



การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโหนดเซลล์ชนิดแกนเดียว

FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE
FROM SINGLE-AXIS LOADCELLS

ณัฐพงศ์ พรหมทอง

NATTAPONG PROMTHONG

นารีรัตน์ วรณูช

NAREERAD WORANUD

วรวิช มุสิต

WORAWICH MUSID

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโหลดเซลล์ชนิดแกนเดียว

FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE
FROM SINGLE-AXIS LOADCELLS

ณัฐพงศ์ พรหมทอง

NATTAPONG PROMTHONG

นารีรัตน์ วรนุช

NAREERAD WORANUD

วรวิช มุสิต

WORAWICH MUSID

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโหนดเซลล์ชนิดแกนเดียว

FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE
FROM SINGLE-AXIS LOADCELLS

ณัฐพงศ์ พรหมทอง

NATTAPONG PROMTHONG

นารีรัตน์ วรนุช

NAREERAD WORANUD

วรวิช มุสิต

WORAWICH MUSID

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโหนดเซลล์ชนิดแกนเดียว

FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE
FROM SINGLE-AXIS LOADCELLS



ณัฐพงศ์ พรหมทอง

NATTAPONG PROMTHONG

นารีรัตน์ วรานุช

NAREERAD WORANUD

วรวิช มุสิต

WORAWICH MUSID

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE
FROM SINGLE-AXIS LOADCELLS

NATTAPONG PROMTHONG

NAREERAD WORANUD

WORAWICH MUSID

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 CHUMPHO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



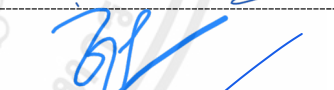

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโพลดเซลล์ชนิดแกนเดียว
PROJECT TITLE FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE FROM SINGLE-AXIS LOAD CELLS

ชื่อนักศึกษา นายณัฐพงศ์ พรหมทอง รหัสประจำตัว 61512005
นางสาวนาเรีรัตน์ วรรณช รหัสประจำตัว 61512012
นายวรวิช มุสิด รหัสประจำตัว 61512018

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสมานนท์
ปริญญาานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตดวงศ์
ปริญญาานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.จรัสชัย	เย็นหยับ	กรรมการสอบ	
อ.ดร.ศรีรัตน์	ช่วยบุญ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตดวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโสมานนท์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2564 เวลา 17.00-18.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างแผ่นวัดแรงหลายแกนจากโพลดเซลล์ชนิดแกนเดียว	
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐพงศ์ พรหมทอง	รหัสนักศึกษา 61512005
	นางสาวนารีรัตน์ วรรณช	รหัสนักศึกษา 61512012
	นายวรวิช มุสิด	รหัสนักศึกษา 61512018
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์	
ปริญญานิพนธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
ปริญญานิพนธ์ร่วม		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โพลดเซลล์วัดแรงแกนเดียวเพื่อประยุกต์ใช้ในการสร้างแผ่นวัดแรงแบบหลายแกน โพลดเซลล์แบบวงแหวนและแบบแท่งตรงอย่างละ 4 ตัว ได้นำมาติดตั้งในรูปแบบวางขนานและวางเอียง 45° เพื่อสร้างเป็นแผ่นวัดแรงขนาด 300×300 mm² ในการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การประเมินความแม่นยำของการวัดแรงในแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวรับแรงในแนวตั้ง (แกน z) และการทดสอบเพื่อประเมินความเป็นเชิงเส้นเมื่อมีการใส่แรงแบบเชิงเส้นในแนวระดับ (แกน x และ y) จากการทดลองพบว่า ทุกเงื่อนไขการทดสอบตำแหน่งพื้นที่ผิวรับแรงแกน z สามารถใช้ในการวัดค่าได้อย่างถูกต้องและมีความผิดพลาดไม่เกิน 0.93 % การติดตั้งโพลดเซลล์แท่งตรงแบบขนานจะแสดงสภาพความเป็นเชิงเส้นสูงกว่ารูปแบบอื่นๆ และมีความเป็นไปได้กับการวัดค่าในแนวแกน x เนื่องจากความชันของสมการเส้นตรงมีค่าใกล้เคียงกันและค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูงกว่า 0.987

คำสำคัญ: โพลดเซลล์วัดแรงแกนเดียว, แผ่นวัดแรง, ความแม่นยำ

Project Title	FABRICATION OF MULTI-AXIS FLATBED SCALE FROM SINGLE-AXIS LOAD CELL	
Student	Mr.Nattapong Prom thong	Student ID 61512005
	Ms.Nareerat Woranut	Student ID 61512012
	Ms.Worawich Musid	Student ID 61512018
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Dithaporn Thungsotanon	
Project Co-advisor	Asst.Prof.Dr. Chompoonud Kulketwong	

ABSTRACT

The objective of this project was to study the possible using the single-axis load cells for fabricating the multi-axis flatbed scale. The 300×300 mm² flatbed scale was made from the 4 pieces of each load cell: ring and straight bar that were mounted in parallel and 45° oblique patterns. The studies were divided into 2 parts: evaluation of measuring the vertical force (z-axis) accuracy at each position in the applied areas and testing for assessment of the linearity when applied the horizontal loads (x and y-axis). The experimental results were found that the applied areas of the z-axis were able to measure accurately and the errors were no more than 0.93% in all conditions. The flatbed scale from the straight bar load cells with parallel mounting showed the higher linearity than the other and was possibly measured the x-axis force because the slopes of linear equations were similar and the coefficient of determination (R²) was higher than 0.987.

Keywords: Single-axis load cell, Flatbed scale, Accuracy

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และอาจารย์ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและ กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำ ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ ที่สนใจเกี่ยวกับการสร้างแผ่นวัดแรง

ณัฐพงศ์ พรหมทอง

นารีรัตน์ วรรณุช

วรวิษ มุสิต

มิถุนายน 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	13
3.1 แผ่นวัดแรง	13
3.2 หัวกด	20
3.3 สอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง	22
3.4 หาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง	24
3.5 หาความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และแกน y ของแผ่นรับแรงทั้ง 3 แบบ	25
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	27
4.1 ผลการสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง	28
4.3 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวัดแรงในแนวแกน x และแกน y	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ปัญหาที่พบ	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	42
ภาคผนวก ข การเขียนโปรแกรม LabVIEW	75
ภาคผนวก ค ชุดทดลอง	78
ประวัติผู้จัดทำ	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
4.1	การสอบเทียบก่อนปรับปรุงวงแหวนในแนวตั้ง	28
4.2	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน x	31
4.3	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน y	32
4.4	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน x	33
4.5	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน y	34
4.6	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45°แนวแกน x	35
4.7	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45°แนวแกน y	36
ก.1	สอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวน	43
ก.2	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน x	44
ก.3	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน y	45
ก.4	การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ที่น้ำหนัก 15 kg	46
ก.5	การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ที่น้ำหนัก 30 kg	54
ก.6	การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ที่น้ำหนัก 15 kg	62
ก.7	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน x	70
ก.8	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน y	71
ก.9	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45°แนวแกน x	73
ก.10	การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45°แนวแกน y	74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	แผนผังการดำเนินงาน	2
2.1	แสดงหลักการทำงานของโพลดเซลล์ชนิดสเตรนเกจ	5
2.2	แสดงลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge	5
2.3	แสดงตำแหน่งในการติดสเตรนเกจของโพลดเซลล์ชนิดวงแหวน	5
2.4	การออกแบบโพลดเซลล์	6
2.5	การติดตั้งโพลดเซลล์แบบโซลูชันแบบสแตนด์อโลนกับแผ่นวัดแรง	7
2.6	ตำแหน่งติดตั้งโพลดเซลล์แบบ triangular platform กับแผ่นวัดแรง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง	8
2.7	ตำแหน่งติดตั้งโพลดเซลล์บนแผ่นวัดแรงแต่ละแผ่นที่ใช้ทดสอบ	8
2.8	ภาพโพลดเซลล์และแพลตฟอร์มรับแรงที่ใช้ในการทดสอบ	9
2.9	การใช้แผ่นแรงและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ประเมินปฏิกิริยาของแรงภาคพื้น ในการเคลื่อนไหว	10
2.10	การติดตั้งแผ่นวัดแรงและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ การกีฬา	10
2.11	อุปกรณ์สอบเทียบในห้องปฏิบัติการ	11
2.12	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนักของยานพาหนะ	11
2.13	การติดตั้งชุดวัดแรงสำหรับวัดน้ำหนักรถบรรทุก	12
2.14	เกือกม้าที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรง	13
3.1	โพลดเซลล์วงแหวน	16
3.2	โพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐาน	16
3.3	Amplifier Transmitter	16
3.4	Cable Glard PG 7	17
3.5	บัสบาร์ทองเหลือง บาร์กราวด์	17
3.6	กล่องกันน้ำ 6x8 Nano	17
3.7	STEP – UP DC – DC 150 W 12-35 V	18
3.8	NI – USB 9001	18
3.9	โปรแกรม LadVIEW 2014	18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	ตำแหน่งยึดเจาะรูโพลดเซลล์บนแผ่นวัดแรง	19
3.11	ตัดแผ่นรับแรงให้ได้ขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$	20
3.12	เหล็กนำศูนย์	21
3.13	เหล็กแท่งกลม	21
3.14	รายละเอียดหัวกด	22
3.15	ระดับน้ำ	23
3.16	การสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง	23
3.17	พื้นที่ในการทดลอง	24
3.18	การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในการรับแรงบนแผ่นวัดแรงในแนวตั้ง	25
3.19	การหาความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และแกน y	26
4.1	ผลการทดลองสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง	27
4.2	กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนานที่น้ำหนัก 15 kg	28
4.3	กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาดที่น้ำหนัก 30 kg	29
4.4	กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ที่น้ำหนัก 15 kg	30
4.5	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน x	31
4.6	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน แนวแกน y	32
4.7	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน x	33
4.8	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน y	34
4.9	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แนวแกน x	35
4.10	ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แนวแกน x	36
ข.1	หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลการทดลอง	76
ค.1	ชุดทดลองใส่แรงในแนวแกน x และแกน y	78
ค.2	ชุดทดลองใส่แรงในแนวตั้ง	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

แผ่นวัดแรงเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้นำไปประยุกต์ใช้กับงานในด้านต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น แผ่นวัดแรงเพื่อคำนวณการเคลื่อนไหว[5] หรือจับท่าทางบุคลิกในการเล่นกีฬาหรือการออกกำลังกายของมนุษย์[6] การนำแผ่นวัดแรงไปประยุกต์ใช้กับสัตว์เลี้ยงโดยการนำ แผ่นวัดแรงไปคำนวณเกี่ยวกับการกดน้ำหนักของฝ่าเท้าสัตว์ขณะเคลื่อนไหว[10] การนำแผ่นวัดแรงไปใช้งานในด้านยานยนต์ เช่น การตรวจสอบการกระจายความเครียดของยางและถนน[7] การวัดน้ำหนักของยานพาหนะที่จะมีผลต่อการสึกหรอของถนน[8] โดยในแผ่นวัดแรงจะประกอบไปด้วยระบบตรวจวัดแรง ระบบเก็บข้อมูลและโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้น ข้อมูลที่ได้มาอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ หากติดตั้งโหลดเซลล์กับแผ่นวัดแรงในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม จากการศึกษาแผ่นวัดแรงพบว่าโดยส่วนมากการวัดแรงและแรงคู่ควบในแนวแกน x , y และ z จะทำโดยวิธีการออกแบบโหลดเซลล์ให้สามารถวัดแรงได้ทั้ง 3 แกน แต่สำหรับแรงและแรงคู่ควบในแนวแกน x และ y นั้นสามารถใช้วิธีการคำนวณหาด้วยสมการได้ โดยใช้แรงที่โหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัวอ่านได้ มาแทนค่าในสมการ[3] และการสร้างแผ่นวัดแรงไม่จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ที่ราคาสูง สามารถใช้เซ็นเซอร์ราคาต่ำแต่นำมาใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงได้[4]

จากที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการสร้างแผ่นวัดแรงควรมีการออกแบบและตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้การวัดและนำไปใช้งานมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้น โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำโหลดเซลล์แบบรับแรงแกนเดียวมาทำการศึกษาและพัฒนาให้สามารถวัดแรงแบบ 3 แกนได้ ซึ่งหากมันมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ เราก็ไม่จำเป็นที่จะต้องนำโหลดเซลล์ 3 แกน มาสร้างแผ่นวัดแรงซึ่งจะทำให้การออกแบบระบบวัดแรงง่ายและราคาต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้โหลดเซลล์ชนิดแกนเดียว เพื่อใช้ในการวัดค่าแรงแบบหลายแกนของแผ่นวัดแรง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1. ความแม่นยำของแผ่นวัดแรงจะขึ้นอยู่กับชนิดของโหลดเซลล์ที่นำมาประยุกต์ใช้

1.3.2 ตำแหน่งของโหลดเซลล์ มีผลต่อความแม่นยำของแผ่นวัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

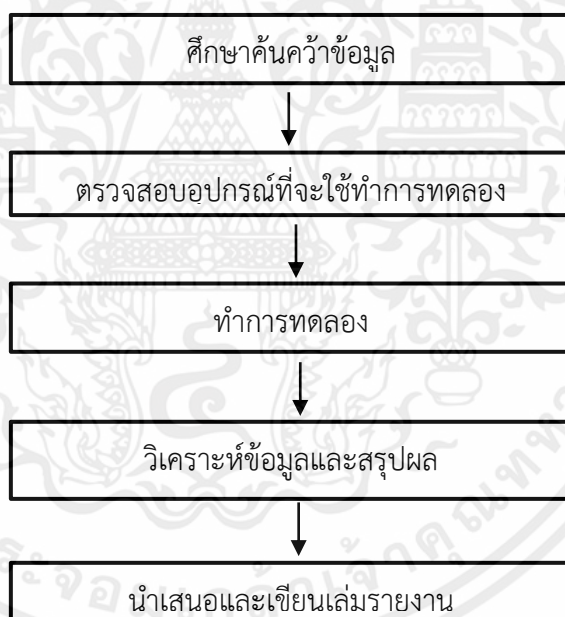
1.4.1. แผ่นวัดแรงมีขนาดพื้นที่รับแรง กว้าง 300 mm และยาว 300 mm และสามารถวัดค่าได้สูงสุด 30 kg

1.4.2. ใช้โหลดเซลล์จำนวน 2 แบบในการทดสอบ ได้แก่ โหลดเซลล์ชนิดวงแหวนและโหลดเซลล์ชนิดตัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. ได้แผ่นวัดแรงชนิด 3 แกนที่มีความแม่นยำในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการกลศาสตร์ และพลศาสตร์ยานยนต์

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างแผ่นวัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินการทดลองอุปกรณ์วัดแรงปฏิกิริยาแบบ 2 แกน

ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ 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.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←————→									
2.ทดสอบและแก้ไข						←————→				
3.รวบรวมผลลัพธ์						←————→				
4.วิเคราะห์และหาข้อสรุป						←————→				
5.นำเสนอและทำเล่ม ปริญญานิพนธ์						←————→				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้ได้ทำการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผ่นวัดแรงที่สามารถวัดแรงได้ 3 แกน จากโพลดเซลล์ โดยวิธีการสอบเทียบในระบบพิกัดแกน x , y และ z วิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการวัดแรงเพื่อให้แผ่นวัดแรงสามารถใช้งานได้แม่นยำ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แผ่นวัดแรงเป็นเครื่องมือวัดที่จำเป็นต้องมีความแม่นยำจึงอาศัยตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ ได้แก่ ฮิสเทอรีซิส ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น และ Cross-sensitivity

ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis error) คือ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่กระทำกับวัตถุในสถานะเริ่มต้นและการคืนสภาพของวัตถุในสถานะสิ้นสุด [12] ซึ่งอาจจะไม่เท่ากันเนื่องจากการสูญเสียพลังงานขณะคืนสภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

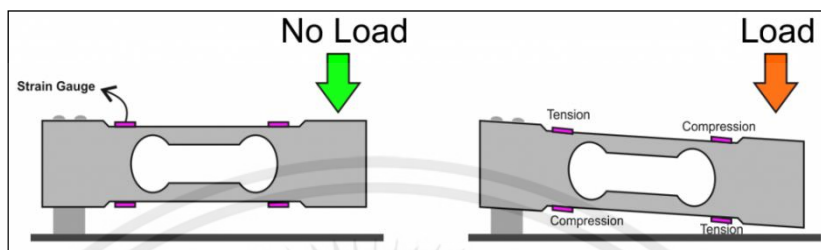
$$\text{Hysteresis error} = \frac{|y_1 - y_2|}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (2.1)$$

เมื่อ Hysteresis error	=	ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างน้ำหนักไป - กลับ (%)
y_1	=	น้ำหนักที่กระทำกับวัตถุในช่วงเริ่มต้น (kg)
y_2	=	ช่วงน้ำหนักที่วัตถุคืนสภาพ (kg)
y_{\max}	=	น้ำหนักที่กระทำสูงสุด (kg)
y_{\min}	=	น้ำหนักที่กระทำต่ำสุด (kg)

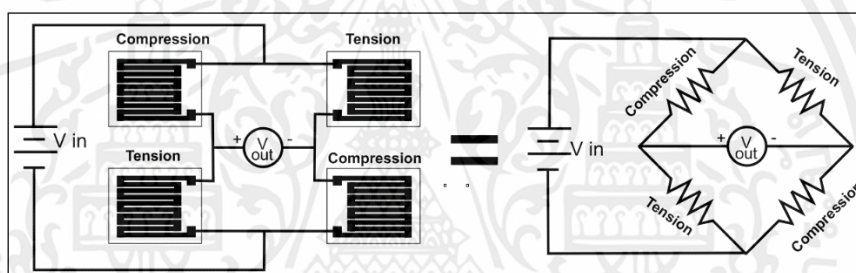
Load Cell คือ Sensor สำหรับตรวจวัดน้ำหนัก [13] แรงกระทำทางกล หรือปริมาณของ Load ที่ต้องการทราบค่า โดยใช้ Strain Gauge มาติดตั้งในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของ Load Cell เมื่อมีแรงมากระทำกับตัว Load Cell จะทำให้ Strain Gauge ที่ติดอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรง ยืด หรือ หด ตัว ทำให้ค่าความต้านทานที่ตัว Strain Gauge เปลี่ยนไป จากรูปที่ 2.1 ในจุดที่ Strain Gauge ได้รับแรงกด (Compression) จะทำให้ Strain Gauge หดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึง (tension) จะทำให้ strain gauge ถูกยืดออก จึงทำให้ค่าความต้านทานของ Strain Gauge เปลี่ยนแปลงไป Strain Gauge ทั้ง 4 ตัวที่อยู่บน Load Cell แบบ Straight Bar จะถูกต่ออยู่ด้วยกันในลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge ตามรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

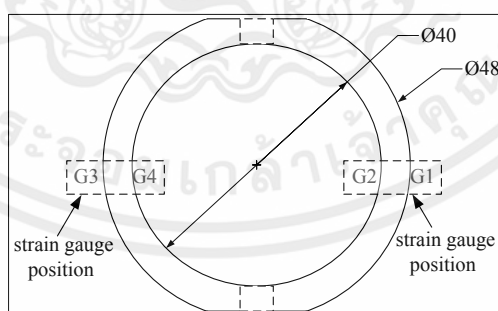
สำหรับโหนดเซลล์วงแหวน มีหลักการเดียวกันกับแบบโหนดเซลล์ชนิดตัด คือเมื่อโหนดเซลล์ได้รับแรงกดจะทำให้ Strain Gauge หดตัวเข้าหากัน และในจุดที่ได้รับแรงดึงจะทำให้ strain gauge ถูกยืดออก ซึ่งจะเกิดบริเวณ ตำแหน่ง G1 , G2 , G3 และ G4 ซึ่งเป็นตำแหน่งในการติดสแตนเกจของโหนดเซลล์ชนิดวงแหวน ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของโหนดเซลล์ชนิดสแตนเกจ [11]



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของวงจร Wheatstone Bridge [11]



รูปที่ 2.3 แสดงตำแหน่งในการติดสแตนเกจของโหนดเซลล์ชนิดวงแหวน [11]

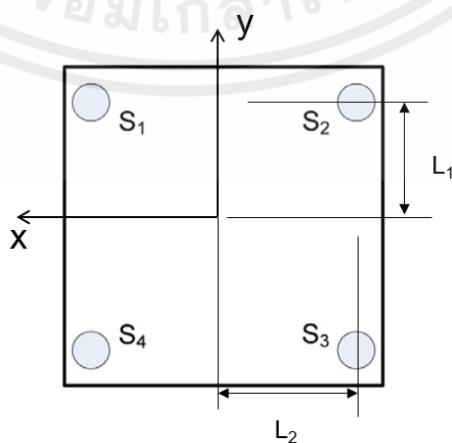
การออกแบบแผ่นวัดแรง [14] พบว่า การติดตั้งแผ่นวัดแรงบนโหนดเซลล์นั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบขึ้นชนิดของโหนดเซลล์และลักษณะการใช้งาน เช่น การติดตั้งโหนดเซลล์แบบตัวเดียวเพื่อ การกำหนดแรงในแนวตั้ง และการกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงดัน การติดตั้งโหนดเซลล์แบบ 3 ตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้นี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อหาค่าจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง และการติดตั้งโหนดเซลล์แบบ 4 ตัว เพื่อหาจุดศูนย์กลางและความแข็งแรงของวัตถุ โดยปกติแล้วการศึกษาแผ่นวัตถุแรงมักจะมีการหาค่าของแรง และแรงคู่ควบในทุกมิติ คือ แกน x , แกน y และ แกน z ซึ่งสามารถวัดแรงโดยวิธีการออกแบบโหนดเซลล์ให้สามารถวัดแรงได้ทั้ง 3 แกน แต่สำหรับแรงคู่ควบจะหาได้โดยการคำนวณสมการ 2.3 และการหาแรงในแนวแกน x และแกน y ก็สามารถหาได้จากการแทนค่าในสมการ 2.2 เช่นกัน นอกจากนี้ในงานวิจัยยังกล่าวอีกว่า สมการหาแรงและแรงคู่ควบนี้เหมาะกับแผ่นวัตถุแรงที่ติดตั้งโหนดเซลล์ชนิดเดียวกัน วัดแรงได้แนวแกนเดียว 4 ตัว และแผ่นวัตถุแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.4

$$\begin{aligned} F_x &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \\ F_y &= S_1 + S_2 - S_3 - S_4 \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} M_x &= L_1 \times (S_1 + S_2 - S_3 - S_4) \\ M_y &= L_2 \times (-S_1 + S_2 + S_3 - S_4) \end{aligned} \quad (2.3)$$

- เมื่อ F_x = แรงในแนวแกน x
 F_y = แรงในแนวแกน y
 M_x = แรงคู่ควบในแนวแกน x
 M_y = แรงคู่ควบในแนวแกน y
 L_1 = ความยาวตั้งแต่กึ่งกลางโหนดเซลล์จนถึงกึ่งกลางแผ่นรับแรงในด้านแกน x
 L_2 = ความยาวตั้งแต่กึ่งกลางโหนดเซลล์จนถึงกึ่งกลางแผ่นรับแรงในด้านแกน y
 S_1 = ค่าที่โหนดเซลล์ตัวที่ 1 อ่านได้
 S_2 = ค่าที่โหนดเซลล์ตัวที่ 2 อ่านได้
 S_3 = ค่าที่โหนดเซลล์ตัวที่ 3 อ่านได้
 S_4 = ค่าที่โหนดเซลล์ตัวที่ 4 อ่านได้

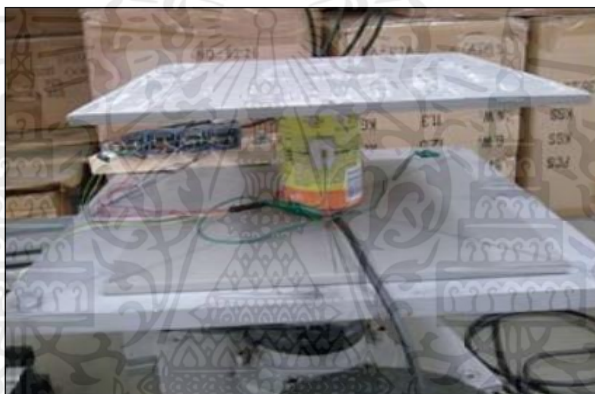


รูปที่ 2.4 การออกแบบโหนดเซลล์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

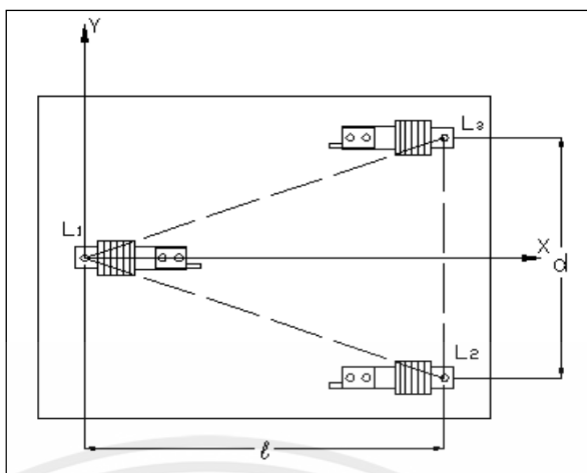
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ricardo J. Fernandes et al.[1] บทความนี้กล่าวถึง การพัฒนาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของการผลิตโพลีเซลล์แบบสร้างตัวเอง สำหรับการทดลองประสิทธิภาพให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักของการกำหนดแรงในแนวตั้ง และการกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงดัน สามารถวัดแรงในแนวราบได้โดยมีเงื่อนไขว่าการทดลองสามารถคำนวณได้โดยการกระจัดของจุดศูนย์กลางแรงดัน จากผลลัพธ์ที่ทดลองได้พบว่ามีความไม่แม่นยำเมื่อใส่แรง จุดศูนย์กลางแรงดันนอกศูนย์กลางที่มีเพิ่มขึ้น เกิดขึ้นจากลักษณะการประมาณค่ากลางของโพลีเซลล์หรือการออกแบบแผ่นบังคับต้นทุนต่ำ อุปกรณ์นี้เป็นโซลูชันแบบสแตนด์อโลน สามารถใช้วัดในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำไม่มาก จากการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์ ในแบบคู่ขนานที่เกี่ยวข้องกับการว่ายน้ำ พบว่าควรพัฒนาอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้แม่นยำมากขึ้น



