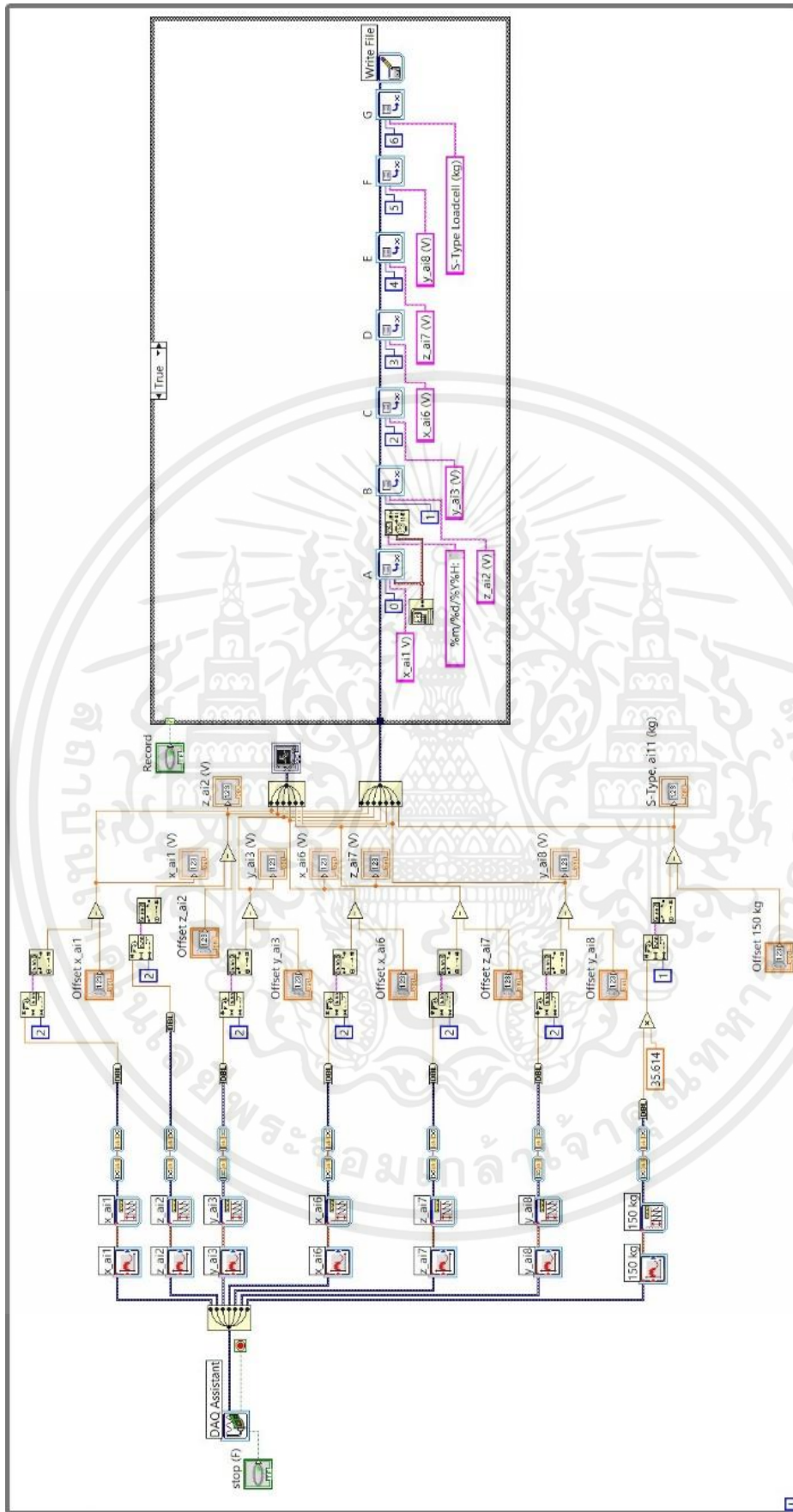
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

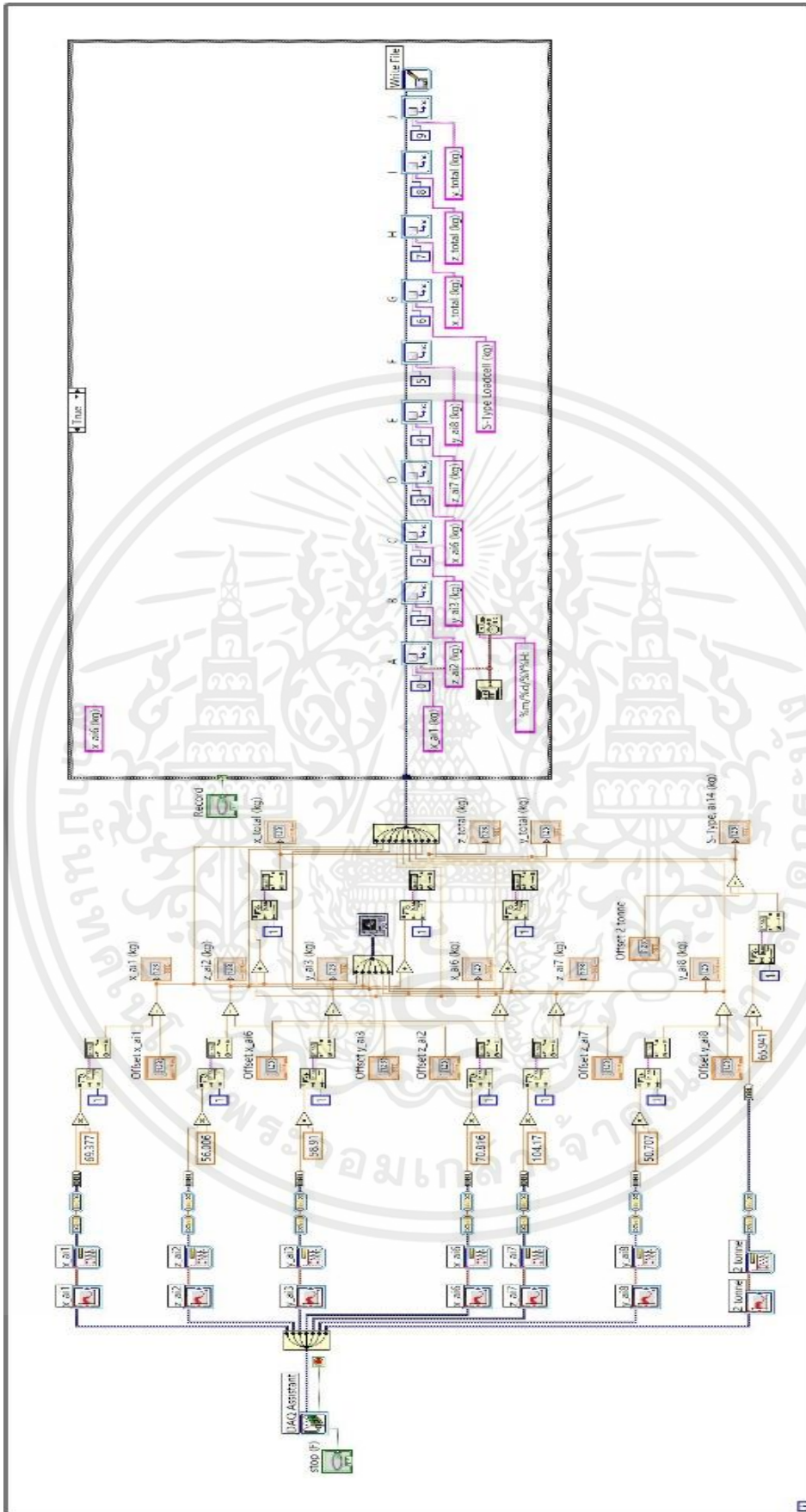


รูปที่ ข.1 หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึด EOR แนวแกน z



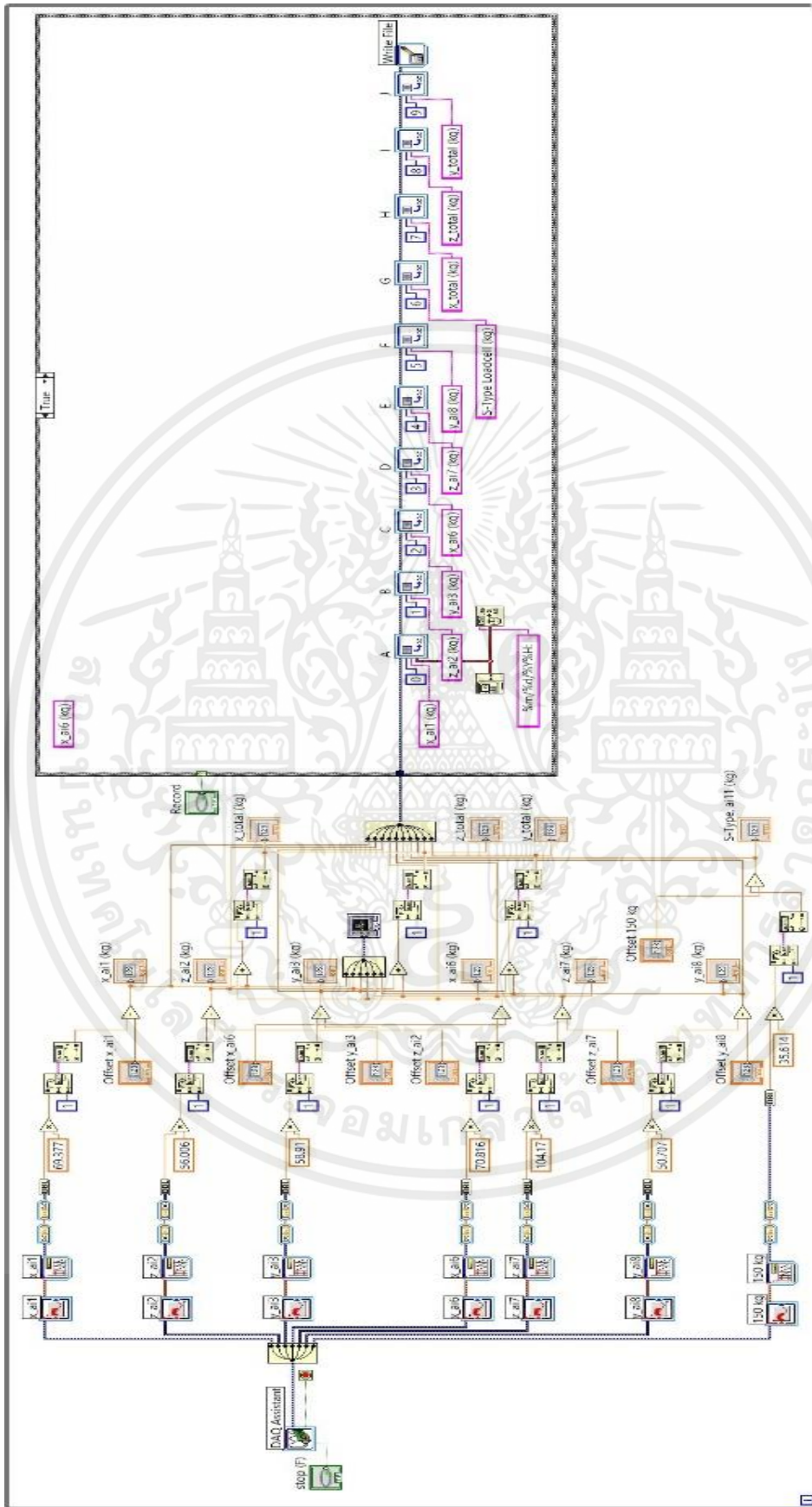
รูปที่ ข.2 หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลสอบเทียบแผ่นวัดแรง Flatbed Scale ในแนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลสอบเทียบแผ่นรองรับจุดจับยึด EOR แนวแกน x และ y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลสอบเทียบแผ่นวัดแรง Flatbed Scale แนวแกน x และ y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐวุฒิ สัมเกิด
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
 ที่อยู่ 76/3 ม.11 ต.ไทรซิง อ.พระแสง
 จ.สุราษฎร์ธานี 84210
