



การสร้างและประเมินเครื่องมือวัดแรงบีบจับมือสำหรับ
การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

FABRICATION AND EVALUATION OF HAND GRIP FORCE
FOR HARVESTING OIL PALM FRESH FRUIT BUNCH

ณัฐวัตร สังขบุตร

NATTAWAT SUNGKABUT

ธิรดา อ่อนอกภัย

THIRADA ONAPHAI

วุฒิพงศ์ หมวดมณี

WUTTIPONG MUADMANEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างและประเมินเครื่องมือวัดแรงบีบจับมือสำหรับ
การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

FABRICATION AND EVALUATION OF HAND GRIP FORCE
FOR HARVESTING OIL PALM FRESH FRUIT BUNCH



ณัฐวัตร สังขบุตร
NATTAWAT SUNGKABUT
ธิรดา อ่อนอภัย
THIRADA ONAPHAI
วุฒิพงษ์ หมวดมณี
WUTTIPONG MUADMANEE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION AND EVALUATION OF HAND GRIP FORCE
FOR HARVESTING OIL PALM FRESH FRUIT BUNCH



NATTAWAT SUNGKABUT
THIRADA ONAPHAI
WUTTIPONG MUADMANEE

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
AND ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การสร้างและประเมินเครื่องมือวัดแรงบีบจับมือสำหรับการเก็บเกี่ยว
ปาล์มน้ำมัน

PROJECT TITLE FABRICATION AND EVALUATION OF HAND GRIP FORCE FOR
HARVESTING OIL PALM FRESH FRUIT BUNCH

ชื่อนักศึกษา นายณัฐวัตร สังข์บุตร รหัสประจำตัว 60512049
นางสาวถิรดา อ่อนอภัย รหัสประจำตัว 60512054
นายวุฒิพงศ์ หมวดมณี รหัสประจำตัว 60514045

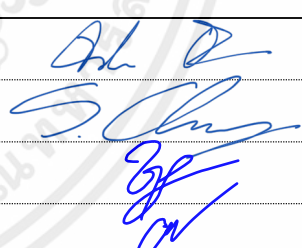
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์

ปริญญาานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์

ปริญญาานิพนธ์ร่วม

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

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 29 พฤษภาคม 2564 เวลา 17.00-18.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable
Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ มิถุนายน พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างและประเมินเครื่องมือวัดแรงบีบจับมือสำหรับการเก็บเกี่ยว ปาล์มน้ำมัน	
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวัตร สังข์บุตร	รหัสประจำตัว 60512049
	นางสาวถิรดา อ่อนอภัย	รหัสประจำตัว 60512054
	นายวุฒิพงษ์ หมวดมณี	รหัสประจำตัว 60514045
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์	
ปริญญานิพนธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
ปริญญานิพนธ์ร่วม		

บทคัดย่อ

การวัดแรงบีบจับมือเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินความแข็งแรงของมือขณะจับอุปกรณ์ โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเซนเซอร์วัดแรงบีบจับมือที่สามารถติดตั้งเป็นชิ้นเดียวกันกับด้ามเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน เซนเซอร์ถูกออกแบบมาจากหลักการวัดการเปลี่ยนแปลงความเครียดตัววัสดุในช่วงอีลาสติกและสามารถวัดแรงบีบมือแยกระหว่างส่วนฝ่ามือและนิ้วมือได้ในช่วง 0 – 30 kg ในขั้นตอนการทดสอบ เซนเซอร์ถูกนำมาสอบเทียบโดยการถ่วงน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอตลอดช่วงความยาวด้ามและประเมินความคลาดเคลื่อนของการวัดด้วยการถ่วงน้ำหนักในช่วงความยาวและตำแหน่งต่างกัน ซึ่งเป็นการจำลองขณะอาสาสมัครบีบจับที่ตำแหน่งต่างกัน จากการทดลองพบว่า เซนเซอร์มีสภาพความเป็นเชิงเส้นสูง โดยมีค่าฮิสเทอรีซิสสูงสุดไม่เกิน 1.47% และเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือวัดแรงบีบจับมือ ส่วนความผิดพลาดของตำแหน่งบีบจับด้ามจะมีค่าสูงเฉพาะตำแหน่งโคนและปลายด้ามจับและมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1.34% เมื่อบีบจับที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

คำสำคัญ: ความแข็งแรงของมือ, ด้ามเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน, เครื่องมือวัดแรงบีบจับมือ

Project Title	FABRICATION AND EVALUATION OF HAND GRIP FORCE FOR HARVESTING OIL PALM FRESH FRUIT BUNCH	
Student	Mr.Nattawat Sungkabut	Student ID 60512049
	Miss.Thirada Onaphai	Student ID 60512054
	Mr.Wuttipong Muadmanee	Student ID 60514045
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering and Energy Engineering	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Dithaporn Thungsotanon	
Project Co-advisor	Asst.Prof.Dr.Chompoonud Kulketwong	