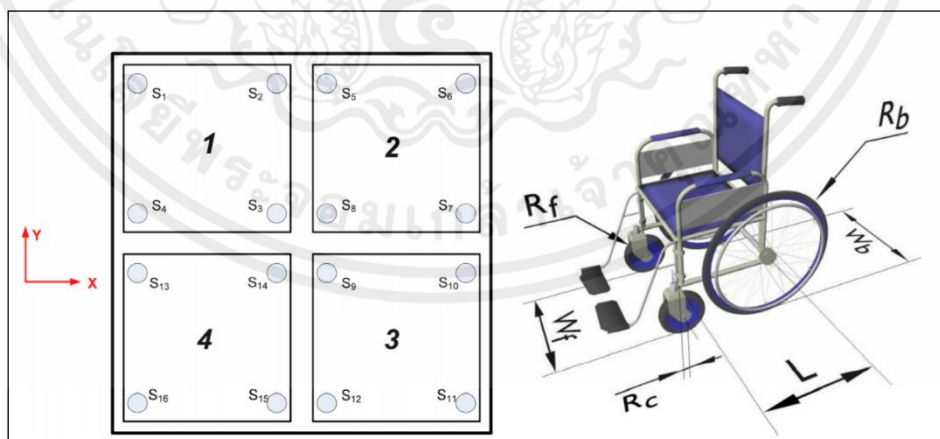
รูปที่ 2.5 การติดตั้งโพลีเซลล์แบบโซลูชันแบบสแตนด์อโลนกับแผ่นวัดแรง [1]

Jiwan Kumar et al.[2] บทความนี้กล่าวถึง การทดลองหาค่าจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง ที่ถูกต้อง และอัตราการบรรทุกคนและวัตถุของยานอวกาศ ให้ข้อมูลที่มีค่าในการออกแบบและการกำหนดค่าของยานอวกาศ ซึ่งจะมีผลต่อความแม่นยำในการประเมินความเครียดแบบไดนามิกที่มากับยานอวกาศด้วย พารามิเตอร์ที่ออกแบบถูกควบคุมให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ อัตราการบรรทุกคนและวัตถุของยานอวกาศ ด้วยความทนทานและมีความน่าเชื่อถือ เครื่องนี้ยังให้ความสะดวกในการหาค่าจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงหลายมิติ ด้วยการตั้งค่าเพียงครั้งเดียวทำให้ช่วยประหยัดเวลาได้มากขึ้น การกำหนดตำแหน่งค่าจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงทั้ง 3 แกน สามารถทำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่ทดสอบ และสามารถปรับให้เหมาะสมได้โดยการลดมุมเอียง



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งติดตั้งโพลดเซลล์แบบ triangular platform กับแผ่นวัดแรงเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของจุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง [2]

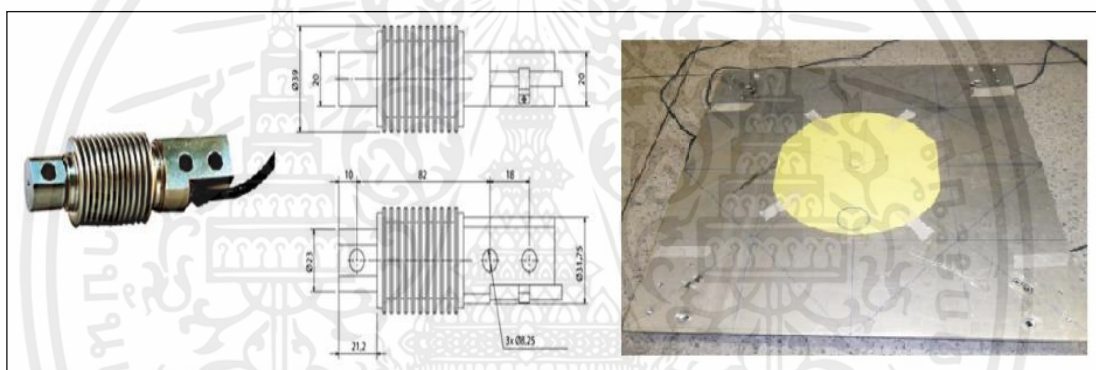
Dimitar Stefanov et al.[3] บทความนี้ นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการทดสอบความแข็งแรงของวีลแชร์ ทดสอบโดยผู้ใช้งาน โดยออกแบบซ้ำ ๆ ทั้งแบบจำลองและแบบผสมผสาน การสร้างแบบจำลองใช้ความรู้ด้านคณิตศาสตร์และวิศวกรรม เพื่ออุปกรณ์ที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีจะแสดงค่าแรงรวมที่มีความแม่นยำ ผู้ใช้จะได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางและความแข็งแรงของระบบวีลแชร์ โดยมีการผลิตและทดสอบการทำงานหลายรูปแบบ ซึ่งมีข้อเสนอแนะเบื้องต้นว่าระบบมีศักยภาพที่จะเป็นแนวทางในการปรับแต่งวีลแชร์ในการใช้งานจริง และตั้งใจที่จะทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ต่อไป



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งติดตั้งโพลดเซลล์บนแผ่นวัดแรงแต่ละแผ่นที่ใช้ทดสอบแรง [3]

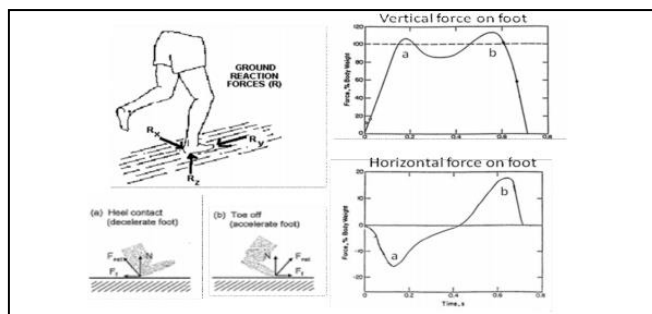
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Marcelo Guimarães Silva et al.[4] บทความนี้เสนอวิธีการออกแบบแพลตฟอร์มแบบใหม่โดยใช้ต้นทุนต่ำที่ไม่ใช่เชิงพาณิชย์สำหรับวิทยาศาสตร์วัสดุประยุกต์การวิจัยมีการอธิบายวิธีการสอบเทียบและการตรวจสอบด้วยแพลตฟอร์มรับแรงที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐานสากลของการวัดเพื่อวัดแรงที่ถูกกระทำ เพื่อวัดแรงในแนวตั้ง และส่วนประกอบของแรงในแนวแกน x และ แกน y โดยส่วนประกอบของแรงในแนวแกน x และ แกน y นั้นสามารถนำไปหาแรงและโมเมนต์ของแรงได้โดยการแทนค่าในสมการ และใช้งบประมาณเพียงหนึ่งในสิบของต้นทุนของแพลตฟอร์มเชิงพาณิชย์ การทดลองครั้งนี้ทดลองกับอาสาสมัครสี่คน เพื่อตรวจสอบและยืนยันการใช้งานจริงของอุปกรณ์ การสอบเทียบแพลตฟอร์มแสดงให้เห็นถึงระบบที่มีความแม่นยำ มีความเป็นเชิงเส้นและมีความน่าเชื่อถือสูง ตัวแปรที่เสนอในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการศึกษาพฤติกรรมการทรงตัวของมนุษย์ จากผลการทดสอบพบว่าแพลตฟอร์มต้นทุนต่ำสามารถใช้เป็นอุปกรณ์วัดการทรงตัวในการวัดการควบคุมท่าทางและการทรงตัวในทางกีฬา



รูปที่ 2.8 ภาพโพลดเซลล์และแพลตฟอร์มรับแรงที่ใช้ในการทดสอบ [4]

D. Thelen et al.[5] ใช้แผ่นวัดแรงเพื่อประเมินปฏิกิริยาของแรงภาคพื้นในการเคลื่อนไหว โดยใช้แรงกระทำกับเครื่องชั่งแผ่นวัดแรงและจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับแรงที่กระทำขนานกับพื้นและพื้นที่ตั้งของแรงเวกเตอร์ขั้นตอนการหยุดเดินและการผล็อกจากการเดินแต่ละครั้งจะมีองค์ประกอบของแรงแนวตั้งเช่นเดียวกับแนวนอน แผ่นวัดแรงถูกออกแบบมาเพื่อประเมินแรงหลายมิติ แผ่นวัดแรงเป็นเหล็กแผ่นติดอยู่กับเซ็นเซอร์ 4 ตัว น้ำหนักบนแผ่นเหล็กจะเปลี่ยนรูปร่างไปตามแต่ละแกนในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางและตำแหน่งของโพลดและสามารถระบุตำแหน่งของแรงที่กระทำและช่วงเวลาที่ได้วัดโดยทรานสดิวเซอร์วัดแรงและโมเมนต์



รูปที่ 2.9 การใช้แผ่นแรงและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ประเมินปฏิกิริยาของแรงภาคพื้นในการเคลื่อนไหว [5]

George Beckham et al. [6] การใช้แผ่นแรงและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับท่าทางหรือบุคลิกในการเล่นกีฬาหรือการออกกำลังกายโดยใช้เซ็นเซอร์ติดอยู่ที่ส่วนของร่างกายของผู้ทดสอบและอ่านค่าของแรงหรือความดันที่จะช่วยให้การพัฒนานักกีฬาหรือโค้ชให้เป็นแนวทางที่ดีต่อไปและใช้บ่งบอกถึงส่วนที่ร่างกายใช้งานนั้นหรือไม่หนักในท่าทางนั้นๆมีส่วนช่วยให้นักกีฬาไม่บาดเจ็บหรือสามารถใช้งานร่างกายให้ดีขึ้น

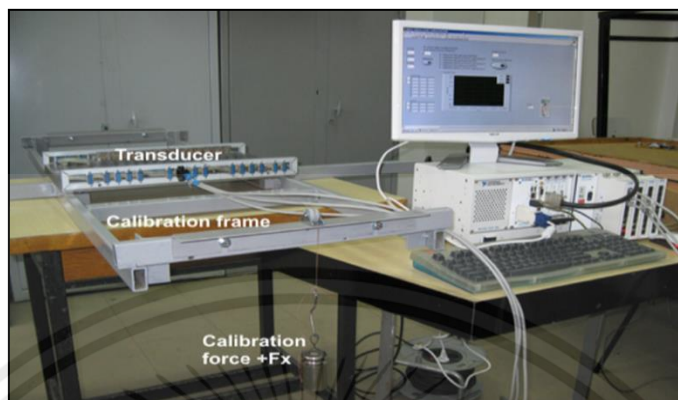


รูปที่ 2.10 การติดตั้งแผ่นวัดแรงและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬา [6]

Gabriel Anghelache et al. [7] ระบบการวัดสำหรับการตรวจสอบการกระจายความเครียดของยางและถนนได้รับการออกแบบและพัฒนาตัวแปลงสัญญาณ ภายในระบบวัดประกอบด้วยเซ็นเซอร์การตรวจจับครอบคลุมทั้งหมด ออกแบบมาเพื่อวัดการแจกแจงความเครียดพร้อมกันสามทิศทางมุมฉากสำหรับยางรถบรรทุกในล้อต่าง ๆ นอกจากนี้ระบบการวัดยังใช้สำหรับการวัดการกระจายตัวของความเค้นในยางและได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถรับข้อมูลได้เมื่อผลเบื้องต้นของความเครียดจากการสัมผัสของหน้าสัมผัสของยางและถนน ระบบการวัดสำหรับการตรวจสอบการกระจายความเค้นหน้ายางและถนนได้รับการออกแบบและพัฒนาและได้รับการจดสิทธิบัตร ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงสัญญาณภายในระบบการวัดประกอบด้วยอาร์เรย์ตามขวางขององค์ประกอบการรับรู้ที่ครอบคลุมทั้งหมด ความกว้างของหน้าสัมผัสในการทดสอบครั้งเดียว



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์สอบเทียบในห้องปฏิบัติการ [7]

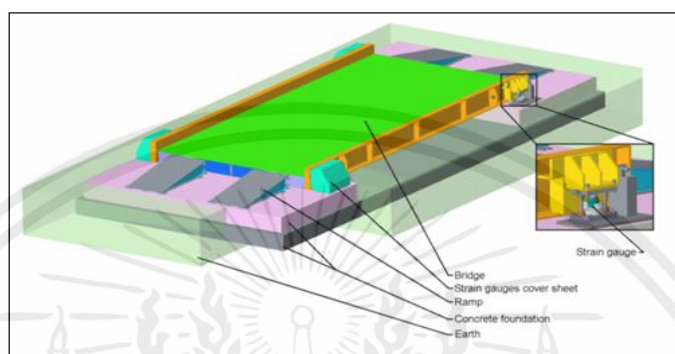
Bisták et al. [8] บทความนี้นำเสนอภาพรวมคร่าวๆของระบบซึ่งน้ำหนักและอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกการจราจรบนถนนที่ราบรื่นและปลอดภัยจำนวนยานพาหนะบนถนนมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้พื้นผิวถนนสึกหรอมากขึ้น ระบบตรวจสอบน้ำหนักถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางเพื่อตรวจสอบความเร็วและน้ำหนักของยานพาหนะเทียบกับข้อกำหนดกฎหมายเพื่อเป็นทางเลือกทดแทนในการชั่งน้ำหนักการจราจรที่ใช้เวลานาน และรวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในแอปพลิเคชันการจราจรโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อได้เปรียบเครื่องซึ่งมีการออกแบบให้ใช้กับมือถือติดตั้งง่ายและประหยัด เครื่องซึ่งสามารถชั่งน้ำหนักรถบรรทุกที่มีสองหรือสามเพลาและมีน้ำหนักรวมสูงสุด 40 ตัน รวมไปถึงการพัฒนาของขนาดเพลา ทำการออกแบบและคำนวณผลงานด้วยการใช้ระบบ CAD Creo Parametric และ ANSYS Workbench ระบบ FEM



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนักของยานพาหนะ [8]

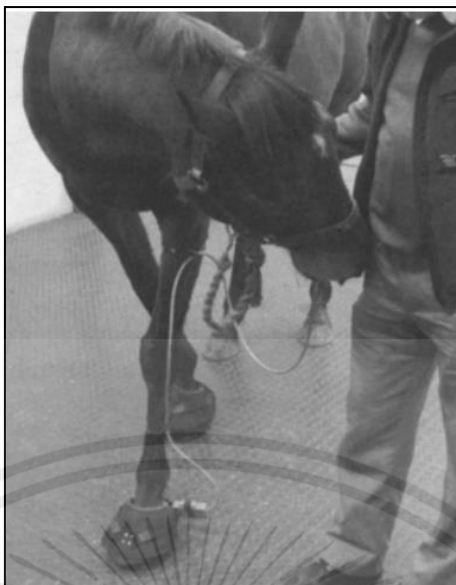
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bistak et al. [9] นำเสนอระบบชั่งน้ำหนักและอุปกรณ์ที่ออกแบบมาอำนวยความสะดวกในการจราจรบนถนนเพื่อความปลอดภัย ใช้ตรวจสอบความเร็วและน้ำหนักของยานพาหนะบนท้องถนน โดยติดตั้งเซนเซอร์กับแผ่นอลูมิเนียมสองแผ่นที่อยู่บริเวณกลางสะพาน จากการทดสอบพบว่าเครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักรถบรรทุกที่มีสองเพลลาหรือสามเพลลาได้ และสามารถชั่งน้ำหนักรถได้สูงสุด 40 ตัน และจากการออกแบบทำให้ติดตั้งง่ายและคุ้มค่า



รูปที่ 2.13 การติดตั้งชุดวัดแรงสำหรับวัดน้ำหนักรถบรรทุก [9]

Jeremy Burn et al. [10] บทความนี้อธิบายถึงการออกแบบและการพัฒนารองเท้าสำหรับสัตว์ที่ช่วยให้สามารถวัดองค์ประกอบเชิงมุมสามส่วนของแรงปฏิกิริยาทางภาคพื้นระหว่าง การเคลื่อนที่ของม้าเช่นการก้าวเดินแบบต่อเนื่องและวิ่งเหยาะๆ เพื่อในการออกแบบและปัญหาทางเทคนิคต่างๆโดยการออกแบบรองเท้าที่มีโครงสร้างแข็ง ในการเร่งและลดความเร็วและพยุงร่างกาย การเคลื่อนไหวโดยสัตว์ทุกชนิดต้องอาศัยแรงภายนอกในการกระทำระหว่างเท้ากับพื้น ดังนั้นการวัดแรงปฏิกิริยาพื้นดินที่กระทำต่อเท้าจึง ไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะให้ม้าเดินมาให้อยู่นิ่ง ๆ กลางโหลดเซลล์ จึงมีแนวคิดที่ง่ายที่สุดสำหรับการออกแบบรองเท้าหรือเกือกม้า ที่ประกอบด้วยแผ่นด้านบนและด้านล่าง รวมกันด้วยเสาสี่เหลี่ยมสั้น ๆ สามหรือสี่เสา การติดเกจวัดความเครียดที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งประกอบด้วย เกจ 45 องศาสามอันเข้ากับเสาแต่ละต้น



รูปที่ 2.14 เกือกม้าที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรง [10]

นายนลธวัช และคณะ [11] บทความนี้กล่าวถึงการหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับแผ่นวัดแรงที่ชั่งน้ำหนักโดยโพลดเซลล์วงแหวนชนิดแปดเหลี่ยม แผ่นวัดแรงขนาด $300 \times 550 \text{ mm}^2$ ถูกสอบเทียบในแนวระดับด้วยน้ำหนัก 0 – 100 kg พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแรงดึงมากกว่าแรงผลักและมีความถูกต้องในช่วง 70 – 100 kg จากนั้นทำการหาบริเวณรับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งบนระบบพิกัดขนาด $20 \times 20 \text{ mm}^2$ ด้วยน้ำหนัก 44 และ 104 kg พบว่าแผ่นวัดแรงนี้วัดแรงได้ใกล้เคียงโพลดเซลล์มาตรฐานที่บริเวณด้านซ้ายโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.42% และ 0.38% ตามลำดับ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดพบที่บริเวณกึ่งกลางและด้านขวาของแผ่นวัดแรง

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่ามีการนำแผ่นรับแรงไปประยุกต์ใช้กับงานหลายๆ ด้าน มีการวิเคราะห์และพัฒนาแผ่นรับแรงที่นำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างแม่นยำ และยังมีใครศึกษาเรื่องการสร้างแผ่นวัดแรงที่สามารถวัดแรงได้ 3 แกนจากโพลดเซลล์มาตรฐานและโพลดเซลล์วงแหวน ดังนั้น โครงการนี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการเลือกชนิดและวิธีติดตั้งโพลดเซลล์ในการวัดแรงเพื่อให้แผ่นวัดแรงสามารถใช้งานได้อย่างแม่นยำ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการทดสอบครั้งนี้ ใช้โพลดเซลล์จำนวน 3 แบบในการทดสอบ ได้แก่ โพลดเซลล์ชนิดวงแหวน, โพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน และโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° โดยจะสร้างแผ่นรับแรงที่มีขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$ เพื่อใช้ติดตั้งโพลดเซลล์แต่ละชนิด แนะนำเหล็กนำศูนย์มากลึงให้มีขนาดเท่ากับหัวกดที่ออกแบบไว้เพื่อใช้ทดลองในระบบพิกัด จากนั้นจะทดสอบความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และ y ของโพลดเซลล์แต่ละตัวเพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์

3.1 แผ่นวัดแรง

ในการปรับปรุงแผ่นวัดแรงเพื่อให้สามารถยึดกับโพลดเซลล์แบบวงแหวน 4 ตัว และโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐาน 4 ตัว ติดตั้งแบบขนานและเอียง 45° โดยใช้แผ่นรับแรงจำนวน 2 แผ่น สำหรับยึดโพลดเซลล์ทั้งด้านบนและล่าง เพื่อรับแรงในการหาตำแหน่งติดตั้งที่โพลดเซลล์แต่ละชนิดที่เหมาะสมที่สุด

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นเหล็ก ASTM A36 หนา 8.5 mm กว้าง 300 mm ยาว 300 mm จำนวน 2 แผ่น
2. โพลดเซลล์วงแหวนจำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 3.1 เป็นโพลดเซลล์ที่สร้างขึ้นเองจึงต้องมีการเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าแรงต้นขาออกและค่าน้ำหนักมาตรฐาน
3. โพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานจำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 3.2 เป็น Load cell ที่ออกแบบมาเพื่อให้ติดตั้งง่าย โดยโพลดเซลล์จะแปลงแรงเช่นความตึงแรงอัดความดันหรือแรงบิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถวัดได้และเป็นมาตรฐาน เมื่อแรงที่กระทำกับโพลดเซลล์เพิ่มขึ้นสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปตามสัดส่วน ซึ่งมีระดับความแม่นยำอยู่ที่ C3 ช่วงสัญญาณ output $2.0 \pm 10\% \text{ mV/V}$ ความสมมูล $\pm 2\% \text{ F.S.}$ มีค่าฮิสเทอรีซิส $\leq 0.015\% \text{ F.S.}$ ประสิทธิภาพในการทำซ้ำ $\leq 0.015\% \text{ F.S.}$ ช่วงกระแสไฟฟ้าที่แนะนำ 5~15V ห้ามเกิน 20V
4. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CD-8" ASX (8)
5. ซีสเปรย์สีดำ ยี่ห้อ SWAN
6. Amplifier Transmitter ดังรูปที่ 3.3 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณต่างๆ ที่รับมาจากภาคอินพุต เนื่องจากสัญญาณที่รับเข้ามาบางประเภทอาจจะมีขนาดเล็กมากๆ ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ยากต่อการนำไปใช้งาน หรือประมวลผล เช่น สัญญาณจาก Load Cell, Strain Gauge โดยจะใช้ วงจรขยายสัญญาณเข้ามาช่วย ใช้แรงดันไฟฟ้า DC 12-24 V สัญญาณ output ± 5 V สัญญาณ Input 2.0MV/V ความแม่นยำ 0.1% F.S

7. Cable Gland PG 7 ดังรูปที่ 3.4 คือเคเบิ้ลเกลนด์ยึดสายไฟจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณเข้ากับกล่องพลาสติกเพื่อปกป้องสายไฟ ทั้งการดึงสายไฟ ป้องกันน้ำ รวมถึงป้องกันขอบกล่องบาดสายไฟ

8. บัสบาร์ทองเหลือง บาร์กราวด์ ดังรูปที่ 3.5 ใช้เชื่อมต่อสายไฟของระบบเข้าหากัน

9. กล่องกันน้ำ 6x8 Nano ดังรูปที่ 3.6 เป็นกล่องสำหรับเก็บสายไฟและอุปกรณ์แปลงไฟเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่างๆ

10. STEP – UP DC – DC 150 W 12-35 V ดังรูปที่ 3.7 เป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า DC 10V-32V แรงดันไฟฟ้าขาออก DC12V-35V (ปรับได้) กระแส output 10A กระแสInput 16A ประสิทธิภาพการแปลง 94%

11. NI – USB 9001 ดังรูปที่ 3.8 สำหรับใช้ในการคำนวณค่าแรงดันเปลี่ยนเป็นน้ำหนักซึ่งอุปกรณ์นี้ จะเพิ่มความสามารถในการควบคุม Digital Input, Digital Output สำหรับระบบคอมพิวเตอร์ และถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้แบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย และมีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ -0.3 V min, 0.8 V max แรงดันไฟฟ้าสูง 2.0 V min, 5.8 V max กระแส 50.0 μ A max

12. LabVIEW 2014 ดังรูปที่ 3.9 ใช้คำนวณและแสดงผลการอ่านค่าของโหลดเซลล์

3.1.2 วิธีดำเนินการ

1. ออกแบบตำแหน่งเจาะรูยึดโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐาน โดยตำแหน่งที่ติดตั้งแบบขนานวางชิดขอบแผ่นรับแรง ดังรูป 3.10 (ก) ตำแหน่งรูเจาะห่างจากขอบแผ่นรับแรง 7.5 cm และ 12.5 cm ติดตั้งแบบเอียง 45° โดย ai1, ai2, ai3, และ ai4 แสดงตำแหน่ง PA, PB, PC และ PD ตามลำดับ ดังรูป 3.10 (ข) โดยวัดจากมุมของแผ่นรับแรง และการติดตั้งโหลดเซลล์วงแหวนโดย ai1, ai2, ai3, และ ai4 แสดงตำแหน่ง CA, CB, CC และ CD ตามลำดับ ดังรูป 3.10 (ค) ใช้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดโดยอ้างอิงจากปัญญานิพนธ์ของนายนลธวัช และคณะ [11] ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองการประเมินคุณลักษณะการใช้งานแผ่นวัดแรง โดย ai0, ai1, ai2, และ ai3 แสดงตำแหน่ง RA, RB, RC และ RD ตามลำดับด้วยโปรแกรม Solidworks 2020

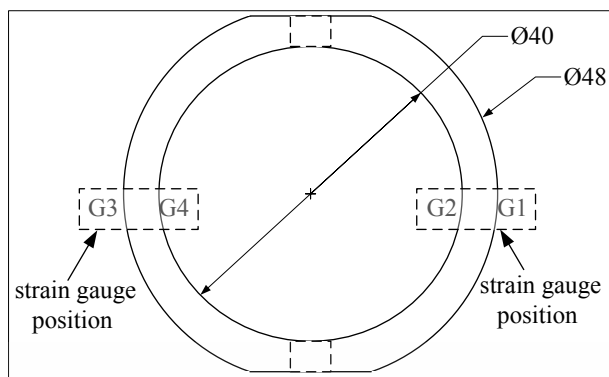
2. วัดขนาดแผ่นเหล็กด้วยตลับเมตรให้ได้ขนาด 300×300 mm² และนำไปตัดด้วยเครื่องกัดตอเนกประสงค์ ดังรูปที่ 3.11

3. วัดตำแหน่งเพื่อเจาะรูโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

4. เจาะรูขนาด 6 mm จำนวน 24 รู บนแผ่นรับแรงทั้ง 2 แผ่น

5. พ่นสีแผ่นรับแรง และติดตั้งโหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โหลดเซลล์วงแหวน



รูปที่ 3.2 โหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐาน



รูปที่ 3.3 Amplifier Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Cable Gland PG 7



รูปที่ 3.5 บัสบาร์ทองเหลือง บาร์กราวด์



รูปที่ 3.6 กล่องกันน้ำ 6x8 Nano

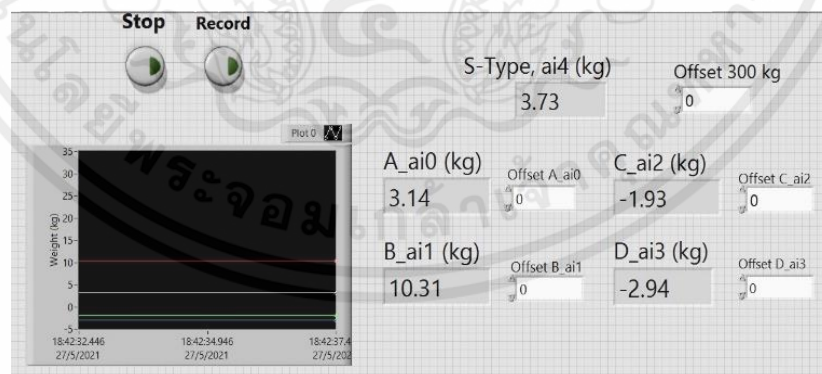
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 STEP – UP DC – DC 150 W 12-35 V