 E-mail nen7680@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) โรงเรียนพระแสงวิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมโครงการค่ายอาสา 3 สถาบัน ปีที่ 10
- เข้าร่วมโครงการปลูกป่าชายเลนในเครือเจริญโภคภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายพงษ์พัฒน์ หอมเพียร
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2540
 ภูมิลำเนา จังหวัดระนอง
 ที่อยู่ 221/10 ม.6 ต.บางรีน อ.เมือง
 จ.ระนอง 85000
 E-mail ppatt12__@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) โรงเรียนสตรีระนอง จังหวัดระนอง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมโครงการปลูกป่าชายเลนในเรือเจริญโภคภัณฑ์
- จัดกิจกรรมการแข่งขันกีฬา E-sport ครั้งที่ 2 ให้กับชมรม E-sport สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวอันติมา สุวรรณธรรมา
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดปทุมธานี
 ที่อยู่ 277/117 ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี
 70000
 E-mail dew_thainichi@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต IEP) โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา 2 กรุงเทพมหานคร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล (วิศวกรรมเครื่องกลเกษตรและอาหาร) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- รางวัลรองชนะเลิศการประชุมวิชาการโครงงานวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ประเภทแข่งขันทักษะ
- เข้าร่วมงานประชุมวิชาการโครงงานวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 27
- ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและมีระดับคะแนนดีเยี่ยมด้าน “การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล” ปี 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้