ABSTRACT

Hand grip strength test is the standard method for evaluating the grip strength while holding tools. This project aimed to design and fabricate the grip force sensor that mounted as the handle of the oil palm harvesting tool. The sensor was designed based on the principle of elastic deformation and was separated measuring the grip force between the palm and the finger in the ranges of 0-30 kg. In testing, the sensor was calibrated balancing the evenly distributed loads along the length of the handle and assessed the measuring error with the load distribution at varying lengths and positions by imitating from the volunteers gripped at the different positions. The results were found that the sensor with high linearity had a maximum hysteresis error less than 1.47% and suitable for applying as the grip force dynamometer. The error of the gripping positions showed high values at the base and the tip of the handle, but the error in the middle of the handle did not exceed 1.34%

Keywords: Hand grip strength, oil palm harvesting tool with handle, Grip force sensor

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และอาจารย์ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยศเรพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและ กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำ ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา เกี่ยวกับการสร้างชุดวัดแรงเบรก

ณัฐวัตร สังข์บุตร
ฉิรดา อ่อนอภัย
วุฒิพงษ์ หมวดมณี
พฤษภาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สมการที่ใช้ในการทดลอง	4
2.2 การยศาสตร์	5
2.3 การออกแบบเครื่องมือตามหลักการยศาสตร์	6
2.4 แรงบีบมือ	9
2.5 เครื่องวัดแรงบีบมือ	10
2.6 การทดสอบแรงบีบมือ	11
2.7 ทฤษฎีการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบีบมือ	11
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	17
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	17
3.2 วิธีการดำเนินงาน	21
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 ผลการสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบมือ	30
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยรวมของ Grip Force Sensor	31
4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	33
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 50 mm (50%)	33
4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 25 mm (25%)	35
4.6 ผลการทดสอบการบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับ	37
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ปัญหาที่พบ	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก การออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับ	43
ภาคผนวก ข ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบและค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุด	49
ภาคผนวก ค การคำนวณ Hysteresis Error, Non-linearity Error และ Relative Error	60
ภาคผนวก ง โปรแกรม LabVIEW 2014	63
ภาคผนวก จ Aluminum 7075	68
ประวัติผู้จัดทำ	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
4.1	การสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ	35
4.2	ค่าความผิดพลาดของชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) และชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) แบบโดยรวม	37
ข.1	ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)	56
ข.2	ตารางน้ำหนักที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)	57
ข.3	ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)	58
ข.4	ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)	59
ข.5	ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)	60
ข.6	ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)	61
ข.7	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)	62
ข.8	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)	63
ข.9	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)	64
ข.10	ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)	65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	คนงานเกษตรกำลังตัดปาล์มน้ำมัน	7
2.2	การบีบจับมือประเภทต่างๆ (a) การบีบสองจุด (b) การบีบสามจุด (c) การบีบตะขอ	12
2.3	พื้นที่สัมผัสสำหรับการจับยึดที่แตกต่างกัน (a) การบีบสองจุด (b) การบีบสามจุด (c) การบีบตะขอ	12
2.4	เครื่องวัดแรงบีบจับมือแบบด้ามจับ	13
2.5	ไดนาโมมิเตอร์แบบใหม่ (a) ติดตั้งบนแฮนด์จักรยานเสือหมอบและจับด้วยมือขวา (b) วิธีแก้ปัญหาหลักที่บ่งชี้ตำแหน่งของเกจความเครียด (c) โครงร่างของวงจรฟูลบริดจ์ที่ใช้สำหรับเครื่องด้าบนและเครื่องด้าล่าง	14
2.6	การจับแรงสัมผัสของมือ	16
2.7	แบบจำลองกล้ามเนื้อแขนอย่างง่ายโดยใช้เครื่องมือเก็บเกี่ยว	17
3.1	อลูมิเนียมเพลตตัน เบอร์ 7075	20
3.2	เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150 mm Digital รุ่น CD-8 ASX	21
3.3	เหล็กกล่อง	22
3.4	โพลดเซลล์ IEN 408 Series 150 kg	23
3.5	Helical Spring	23
3.6	NI USB-6210 และ Power Supply	24
3.7	การออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับ	25
3.8	(ก) Simulation เครื่องวัดแรงบีบจับ (ข) ตารางประเมินค่าความเครียดเครื่องวัดแรงบีบจับ (ค) ขนาดสำหรับการติดตั้งสเตรนเกจ	25
3.9	Grip Force Sensor	27
3.10	ด้ามจับ	27
3.11	จุดติดสเตรนเกจบน Grip Force Sensor	27
3.12	(ก) ติดตั้งสเตรนเกจบน Grip Force Sensor (ข) ปิดทับสเตรนเกจด้วยวัสดุปิดทับสเตรนเกจและเทปดำ	28
3.13	วงจรวิสโตนบริดจ์	29
3.14	การออกแบบชุดทดลองการวัดแรงดึงสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ	29
3.15	โครงเหล็กสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ	30
3.16	ชุดวัดแรงดึง	30
3.17	การต่อเครื่องวัดแรงบีบจับมือและโพลดเซลล์เข้ากับ NI USB-6210	31
3.18	การทดสอบแรงดึง	31
3.19	แรงบีบจับมือส่วนด้าบนและส่วนด้าล่าง	32
3.20	การทดสอบวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)	32
3.21	การทดสอบวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.22	การทดสอบวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%)	33
4.1	ผลการสอบเทียบโหลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ	34
4.2	ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของ Grip Force กับ S-Type Load Cell (ก) ชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) (ข) ชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)	36
4.3	ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน	39
4.4	ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง	39
4.5	ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน	40
4.6	ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง	41
4.7	การบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือของผู้หญิงและผู้ชาย	42
ก.1	เครื่องวัดแรงบีบจับ	51
ก.2	Grip Force Sensor	52
ก.3	ด้ามจับ	53
ก.4	ชุดทดลองการวัดแรงดึงสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ	54
ง.1	หน้าโปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการสอบเทียบ	70
ง.2	หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการสอบเทียบ	71
ง.3	หน้าโปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลอง	72
ง.4	หน้า Block Diagram โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลอง	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

กระบวนการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันจะใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวด้วยเสียมและเคียว ในขณะที่ปฏิบัติงานผู้เก็บเกี่ยวจะใช้มือบีบจับด้ามให้มั่นคงแล้วออกแรงส่งผ่านด้ามจับไปสู่ทลายปาล์มหรือทางปาล์ม การกระทำดังกล่าวมีโอกาสทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน การบาดเจ็บส่วนใหญ่จะมีอาการเหนื่อยล้าที่กล้ามเนื้อแขนและมือ [1] เนื่องจากการทำงานประเภทนี้ต้องปฏิบัติงานในระยะเวลาอันยาวนาน อาจส่งผลให้คนงานได้รับการบาดเจ็บรวมถึงขณะปฏิบัติงานต้องดำเนินการให้ถูกต้องตามหลักสูตรวิทยาลัยอีกด้วย เพื่อช่วยลดปัญหาการเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและกระดูก และช่วยลดการเกิดความเมื่อยล้าในผู้ใช้แรงงาน Y. Aldien et al. [2] และ Robertoes Koekoeh K et al. [3] ได้ทำการการวิเคราะห์แรงปฏิบัติการที่กระทำต่อกล้ามเนื้อแขนด้วยวิธีการวัดค่าจากการเขียนโปรแกรมของระบบ Anybody Modeling ใช้เพื่อออกแบบเครื่องมือเก็บเกี่ยวแบบเสียมที่มีความสัมพันธ์กับส่วนกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว [4]