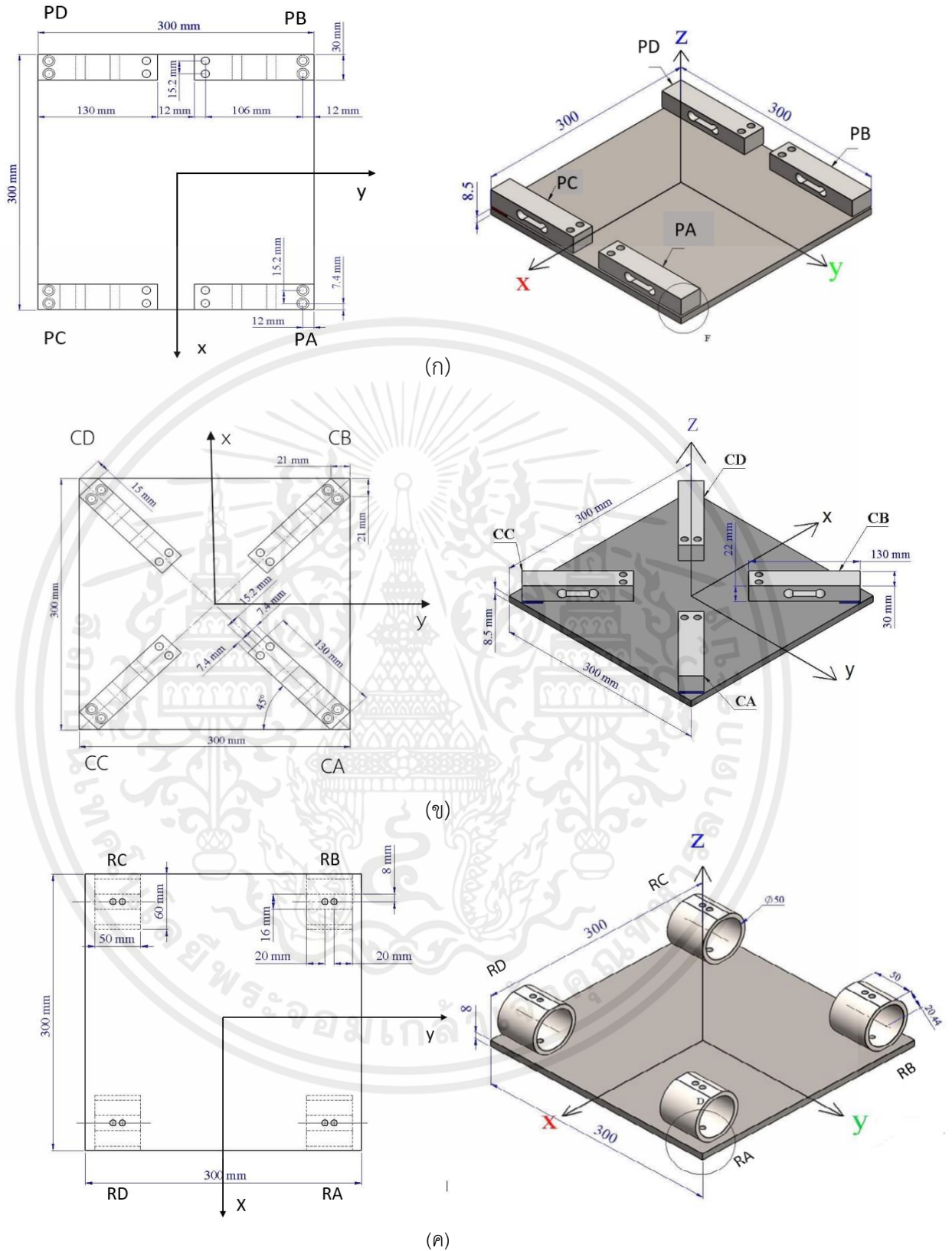


รูปที่ 3.8 NI – USB 9001



รูปที่ 3.9 โปรแกรม LabVIEW 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งยึดเจาะรูโหลดเซลล์บนแผ่นวัดแรง (ก) แผ่นวัดแรงสำหรับติดตั้งโหลดเซลล์มาตรฐานแบบขนาน (ข) แผ่นวัดแรงสำหรับติดตั้งโหลดเซลล์มาตรฐานแบบเอียง 45° (ค) แผ่นวัดแรงสำหรับติดตั้งโหลดเซลล์วงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตัดแผ่นรับแรงให้ได้ขนาด $300 \times 300 \text{ mm}^2$

3.2 หัวกด

ในการทดสอบแรงบนแผ่นวัดแรงนั้น ต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษในการทดสอบ เนื่องจากจุดที่ได้กระทำทดสอบเป็นแบบจุดขนาดเล็กจึงต้องใช้อุปกรณ์ชนิดหัวกดในการทดสอบ เพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบและความแม่นยำ

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กนำศูนย์ ยี่ห้อ META 1/32” ดังรูปที่ 3.12 เพื่อใช้ในการทดลองกดแรงแนวตั้ง เมื่อนำเหล็กนำศูนย์มาทำหัวกดจะทำให้เมื่อใส่แรงเพิ่มขึ้นหัวกดจะไม่เปลี่ยนรูป เนื่องจากเหล็กนำศูนย์ มีคุณสมบัติที่แข็งทนต่อน้ำหนักที่กระทำ
2. เหล็กแท่งกลม ดังรูปที่ 3.13 สำหรับกลึงแล้วนำมาอัดเข้ากับเหล็กนำศูนย์เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับโหลดเซลล์มาตรฐานรูปตัว S ได้

3.2.2 วิธีการดำเนินการ

1. นำเหล็กนำศูนย์มาลดขนาดของหัวโดยการกลึงให้ได้ขนาด 1 mm ดังรูปที่ 3.14 (ก)
2. นำเหล็กเพลาดัน มากกลึงให้ได้ขนาดพร้อมกับทำปลอกสวมอัดเพื่อสวมให้กับโหลดเซลล์มาตรฐานชนิด S ดังรูปที่ 3.14 (ข)
3. เจาะรูเหล็กเพลาดันอีกด้านเพื่อให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับความโตของเหล็กนำศูนย์ เพื่อจะนำไปสวมอัดกับเหล็กนำศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อนำเหล็กเพลตั้นสวมอัดกับเหล็กนำศูนย์และ ก็จะได้หัวกดที่มีความแข็งแรง เพื่อนำไปใช้ทดลองในแนวตั้ง ดังรูป 3.14 (ค)



รูปที่ 3.12 เหล็กนำศูนย์



รูปที่ 3.13 เหล็กแทงกลม



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.14 รายละเอียดหัวกด (ก) หัวกดขนาด 1 mm (ข) ด้ามสวมกับโพลดเซลล์มาตรฐานชนิด S
(ค) หัวกดพร้อมใช้ในการทดลองในแนวดิ่ง

3.3 สอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวดิ่ง

การสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนในแนวดิ่งเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันขาออกและค่าน้ำหนักมาตรฐาน จะทำการสอบเทียบวงแหวนทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งจะสอบเทียบด้วยโพลดกระทำตั้งแต่ 0 – 30 kg

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. โพลดเซลล์วงแหวน จำนวน 4 ตัว
2. แม่แรง ใช้ใส่แรงขณะทดลองโดยการหมุนเกลียวเพื่อให้เกิดการกดน้ำหนักในแนวดิ่งพิกัดน้ำหนัก 2T
3. คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผลการทดลอง
4. โปรแกรม LabVIEW 2014 ใช้เขียนโปรแกรมในการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ออกมาจากโพลดเซลล์เปลี่ยนเป็นน้ำหนัก
5. แบตเตอรี่รถยนต์แบบกึ่งแห้ง ยี่ห้อ GS รุ่น 46B24L-MF ขนาด 12V. 45A. ใช้จ่ายกระแสไฟให้กับโพลดเซลล์และ NI – USB 9001
6. อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล NI-9205 เป็นอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออก ประมวลผลเร็วเพราะถูกออกแบบมาเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าทุกประเภท จำนวนช่องสัญญาณ 16/32 มีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำ 0 V min, 0.34 V max แรงดันไฟฟ้าสูง 2.0 V min, 3.3 V max ความละเอียดของ ADC = 16 bits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โหลดเซลล์มาตรฐานชนิด S ยี่ห้อ Zega รุ่น Keed-300 kg (พิกัดน้ำหนัก 300 kg, Total error $\pm 0.02\%$ F.S., Sensitivity 2.0 ± 0.003 mV/V) ใช้วัดค่าน้ำหนักที่กดจริง
8. ระดับน้ำ ดังรูปที่ 3.15 เพื่อการตั้งระดับแผ่นรับแรงและแม่แรงให้เรียบได้ระดับ

3.3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบโหลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง

1. นำโหลดเซลล์วงแหวนและโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งดังรูป 3.16 จากนั้นต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
2. ต่อแบตเตอรี่ คอมพิวเตอร์และโหลดเซลล์มาตรฐาน เข้ากับชุดแปลงสัญญาณ จากนั้นเชื่อมต่อโปรแกรม LabVIEW 2014
3. ทดสอบแผ่นรับแรงด้วยการกดแรงในแนวตั้ง ตั้งแต่ช่วงน้ำหนัก 0 – 5 kg เพิ่มครั้งละ 1 kg ช่วง 5 – 15 kg เพิ่มครั้งละ 2 kg และช่วง 15 – 30 kg เพิ่มครั้งละ 3 kg และลดน้ำหนักลงโดยใช้โหลดกระทำเดียวกัน ดังรูปที่ 3.16
4. ทำซ้ำครบ 3 ครั้งจากนั้นนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้มาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.15 ระดับน้ำ



รูปที่ 3.16 การสอบเทียบโหลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง

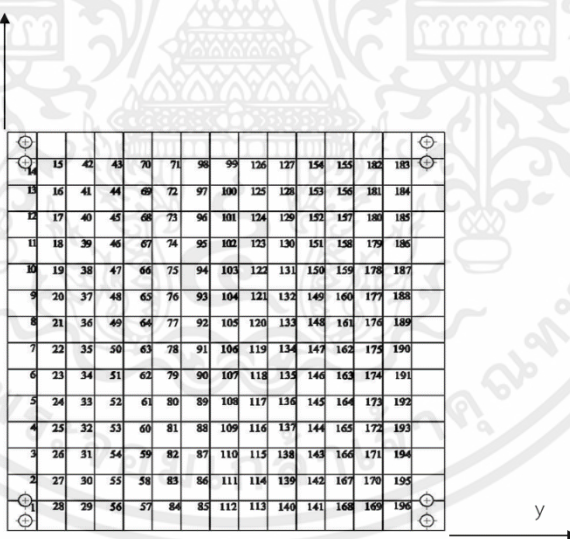
การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในการรับแรงบนแผ่นวัดแรงนั้นจำเป็นต้องอาศัยการทดสอบบนแผ่นวัดแรงด้วยโหลดกระทำในแนวตั้ง 15 และ 30 kg ตามลำดับ

3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

นำโหลดเซลล์มาตรฐานประกอบกับแผ่นรับแรง ติดตั้งบนแม่แรงเพื่อใส่แรงในการทดสอบ ใช้ระดับน้ำตรวจสอบความเอียงของระนาบจากนั้นต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโปรแกรม LabVIEW 2014 และใช้แบตเตอรี่รถยนต์แบบกึ่งแห้ง ยี่ห้อ GS ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล NI-9505 เพื่อขยายสัญญาณให้กับโปรแกรม LabVIEW 2014 และใช้โหลดเซลล์มาตรฐานชนิด S ยี่ห้อ Zaga ในการตรวจเช็คน้ำหนักที่ทดลอง

3.4.2 วิธีการกำหนดจุดทดลอง

1. ออกแบบพื้นที่ในการทดสอบ โดยกำหนดให้ตารางมีขนาด $20 \times 20 \text{ mm}^2$ จะได้จำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 196 จุด ดังรูปที่ 3.17
2. ทำการขีดเส้นตารางโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์



รูปที่ 3.17 พื้นที่ในการทดลอง

3.4.3 ขั้นตอนการหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมที่ 15 และ 30 kg

1. นำชุดอุปกรณ์ทดสอบหัวกดติดตั้งเข้ากับโพลดเซลล์มาตรฐาน และต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ
2. ทำการทดสอบโดยการใส่โพลดกระทำ 15 kg ในแนวตั้ง กับแผ่นรับแรงโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ดังรูปที่ 3.18
3. ทำซ้ำจนครบ 3 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการรับแรง
4. ปรับโพลดกระทำเป็น 30 kg และทำตามข้อ 1 – 3
5. ทำการทดสอบโดยการใส่โพลดกระทำ 15 kg ในแนวตั้ง กับแผ่นรับแรงโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° และทำตามข้อ 1 – 3



รูปที่ 3.18 การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในการรับแรงบนแผ่นวัดแรงในแนวตั้ง

3.5 หาความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และ y ของแผ่นรับแรงทั้ง 3 แบบ

การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวน โพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน และโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน X และแกน y โพลดกระทำตั้งแต่ 0 – 30 kg

3.5.1 วัสดุและอุปกรณ์

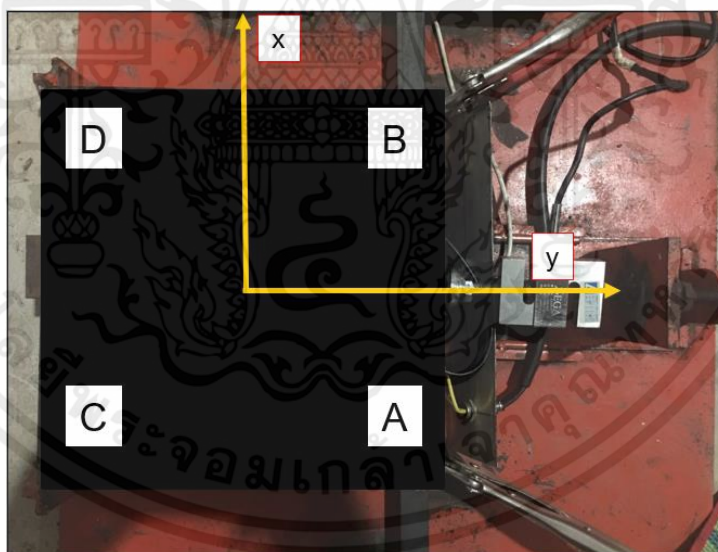
นำโพลดเซลล์วงแหวนประกอบกับแผ่นรับแรง ติดตั้งบนแม่แรงเพื่อใส่แรงในการทดสอบ ใช้ระดับน้ำตรวจสอบความเอียงของระนาบจากนั้นต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโปรแกรม LabVIEW 2014 และใช้แบตเตอรี่รถยนต์แบบกึ่งแห้ง ยี่ห้อ GS ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล NI-9505 เพื่อขยายสัญญาณให้กับโปรแกรม LabVIEW 2014 และใช้โพลดเซลล์มาตรฐานชนิด S ยี่ห้อ Zaga ในการตรวจเช็คน้ำหนักที่ทดลอง

3.5.2 ขั้นตอนการหาความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และแกน y

1. นำชุดอุปกรณ์ทดสอบห้วัดติดตั้งเข้ากับโพลดเซลล์มาตรฐาน และต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ
2. ทดสอบแผ่นรับแรงโพลดเซลล์วงแหวน ดังรูป 3. ด้วยการกดแรงในแนวแกน x ตั้งแต่ช่วงน้ำหนัก 0 – 5 kg เพิ่มครั้งละ 1 kg ช่วง 5 – 15 kg เพิ่มครั้งละ 2 kg และช่วง 15 – 30 kg เพิ่มครั้งละ 3 kg และลดน้ำหนักลงโดยใช้โพลดกระทำเดียวกัน ดังรูปที่ 3.19
3. ทำซ้ำครบ 3 ครั้งจากนั้นนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ได้มาวิเคราะห์ผล
4. ทำซ้ำข้อ 2 และข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นทดสอบแผ่นวัดแรงติดตั้งโพลดเซลล์วงแหวนตามแนวแกน y
5. เปลี่ยนแผ่นวัดแรงจากใช้โพลดเซลล์วงแหวนเป็นโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน และทดสอบซ้ำข้อ 1 – 4
6. เปลี่ยนแผ่นวัดแรงเป็นแบบเซลล์มาตรฐานโดยติดตั้งแบบเอียง 45° ทำซ้ำข้อ 1 – 4



รูปที่ 3.19 การหาความเป็นเชิงเส้นในแนวแกน x และแกน y

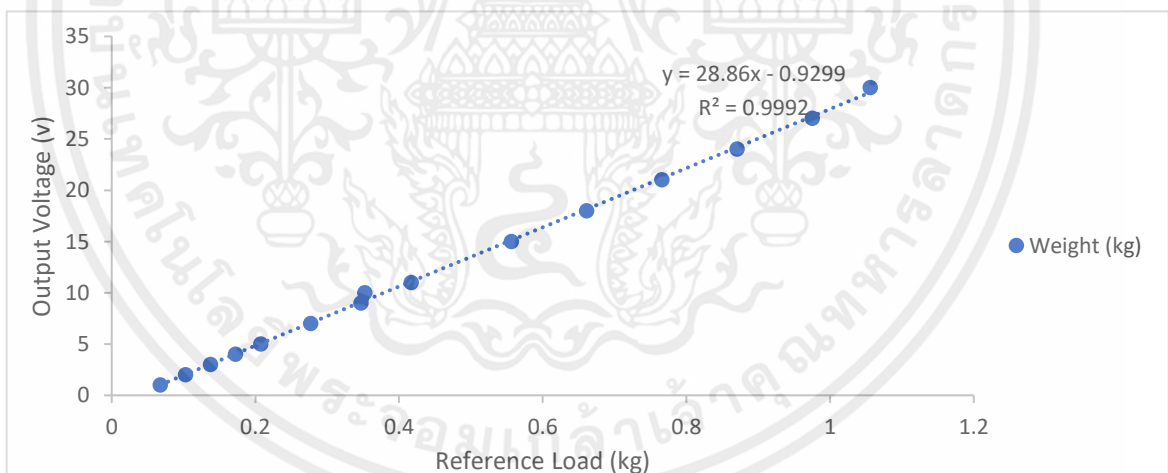
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองจากวิธีดำเนินการในบทที่ 3 ได้แก่ การสอบเทียบโพลีเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรงของโพลีเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนานและโพลีเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวตั้ง และการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลีเซลล์วงแหวน โพลีเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน และโพลีเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน x และแกน y

4.1 ผลการสอบเทียบโพลีเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง

การสอบเทียบโพลีเซลล์วงแหวนเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (kg) กับแรงดันไฟฟ้าขาออก (V) ทำการทดสอบโดยการกดน้ำหนักด้วยแม่แรงในแนวตั้งลงบนโพลีเซลล์วงแหวน ตั้งแต่ช่วงน้ำหนัก 0 – 5 kg เพิ่มครั้งละ 1 kg ช่วง 5 – 15 kg เพิ่มครั้งละ 2 kg และช่วง 15 – 30 kg เพิ่มครั้งละ 3 kg และลดน้ำหนักลงโดยใช้โพลีเซลล์กระทำเดียวกัน ได้ข้อมูลจากการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองสอบเทียบโพลีเซลล์วงแหวนในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการสอบเทียบน้ำหนักที่กระทำลงในแนวตั้งบนโพลีเซลล์วงแหวน นำผลการสอบเทียบที่ได้ไปสร้างกราฟพบว่า แรงดันไฟฟ้าขาออกสัมพันธ์กันกับน้ำหนักที่กระทำลงบนโพลีเซลล์วงแหวนแบบเป็นเชิงเส้น

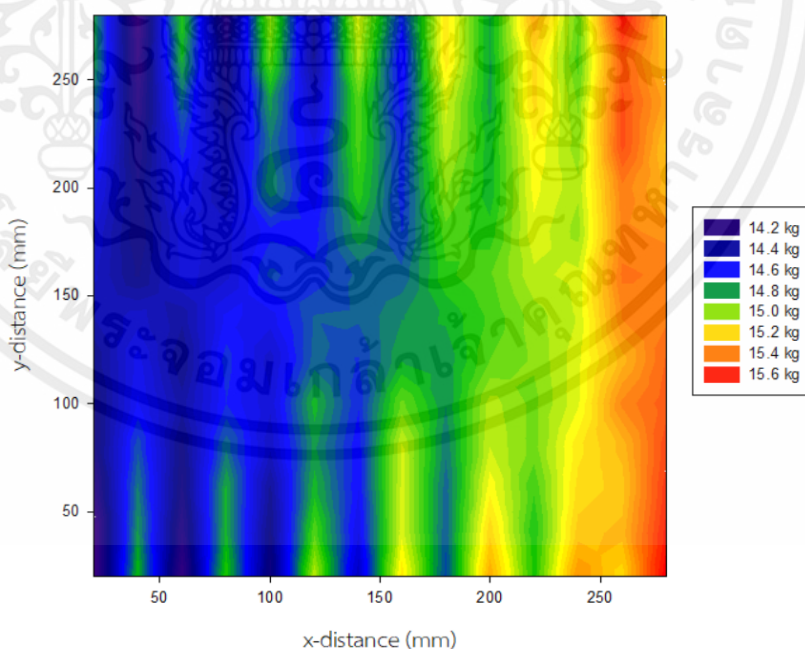
ตารางที่ 4.1 การสอบเทียบก่อนปรับปรุงวงแหวนในแนวตั้ง

Ring Trasducer	RA	RB	RC	RD
Slope (-)	13.1	28.86	24.665	27.21
R ² (-)	0.9999	0.9992	0.9982	0.9991

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวนทั้ง 4 ตัว เมื่อนำผลมาวิเคราะห์นั้นพบว่าโพลดเซลล์วงแหวนตำแหน่ง RA มีค่าความชันอยู่ที่ 13.1 ซึ่งน้อยกว่าโพลดเซลล์วงแหวนตำแหน่ง RB , RC , และ RD ที่มีค่าความชันอยู่ที่ 28.86, 24.665 และ 27.21 ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของโพลดเซลล์วงแหวนตำแหน่ง RA มีค่า 0.9999 ซึ่งมากกว่าโพลดเซลล์วงแหวนตำแหน่ง RB , RC , และ RD ที่มีค่า R² อยู่ที่ 0.9992, 0.9982 และ 0.9991 ตามลำดับ

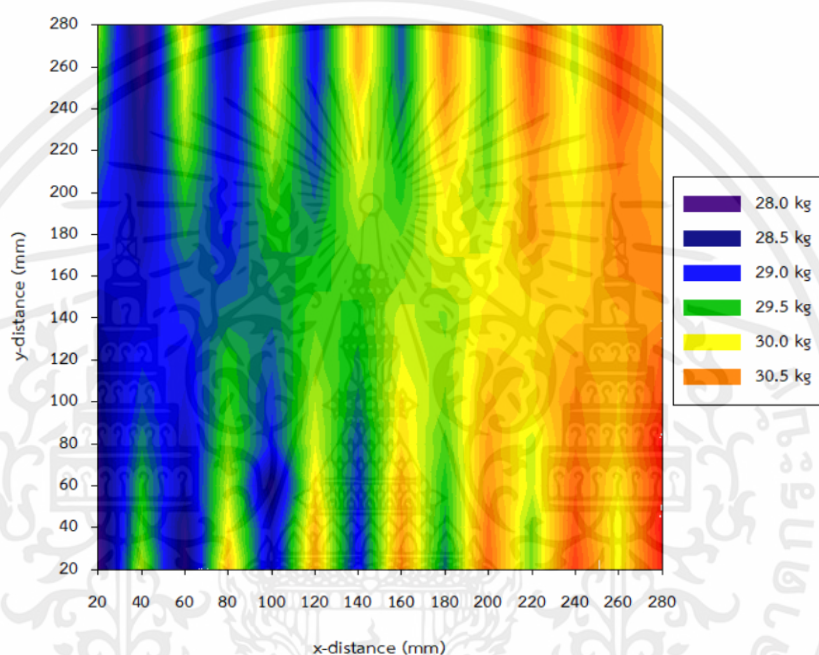
4.2 ผลการหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง

จากการทดสอบโดยการใส่น้ำหนักขนาด 15 kg และ 30 kg ลงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนานและโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวตั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนานที่น้ำหนัก 15 kg

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงพื้นที่รับแรงที่แผ่นวัดแรงวัดได้บนระบบพิกัดที่ได้กำหนดไว้ พบว่ากราฟจะแสดงน้ำหนักที่วัดได้เป็นสีต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบด้วยน้ำหนัก 15 kg บริเวณพื้นที่ที่แสดงในกราฟเป็นสีน้ำเงิน เป็นบริเวณที่โหลดเซลล์อ่านค่าได้น้อยกว่าความเป็นจริง โดยคลาดเคลื่อนไปประมาณ 1 - 2 kg บริเวณพื้นที่ที่แสดงในกราฟเป็นสีแดง เป็นบริเวณที่โหลดเซลล์อ่านค่าได้มากกว่าความเป็นจริง โดยคลาดเคลื่อนไปประมาณ 0.5 kg และบริเวณพื้นที่ที่วัดค่าน้ำหนักได้อย่างแม่นยำที่สุด คือบริเวณที่แสดงในกราฟความชันเป็นสีเขียว และสีเหลือง ซึ่งน้ำหนักที่วัดได้บริเวณนี้จะอยู่ที่ 14.8 - 15.2 kg ซึ่งถือว่าเป็นค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้

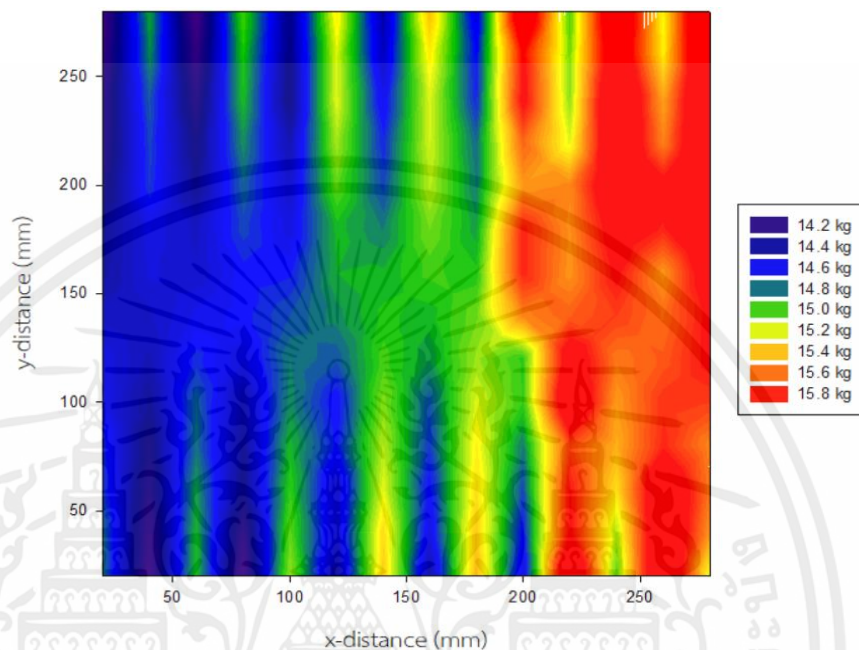


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนานที่น้ำหนัก 30 kg

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงพื้นที่รับแรงที่แผ่นวัดแรงวัดได้บนระบบพิกัดที่ได้กำหนดไว้ พบว่ากราฟจะแสดงน้ำหนักที่วัดได้เป็นสีต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบด้วยน้ำหนัก 30 kg พบว่ามีบริเวณที่อ่านค่าได้น้อยกว่าความเป็นจริงไปถึง 1 - 2 kg โดยในกราฟแสดงเป็นสีน้ำเงิน และมีบริเวณที่อ่านค่าได้มากกว่าความเป็นจริงไปประมาณ 0.5 kg โดยในกราฟแสดงเป็นสีส้ม สำหรับบริเวณที่แสดงสีเขียว และสีเหลือง เป็นบริเวณที่อ่านค่าได้ใกล้เคียงกับแรงที่กดจริงมากที่สุด คือประมาณ 29.5 - 30 kg ซึ่งถือว่าเป็นค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงพื้นที่รับแรงที่แผ่นวัดแรงวัดได้บนระบบพิกัดที่ได้กำหนดไว้ พบว่ากราฟจะแสดงน้ำหนักที่วัดได้เป็นสีต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบด้วยน้ำหนัก 15 kg ซึ่งสังเกตได้ว่า มีบริเวณที่อ่านค่าได้น้อยกว่าความเป็นจริง โดยคลาดเคลื่อนไปประมาณ 0.8 kg ซึ่งแสดงในภาพแสดง

เป็นสีน้ำเงิน และบริเวณที่อ่านค่าได้มากกว่าความเป็นจริง โดยคลาดเคลื่อนไปประมาณ 0.8 kg เช่นกัน ในภาพแสดงเป็นสีแดง บริเวณกลางของแผ่นรับแรงจะเป็นบริเวณที่อ่านค่าได้ใกล้เคียงกับแรงที่ทดสอบคือบริเวณกลางแผ่นรับแรง วัดน้ำหนักได้ประมาณ 14.8 – 15.2 kg เป็นค่าน้ำหนักที่ยอมรับได้ ซึ่งในภาพบริเวณนี้จะแสดงเป็นสีเขียวและสีเหลือง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงพื้นที่รับแรงบนแผ่นวัดแรงโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ที่น้ำหนัก 15 kg

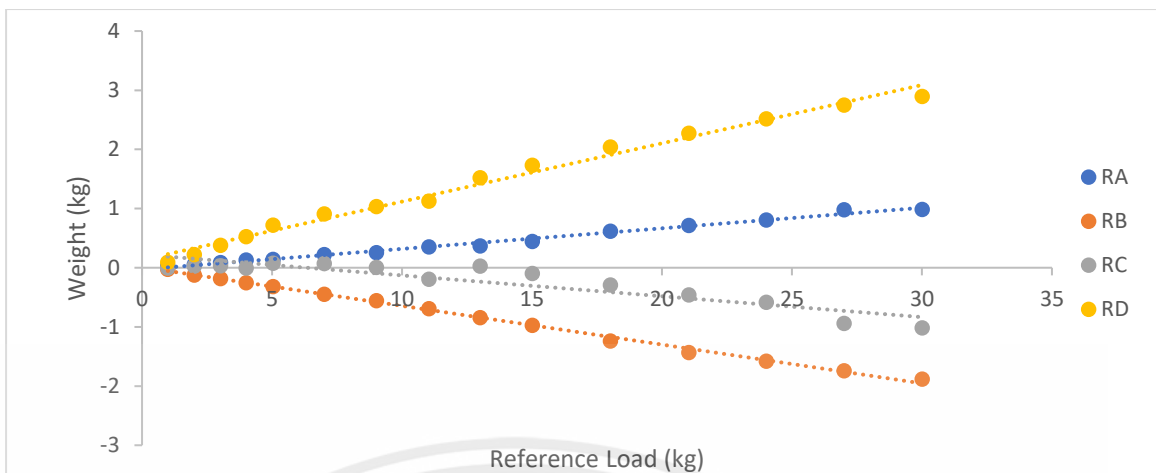
4.3 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของแผ่นวัดแรงในแนวแกน x และ y

4.3.1 ผลการทดสอบโพลดเซลล์วงแหวนติดตั้งกับแผ่นวัดแรง

การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวนที่ติดตั้งกับแผ่นวัดแรงขนาด 300×300 mm² โดยติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองของงานวิจัยในปีที่ผ่านมา[11] โดยทดสอบในแนวแกน x และแกน y ตั้งแต่ช่วงน้ำหนัก 0 – 5 kg เพิ่มครั้งละ 1 kg ช่วง 5 – 15 kg เพิ่มครั้งละ 2 kg และช่วง 15 – 30 kg เพิ่มครั้งละ 3 kg และลดน้ำหนักลงโดยใช้โพลดกระทำเดียวกันได้ข้อมูลจากการทดสอบดังนี้

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์วงแหวนในแนวแกน x นำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ พบว่า น้ำหนักที่โพลดเซลล์อ่านได้มีความสัมพันธ์กับโพลดที่กระทำแบบเป็นเชิงเส้น โดยค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ RA และ RD มีทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกับค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ RB และ RC แต่ค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ไม่ซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

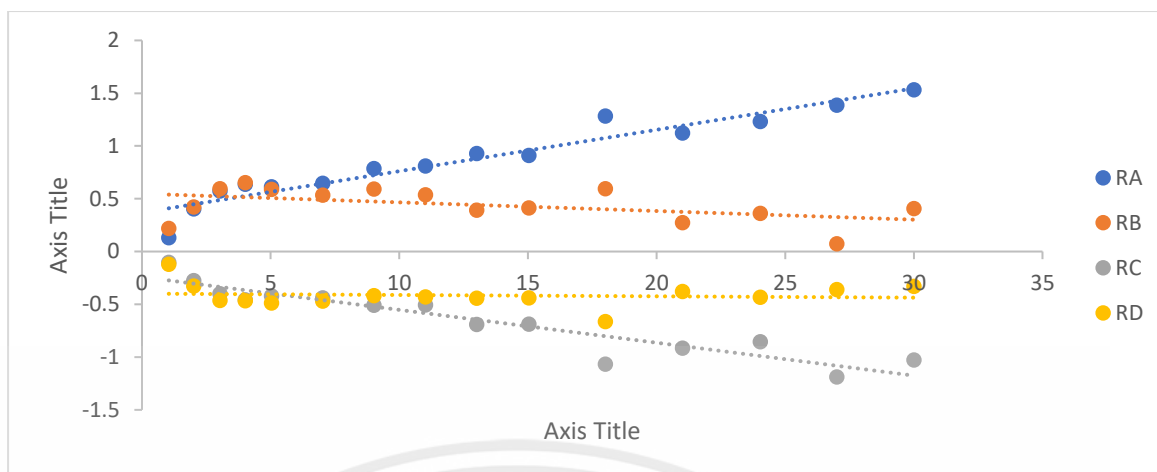


รูปที่ 4.5 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวน แนวแกน x

ตารางที่ 4.2 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน x

Ring Transducer	RA	RB	RC	RD
slope (-)	10.027	-23.862	-15.218	28.524
R ² (-)	0.9881	0.841	0.9970	0.9914
Hysteresis (%)	0.93	0.82	0.48	0.23

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลที่ได้จากการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน x ทั้ง 4 ตัว เมื่อนำผลมา วิเคราะห์นั้นพบว่าโหนดเซลล์ RA และ RD มีค่าความชันอยู่ที่ 10.027 และ 28.524 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่าความชันห่างกันมา โหนดเซลล์ RB และ RC มีค่าความชันอยู่ที่ -23.862 และ -15.218 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่าความชันห่างกันมากเช่นกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของโหนดเซลล์ RC มีค่า 0.9970 ซึ่งมากกว่าโหนดเซลล์ RA , RB , และ RD ที่มีค่า R² อยู่ที่ 0.9881 , 0.841 และ 0.9914 ตามลำดับ สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสนั้นพบว่าโหนดเซลล์ RD มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.23% ซึ่งน้อยที่สุดในโหนดเซลล์ทั้ง 4 ตัว โดยโหนดเซลล์ RA , RB , และ RC มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.93% , 0.82% และ 0.48% ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวน แนวแกน y

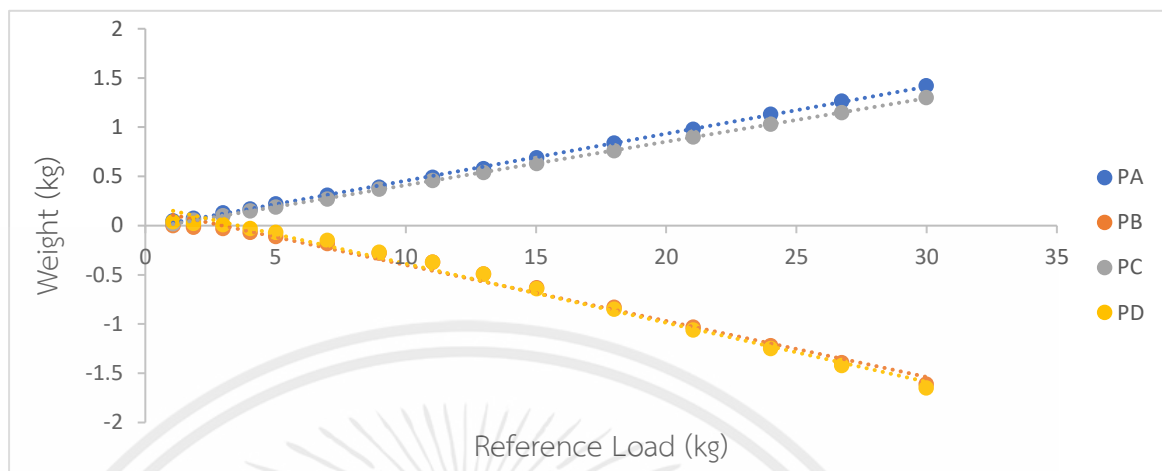
จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน y นำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ พบว่า น้ำหนักที่โหนดเซลล์อ่านได้มีความสัมพันธ์กับโหนดที่กระทำแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยค่าน้ำหนักของโหนดเซลล์ RA และ RB มีทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกับค่าน้ำหนักของโหนดเซลล์ RC และ RD แต่ค่าน้ำหนักของโหนดเซลล์ไม่ซ้อนทับกัน

ตารางที่ 4.3 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน y

Ring Transducer	RA	RB	RC	RD
Slope (-)	23.483	-8.6307	-28.095	-27.284
R^2 (-)	0.9211	0.0108	0.8752	0.2237
Hysteresis (%)	0.98	0.96	1.43	2.23

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลที่ได้จากการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน y ทั้ง 4 ตัว เมื่อนำผลมา วิเคราะห์นั้นพบว่าโหนดเซลล์ RA และ RB มีค่าความชันอยู่ที่ 23.483 และ -8.6307 ซึ่งไม่ไปในทิศทางเดียวกันและค่าความชันห่างกันมาก โหนดเซลล์ RC และ RD มีค่าความชันอยู่ที่ -28.095 และ -27.284 ซึ่งไม่ไปในทิศทางเดียวกันและค่าความชันห่างกันมากเช่นกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของโหนดเซลล์ RA มีค่า 0.9211 ซึ่งมากกว่าโหนดเซลล์ RB , RC , และ RD ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.0108 , 0.8752 และ 0.2237 ตามลำดับ สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสนั้นพบว่าโหนดเซลล์ RB มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.96% ซึ่งน้อยที่สุดในโหนดเซลล์ทั้ง 4 ตัว โดยโหนดเซลล์ RA, RC, และ RD มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.98%, 1.43% และ 2.23% ตามลำดับ

4.3.2 ผลการทดสอบโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนานกับแผ่นวัดแรง



รูปที่ 4.7 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน x

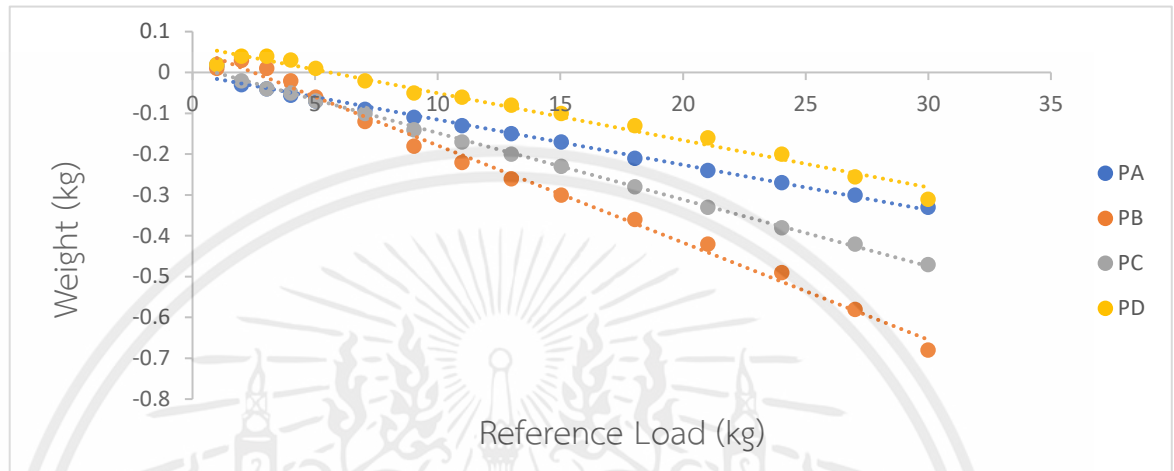
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนานในแนวแกน x เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า น้ำหนักที่โพลดเซลล์แต่ละตัวอ่านได้มีความสัมพันธ์กับโพลดที่กระทำแบบมีความเป็นเชิงเส้นดี โดยค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ตำแหน่ง PA และโพลดเซลล์ตำแหน่ง PC อ่านได้มีทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นค่าบวกและตรงข้ามกับค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ตำแหน่ง PB และโพลดเซลล์ตำแหน่ง PD ที่อ่านได้เป็นค่าลบ ค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ตำแหน่ง PA และโพลดเซลล์ตำแหน่ง PC ซ้อนทับกันดี และค่าน้ำหนักของโพลดเซลล์ตำแหน่ง PB และโพลดเซลล์ตำแหน่ง PD ก็ซ้อนทับกันดีเช่นกัน

ตารางที่ 4.4 การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ในแนวแกน x

Straight Bar Loadcell	PA	PB	PC	PD
Slope (-)	20.929	-17.363	22.643	-16.485
R ² (-)	0.9994	0.9877	0.9999	0.9900
Hysteresis (%)	0.50	0.43	0.40	0.50

จากตารางที่ 4.4 เป็นผลที่ได้จากการหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ในแนวแกน x ทั้ง 4 ตัว เมื่อนำผลมา วิเคราะห์นั้นพบว่าโพลดเซลล์ PB และ PD มีค่าความชันอยู่ที่ -17.363 และ -16.485 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันและค่าความชันใกล้เคียงกันมาก โพลดเซลล์ PA และ PC มีค่าความชันอยู่ที่ 20.929 และ 22.643 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันและค่าความชันใกล้เคียงกันมากเช่นกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของโพลดเซลล์ PC มีค่า

0.9999 ซึ่งมากกว่าโหลดเซลล์ PA , PC , และ PD ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9994, 0.9877 และ 0.9900 ตามลำดับ สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสนั้นพบว่าโหลด C มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.40% ซึ่งน้อยที่สุดในโหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัว โดยโหลดเซลล์ตำแหน่ง PA , PB , และ PD มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.50% ,0.43% และ 0.50% ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แนวแกน y

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนานในแนวแกน y เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ พบว่าน้ำหนักที่โหลดเซลล์มาตรฐานอ่านได้มีความสัมพันธ์กับโหลดที่กระทำแบบเป็นเชิงเส้นแต่ผิดทิศทางโดยค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ PA , PB , PC และ PD มีผลเป็นติดลบ และไม่ซ้อนทับกัน

ตารางที่ 4.5 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ในแนวแกน y

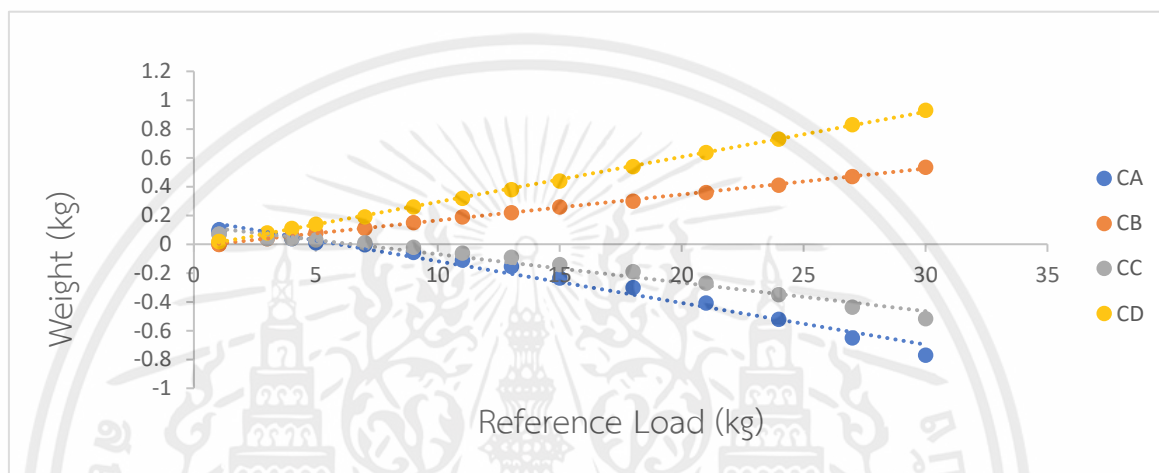
Straight Bar Loadcell	PA	PB	PC	PD
slope (-)	-61.157	-89.537	-85.113	-41.777
R^2 (-)	0.9980	0.9910	0.9817	0.9936
Hysteresis (%)	0.03	0.10	0.33	0.36

จากตารางที่ 4.5 เป็นผลที่ได้จากการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ในแนวแกน y พบว่าโหลดเซลล์ตำแหน่ง PA โหลดเซลล์ตำแหน่ง PB โหลดเซลล์ตำแหน่ง PC และโหลดเซลล์ตำแหน่ง PD มีค่าติดลบทั้งหมด โดยมีความชันอยู่ที่ -61.157, -89.537, -85.113 และ -41.777 ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของโหลดเซลล์ตำแหน่ง PA มีค่า 0.9980 ซึ่งมากกว่าโหลดเซลล์ตำแหน่ง PB, PC, และ PD ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9910, 0.9817

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.9936 ตามลำดับ สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสนั้นพบว่าโหลดเซลล์ PA มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.03% ซึ่งน้อยที่สุดจากโหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัว โดยโหลดเซลล์ตำแหน่ง PB มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.10% โหลดเซลล์ตำแหน่ง PC มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.33% และโหลดเซลล์ตำแหน่ง PD มีค่าฮิสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.36% ตามลำดับ

4.3.3 ผลการทดสอบโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° กับแผ่นวัดแรง



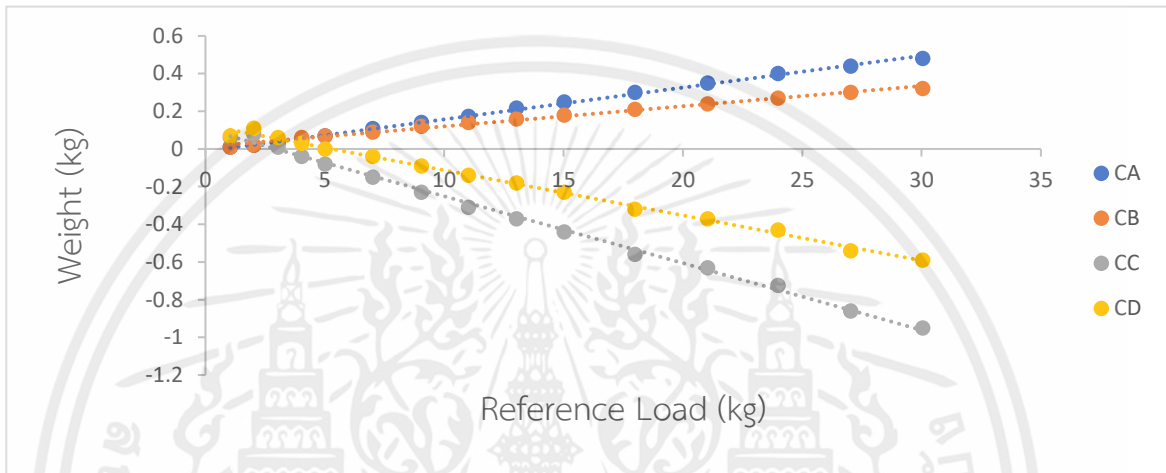
รูปที่ 4.9 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แนวแกน x

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน x นำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ พบว่าน้ำหนักที่โหลดเซลล์อ่านได้มีความสัมพันธ์กับโหลดที่กระทำแบบเป็นเชิงเส้น โดยค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ตำแหน่ง CB และโหลดเซลล์ตำแหน่ง CD มีทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกับค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ตำแหน่ง CA และโหลดเซลล์ตำแหน่ง CC แต่ค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ไม่ซ้อนทับกัน

ตารางที่ 4.6 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน x

Straight Bar Loadcell	CA	CB	CC	CD
slope (-)	-49.263	31.961	-33.868	55.523
R ² (-)	0.9736	0.9995	0.9797	0.9992
Hysteresis (%)	0.40	0.16	0.70	0.56

จากตารางที่ 4.6 พบว่าโหลดเซลล์ CB และ CD มีค่าความชันอยู่ที่ 31.961 และ 55.523 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่าห่างกันมาก โหลดเซลล์ CA และ CC มีค่าความชันอยู่ที่ -49.263 และ -33.868 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่ากันมากเช่นกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของโหลดเซลล์ตำแหน่ง CB มีค่า 0.9995 ซึ่งมากกว่าโหลดเซลล์ CA, CC, และ CD ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9736, 0.9797 และ 0.9992 ตามลำดับ สำหรับค่าฮิสเทอรีซิสนั้น พบว่าโหลดเซลล์ CB มีค่าอยู่ที่ 0.16% ซึ่งน้อยที่สุด โดยโหลดเซลล์ CA, CC, และ CD มีค่าอยู่ที่ 0.40% ,0.70% และ 0.56% ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แนวแกน y

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน y นำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างกราฟ พบว่า น้ำหนักที่โหลดเซลล์อ่านได้มีความสัมพันธ์กับโหลดที่กระทำแบบเป็นเชิงเส้น โดยค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ CA และ CB มีทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกับค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ CC และ CD แต่ค่าน้ำหนักของโหลดเซลล์ไม่ซ้อนทับกัน

ตารางที่ 4.7 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน y

Straight Bar Loadcell	CA	CB	CC	CD
Slope (-)	92.622	59.098	-41.547	-28.059
R^2 (-)	0.9932	0.9980	0.9957	0.9968
Hysteresis error (%)	0.13	0.20	0.40	0.36

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลที่ได้จากการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน y ทั้ง 4 ตัว เมื่อนำผลมา วิเคราะห์นั้นพบว่าโหลดเซลล์ CA และ CB เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าความขัดอยู่ที่ 92.622 และ 59.098 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่าความชันห่างกันมาก โหลดเซลล์ CC และ CD มีค่าความชันอยู่ที่ -41.547 และ -28.059 ซึ่งไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่าความชันห่างกันมากเช่นกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของโหลดเซลล์ CB มีค่า 0.9980 ซึ่งมากกว่าโหลดเซลล์ CA, C, และ CD ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9932, 0.9957 และ 0.9968 ตามลำดับ สำหรับค่าฮีสเทอรีซิสนั้นพบว่าโหลดเซลล์ตำแหน่ง CA มีค่าฮีสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.13% ซึ่งน้อยที่สุดในโหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัว โดยโหลดเซลล์ตำแหน่ง CB, CC, และ CD มีค่า ฮีสเทอรีซิสอยู่ที่ 0.20% ,0.40% และ 0.36% ตามลำดับ

การสอบเทียบโหลดเซลล์วงแหวนในแนวตั้งพบว่าโหลดเซลล์วงแหวนมีความเป็นเชิงเส้นสูง มีค่าความชันใกล้เคียงกันตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูง สามารถนำโหลดเซลล์วงแหวนไปประยุกต์เพื่อใช้งานในแนวตั้งได้ สำหรับการหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมบนแผ่นวัดแรง โดยติดตั้งโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานแบบขนานและแบบเอียง 45° ด้วยโหลดกระทำในแนวตั้ง 15 และ 30 kg พบว่าการติดตั้งโหลดเซลล์แบบขนานมีพื้นที่รับแรงที่อ่านแรงได้ใกล้เคียงกับโหลดที่กระทำมากกว่า การติดตั้งแบบเอียง 45° และการหาความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์วงแหวน โหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน และโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน x และแกน y พบว่า โหลดเซลล์วงแหวนในแนวแกน x มีความเป็นเชิงเส้น แต่ค่าความชันห่างกันมาก และในแนวแกน y ไม่มีความเป็นเชิงเส้น ทำให้ไม่สามารถนำค่าของโหลดเซลล์วงแหวน แกน x และแกน y ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสมการหาแรงและโมเมนต์ของแรงได้ โหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน ในแนวแกน X พบว่ามีความเป็นเชิงเส้น และค่าความชันใกล้เคียงกัน แกน y ไม่มีความเป็นเชิงเส้น ผลการอ่านค่าของโหลดเซลล์ติดลบ ทำให้สามารถนำค่าของโหลดเซลล์โหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แกน x ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสมการหาแรงและโมเมนต์ของแรงได้ โหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แกน x และแกน y มีความเป็นเชิงเส้น แต่ค่าความชันห่างกันมาก ทำให้ไม่สามารถนำค่าของโหลดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แกน x และแกน y ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสมการหาแรงและโมเมนต์ของแรงได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาชนิดและรูปแบบการติดตั้งโพลีเซลล์แกนเดี่ยวที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เพื่อวัดค่าในพิกัดแกนอื่น พบว่า การติดตั้งโพลีเซลล์มาตรฐานแบบแท่งตรง กรณีติดตั้งแบบวางขนานกันและวางชิดขอบนอกสุดของแผ่นวัดแรงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ โดยผลการทดสอบพบว่า ในบริเวณพื้นที่ผิวของแผ่นวัดแรงตามแนวแกน z (กว้าง x ยาว $y = 300 \times 300 \text{ mm}^2$) สามารถใช้วัดค่าได้ทุกตำแหน่ง และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.93% ส่วนผลความเป็นไปได้ของการวัดค่าในแนวแกน x และ y ที่ประเมินจากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการเส้นตรง และความชันของสมการเส้นตรง พบว่า การวัดในแนวแกน x มีความเป็นไปได้ โดยค่า R^2 ของโพลีเซลล์มีค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0.9877 และค่าความชันของโพลีเซลล์ PA, PB, PC และ PD มีค่าความชัน 2 คู่ใกล้เคียงกันแต่แตกต่างกันที่ทิศทางและมีค่าเท่ากับ 20.292, -17.363, 22.643 และ -16.485 ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบของแผ่นวัดแรงติดตั้งโพลีเซลล์วงแหวนและโพลีเซลล์มาตรฐานกรณีวางเอียง 45° พบว่า ไม่มีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เครื่องทดสอบในการทดลองเป็นลักษณะเกลียวหมุนซึ่งทำให้สามารถคลายตัวลงได้ ทำให้น้ำหนักที่กดไปเปลี่ยนแปลงได้ขณะบันทึกผล

5.2.2 เครื่องทดสอบให้ไต่ระดับทำได้ยาก ต้องคอยปรับระดับทุกครั้งที่มีการเคลื่อนย้ายโพลีเซลล์

5.2.3 เนื่องจากโพลีเซลล์วงแหวนเป็นโพลีเซลล์ที่ทำขึ้นมาเอง ทำให้การทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีแท่นระดับชุดทดสอบวัดแรงในแนวตั้งและแนวระดับที่ติดตั้งง่าย เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผ่นวัดแรงเพื่อใช้ในการทดสอบ

5.3.2 ควรปรับปรุงวิธีการใส่โพลีเซลล์เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประหยัดเวลาในการทดสอบ

5.3.3 ควรปรับปรุงโพลีเซลล์วงแหวนให้มีความแม่นยำมากกว่าเดิม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ricardo J. Fernandes, Nuno Viriato and Karla de Jesus. (2016). “Design and construction of a 3D force plate prototype for developing an instrumented swimming start block.” **Faculty of Engineering University of Porto**, February, 6-10.
- [2] Jiwan Kumar Pandit, Prashant B. Kumbhar and S. Kumar. (2015). “Accurate Estimation of Center of Gravity of Spacecraft Electronic Packages - Enhancing their Durability.” **Department of Mechanical Engineering, Bangalore Institute of Technology, Bangalore, India**, May, 3-5.
- [3] Dimitar Stefanov, Alexander Avtanski and Nigel Shapcott. 2015. “The development and testing of a system for wheelchair stability measurement.” **School of Science and Technology, Middlesex University, The Burroughs, London**, August, 3-9.
- [4] Marcelo Guimarães Silva and Henrique Martins Rocha. (2017). “Development of a low cost force platform for biomechanical parameters analysis.” **Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering of Paulo State University** August, 3-6.
- [5] D. Thelen and C. Decker. (2010). “Foot force measurement by a force platform.” **Biomechanics**, September, 1-8.
- [6] George Beckham, Satoshi Mizuguchi and Timothy J. Suchomel. (2014) “Force Plate Use in Performance Monitoring and Sport Science Testing” **Kinetics and Kinematics of Resistance Training Exercises**, January, 1-14.
- [7] Gabriel Anghelache, Raluca Moisescu and Dorin Buretea. (2010). “Measuring system for investigation of tri-axial stress distribution across the tyre–road contact patch.” **University POLITEHNICA of Bucharest**, December, 2-10.
- [8] Omar T. Abdoun and Michael T. Wassick. (2017). “Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.” **Medical Engineering and Physics**. October, 1-7
- [9] Bisták, Brumerčík and Lukáč. (2017) . “Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.” **Scientific Journal of Silesian University of Technology**. October, 2-10

- [10] Jeremy Burn, John Morgan and Clive Wishart. (2005). “Measuring Equine Ground Reaction Forces.” **Department of Mechanical Engineering, Bristol University**, October, 1-6
- [11] นลธวัศ โต้ะสมัน, นันทิชา ทองโปร่ง และดวงฤทัย พรหมสุข (2020). “การประเมินคุณลักษณะการใช้งานแผ่นวัดแรง” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร**. กรกฎาคม, 25-38.
- [12] Applied Measurements Ltd. (2020). **Hysteresis**. เข้าถึงเมื่อ 10 เมษายน 2564. เข้าถึงได้จาก <https://appmeas.co.uk/resources/pressure-measurement-notes/what-are-hysteresis-errors/>
- [13] SUPPORT THAIEASYELEC. (2020). **Load Cell**. เข้าถึงเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://blog.thaieasyelec.com/how-to-use-load-cell-and-hx711-amplifier-module/>
- [14] Pedro Vieira Sarmet Moreira. (2017). “force platform for biomechanical parameters analysis.” **Analysis and Exercise Physiology, Biomedical Engineering Program, Janeiro**, January, 2-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการสอบเทียบโพลดเซลล์วงแหวน

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	RA (V)	RB (V)	RC (V)	RD (V)	RA (V)	RB (V)	RC (V)	RD (V)
1	0.1090	0.0676	0.0740	0.0702	0.1090	0.0676	0.0740	0.0702
2	0.1853	0.1025	0.1153	0.1077	0.1853	0.1025	0.1153	0.1077
3	0.2616	0.1374	0.1566	0.1452	0.2616	0.1374	0.1566	0.1452
4	0.3379	0.1723	0.1979	0.1827	0.3379	0.1723	0.1979	0.1827
5	0.4142	0.2072	0.2392	0.2202	0.4142	0.2072	0.2392	0.2202
7	0.5668	0.2770	0.3218	0.2952	0.5668	0.2770	0.3218	0.2952
9	0.7194	0.3468	0.4044	0.3702	0.7194	0.3468	0.4044	0.3702
10	0.7720	0.3520	0.4130	0.3710	0.7720	0.3520	0.4130	0.3710
11	0.8720	0.4166	0.4870	0.4452	0.8720	0.4166	0.4870	0.4452
15	1.1772	0.5562	0.6522	0.5952	1.1772	0.5562	0.6522	0.5952
18	1.4061	0.6609	0.7761	0.7077	1.4061	0.6609	0.7761	0.7077
21	1.6350	0.7656	0.9000	0.8202	1.6350	0.7656	0.9000	0.8202
24	1.8639	0.8703	1.0239	0.9327	1.8639	0.8703	1.0239	0.9327
27	2.0928	0.9750	1.1478	1.0452	2.0928	0.9750	1.1478	1.0452
30	2.3205	1.0555	1.2070	1.0920	2.3205	1.0555	1.2070	1.0920
30	2.3205	1.0555	1.2070	1.0920	2.3205	1.0555	1.2070	1.0920
27	2.0928	0.9750	1.1478	1.0452	2.0928	0.9750	1.1478	1.0452
24	1.8639	0.8703	1.0239	0.9327	1.8639	0.8703	1.0239	0.9327
21	1.6350	0.7656	0.9000	0.8202	1.6350	0.7656	0.9000	0.8202
18	1.4061	0.6609	0.7761	0.7077	1.4061	0.6609	0.7761	0.7077
15	1.1772	0.5562	0.6522	0.5952	1.1772	0.5562	0.6522	0.5952
11	0.8720	0.4166	0.4870	0.4452	0.8720	0.4166	0.4870	0.4452
10	0.7720	0.3520	0.4130	0.3710	0.7720	0.3520	0.4130	0.3710
9	0.7194	0.3468	0.4044	0.3702	0.7194	0.3468	0.4044	0.3702
7	0.5668	0.2770	0.3218	0.2952	0.5668	0.2770	0.3218	0.2952
5	0.4142	0.2072	0.2392	0.2202	0.4142	0.2072	0.2392	0.2202
4	0.3379	0.1723	0.1979	0.1827	0.3379	0.1723	0.1979	0.1827
3	0.2616	0.1374	0.1566	0.1452	0.2616	0.1374	0.1566	0.1452
2	0.1853	0.1025	0.1153	0.1077	0.1853	0.1025	0.1153	0.1077
1	0.1090	0.0676	0.0740	0.0702	0.1090	0.0676	0.0740	0.0702

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน x

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)
1	0.0314	-0.0252	-0.0048	0.0924	0.0505	-0.0876	0.0248	0.1067
2	0.0519	-0.1248	0.0248	0.2219	0.1100	-0.1800	-0.0052	0.2467
3	0.0852	-0.1857	0.0348	0.3767	0.1495	-0.2543	0.0529	0.4067
4	0.1300	-0.2552	-0.0029	0.5233	0.2100	-0.3924	0.0257	0.6724
5	0.1400	-0.3186	0.0748	0.7190	0.2200	-0.3848	0.0276	0.6681
7	0.2200	-0.4505	0.0695	0.9105	0.2795	-0.5000	-0.0467	0.8114
9	0.2519	-0.5590	0.0057	1.0314	0.3010	-0.6633	-0.0048	1.0843
10	0.3505	-0.6910	-0.1971	1.1238	0.4076	-0.7762	-0.1671	1.1910
11	0.3700	-0.8429	0.0262	1.5205	0.4652	-0.8938	-0.2095	1.3605
15	0.4452	-0.9714	-0.0995	1.7305	0.5167	-1.0033	-0.1952	1.5714
18	0.6181	-1.2371	-0.2900	2.0424	0.7100	-1.1186	-0.6532	1.6191
21	0.7119	-1.4324	-0.4619	2.2748	0.7400	-1.1871	-0.4800	1.9781
24	0.8048	-1.5800	-0.5838	2.5171	0.9190	-1.3224	-0.5300	2.3752
27	0.9767	-1.7419	-0.9414	2.7462	1.0110	-1.4562	-0.6857	2.6390
30	0.9867	-1.8833	-1.0167	2.8938	1.1695	-1.5481	-1.0533	2.6619
30	0.9838	-2.0290	-1.0824	2.9648	1.0776	-1.5829	-0.7181	2.9314
27	0.9029	-1.7724	-0.6429	2.9543	0.9710	-1.4852	-0.5990	2.6495
24	0.8157	-1.5438	-0.8314	2.1967	0.7959	-1.2964	-0.4455	2.2505
21	0.6033	-1.2986	0.0105	2.5562	0.7886	-1.2938	-0.4357	2.2367
18	0.5700	-1.0748	-0.2671	1.8410	0.6690	-1.1790	-0.2252	2.0133
15	0.4057	-0.9176	0.0695	1.7357	0.6362	-1.0852	-0.2133	1.7852
11	0.3114	-0.7795	0.0848	1.4714	0.5657	-1.0367	-0.2148	1.6310
10	0.2400	-0.6890	0.2419	1.3895	0.4619	-0.9300	-0.0671	1.4695
9	0.2629	-0.5295	-0.0152	0.9714	0.3500	-0.7581	-0.0029	1.2643
7	0.2905	-0.5471	0.0405	0.9671	0.2743	-0.5933	0.0595	0.9952

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)
5	0.1938	-0.3290	0.0271	0.6081	0.2419	-0.4538	0.0243	0.7952
4	0.1810	-0.3262	0.0424	0.5557	0.2062	-0.3805	0.0343	0.6686
3	0.1371	-0.2276	0.0024	0.3857	0.1733	-0.3190	-0.0210	0.4976
2	0.1048	-0.1429	-0.0090	0.2276	0.1238	-0.2486	0.0452	0.4552
1	0.0519	-0.0657	0.0162	0.1024	0.0705	-0.1105	-0.0424	0.1781

ตารางที่ ก.3 ผลการหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์วงแหวนในแนวแกน y

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)
1	0.1319	0.2200	-0.1024	-0.1210	-0.1957	0.1752	0.1010	-0.1533
2	0.4029	0.4219	-0.2748	-0.3257	-0.2800	0.3267	0.2381	-0.2590
3	0.5748	0.5962	-0.4000	-0.4629	-0.3119	0.4590	0.4686	-0.3952
4	0.6371	0.6529	-0.4576	-0.4657	-0.4781	0.6071	0.5114	-0.4757
5	0.6119	0.5900	-0.4200	-0.4876	-0.4600	0.6019	0.4910	-0.4867
7	0.6462	0.5338	-0.4381	-0.4700	-0.5400	0.6957	0.4819	-0.4186
9	0.7862	0.5919	-0.5100	-0.4167	-0.6100	0.7652	0.4062	-0.4171
10	0.8114	0.5362	-0.5057	-0.4295	-0.5790	0.8367	0.4619	-0.4067
11	0.9281	0.3914	-0.6919	-0.4414	-1.0129	1.1090	0.1286	-0.3338
15	0.9105	0.4129	-0.6871	-0.4390	-1.3800	1.2624	-0.1524	-0.2981
18	1.2829	0.5948	-1.0667	-0.6643	-1.0700	1.3224	0.1571	-0.2924
21	1.1224	0.2743	-0.9167	-0.3776	-1.7271	1.6219	-0.3057	-0.1838
24	1.2319	0.3614	-0.8538	-0.4324	-1.4200	1.5957	-0.0181	-0.1586
27	1.3862	0.0719	-1.1890	-0.3600	-1.8357	1.8195	-0.1819	-0.1376
30	1.5324	0.4081	-1.0281	-0.3290	-2.3986	2.0552	-0.6733	0.0771
30	1.4252	-0.2629	-1.4590	-0.2219	-2.5200	1.8762	-0.7833	-0.0705
27	1.1800	-0.0062	-1.1200	-0.3214	-2.0500	1.9433	-0.4267	-0.0510
24	1.1829	0.1014	-1.0743	-0.3605	-1.9533	1.8295	-0.4224	-0.0757
21	1.1276	0.2471	-0.8900	-0.3171	-1.3414	1.4729	-0.1143	-0.1600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ)

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)	RA (kg)	RB (kg)	RC (kg)	RD (kg)
15	0.9633	0.2795	-0.7276	-0.3571	-1.0500	1.2671	0.2248	-0.3586
11	0.9038	0.2857	-0.7257	-0.3705	-0.7986	1.0690	0.3219	-0.3619
10	0.8205	0.4157	-0.5852	-0.4176	-1.0605	1.1900	0.2843	-0.4876
9	0.7276	0.3881	-0.6195	-0.4333	-0.7419	0.9567	0.3795	-0.4186
7	0.6524	0.4924	-0.5052	-0.4419	-0.5610	0.7514	0.4362	-0.4043
5	0.6033	0.5362	-0.4205	-0.4529	-0.5581	0.7205	0.4462	-0.4838
4	0.5467	0.5119	-0.4362	-0.4781	-0.4696	0.5958	0.4275	-0.4396
3	0.4214	0.5233	-0.2895	-0.4338	-0.5495	0.6129	0.4619	-0.5024
2	0.3610	0.4224	-0.3276	-0.3333	-0.4100	0.4719	0.3729	-0.3862
1	0.1390	0.0805	-0.1895	-0.1424	-0.1000	0.1795	0.1486	-0.1429

ตารางที่ ก.4 การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวดิ่งโพลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แรง 15 kg

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
1	12.2130	3.3035	1.1500	-2.6000	13.1562	3.2500	0.9500	-2.5300
2	11.6143	3.7900	0.8600	-2.2000	12.3348	3.9186	0.8495	-2.2300
3	11.0100	4.3600	0.5800	-1.7800	11.5729	4.5800	0.6100	-1.8500
4	10.4400	4.9300	0.2200	-1.3300	10.8695	5.1700	0.3300	-1.4000
5	9.7714	5.4800	-0.1100	-0.8710	10.2400	5.7700	-0.0800	-0.9000
6	9.0800	6.0700	-0.3900	-0.4400	9.6500	6.3900	-0.4400	-0.4321
7	8.3100	6.7800	-0.6100	-0.0800	8.7500	7.1500	-0.6500	-0.0700
8	7.5200	7.5100	-0.8200	0.2400	7.9300	7.8900	-0.8500	0.3500
9	6.7248	8.1800	-1.0500	0.6300	7.0900	8.5438	-1.1000	0.7800
10	5.9600	8.8390	-1.2600	1.0100	6.3000	9.3100	-1.3500	1.1600
11	5.2600	9.5400	-1.5400	1.3800	5.4800	10.0486	-1.6064	1.5600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
12	4.5386	10.1952	-1.7600	1.7376	4.7300	10.7700	-1.8500	1.9500
13	3.8085	10.8600	-1.9800	2.1100	4.0400	11.3900	-2.0800	2.2700
14	3.1200	11.4700	-2.2000	2.4100	3.2900	12.1000	-2.3000	2.6465
15	2.7500	10.6100	-1.8200	3.3000	2.9500	11.2674	-1.9500	3.4900
16	3.4700	9.9800	-1.5900	2.9200	3.6100	10.5500	-1.6900	3.1630
17	4.1500	9.3362	-1.3500	2.5933	4.3800	9.9100	-1.4500	2.7800
18	4.8400	8.7300	-1.1300	2.2300	5.1400	9.1400	-1.1900	2.4100
19	5.5752	7.9800	-0.8600	1.8700	5.9200	8.4500	-0.9400	2.0400
20	6.3400	7.3300	-0.6200	1.4900	6.6700	7.7200	-0.6700	1.6500
21	7.1000	6.6600	-0.4200	1.1200	7.4900	7.0200	-0.4400	1.2300
22	7.8105	5.9500	-0.1800	0.7300	8.2500	6.2800	-0.2100	0.8800
23	8.4200	5.3800	0.1900	0.2900	9.0000	5.6400	0.1000	0.3900
24	9.1500	4.8500	0.5100	-0.2300	9.6900	5.0400	0.4600	-0.0800
25	9.7419	4.3100	0.8400	-0.6500	10.3200	4.4800	0.8647	-0.6300
26	10.3500	3.7300	1.1900	-1.0900	11.0025	3.8900	1.1600	-1.0600
27	10.9900	3.2300	1.4700	-1.5500	11.7426	3.2500	1.3600	-1.4800
28	11.6348	2.7300	1.6800	-1.9400	12.4700	2.7100	1.5000	-1.8567
29	10.9852	2.2100	2.3200	-1.3900	11.8453	2.1447	2.2100	-1.3100
30	10.3967	2.6900	2.0400	-0.9300	11.1700	2.7400	2.0300	-0.9300
31	9.7933	3.2105	1.7538	-0.4900	10.4000	3.3395	1.8100	-0.4500
32	9.1200	3.7800	1.4800	-0.0800	9.6600	3.9300	1.4800	0.0000
33	8.5100	4.3100	1.1381	0.4200	9.0100	4.4900	1.1200	0.5209
34	7.8400	4.7700	0.8000	0.9100	8.3723	5.0600	0.7600	1.0300
35	7.2300	5.3200	0.4700	1.3510	7.7100	5.6200	0.3900	1.5800
36	6.6100	5.9300	0.0500	1.9000	7.0300	6.2400	0.0250	2.0900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
37	5.8300	6.5600	-0.2300	2.3400	6.2400	6.9600	-0.2300	2.4600
38	5.1200	7.2200	-0.4500	2.6700	5.4100	7.6000	-0.4500	2.9100
39	4.4152	7.8900	-0.7300	3.0500	4.6900	8.3900	-0.7500	3.3200
40	3.7129	8.4800	-0.9700	3.4800	3.9700	8.9800	-1.0000	3.6791
41	3.0400	9.1200	-1.2200	3.8700	3.2143	9.6700	-1.2700	4.1000
42	2.3833	9.7400	-1.4800	4.2200	2.5200	10.3200	-1.5500	4.4600
43	2.0229	8.8900	-1.1200	5.0781	2.1990	9.4300	-1.1800	5.4000
44	2.7000	8.2800	-0.8400	4.6800	2.8300	8.7623	-0.8800	5.0282
45	3.4000	7.6500	-0.5600	4.3200	3.5600	8.1286	-0.6000	4.6000
46	4.0519	7.0700	-0.3100	3.9000	4.2752	7.4900	-0.3300	4.1700
47	4.7600	6.4100	-0.0600	3.4900	5.0800	6.8200	-0.0400	3.7200
48	5.4800	5.8300	0.1700	3.1400	5.8062	6.1400	0.1900	3.3200
49	6.0900	5.3000	0.5200	2.6600	6.4900	5.4924	0.4700	2.8700
50	6.6910	4.7319	0.9100	2.1314	7.1552	4.9200	0.8995	2.3100
51	7.3200	4.1800	1.3400	1.6200	7.7700	4.3700	1.3100	1.7700
52	7.9071	3.6900	1.6600	1.1200	8.4500	3.8700	1.6700	1.2100
53	8.6095	3.2000	1.9900	0.5700	9.0657	3.2800	2.0110	0.7033
54	9.2000	2.6800	2.3424	0.0700	9.6767	2.8400	2.4800	0.1000
55	9.9650	2.0950	2.7225	-0.5275	10.4476	2.2600	2.7100	-0.3600
56	10.4000	1.6900	2.9700	-0.8800	11.1005	1.6700	2.9300	-0.7500
57	9.6252	1.2700	3.7500	-0.3800	10.3400	1.1481	3.7062	-0.2100
58	9.0219	1.7700	3.4400	0.0700	9.7305	1.6700	3.4000	0.3300
59	8.4000	2.2500	3.1100	0.5900	9.0800	2.2000	3.1181	0.7900
60	7.8400	2.7500	2.7700	1.0900	8.4400	2.7400	2.7300	1.3400
61	7.2300	3.2295	2.3800	1.6500	7.8300	3.2600	2.3700	1.8800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
62	6.6200	3.7100	1.9800	2.1500	7.2200	3.7548	1.9600	2.3905
63	6.0800	4.2148	1.5800	2.6667	6.5600	4.3500	1.5200	3.0100
64	5.4800	4.7300	1.1900	3.2500	5.9600	4.8700	1.0800	3.5700
65	4.8848	5.1900	0.7700	3.7410	5.3200	5.3600	0.6635	4.1500
66	4.3486	5.7400	0.3400	4.3300	4.6200	6.0700	0.3800	4.6100
67	3.6500	6.2800	0.0800	4.7100	3.8219	6.6400	0.1300	5.0300
68	2.9324	6.8400	-0.1700	5.1800	3.1400	7.3100	-0.1600	5.5100
69	2.2900	7.4700	-0.4500	5.6200	2.4700	7.8610	-0.4300	5.9100
70	1.6700	8.0381	-0.7300	6.0100	1.7800	8.5500	-0.7600	6.3867
71	1.2700	7.1700	-0.3400	6.9300	1.3290	7.6152	-0.3500	7.3000
72	1.8600	6.6400	-0.0657	6.4800	2.0400	7.0000	-0.0100	6.8576
73	2.5900	6.0300	0.2200	5.9838	2.7200	6.4200	0.2700	6.3500
74	3.3814	5.3348	0.5490	5.5076	3.4300	5.7490	0.5700	5.9200
75	3.9400	4.9300	0.8000	5.1500	4.1519	5.1700	0.8200	5.4300
76	4.4648	4.4600	1.2200	4.5500	4.7900	4.6600	1.2400	4.8700
77	5.0810	3.9781	1.6890	3.9338	5.3800	4.1690	1.6900	4.2700
78	5.5900	3.5400	2.0700	3.4100	5.9600	3.6500	2.1600	3.6200
79	6.1405	3.0800	2.5100	2.8500	6.5276	3.1600	2.5900	3.0700
80	6.6900	2.5900	2.9500	2.3043	7.1300	2.6900	2.9700	2.4700
81	7.2800	2.1500	3.3200	1.7700	7.7400	2.2100	3.4400	1.8900
82	7.8676	1.6600	3.7000	1.2000	8.3100	1.6700	3.8600	1.3348
83	8.4014	1.2000	4.0624	0.6900	9.0100	1.2000	4.1800	0.7900
84	8.9300	0.7400	4.4514	0.2200	9.4000	0.7700	4.6324	0.2500
85	8.1100	0.3800	5.3424	0.6200	8.5586	0.3800	5.6305	0.6500
86	7.6600	0.7800	4.9100	1.1700	8.1800	0.7400	5.1600	1.2300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
87	7.1200	1.2100	4.5200	1.7100	7.5900	1.1710	4.6900	1.8800
88	6.5400	1.6700	4.0800	2.2800	6.9900	1.7200	4.2200	2.4700
89	5.9514	2.1957	3.5643	2.8943	6.4100	2.1600	3.8200	3.0900
90	5.4790	2.5900	3.1700	3.3962	5.8817	2.6700	3.2994	3.6400
91	4.9071	3.0000	2.7700	4.0100	5.3100	3.1200	2.8900	4.3000
92	4.3610	3.4400	2.3100	4.5800	4.6900	3.5800	2.4100	4.9200
93	3.7462	3.9795	1.7724	5.2962	4.1600	4.0900	1.8900	5.5300
94	3.3210	4.3600	1.4000	5.7900	3.5700	4.5300	1.4300	6.1300
95	2.7338	4.8300	0.9186	6.4195	3.0100	5.0000	0.9900	6.7600
96	2.1785	5.2200	0.6200	6.8900	2.3300	5.6000	0.7000	7.2600
97	1.4657	5.8771	0.2971	7.3724	1.7200	6.1400	0.4000	7.6300
98	0.8900	6.3400	0.0343	7.8000	0.9700	6.7200	0.0800	8.2200
99	0.6395	5.4414	0.4710	8.5948	0.5800	5.8400	0.4600	9.0800
100	1.3525	4.8550	0.8000	8.0610	1.2600	5.3200	0.7900	8.5400
101	2.1370	4.2820	1.2520	7.3940	1.9200	4.7600	1.1200	8.0900
102	2.6330	3.8945	1.7085	6.8135	2.5800	4.2700	1.5100	7.5000
103	3.0150	3.5455	2.0880	6.2850	3.0800	3.8200	2.0200	6.8700
104	3.6405	3.0040	2.6880	5.4640	3.5837	3.3889	2.5000	6.2000
105	4.3580	2.4250	3.3570	4.6170	4.1000	2.9500	3.0600	5.5300
106	5.1685	1.7780	4.0785	3.6655	4.6600	2.5500	3.5300	4.9200
107	5.4985	1.4750	4.4050	3.2600	5.2300	2.0800	4.0300	4.2000
108	5.8700	1.1600	4.7500	2.8400	5.6867	1.6300	4.5067	3.6400
109	5.8700	1.1600	4.7500	2.8300	6.2600	1.1700	4.9900	2.9900
110	6.5495	0.5990	5.4095	2.0162	6.8000	0.7700	5.5000	2.3200
111	7.1575	0.1075	6.1415	1.1400	7.2655	0.4200	6.0300	1.6600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
112	6.6267	-0.2086	6.9571	1.2371	7.7400	0.0100	6.6752	0.9500
113	6.1590	-0.1020	6.8810	1.7300	6.8100	-0.2600	7.5000	1.3500
114	5.8357	0.1629	6.4129	2.2771	6.3700	0.0700	6.9800	2.0300
115	5.5710	0.3562	6.0776	2.6914	5.9400	0.3800	6.4652	2.7200
116	4.9900	0.8467	5.2400	3.6533	5.5200	0.7500	5.8100	3.4300
117	4.7524	1.0300	4.9600	4.0200	5.0200	1.1000	5.1800	4.2000
118	4.2643	1.4119	4.4538	4.6400	4.6000	1.5300	4.6400	4.8500
119	3.7952	1.8000	3.9629	5.2500	4.0800	1.9200	4.1500	5.5200
120	3.3000	2.2100	3.4600	5.9000	3.5900	2.3200	3.6500	6.1453
121	2.8210	2.6119	2.9400	6.5333	3.0600	2.7500	3.0800	6.9000
122	2.3200	3.0100	2.4200	7.2200	2.5300	3.1511	2.5700	7.5900
123	1.8900	3.3600	1.9700	7.8043	2.0300	3.5000	2.0700	8.2205
124	1.4300	3.7467	1.4467	8.4329	1.5100	3.9959	1.5200	8.9112
125	0.8100	4.2000	1.1100	9.0300	0.8600	4.4900	1.2100	9.4348
126	0.2000	4.6800	0.8000	9.4700	0.2200	4.9800	0.9000	9.9100
127	-0.1900	3.9552	1.1500	10.3581	-0.2000	4.1500	1.2900	10.8500
128	0.4100	3.4400	1.5000	9.8400	0.5000	3.7000	1.6300	10.1700
129	0.8800	3.0900	1.9900	9.1500	1.0100	3.2900	2.0600	9.5700
130	1.3600	2.7500	2.5000	8.4300	1.4500	2.8600	2.6900	8.9300
131	1.8200	2.4000	3.0300	7.7700	1.9300	2.5000	3.2100	8.1900
132	2.2200	2.0200	3.5700	7.1100	2.3900	2.1200	3.7600	7.5000
133	2.6900	1.6800	4.0700	6.4500	2.9000	1.7300	4.3300	6.7800
134	3.1900	1.3138	4.6300	5.7800	3.3800	1.3200	4.9071	6.1000
135	3.6100	0.9400	5.1743	5.1300	3.8400	1.0173	5.4700	5.3500
136	3.9700	0.6200	5.7519	4.4700	4.2500	0.6700	6.1400	4.5900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
137	4.3600	0.3100	6.3767	3.7700	4.6225	0.3400	6.7700	3.8800
138	4.7433	0.0000	6.9600	3.0800	5.0200	0.0000	7.4100	3.1400
139	5.1148	-0.3105	7.5900	2.4000	5.4054	-0.3200	8.0054	2.4300
140	5.4600	-0.6200	8.2200	1.7300	5.7700	-0.6300	8.5800	1.7400
141	4.6000	-0.9600	9.1838	2.0400	4.8200	-0.9972	9.6650	2.0900
142	4.2819	-0.6600	8.5010	2.7200	4.5200	-0.6708	8.9658	2.8000
143	3.9200	-0.3700	7.8900	3.4452	4.2200	-0.3700	8.3300	3.4600
144	3.6024	-0.0800	7.2900	4.1300	3.8000	-0.0500	7.6300	4.2700
145	3.2367	0.2400	6.6000	4.8700	3.4400	0.2800	6.9700	5.0200
146	2.8700	0.5500	5.9500	5.5971	3.0400	0.5900	6.3100	5.8000
147	2.4900	0.8200	5.3600	6.3100	2.6400	0.9100	5.6600	6.5800
148	2.1014	1.1800	4.7400	7.0100	2.2800	1.2200	5.0200	7.3300
149	1.6500	1.5200	4.1600	7.7400	1.8400	1.5500	4.4100	8.0900
150	1.2500	1.8600	3.5700	8.4133	1.3700	1.9200	3.8000	8.8500
151	0.8305	2.1900	2.9900	9.1043	0.9200	2.3000	3.1800	9.5500
152	0.4200	2.4800	2.4700	9.8067	0.4800	2.6100	2.6600	10.2400
153	-0.0100	2.7800	1.9100	10.5000	0.0700	2.9600	2.0800	10.9300
154	-0.5100	3.1900	1.5200	11.0900	-0.5500	3.3600	1.6900	11.6100
155	-0.8967	2.4900	1.8900	11.8400	-0.8900	2.7000	2.0400	12.3600
156	-0.3500	2.1000	2.2800	11.1900	-0.3500	2.2700	2.4600	11.6900
157	0.0400	1.8100	2.8695	10.4538	0.1000	1.9400	3.0900	10.8900
158	0.4543	1.4800	3.5429	9.6700	0.4300	1.6500	3.6700	10.2600
159	0.8333	1.1500	4.3233	8.7652	0.8200	1.3600	4.4000	9.3600
160	1.1657	0.8986	4.9505	8.0500	1.1700	1.0700	5.0853	8.5700
161	1.5329	0.6343	5.6000	7.2767	1.5700	0.7900	5.7706	7.7617
162	1.8281	0.3786	6.2114	6.6329	1.9000	0.4808	6.5000	7.0100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
163	2.1167	0.1167	6.7938	5.9552	2.2900	0.2000	7.1147	6.2300
164	2.4581	-0.1638	7.4957	5.2200	2.6200	-0.1200	7.8200	5.4200
165	2.7686	-0.4400	8.1100	4.5400	2.9800	-0.4300	8.5876	4.6500
166	3.1000	-0.7100	8.7429	3.8200	3.3400	-0.7300	9.2600	3.8600
167	3.4100	-1.0000	9.3995	3.0900	3.6500	-1.0200	9.8959	3.1200
168	3.7562	-1.2800	10.0843	2.3757	3.9200	-1.3100	10.6300	2.4200
169	2.8867	-1.4600	11.0200	2.7300	3.1000	-1.6300	11.5900	2.7400
170	2.6500	-1.1900	10.3133	3.4800	2.8300	-1.3800	10.8964	3.4400
171	2.3386	-0.9200	9.6400	4.1600	2.4900	-1.1100	10.2000	4.2500
172	2.0700	-0.6400	8.9790	4.8452	2.2000	-0.8100	9.4300	5.0200
173	1.6905	-0.3600	8.3200	5.7200	1.8800	-0.5200	8.7100	5.8000
174	1.3600	-0.0800	7.5800	6.4000	1.5500	-0.2200	8.0000	6.6181
175	0.9700	0.3000	6.6733	7.4200	1.1900	0.0800	7.2300	7.4300
176	0.7100	0.4800	6.2400	7.9800	0.8200	0.3400	6.5500	8.2148
177	0.3800	0.7600	5.5100	8.7200	0.4700	0.6400	5.8100	9.0600
178	0.0500	1.0371	4.7700	9.5300	0.1100	0.9300	5.0900	9.8800
179	-0.3133	1.3576	3.9905	10.4652	-0.1900	1.2200	4.3400	10.7200
180	-0.5400	1.5533	3.4400	11.0371	-0.5400	1.4600	3.7000	11.4800
181	-0.8500	1.7700	2.7800	11.7600	-0.8800	1.6900	3.0300	12.2900
182	-1.2500	2.0300	2.2710	12.5600	-1.2500	1.9900	2.4400	13.0133
183	-1.7400	1.6700	2.7800	12.9267	-1.7300	1.6000	2.9500	13.4367
184	-1.4900	1.4400	3.4000	12.2300	-1.4500	1.3665	3.6400	12.6400
185	-1.1800	1.1986	4.0700	11.4567	-1.1900	1.1200	4.3400	11.9100
186	-0.8757	0.9300	4.7600	10.6900	-0.8400	0.8500	4.9900	11.1000
187	-0.5429	0.6171	5.5486	9.8429	-0.5300	0.5600	5.8100	10.2829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
188	-0.2600	0.3600	6.2000	9.1438	-0.2210	0.2500	6.5300	9.4900
189	0.0405	0.0900	6.8781	8.3800	0.1000	-0.0200	7.2889	8.6989
190	0.4100	-0.1900	7.6300	7.5395	0.4500	-0.3200	8.0700	7.8500
191	0.7100	-0.4529	8.3200	6.7700	0.7900	-0.6100	8.8200	7.0200
192	1.0200	-0.7400	9.0000	5.9800	1.1100	-0.8700	9.5000	6.2000
193	1.3000	-1.0100	9.7100	5.2300	1.4100	-1.1800	10.2900	5.3700
194	1.6100	-1.2800	10.4900	4.4800	1.7100	-1.4500	11.1147	4.5800
195	1.8700	-1.5200	11.1752	3.7100	2.0300	-1.6800	11.7200	3.8000
196	2.1100	-1.7400	11.8381	3.0100	2.3100	-1.9100	12.4700	3.0200

ตารางที่ ก.5 การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบขนาน แรง 30 kg

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
1	24.3862	6.3500	2.0700	-4.8743	24.7200	6.3676	1.6800	-4.8200
2	22.9290	7.4700	1.8000	-4.1729	23.4200	7.5500	1.3600	-4.2300
3	21.6348	8.6024	1.3300	-3.4000	21.8900	8.6500	1.0400	-3.4600
4	20.3486	9.7600	0.8300	-2.6300	20.5929	9.8500	0.5900	-2.7800
5	18.9600	11.1000	-0.3200	-1.9200	19.1600	11.0129	-0.0900	-1.8100
6	17.5500	12.3300	-0.3000	-1.0300	17.8310	12.1700	-0.6900	-0.9700
7	16.0671	13.5210	-0.9100	-0.0900	16.5700	13.3700	-1.3100	-0.0600
8	14.7100	14.8900	-1.6000	0.8000	15.0000	14.7200	-1.8000	0.7700
9	13.4410	16.0900	-2.2000	1.7000	13.5500	15.9710	-2.2500	1.5300
10	11.9810	17.4681	-2.7100	2.4300	12.1000	17.3120	-2.7400	2.2700
11	10.5900	18.8100	-3.1800	3.0900	10.5900	18.7305	-3.2200	3.0900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
12	9.0400	20.2011	-3.6200	3.8600	9.2100	20.0233	-3.6900	3.7700
13	7.7000	21.4500	-4.0500	4.6000	7.8200	21.3438	-4.1471	4.4300
14	6.2800	22.7964	-4.4700	5.2693	6.4000	22.5652	-4.5500	5.2067
15	5.7000	21.2424	-3.8600	6.8600	5.7500	20.9300	-3.8900	6.9300
16	7.0190	19.8100	-3.3900	6.2800	7.1200	19.5600	-3.4200	6.1400
17	8.4500	18.5100	-2.9200	5.5700	8.4900	18.2500	-2.9300	5.4800
18	9.7800	17.2300	-2.4200	4.8133	9.8400	17.0600	-2.4600	4.7000
19	11.0900	15.9524	-1.7700	3.9000	11.3400	15.7200	-1.9400	3.9081
20	12.4200	14.7500	-1.1100	3.0800	12.6905	14.3800	-1.4400	3.1900
21	13.6800	13.5700	-0.4700	2.2000	14.0600	13.1100	-0.8481	2.3000
22	15.0481	12.3562	0.2000	1.2700	15.3257	12.0162	-0.1400	1.3700
23	16.3076	11.1300	0.8600	0.3529	16.7400	10.8000	0.5100	0.4900
24	17.7414	9.9500	1.4500	-0.5400	18.1195	9.7000	1.1200	-0.4700
25	18.9805	8.7600	2.0500	-1.4100	19.2619	8.5500	1.7700	-1.3290
26	20.3676	7.6729	2.6100	-2.3300	20.5400	7.6400	2.3200	-2.2600
27	21.6562	6.4600	3.0200	-3.0100	21.9367	6.3957	2.7200	-2.9905
28	23.1510	5.3281	3.2800	-3.7500	23.3724	5.2300	3.0400	-3.6900
29	21.9890	4.3600	4.5900	-2.7200	22.2305	4.2800	4.3233	-2.6600
30	20.5800	5.5195	4.2300	-1.9900	20.7867	5.2771	4.1500	-1.9700
31	19.1362	6.6400	3.8800	-1.2000	19.4000	6.7100	3.7700	-1.1300
32	17.9000	7.7671	3.2400	-0.3200	17.9976	7.8200	3.1000	-0.2600
33	16.6133	8.8900	2.5600	0.6200	16.8900	8.7900	2.5400	0.6600
34	15.1900	10.0100	1.9700	1.5700	15.5767	9.9029	1.8000	1.6800
35	13.9300	11.1400	1.3300	2.5300	14.3057	10.9967	1.1700	2.6500
36	12.5176	12.2600	0.6600	3.5400	13.0057	12.1667	0.4800	3.6500
37	11.3205	13.4500	-0.0400	4.5300	11.7300	13.3200	-0.2300	4.5600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
38	10.1700	14.4900	-0.6900	5.3752	10.5100	14.4800	-0.9300	5.4800
39	8.9200	15.6844	-1.3900	6.3206	9.0500	15.8900	-1.4700	6.3700
40	7.6500	16.9600	-2.1100	7.2700	7.5976	17.1671	-2.0100	7.1400
41	6.3900	18.0900	-2.5900	7.9329	6.2800	18.3976	-2.5100	7.9100
42	5.1400	19.2900	-3.1229	8.7300	5.0400	19.5400	-3.0000	8.6857
43	4.3000	17.7300	-2.3800	10.4900	4.3100	17.9600	-2.3100	10.4300
44	5.6600	16.4100	-1.8400	9.6600	5.6100	16.7248	-1.7600	9.5600
45	6.9300	15.2790	-1.2700	8.8400	6.9600	15.3800	-1.2300	8.7748
46	8.0900	14.1529	-0.5600	7.8900	8.1600	14.2200	-0.6400	8.0100
47	9.2733	13.1067	0.1400	6.9100	9.4700	13.1200	0.0300	6.9900
48	10.5200	11.9800	0.9200	5.9300	10.7000	12.0100	0.7800	6.1000
49	11.7000	10.9500	1.6000	4.8900	11.9700	10.9200	1.4700	5.0100
50	13.0000	9.7819	2.3200	3.8700	13.1800	9.7900	2.2200	4.0000
51	14.2600	8.6500	3.0200	2.9500	14.4200	8.7500	2.9100	2.9500
52	15.4881	7.6000	3.6900	1.8919	15.7700	7.6800	3.6500	1.9300
53	16.7076	6.5600	4.3900	0.9700	16.8867	6.7181	4.2300	1.0300
54	18.0500	5.5557	5.0100	-0.0500	18.3300	5.7000	4.9200	-0.1200
55	19.4181	4.5900	5.4000	-0.9300	19.5681	4.6700	5.3800	-0.8800
56	20.7981	3.4000	5.8000	-1.7100	21.0195	3.5100	5.7524	-1.7200
57	19.4000	2.4300	7.3200	-0.5800	19.5233	2.5600	7.2300	-0.6200
58	18.0595	3.4600	6.7900	0.2500	18.0929	3.6100	6.7600	0.3000
59	16.7205	4.5300	6.3600	1.1800	16.2190	4.4300	6.0000	1.1000
60	15.4619	5.5900	5.7300	2.0700	15.6200	5.6700	5.6400	2.1200
61	14.2410	6.5400	5.0500	3.0900	14.3600	6.6800	4.9000	3.1800
62	13.0481	7.5400	4.3248	4.1600	13.2100	7.6300	4.1900	4.1600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
63	13.0319	7.5376	4.3200	4.1500	12.0514	8.6305	3.4000	5.3133
64	11.8100	8.6200	3.5300	5.2100	10.8800	9.7000	2.5900	6.3014
65	10.6119	9.5900	2.8200	6.2600	9.6500	10.7600	1.8500	7.3600
66	9.4881	10.6700	2.0300	7.2190	8.4800	11.8000	1.0800	8.3900
67	8.3300	11.7600	1.2800	8.3100	7.2781	12.7276	0.3600	9.4629
68	7.1143	12.7467	0.5390	9.3314	6.0300	13.8895	-0.3214	10.4800
69	5.9900	13.7500	-0.2800	10.3300	4.7800	15.0900	-0.9300	11.3000
70	4.8019	14.7400	-0.9500	11.3200	3.4333	16.1967	-1.5000	12.2381
71	3.4700	15.8500	-1.5100	12.3700	2.6200	14.4500	-0.6400	14.0300
72	2.6729	14.1900	-0.7600	14.0857	3.8700	13.4200	-0.0500	13.0900
73	3.9200	13.2481	-0.0500	12.9752	5.1500	12.2481	0.5400	12.0800
74	4.9900	12.2700	0.7800	11.8100	6.3200	11.3100	1.3400	10.9700
75	6.1500	11.3400	1.5200	10.7800	7.4700	10.3838	2.0900	9.8700
76	7.2100	10.3700	2.3400	9.7300	8.7100	9.4038	2.8800	8.6700
77	8.2900	9.4100	3.1643	8.6600	9.7710	8.4000	3.8100	7.6500
78	9.4990	8.4400	3.9100	7.5290	10.9338	7.4867	4.6495	6.4700
79	10.6400	7.5000	4.7500	6.4100	12.0000	6.5186	5.4700	5.3900
80	11.7567	6.5200	5.5824	5.2600	13.1500	5.6000	6.2071	4.2700
81	12.7829	5.6400	6.3200	4.1900	14.1900	4.7600	6.9400	3.2900
82	14.0700	4.6800	7.1700	3.1000	15.5181	3.6614	7.5700	2.2552
83	15.2762	3.7100	7.8200	2.0600	16.8571	2.5900	8.1600	1.2700
84	16.6657	2.6400	8.3900	1.0700	18.1695	1.5900	8.7800	0.3381
85	17.8505	1.6800	9.0000	0.1900	16.2890	0.9500	10.5900	1.1600
86	16.1571	0.8700	10.7200	1.0800	15.2524	1.7400	9.7695	2.2600
87	15.1090	1.8200	9.9400	1.9638	14.1971	2.7038	9.1033	3.2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
88	13.9000	2.7800	9.3300	2.9800	12.8262	3.7000	8.4100	4.2700
89	12.7000	3.8000	8.6200	3.9500	11.8500	4.5738	7.6900	5.3400
90	11.5500	4.6200	7.8300	5.1800	10.7176	5.5600	6.7600	6.5300
91	10.4257	5.5300	6.9900	6.3100	9.6595	6.4400	5.9100	7.6300
92	9.3100	6.5143	6.1000	7.5000	8.5000	7.2900	5.0900	8.8200
93	8.3000	7.3390	5.2857	8.5800	7.4500	8.2300	4.1800	10.0100
94	7.1700	8.3029	4.3800	9.7500	6.4100	9.0800	3.3205	11.2300
95	6.1100	9.2000	3.5400	10.9200	5.2900	9.9800	2.4000	12.4300
96	5.0200	10.0700	2.6900	12.0600	4.2600	10.8100	1.6000	13.5200
97	3.9200	11.0300	1.8100	13.3338	3.1200	11.8438	0.8200	14.6700
98	2.9600	11.7100	0.9900	14.4290	1.8300	12.8400	0.2200	15.6600
99	1.8400	12.6900	0.2000	15.5900	0.9100	11.3000	1.0300	17.3700
100	0.9700	11.1914	0.9600	17.2343	2.2400	10.2295	1.7100	16.1800
101	1.9914	10.2900	1.9200	16.0900	3.3800	9.3700	2.5600	14.9600
102	3.0900	9.4600	2.7500	14.7100	4.3300	8.5800	3.4600	13.7900
103	4.1300	8.6800	3.6500	13.4800	5.3500	7.8400	4.3900	12.5200
104	5.1200	7.8200	4.6100	12.3300	6.3400	6.9948	5.3400	11.2700
105	6.0700	7.1129	5.5500	11.1971	7.3600	6.1700	6.2552	10.0005
106	7.1500	6.1900	6.5900	9.7500	8.3600	5.3200	7.1900	8.8200
107	8.2300	5.4400	7.3714	8.5000	9.4600	4.5224	8.0700	7.6000
108	9.2119	4.5300	8.3300	7.3043	10.4700	3.6300	9.0300	6.4100
109	10.1895	3.6800	9.2400	6.1824	11.5410	2.7700	9.8800	5.2800
110	11.3376	2.8500	10.0700	4.9900	12.7000	1.8300	10.5200	4.2300
111	12.4957	1.8400	10.8400	3.9100	13.7310	0.9800	11.3952	3.0429
112	13.5714	0.9500	11.5610	2.9300	14.6167	0.3100	12.5000	1.8000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
113	14.6300	0.2000	12.4500	1.7600	12.8200	-0.3200	14.4800	2.4300
114	13.0400	-0.3300	14.2400	2.3300	11.9900	0.3400	13.3100	3.8000
115	12.2305	0.2800	13.2300	3.6300	11.2400	0.9500	12.2333	5.0800
116	11.2700	1.0700	12.2600	4.8186	10.2400	1.8000	11.3810	6.2700
117	10.1000	1.9900	11.5062	5.9500	9.2424	2.6100	10.4600	7.5133
118	9.0362	2.8619	10.5776	7.0767	8.2300	3.4200	9.4981	8.7500
119	8.0400	3.6700	9.6300	8.3600	9.1600	2.6700	10.2900	7.5300
120	7.0000	4.4000	8.6776	9.5600	6.2200	4.9800	7.6000	11.2619
121	6.0600	5.1976	7.6800	10.8652	5.1900	5.8600	6.5100	12.5700
122	5.0000	5.9500	6.6810	12.2200	4.1800	6.6400	5.4800	13.8600
123	4.1000	6.6700	5.7300	13.4776	3.3100	7.3348	4.5100	15.1833
124	3.1200	7.3700	4.6900	14.9800	2.3600	8.0800	3.5000	16.5700
125	2.2500	8.1000	3.7000	16.2010	1.4300	8.7500	2.5900	17.8886
126	1.2400	8.7752	2.7500	17.4648	0.2300	9.7300	1.9000	18.9200
127	0.2600	9.5500	1.7800	18.8200	-0.6100	8.2300	2.6900	20.4800
128	-0.4800	7.9900	2.6600	20.3500	0.4800	7.3800	3.6400	19.0800
129	0.4000	7.4000	3.6900	18.8600	1.3900	6.8100	4.5600	17.7000
130	1.2500	6.7600	4.7100	17.5938	2.2400	6.1500	5.6100	16.3900
131	2.1329	6.0800	5.7700	16.1800	3.1500	5.4400	6.6881	15.0200
132	3.0200	5.4200	6.8100	14.8000	4.0400	4.6900	7.7900	13.6700
133	3.9600	4.7376	7.8319	13.4100	4.9600	4.0200	8.7781	12.4100
134	4.9200	4.0000	8.9000	12.0300	5.9600	3.2500	9.7800	11.0600
135	6.6900	2.5300	11.0200	9.5000	6.9100	2.4000	10.9700	9.6900
136	7.6140	1.7800	11.9885	8.2200	7.7500	1.6900	11.8300	8.4800
137	8.6500	0.9700	12.9800	7.0400	8.6810	0.9300	12.8848	7.1400
138	9.6000	0.2300	14.0062	5.7300	9.4400	0.2900	14.0529	5.7900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
139	10.3200	-0.3300	15.0919	4.4000	10.2690	-0.2500	15.1700	4.4300
140	11.0586	-0.9700	16.3533	2.9600	10.9300	-0.8600	16.4400	3.0500
141	9.2300	-1.5200	18.2300	3.6500	9.2200	-1.4400	18.4024	3.5300
142	8.5600	-0.9700	16.9300	5.0300	8.5567	-0.9100	17.2100	4.9000
143	7.9800	-0.4300	15.8300	6.4210	7.8400	-0.3700	15.9519	6.4590
144	7.2000	0.1700	14.5700	7.8900	7.1600	0.1800	14.6538	7.8400
145	6.3800	0.8200	13.4300	9.2800	6.4600	0.7900	13.5400	9.4200
146	5.5200	1.5200	12.3300	10.6000	5.6700	1.4300	12.2600	10.8500
147	4.6400	2.2100	11.2300	11.8800	4.7100	2.0000	11.2900	12.1700
148	3.8100	2.9600	10.0500	13.1800	3.9300	2.7800	10.1181	13.4700
149	2.8600	3.6200	9.0200	14.6700	2.9600	3.5700	8.9900	15.0100
150	1.9610	4.3000	7.8900	16.1000	2.0500	4.3300	7.8300	16.2000
151	1.1800	4.9229	6.8181	17.3790	1.1900	4.9800	6.7367	17.5500
152	0.3400	5.5281	5.7667	18.8976	0.4100	5.6300	5.7100	18.9119
153	-0.5000	6.0924	4.6900	20.3005	-0.5000	6.2200	4.6500	20.4048
154	-1.2900	6.6100	3.4700	21.8400	-1.2600	6.7500	3.4900	21.8700
155	-2.0700	5.3800	4.4200	22.9471	-2.0300	5.4100	4.3662	23.1305
156	-1.3700	4.9400	5.5600	21.4200	-1.4400	5.0400	5.6100	21.5800
157	-0.5900	4.3900	6.6800	20.0000	-0.6200	4.4300	6.7681	20.1500
158	0.1800	3.8200	7.8100	18.6100	0.1600	3.8600	7.7600	18.7700
159	0.9700	3.1800	9.0000	17.1500	1.0600	3.2100	9.0200	17.3000
160	1.7500	2.5300	10.1386	15.7733	1.8300	2.5100	10.1781	15.9500
161	2.6200	1.8700	11.2500	14.3500	2.7100	1.8700	11.2700	14.4200
162	3.4600	1.2300	12.4300	12.9400	3.4800	1.2000	12.4800	12.9624
163	3.4600	1.2300	12.4300	12.9400	4.1800	0.6600	13.7300	11.5214

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
164	4.2100	0.6100	13.6100	11.5000	4.9500	0.0900	15.1200	9.9400
165	4.9600	0.0200	14.9600	9.9900	5.5700	-0.4100	16.2610	8.4924
166	5.5600	-0.5400	16.2743	8.5700	6.3200	-0.9600	17.7490	6.8500
167	6.2500	-1.0500	17.5124	7.0800	6.7800	-1.4700	19.0081	5.5000
168	6.9300	-1.5300	18.7776	5.6271	7.3500	-1.9500	20.3224	4.1300
169	7.4700	-2.0000	20.0224	4.3000	5.7700	-2.4900	22.2295	4.5800
170	5.9000	-2.5100	21.7867	4.6357	5.2390	-2.0300	20.7948	5.9900
171	5.3600	-2.1100	20.6581	6.0462	4.6500	-1.5600	19.4600	7.5600
172	4.7400	-1.6400	19.3343	7.5900	4.0000	-1.0900	18.2148	9.1900
173	4.1200	-1.1700	18.0057	9.1700	3.4500	-0.5700	16.7395	10.6400
174	3.5400	-0.6600	16.5338	10.6700	2.7400	-0.0800	15.4300	12.2400
175	2.8200	-0.1400	15.1600	12.3200	2.1352	0.4800	14.0000	13.7700
176	2.1800	0.3500	13.9600	13.8100	1.4600	0.9900	12.7500	15.3019
177	1.4600	0.9500	12.5700	15.3700	0.7500	1.5600	11.2900	16.9314
178	0.6500	1.5900	11.3062	16.8281	-0.0100	2.1600	9.9900	18.4286
179	-0.0700	2.2200	10.0400	18.2543	-0.6600	2.7500	8.7800	19.7848
180	-0.8500	2.8000	8.8900	19.7400	-1.4700	3.3000	7.6800	21.3500
181	-1.6038	3.3400	7.7600	21.1900	-2.2000	3.8500	6.4833	22.6952
182	-2.3100	3.8700	6.5600	22.6095	-2.8300	4.2900	5.3300	24.2400
183	-2.9133	4.2795	5.3619	24.0076	-3.6200	3.4262	6.1000	25.1352
184	-3.7500	3.4400	6.1700	25.0081	-3.0400	2.9800	7.4781	23.6705
185	-3.1700	2.9700	7.4300	23.4600	-2.5000	2.4600	8.8500	22.1700
186	-3.7800	3.4400	6.2400	25.1500	-1.8500	1.9500	9.9900	20.7700
187	-2.5500	2.5000	8.7800	22.0600	-1.1300	1.3500	11.3600	19.0714
188	-1.8800	1.8900	10.0300	20.6700	0.0243	0.2900	14.1571	16.0800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
189	0.1600	0.1600	14.0000	16.0700	0.6900	-0.2200	15.5371	14.3700
190	0.7600	-0.3200	15.5200	14.4700	1.3200	-0.7100	16.9543	12.8800
191	1.3900	-0.8100	16.8800	12.9400	1.8800	-1.2100	18.4100	11.2900
192	1.9981	-1.3000	18.3200	11.3200	2.5500	-1.6900	19.8000	9.6700
193	2.5900	-1.7800	19.7000	9.6900	3.0719	-2.1600	21.1786	8.1086
194	3.2300	-2.2700	21.2300	8.0500	3.6367	-2.6200	22.5662	6.5900
195	3.7900	-2.6900	22.5200	6.5600	4.2852	-3.0700	23.9810	5.1000
196	4.2900	-3.1100	23.8800	5.1000	3.6367	-2.6200	22.5662	6.5900

ตารางที่ ก.6 การหาพื้นที่รับแรงที่เหมาะสมในแนวตั้งโหลดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° แแรง 15 kg

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
1	2.8700	-1.6900	1.5700	12.0400	2.8700	-1.7100	1.5600	12.1000
2	3.7200	-1.5500	1.3100	11.2971	3.7300	-1.5100	1.3100	11.2100
3	4.4533	-1.3310	1.1095	10.4667	4.5000	-1.3400	1.0800	10.4300
4	5.3600	-1.1800	0.8500	9.6371	5.3000	-1.1600	0.8600	9.6400
5	6.1714	-0.9700	0.6300	8.7400	6.1400	-0.9300	0.6400	8.7262
6	7.0310	-0.7700	0.4200	7.8700	7.0500	-0.7790	0.4000	7.8600
7	7.9100	-0.6000	0.1800	6.9762	7.9400	-0.6000	0.1900	7.0000
8	8.8400	-0.4000	-0.0600	6.0000	8.8786	-0.4100	-0.0700	6.0100
9	9.6681	-0.2600	-0.2800	5.2200	9.7000	-0.2900	-0.3000	5.2100
10	10.4900	-0.0400	-0.5100	4.3100	10.5133	-0.0900	-0.5200	4.3567
11	11.3095	0.1400	-0.7500	3.4829	11.2781	0.1200	-0.7500	3.4967
12	12.1681	0.3500	-0.9800	2.6300	12.0690	0.4200	-0.9600	2.6100
13	12.9400	0.5500	-1.2200	1.8200	12.9114	0.5600	-1.2200	1.8300
14	13.6500	0.7900	-1.4400	1.0238	13.6700	0.7800	-1.4600	0.9800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
15	12.8271	1.5300	-1.1300	0.8400	12.8400	1.5400	-1.1300	0.8300
16	11.9833	1.3424	-0.8624	1.6576	12.0200	1.3267	-0.8700	1.6400
17	11.4686	1.1852	-0.6886	2.2343	11.2500	1.1000	-0.6200	2.4300
18	10.3786	0.9800	-0.3400	3.2500	10.4800	0.9200	-0.3700	3.2500
19	9.5819	0.7500	-0.1000	4.1200	9.6100	0.7200	-0.1100	4.1400
20	8.8600	0.5700	0.1100	4.8900	8.8157	0.5500	0.1200	4.9300
21	7.9200	0.3900	0.3600	5.8000	7.8700	0.4114	0.3800	5.7700
22	7.0200	0.2200	0.6200	6.6700	7.0171	0.2429	0.6100	6.6095
23	6.1600	0.0500	0.8500	7.4871	6.1938	0.0500	0.8400	7.5000
24	5.3900	-0.1700	1.0900	8.3700	5.3900	-0.1600	1.0800	8.3600
25	4.5500	-0.3400	1.3100	9.1800	4.5700	-0.3500	1.3000	9.1648
26	3.6700	-0.4800	1.5800	9.9700	3.6500	-0.4800	1.5800	10.0200
27	2.8700	-0.7100	1.8200	10.8500	2.8595	-0.7400	1.8200	10.8848
28	2.1400	-0.9900	2.1500	11.5814	2.1500	-1.0000	2.1100	11.5800
29	1.8400	-0.6800	2.9700	10.7905	8.7494	0.2486	0.0695	5.3144
30	2.1900	-0.1300	2.4200	10.4200	2.2024	-0.1043	2.3800	10.3900
31	2.8800	0.1700	2.0300	9.7733	2.9000	0.2200	2.0200	9.6957
32	3.7000	0.4000	1.7700	8.9100	3.7400	0.3800	1.7800	8.9400
33	4.5600	0.5800	1.5200	8.1000	4.5200	0.6200	1.5300	8.0400
34	5.3700	0.7700	1.2800	7.2400	5.3500	0.8100	1.3000	7.2100
35	6.2100	1.0000	1.0400	6.3200	6.2300	0.9900	1.0200	6.3000
36	7.0100	1.2000	0.8100	5.4633	7.0600	1.1700	0.7900	5.4648
37	7.9800	1.3800	0.5300	4.5800	7.9700	1.3800	0.5300	4.5700
38	8.6900	1.5900	0.3000	3.7605	8.7600	1.5400	0.2700	3.7790
39	9.5914	1.7500	0.0100	2.9400	9.5448	1.7700	0.0200	2.9300
40	10.3400	1.9643	-0.2400	2.1310	10.3919	1.9000	-0.2700	2.1600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
41	11.1300	2.1000	-0.5300	1.4000	11.1300	2.1700	-0.5200	1.3310
42	11.9400	2.2900	-0.8100	0.5900	11.9600	2.3200	-0.8100	0.5700
43	11.0357	3.1500	-0.5100	0.3700	11.0600	3.1700	-0.5000	0.3600
44	10.2300	2.9600	-0.2100	1.1700	10.2186	2.9700	-0.2000	1.1700
45	9.4500	2.7700	0.1200	1.9700	9.4000	2.7800	0.1200	1.9600
46	8.6648	2.5638	0.3900	2.7300	8.6400	2.5400	0.4100	2.7900
47	7.8700	2.3500	0.6700	3.5100	7.9086	2.3400	0.6500	3.4900
48	7.0700	2.1400	0.9400	4.3748	7.1400	2.1500	0.9500	4.3300
49	6.2200	1.9100	1.2300	5.2600	6.2000	1.9400	1.2200	5.2300
50	5.3800	1.7400	1.4700	6.0300	5.3500	1.7500	1.4800	6.0400
51	4.5500	1.5400	1.7300	6.8843	4.5100	1.5600	1.7400	6.8600
52	3.7300	1.3100	1.9852	7.7286	3.7000	1.3300	2.0000	7.7300
53	2.8900	1.1600	2.2500	8.5300	2.9100	1.1100	2.2300	8.5600
54	2.2200	0.8600	2.5700	9.2600	2.2000	0.8600	2.5400	9.2786
55	1.8100	0.2000	3.2514	9.6824	1.8200	0.2000	3.2505	9.6943
56	1.4400	-0.4400	3.9600	10.0500	1.4300	-0.4000	4.0000	9.9862
57	1.1000	-0.1200	4.8800	9.2300	1.0900	-0.1600	4.9000	9.2229
58	1.4600	0.5200	4.1900	8.8500	1.4700	0.4900	4.1900	8.8800
59	1.8500	1.1500	3.4500	8.5062	1.8400	1.1900	3.4500	8.4400
60	2.2200	1.8200	2.7500	8.1100	2.2200	1.8100	2.7500	8.1000
61	2.9700	2.0700	2.4100	7.3700	2.9586	2.0400	2.4100	7.4200
62	3.7800	2.3100	2.1600	6.5500	3.7733	2.3000	2.1500	6.5300
63	4.5800	2.5000	1.8900	5.7500	4.5400	2.5000	1.8700	5.7300
64	5.4200	2.7500	1.5900	4.8700	5.4067	2.7100	1.5900	4.9000
65	6.2305	2.9400	1.3100	4.0600	6.1900	2.9600	1.3200	4.0500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
66	7.0900	3.1600	1.0100	3.2233	7.0600	3.1400	1.0300	3.2700
67	7.8700	3.3600	0.7200	2.4700	7.8700	3.3600	0.7200	2.4700
68	8.6200	3.5800	0.4200	1.6800	8.6300	3.5843	0.4100	1.6700
69	9.4133	3.8000	0.1300	0.9700	9.4600	3.8200	0.1400	0.9900
70	10.2200	4.0600	-0.1700	0.2100	10.1800	4.0700	-0.1695	0.2300
71	9.2400	4.9700	0.1200	0.0200	9.2652	4.9800	0.1200	0.0000
72	8.5000	4.7500	0.4400	0.7900	8.4200	4.6900	0.4500	0.8200
73	7.7148	4.4590	0.7500	1.5400	7.7200	4.4700	0.7600	1.5400
74	6.9900	4.2600	1.0900	2.2900	6.9590	4.2476	1.0800	2.3200
75	6.1500	4.0305	1.3800	3.0324	6.1700	4.0000	1.3800	3.0600
76	5.3300	3.8095	1.7152	3.8743	5.3300	3.8300	1.7100	3.8400
77	4.5600	3.5300	2.0200	4.7133	4.5800	3.5200	2.0100	4.7000
78	3.7100	3.3200	2.3400	5.5100	3.7000	3.3100	2.3600	5.5400
79	2.9100	3.0800	2.6300	6.2800	2.8800	3.1300	2.7000	6.3100
80	2.2400	2.7900	3.0100	6.9800	2.2600	2.7700	2.9800	7.0400
81	1.8800	2.1200	3.7100	7.4000	1.8600	2.0400	3.7200	7.4600
82	1.5100	1.4500	4.4500	7.7800	1.4900	1.4200	4.4700	7.7600
83	1.0600	0.7100	5.2514	8.1605	1.1000	0.8100	5.1800	8.1000
84	0.7400	0.1600	5.8748	8.4905	0.7490	0.1700	5.8700	8.4800
85	0.3300	0.4400	6.9300	7.6524	0.3500	0.4600	6.8971	7.6000
86	0.7300	1.0900	6.1786	7.3095	0.7300	1.1200	6.1400	7.2800
87	1.1000	1.7624	5.4000	6.9300	1.0900	1.7500	5.4100	6.9300
88	1.4514	2.4262	4.6843	6.5657	1.4500	2.3700	4.6900	6.6300
89	1.8700	3.1000	3.8300	6.2600	1.8300	3.0800	3.9114	6.2300
90	2.2000	3.7500	3.1600	5.8700	2.2100	3.7600	3.1500	5.8500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
91	2.8814	4.1400	2.7500	5.1600	2.9000	4.1300	2.7600	5.1562
92	3.7200	4.3600	2.4100	4.4000	3.7200	4.3633	2.4000	4.3600
93	4.5400	4.5900	2.0600	3.6057	4.5300	4.6000	2.0800	3.6100
94	5.3100	4.8533	1.7300	2.8100	5.2605	4.8600	1.7400	2.8100
95	6.0300	5.1000	1.4300	2.0900	6.0424	5.0800	1.4200	2.0900
96	6.7700	5.3500	1.1100	1.3400	6.8100	5.3100	1.1000	1.3400
97	7.5800	5.6000	0.7500	0.5400	7.5300	5.6400	0.7795	0.5500
98	8.2976	5.8600	0.4400	-0.1900	8.2748	5.9100	0.4400	-0.2300
99	7.3000	6.7800	0.7300	-0.4200	7.2748	6.8048	0.7400	-0.4000
100	6.5529	6.5200	1.0900	0.3800	6.5076	6.5100	1.1000	0.3905
101	5.8400	6.2700	1.4200	1.0700	5.8200	6.2800	1.4300	1.0800
102	5.0600	6.0200	1.7700	1.8290	5.1100	5.9800	1.7200	1.8200
103	4.3300	5.7148	2.0876	2.5900	4.3000	5.7219	2.0800	2.5900
104	3.6400	5.4543	2.4200	3.3300	3.5800	5.4700	2.4300	3.3500
105	2.8500	5.1400	2.7900	4.1200	2.7900	5.1852	2.8000	4.1200
106	2.1400	4.8100	3.2635	4.7600	2.1300	4.7600	3.2500	4.7905
107	1.7800	4.0900	4.0400	5.1348	1.7800	4.0400	4.0643	5.1300
108	1.4300	3.4100	4.8200	5.4700	1.4300	3.4300	4.8300	5.4500
109	1.0600	2.8000	5.5862	5.7200	1.0600	2.7000	5.5500	5.8200
110	0.6900	2.0200	6.3100	6.1600	0.7000	2.0100	6.3000	6.1729
111	0.3000	1.3700	7.1600	6.4300	0.3200	1.3900	7.1000	6.4700
112	0.0000	0.7500	7.7800	6.8543	-0.0100	0.7300	7.7700	6.8500
113	-0.4200	1.0000	8.7900	6.0400	-0.4200	1.0900	8.8176	5.9595
114	-0.0700	1.7500	8.0438	5.6400	-0.0500	1.7400	7.9733	5.6700
115	0.3100	2.4300	7.2300	5.3300	0.2738	2.3800	7.3000	5.3500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
116	0.6367	3.0500	6.5100	5.0500	0.6710	3.1100	6.4300	5.0200
117	1.0000	3.7900	5.6900	4.6976	1.0000	3.7195	5.6800	4.7300
118	1.3400	4.4500	4.9200	4.3800	1.3700	4.4200	4.8600	4.4100
119	1.7100	5.1900	4.0900	4.0400	1.7362	5.1500	4.1600	4.0000
120	2.0600	5.8300	3.3000	3.7400	2.0719	5.8724	3.2924	3.7067
121	2.6767	6.2800	2.7900	3.1100	2.7200	6.2300	2.8200	3.1333
122	3.4100	6.5748	2.4300	2.3800	3.4800	6.5600	2.4400	2.3300
123	4.1200	6.8814	2.1000	1.6600	4.1500	6.8900	2.0895	1.6400
124	4.8500	7.1300	1.7362	0.9300	4.1410	6.8900	2.0800	1.6400
125	5.6700	7.4300	1.3562	0.1600	5.6376	7.4395	1.3633	0.1700
126	6.2410	7.6200	1.0786	-0.3995	6.4900	7.6700	0.9900	-0.5500
127	5.3729	8.6138	1.3000	-0.7700	5.3400	8.6233	1.3000	-0.7543
128	4.6500	8.3000	1.6600	0.0100	4.5638	8.3500	1.6905	0.0100
129	3.8752	8.0600	2.0500	0.7200	3.8800	8.0371	2.0600	0.7400
130	3.1814	7.7500	2.4200	1.4400	3.0957	7.7757	2.4486	1.4700
131	2.5200	7.4400	2.8400	2.1600	2.5286	7.4300	2.7900	2.1400
132	1.8848	6.9900	3.3700	2.7019	1.9300	7.0248	3.3500	2.7000
133	1.6200	6.4700	4.3500	3.1000	1.6400	6.4700	4.3500	3.1400
134	1.2900	5.7800	5.2800	3.4400	1.3100	5.8000	5.2500	3.4500
135	0.9400	4.9800	6.1100	3.7600	0.9262	4.8786	6.0381	3.7652
136	0.5800	4.1300	6.7900	3.9900	0.5395	4.1357	6.8638	3.9676
137	0.2200	3.4200	7.6414	4.3400	0.5400	4.1400	6.8686	3.9700
138	-0.1400	2.8100	8.5686	4.6400	-0.1300	2.8200	8.4895	4.5895
139	-0.4800	2.1129	9.2743	4.9200	-0.4867	2.1600	9.4500	5.0200
140	-0.8500	1.4400	10.2333	5.3295	-0.8048	1.4900	10.2400	5.4300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
141	-1.2600	1.8000	11.2100	4.4900	-1.2800	1.7800	11.2400	4.5000
142	-0.8900	2.4700	10.1352	4.1300	-0.9110	2.4800	10.2200	4.1200
143	-0.5700	3.1600	9.4067	3.8200	-0.5814	3.2000	9.4000	3.7400
144	-0.2200	3.8900	8.5200	3.5000	-0.2300	3.8700	8.5671	3.5500
145	0.1400	4.7500	7.9100	3.3300	0.1300	4.6800	7.8600	3.3300
146	0.4700	5.4400	7.0200	3.0400	0.4600	5.4700	7.0300	3.0100
147	0.8043	6.1100	6.0400	2.6800	0.8200	6.1500	5.9600	2.6800
148	1.1300	6.8700	5.1214	2.3700	1.1605	6.8700	5.1100	2.4014
149	1.4600	7.6800	4.3081	2.0600	1.5100	7.6600	4.2700	2.1300
150	1.8400	8.5200	3.3800	1.7900	1.8400	8.5929	3.4471	1.7900
151	2.3700	8.8600	2.7600	1.1900	2.3200	8.8300	2.7829	1.2400
152	3.0700	9.1300	2.3900	0.4900	3.0800	9.1000	2.4000	0.5200
153	3.8000	9.4700	2.0200	-0.2300	3.8500	9.4200	2.0100	-0.2300
154	4.5900	9.7895	1.6200	-0.9957	4.6100	9.7700	1.6300	-0.9800
155	3.6300	10.6852	1.9100	-1.2200	3.6000	10.6562	1.9300	-1.1700
156	2.8652	10.3433	2.3400	-0.4300	2.8900	10.5000	2.3400	-0.5100
157	2.0700	10.2100	2.7800	0.2400	2.1400	10.1600	2.7600	0.2700
158	1.5900	9.6438	3.4000	0.7900	1.6100	9.6200	3.3719	0.8100
159	1.3100	8.8800	4.1900	1.1000	1.3200	8.8900	4.1700	1.0900
160	0.9800	8.1200	5.0900	1.3800	0.9800	8.0900	5.0800	1.3900
161	0.6600	7.3519	6.0100	1.7000	0.6600	7.4300	6.0300	1.6200
162	0.3200	6.6400	6.9500	1.9300	0.3200	6.6210	6.9305	1.9500
163	-0.0300	5.8600	7.8800	2.2200	0.0000	5.8500	7.8600	2.2800
164	-0.3500	5.1295	8.7738	2.5200	-0.3800	5.0500	8.8295	2.5300
165	-0.7100	4.2900	9.7319	2.8500	-0.6767	4.3486	9.6657	2.8410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
166	-1.0200	3.6500	10.5200	3.1100	-1.0300	3.6400	10.5500	3.1000
167	-1.3700	2.8800	11.2448	3.3400	-1.3600	2.9300	11.1900	3.2900
168	-1.6900	2.1600	12.0500	3.6900	-1.6900	2.1600	12.0424	3.6900
169	-2.1500	2.5586	13.0390	2.7900	-2.1000	2.5700	12.9000	2.8367
170	-1.8000	3.3000	12.1400	2.5386	-1.8100	3.3000	12.1800	2.5600
171	-1.4700	4.0600	11.2900	2.2500	-1.4400	3.9700	11.0800	2.2500
172	-1.1300	4.7300	10.2300	1.9500	-1.1100	4.5900	10.2200	2.0900
173	-0.8100	5.4200	9.4000	1.7400	-0.8500	5.4300	9.4900	1.6700
174	-0.4900	6.2100	8.5000	1.4300	-0.4900	6.1800	8.5200	1.4500
175	-0.1700	6.9600	7.6300	1.1729	-0.1500	6.9200	7.5890	1.2300
176	0.1600	7.7300	6.6800	0.9200	0.1800	7.9500	6.9700	1.0000
177	0.4400	8.6567	6.0400	0.6500	0.4600	8.8300	6.1900	0.6700
178	0.8300	9.5552	5.0900	0.4000	0.7600	9.3500	5.0700	0.3633
179	1.1100	10.1662	4.1700	0.0900	1.1300	10.1800	4.1300	0.1000
180	1.4200	10.9310	3.3200	-0.2200	1.4300	10.8619	3.2600	-0.2100
181	1.9376	11.3376	2.6400	-0.6500	1.8900	11.3700	2.6800	-0.6829
182	2.7000	11.6900	2.2200	-1.4000	2.6800	11.6600	2.2000	-1.4000
183	1.7600	12.5233	2.5200	-1.6200	1.7600	12.7900	2.5700	-1.6638
184	1.2600	12.1800	3.2300	-1.1900	1.2500	12.0400	3.1900	-1.1462
185	0.9200	11.3733	4.1400	-0.8600	0.9510	11.4190	4.1290	-0.8333
186	0.5900	10.5400	4.9800	-0.5800	0.6100	10.5143	4.9233	-0.5800
187	0.3300	9.8800	5.8000	-0.2900	0.3200	9.9000	5.8600	-0.2800
188	-0.0400	9.0500	6.8500	-0.0200	0.0000	9.1400	6.7700	-0.0400
189	-0.3700	8.2100	7.7600	0.2438	-0.3400	8.3014	7.7400	0.2295
190	-0.6800	7.4200	8.7200	0.5000	-0.6700	7.4500	8.6400	0.5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
191	-0.9800	6.6500	9.5681	0.7800	-0.9800	6.6900	9.5700	0.7500
192	-1.3100	5.9886	10.5448	0.9400	-1.2900	5.9886	10.4300	1.0400
193	-1.6000	5.2100	11.3824	1.2100	-1.5900	5.2000	11.3400	1.2200
194	-1.9500	4.3400	12.3400	1.5300	-1.9300	4.4600	12.2600	1.4700
195	-2.2300	3.6600	13.0424	1.8200	-2.2400	3.6700	13.0757	1.8148
196	-2.5600	2.9200	13.9500	2.1100	-2.5600	2.9800	13.9200	2.0800

ตารางที่ ก.7 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบขนานในแนวแกน x

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
1	0.0500	0.0000	0.0200	0.0400	0.0300	0.0400	0.0100	0.0400
2	0.0757	-0.0171	0.0543	0.0229	0.0700	0.0700	0.0000	0.0224
3	0.1300	-0.0300	0.1000	0.0100	0.1200	0.1300	-0.1000	-0.0800
4	0.1700	-0.0700	0.1500	-0.0300	0.1800	0.1743	-0.1800	-0.1600
5	0.2200	-0.1090	0.1900	-0.0700	0.2267	0.2200	-0.2500	-0.2300
7	0.3100	-0.1829	0.2700	-0.1500	0.3214	0.3100	-0.3800	-0.3700
9	0.3900	-0.2800	0.3700	-0.2700	0.4200	0.4100	-0.5138	-0.5100
10	0.4900	-0.3700	0.4600	-0.3700	0.5200	0.5000	-0.6500	-0.6500
11	0.5800	-0.4900	0.5400	-0.4900	0.6200	0.5900	-0.7900	-0.7900
15	0.6900	-0.6300	0.6300	-0.6400	0.7200	0.6800	-0.9300	-0.9400
18	0.8400	-0.8300	0.7600	-0.8500	0.8700	0.8200	-1.1400	-1.1600
21	0.9800	-1.0300	0.9000	-1.0600	1.0100	0.9600	-1.3500	-1.3700
24	1.1300	-1.2200	1.0300	-1.2500	1.1600	1.1000	-1.5500	-1.5800
27	1.2657	-1.3919	1.1476	-1.4219	1.3100	1.2300	-1.7600	-1.7962
30	1.4200	-1.6100	1.3000	-1.6500	1.4600	1.3700	-1.9600	-2.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 (ต่อ)

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
30	1.2810	-1.5000	1.1800	-1.5400	1.4600	1.3700	-1.9600	-1.9900
27	1.1576	-1.3824	1.0624	-1.4133	1.4000	1.3100	-1.8900	-1.9300
24	1.0000	-1.2000	0.9300	-1.2324	1.2400	1.1800	-1.7000	-1.7300
21	0.8500	-0.9900	0.8000	-1.0200	1.0800	1.0400	-1.5162	-1.5500
18	0.6900	-0.7200	0.6600	-0.7300	0.9200	0.9000	-1.2900	-1.3200
15	0.5900	-0.5900	0.5700	-0.5900	0.7500	0.7500	-1.0400	-1.0500
11	0.4800	-0.4200	0.4800	-0.4100	0.6400	0.6500	-0.8600	-0.8600
10	0.3800	-0.2700	0.3900	-0.2500	0.5200	0.5500	-0.6600	-0.6500
9	0.2800	-0.1500	0.3000	-0.1200	0.4100	0.4500	-0.4800	-0.4600
7	0.1900	-0.0800	0.2100	-0.0600	0.3100	0.3500	-0.3000	-0.2700
5	0.1929	-0.0800	0.2100	-0.0600	0.2100	0.2300	-0.1500	-0.1100
4	0.1500	-0.0500	0.1700	-0.0200	0.1600	0.1800	-0.0900	-0.0500
3	0.1100	-0.0300	0.1200	0.0000	0.1200	0.1300	-0.0400	-0.0100
2	0.0700	0.0000	0.0800	0.0300	0.0700	0.0800	0.0000	0.0400
1	0.0300	0.0000	0.0400	0.0200	0.0210	0.0300	0.0100	0.0500

ตารางที่ ก.8 การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์ชนิดตัดมาตามฐานติดตั้งแบบขนานในแนวแกน y

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
1	0.0400	0.0452	0.0200	-0.0005	0.0167	0.0100	0.0200	0.0200
2	-0.0100	0.0700	-0.0200	0.0200	-0.0300	0.0300	-0.0200	0.0400
3	-0.0200	0.0500	-0.0400	0.0000	-0.0400	0.0100	-0.0400	0.0400
4	-0.0300	0.0500	-0.0586	-0.0100	-0.0557	-0.0200	-0.0500	0.0305
5	-0.0500	0.0500	-0.0700	-0.0300	-0.0700	-0.0600	-0.0700	0.0100
7	-0.0700	0.0400	-0.1000	-0.0500	-0.0900	-0.1200	-0.1000	-0.0200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 (ต่อ)

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)	PA (kg)	PB (kg)	PC (kg)	PD (kg)
9	-0.0900	0.0300	-0.1300	-0.0800	-0.1100	-0.1800	-0.1400	-0.0500
10	-0.1100	0.0200	-0.1600	-0.1100	-0.1300	-0.2200	-0.1700	-0.0600
11	-0.1300	0.0300	-0.1900	-0.1200	-0.1500	-0.2600	-0.2000	-0.0800
15	-0.1500	0.0100	-0.2200	-0.1500	-0.1700	-0.3000	-0.2300	-0.1000
18	-0.1800	-0.0300	-0.2600	-0.2100	-0.2100	-0.3600	-0.2800	-0.1300
21	-0.2100	-0.0700	-0.3100	-0.2700	-0.2400	-0.4200	-0.3300	-0.1600
24	-0.2419	-0.1200	-0.3500	-0.3324	-0.2700	-0.4900	-0.3800	-0.2000
27	-0.2700	-0.1700	-0.4000	-0.4100	-0.3000	-0.5800	-0.4200	-0.2552
30	-0.3033	-0.2300	-0.4405	-0.4900	-0.3300	-0.6800	-0.4700	-0.3100
30	-0.3000	-0.2300	-0.4400	-0.4850	-0.3300	-0.7100	-0.4700	-0.3400
27	-0.2690	-0.2100	-0.4000	-0.4500	-0.2900	-0.6600	-0.4300	-0.3300
24	-0.2300	-0.2000	-0.3500	-0.4200	-0.2500	-0.6000	-0.3800	-0.3000
21	-0.2000	-0.1800	-0.3100	-0.3800	-0.2200	-0.5300	-0.3300	-0.2600
18	-0.1600	-0.1300	-0.2600	-0.3000	-0.1800	-0.4200	-0.2800	-0.1900
15	-0.1300	-0.0500	-0.2100	-0.2000	-0.1500	-0.3000	-0.2300	-0.1100
11	-0.1100	0.0000	-0.1800	-0.1300	-0.1300	-0.2400	-0.2000	-0.0700
10	-0.0800	0.0300	-0.1500	-0.0900	-0.1057	-0.1900	-0.1600	-0.0400
9	-0.0610	0.0600	-0.1200	-0.0600	-0.0900	-0.1300	-0.1300	0.0000
7	-0.0400	0.0700	-0.0900	-0.0200	-0.0700	-0.0800	-0.1000	0.0200
5	-0.0200	0.0800	-0.0600	0.0000	-0.0500	-0.0300	-0.0600	0.0400
4	-0.0190	0.0871	-0.0400	0.0100	-0.0400	-0.0200	-0.0500	0.0500
3	-0.0100	0.0900	-0.0300	0.0200	-0.0300	-0.0100	-0.0300	0.0400
2	0.0000	0.0900	-0.0100	0.0200	-0.0200	0.0100	-0.0200	0.0400
1	0.0200	0.0800	0.0200	0.0300	0.0000	0.0000	0.0100	0.0200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 การหาความเป็นเชิงเส้นของโหนดเซลล์มาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน x

3 (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
1	0.1014	0.0000	0.0200	0.0700	0.0900	0.0000	0.0200	0.0700
2	0.0900	0.0000	0.0200	0.0700	0.0200	0.0300	0.0500	0.0200
3	0.0595	0.0400	0.0800	0.0400	-0.0005	0.0500	0.0790	0.0000
4	0.0400	0.0600	0.1100	0.0400	-0.0400	0.0700	0.1000	-0.0233
5	0.0110	0.0800	0.1400	0.0300	-0.0200	0.0800	0.1200	0.0000
7	-0.0043	0.1100	0.1900	0.0100	-0.1100	0.1200	0.1800	-0.0700
9	-0.0562	0.1500	0.2595	-0.0200	-0.1862	0.1700	0.2400	-0.1200
10	-0.1100	0.1900	0.3200	-0.0600	-0.2800	0.2100	0.3000	-0.1900
11	-0.1548	0.2200	0.3800	-0.0900	-0.3524	0.2500	0.3571	-0.2300
15	-0.2343	0.2600	0.4400	-0.1400	-0.4424	0.3000	0.4200	-0.3000
18	-0.3000	0.3000	0.5400	-0.1900	-0.4933	0.3500	0.4900	-0.3200
21	-0.4067	0.3600	0.6367	-0.2700	-0.6395	0.4200	0.5800	-0.4300
24	-0.5200	0.4100	0.7300	-0.3500	-0.7195	0.4800	0.6600	-0.4690
27	-0.6505	0.4700	0.8300	-0.4357	-0.8676	0.5500	0.7500	-0.5700
30	-0.7695	0.5338	0.9300	-0.5167	-1.0133	0.6200	0.8400	-0.6500
30	-0.7586	0.5300	0.9300	-0.5100	-1.0090	0.6200	0.8400	-0.6400
27	-0.6905	0.4600	0.8400	-0.4900	-1.0000	0.5700	0.7600	-0.6600
24	-0.6005	0.3800	0.7400	-0.4500	-0.7029	0.4600	0.6410	-0.4400
21	-0.5067	0.3100	0.6500	-0.3900	-0.5952	0.3900	0.5600	-0.3800
18	-0.3314	0.2300	0.5400	-0.2800	-0.4371	0.3200	0.4700	-0.2800
15	-0.1381	0.1500	0.4400	-0.1500	-0.2110	0.2400	0.3700	-0.1100
11	-0.0414	0.1000	0.3700	-0.0800	-0.1924	0.2100	0.3200	-0.1100
10	0.1014	0.0200	0.2700	0.0100	-0.0662	0.1500	0.2600	-0.0100
9	0.1200	-0.0100	0.2200	0.0200	-0.0133	0.1200	0.2052	0.0300
7	0.1581	-0.0400	0.1700	0.0400	0.0700	0.0800	0.1500	0.0800
5	0.1800	-0.0700	0.1167	0.0600	0.0800	0.0500	0.1000	0.0800
4	0.1862	-0.0900	0.0900	0.0700	0.0838	0.0400	0.0800	0.0800
3	0.1976	-0.1000	0.0600	0.0700	0.1019	0.0200	0.0500	0.0900
2	0.2086	-0.1100	0.0400	0.0800	0.1100	0.0100	0.0300	0.0900
1	0.1867	-0.1200	0.0200	0.0600	0.0962	0.0000	0.0100	0.0800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

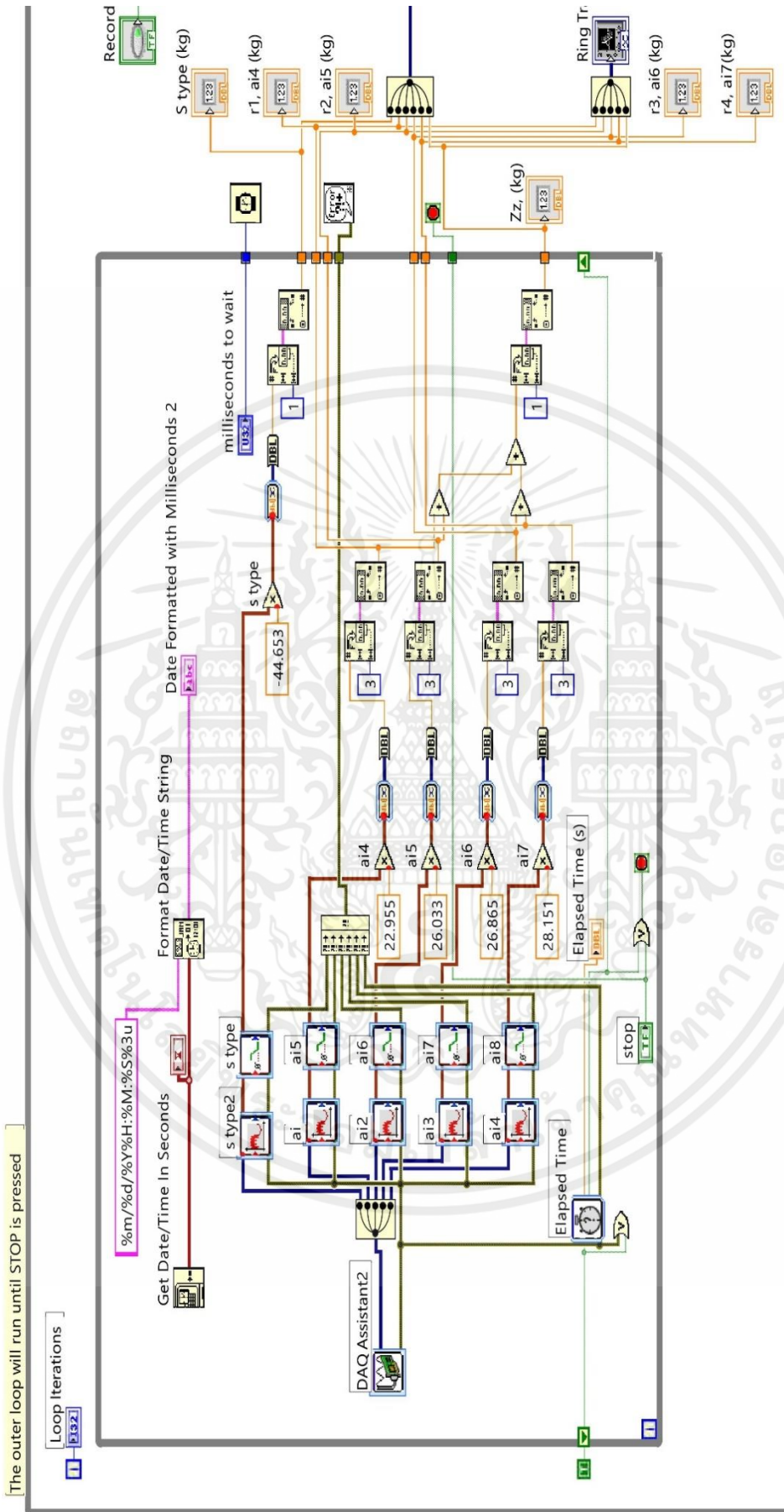
ตารางที่ ก.10 การหาความเป็นเชิงเส้นของโพลเดเซลล์ชนิดตัดมาตรฐานติดตั้งแบบเอียง 45° ในแนวแกน y

น้ำหนัก (kg)	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2			
	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)	CA (kg)	CB (kg)	CC (kg)	CD (kg)
1	0.0100	0.0100	0.0600	0.0700	0.0100	0.0200	-0.1019	-0.0600
2	0.0200	0.0200	0.0800	0.1100	0.2100	0.4200	1.6800	2.5200
3	0.0300	0.0400	0.0100	0.0600	0.0200	0.0300	0.0800	0.1400
4	0.0500	0.0600	-0.0400	0.0300	0.0300	0.0500	0.0600	0.1400
5	0.0700	0.0700	-0.0800	0.0000	0.0400	0.0600	0.0600	0.1500
7	0.1081	0.0900	-0.1500	-0.0400	0.0600	0.0700	0.0400	0.1438
9	0.1400	0.1200	-0.2300	-0.0900	0.0900	0.0900	0.0100	0.1400
10	0.1729	0.1400	-0.3100	-0.1400	0.1100	0.1100	-0.0300	0.1200
11	0.2171	0.1600	-0.3700	-0.1800	0.1400	0.1300	-0.0400	0.1200
15	0.2500	0.1800	-0.4400	-0.2300	0.1600	0.1400	-0.0800	0.1000
18	0.3000	0.2100	-0.5600	-0.3200	0.2062	0.1600	-0.1500	0.0600
21	0.3500	0.2400	-0.6300	-0.3700	0.2486	0.1890	-0.2200	0.0100
24	0.4000	0.2700	-0.7243	-0.4300	0.2900	0.2100	-0.3100	-0.0500
27	0.4400	0.3000	-0.8600	-0.5400	0.3300	0.2219	-0.3800	-0.1000
30	0.4800	0.3200	-0.9500	-0.5900	0.3700	0.2400	-0.4700	-0.1500
30	0.4757	0.3200	-0.9500	-0.5800	0.3700	0.2400	-0.4600	-0.1400
27	0.4286	0.2900	-0.9200	-0.5800	0.3300	0.2200	-0.5000	-0.2000
24	0.3600	0.2400	-0.7100	-0.4100	0.2900	0.2000	-0.5100	-0.2300
21	0.3029	0.2100	-0.6700	-0.3900	0.2486	0.1700	-0.4800	-0.2300
18	0.2610	0.1800	-0.5700	-0.3200	0.2000	0.1400	-0.3900	-0.1600
15	0.2048	0.1500	-0.3900	-0.1800	0.1562	0.1200	-0.2700	-0.0800
11	0.1638	0.1300	-0.3000	-0.1100	0.1400	0.1100	-0.1900	-0.0043
10	0.1200	0.1000	-0.2100	-0.0500	0.1000	0.0800	-0.1200	0.0400
9	0.0800	0.0800	-0.1200	0.0276	0.0643	0.0600	-0.0300	0.1100
7	0.0500	0.0700	-0.0400	0.0800	0.0505	0.0500	-0.0700	0.0700
5	0.0124	0.0500	0.0000	0.1100	0.0100	0.0300	0.0200	0.1400
4	0.0005	0.0400	0.0100	0.1100	-0.0090	0.0200	0.0400	0.1500
3	-0.0057	0.0300	0.0400	0.1300	-0.0200	0.0100	0.0700	0.1600
2	-0.0262	0.0295	0.0600	0.1400	-0.0200	-0.0100	0.0800	0.1424
1	-0.0219	0.0000	0.0800	0.1200	-0.0267	-0.0200	0.0900	0.1300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

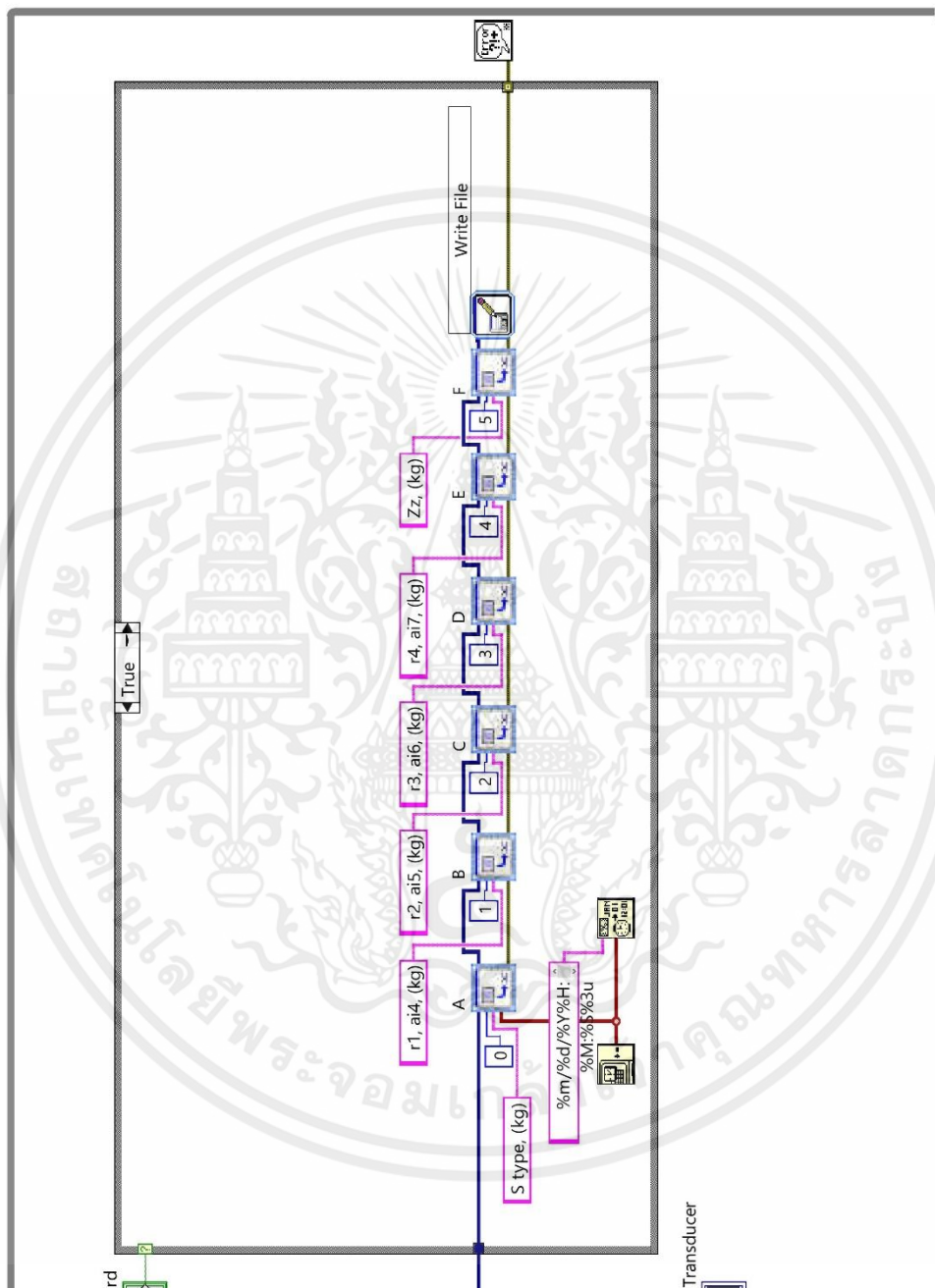


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 หน้า Block diagram โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้เก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 (ต่อ)

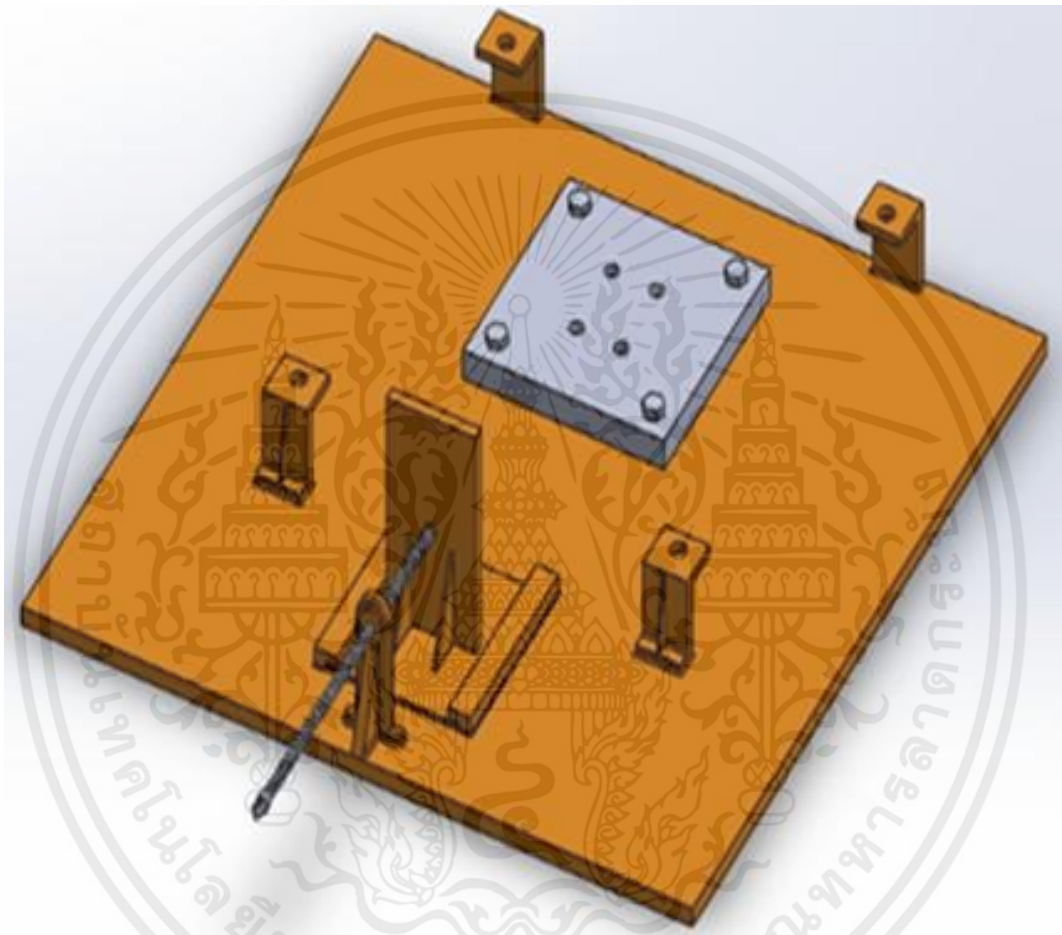
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

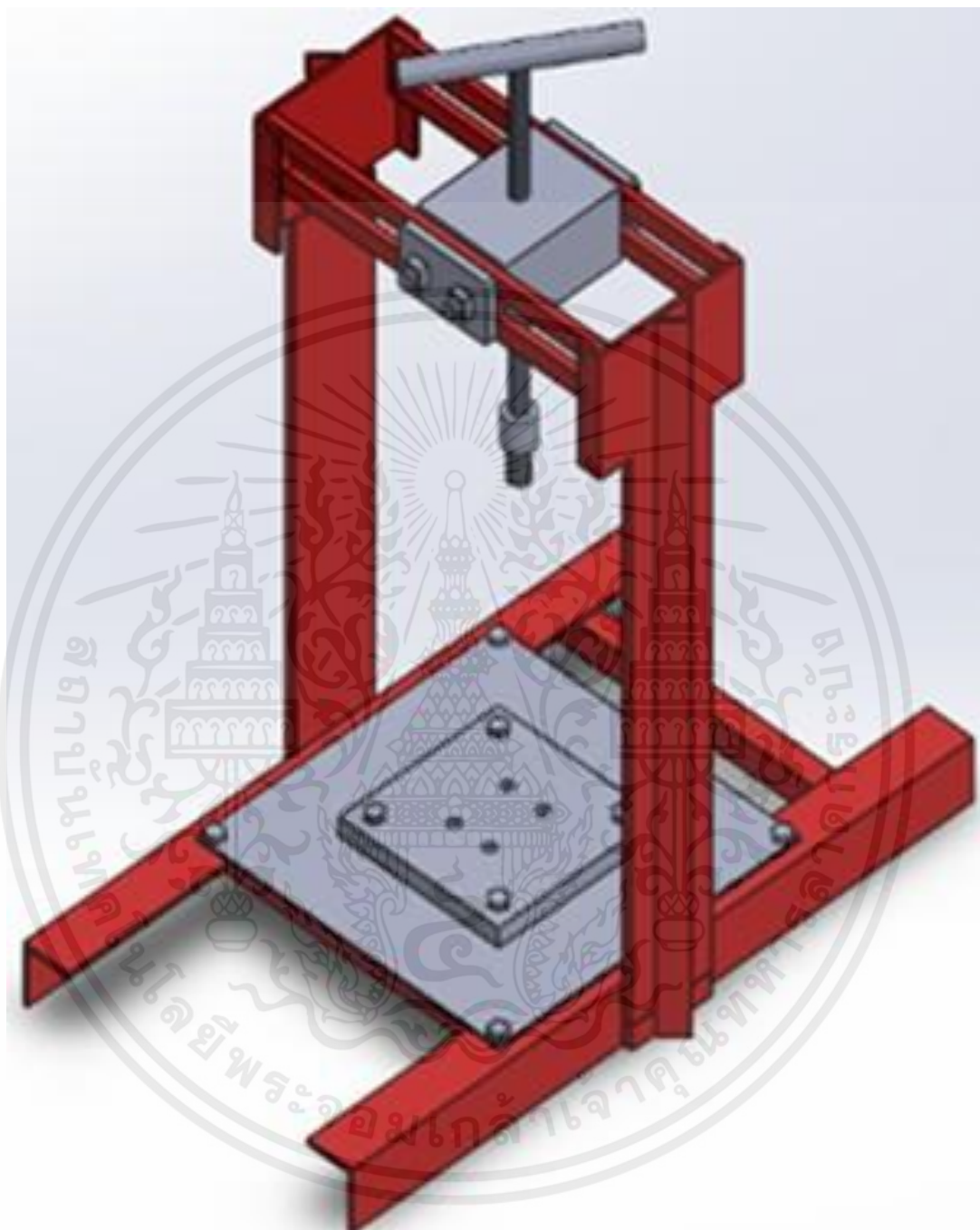
ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ชุดทดลองใส่แรงในแนวแกน x และแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ชุดทดลองใส่แรงในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐพงศ์ พรหมทอง
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 25 กันยายน 2540
ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่ 176/2 หมู่ 5 ต.สระแก้ว อ.ท่าศาลา
จ. นครศรีธรรมราช 80160
E-mail 61512005@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวนารีรัตน์ วรรณุช
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 22 ธันวาคม 2540
ภูมิลำเนา จังหวัดระนอง
ที่อยู่ 78/273 ถ.ท่าเมือง ต.เขานิเวศน์ อ.เมือง
จ. ระนอง 85000
E-mail 61512012@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิคระนอง
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคระนอง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายวรวิช มุสิต
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 28 สิงหาคม 2540
ภูมิลำเนา จังหวัดพัทลุง
ที่อยู่ 211/1 ถ.เอเชีย ต.คูหาสวรรค์ อ.เมือง
จ. พัทลุง 93000
E-mail 61512018@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้