ในการจับด้ามจับเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันจำเป็นต้องใช้แรงบีบมือในการทำงาน การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันในแต่ละครั้งใช้แรงตื้อและแรงบิดในการแทงปาล์มอย่างมากทำให้คนงานออกแรงบีบที่ด้ามจับแน่นขึ้น [5] การประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขณะจับด้ามจับ โดยการใช้เครื่องมือวัดแรงบีบจับแบบด้ามจับ ได้แก่ Jamar dynamometer, Takei dynamometer และทรานสดิวเซอร์แบบ EMG พร้อมด้ามจับที่ดัดแปลง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ารูปร่างของด้ามจับของ dynamometer มีอิทธิพลต่อการวัดความแข็งแรง [6] ส่วนแรงของการสัมผัสจากการจับและใช้แรงในการผลัดจะทดสอบโดยการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือจับแบบจำลองขึ้นในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดแรงยึดเกาะและแรงผลัดโดยใช้เซนเซอร์แรงกด/แรงดึง ที่รวมอยู่ในด้ามจับและแผ่นวัด แรงสัมผัสที่ได้มาจากการรวมแรงกดส่วนต่อประสานกับพื้นที่สัมผัส จะทำการวัดโดยใช้แผ่นกริดวัดความดันแบบ capacitive ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าแรงสัมผัสของมือจับนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงจับยึดและแรงผลัดเท่านั้น แต่ยังรวมถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ามจับด้วย [7] จึงมีการออกแบบเซ็นเซอร์มือแบบฟิล์มบางที่ยืดหยุ่นเพื่อการวัดที่เชื่อถือได้ของแรงกด/การกระจายแรงที่ส่วนต่อประสานมือจับที่มีความหนืด รวมถึงแรงสัมผัสของมือที่สวมถุงมือจับโดยเซ็นเซอร์มือที่ปรับเทียบแล้วจะติดอยู่ที่ฝ่ามือและนิ้วมือของมือขวาอาสาสมัคร ทดลองด้วยด้ามจับทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm และแบบแยกส่วนยาว 140 mm ซึ่งรวมเซ็นเซอร์แรงแบบแกนเดียวสองตัว (Kistler 9212) สำหรับการวัดแรงจับ ด้ามจับทรงกระบอกจะถูกติดตั้งบน electrodynamic shaker ในระนาบแนวนอนทำการทดลอง 3 แบบ คือ (1) มือเปล่าจับที่จับแบบแข็ง (BH) (2) มือจับที่จับที่หุ้มด้วยวัสดุป้องกันการสั่นสะเทือน (MT) และ (3) มือที่สวมถุงมือจับที่จับ (GV) ผลที่ได้พบว่าการใช้ถุงมือป้องกันการสั่นสะเทือนหรือที่จับเครื่องมือที่มีส่วนหุ้มแบบยืดหยุ่นด้วยความหนืดจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงจับที่มากขึ้น เมื่อเทียบกับมือเปล่าจับที่จับแบบแข็งแรงพร้อมแรงกดแบบเดียวกัน [8] สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าถ้าปริมาณของความแข็งแรงไม่เพียงพอในการทำงานอาจจะนำไปสู่การบาดเจ็บมากขึ้นของข้อต่อกล้ามเนื้อและเอ็นกระดูก ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้ใช้แรงงาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของการจับอยู่ที่ 300.3 N ความแข็งแรงของมือซ้ายคือ 118.0 N และความแข็งแรงของมือขวาอยู่ที่ 148.9 N โดยค่าเฉลี่ยระบุความแข็งแรงของการจับด้านขวาสูงกว่าความแข็งแรงของการซ้าย 15.1% [9]

จากประเด็นที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การบีบจับด้ามและขนาดด้ามมีผลต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อแขนและมือ ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษารออกแบบเครื่องวัดแรงสำหรับวัดแรงบีบจับมือสำหรับการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน โดยการติดตั้งสเตรนเกจที่ผิวนอกโลหะเพื่อตรวจจับความเครียดขณะมีแรงภายนอกมากกระทำจะได้ค่าแรงบีบจับมือที่วัดได้จากการบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือด้วยแรงงานคน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน เพื่อช่วยลดอาการบาดเจ็บและลดการเมื่อยล้าขณะปฏิบัติงาน [10, 11]

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือบีบจับเพื่อใช้ในการทดสอบการบีบจับเครื่องมือเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 ค่าที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องวัดแรงบีบจับมือสามารถนำไปพัฒนาเครื่องมือการเกษตรเพื่อช่วยลดอาการบาดเจ็บ แรงบีบจับหรือจับยึดเครื่องมือที่มีผลต่อความสามารถในการปฏิบัติงาน

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.4.1 เครื่องมือวัดแรงบีบจับออกแบบให้ด้ามบีบจับมีขนาด 32 mm และความยาว 100 mm โดยสามารถติดตั้งเข้าเป็นหน่วยเดียวกันกับด้ามเก็บเกี่ยวปาล์มได้

1.4.2 สามารถประเมินแรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่างได้ ในช่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0-30 kg

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือทางเกษตร และป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

1.5.2 ได้ทราบแรงจับยึด เพื่อนำไปเป็นพารามิเตอร์ในการออกแบบเครื่องมือใหม่และเป็นพารามิเตอร์สำหรับใช้เพื่อการออกแบบ AI Robot

1.6 ขั้นตอนดำเนินการ

- 1.6.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล
- 1.6.2 ออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบีบ
- 1.6.3 สร้างอุปกรณ์วัดแรงบีบ
- 1.6.4 ทดลองและเก็บผลการทดลอง
- 1.6.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	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. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←→									
2. ออกแบบชุดทดลอง		←→								
3. ปรับและแก้ไขข้อมูล					←→					
4. ทดลองและวิเคราะห์ผล								←→		
5. สรุปผลการทดลอง								←→		
6. ทำเล่มปริญญานิพนธ์								←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดทฤษฎี วรรณกรรม หรืองานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดแรงบีบจับมือสำหรับการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

2.1 สมการที่นำมาใช้ในการคำนวณ

2.1.1 ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linearity Error)

ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น คือ ค่าความแตกต่างของค่าจริงกับค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อเกิดความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูล ซึ่งสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นได้จากสมการที่ 2.1 [10]

$$\text{Non-linearity Error} = \frac{N}{M_{\max} - M_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

โดย

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

2.1.2 ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Error)

ฮิสเทอรีซิส คือ ค่าความแตกต่างของน้ำหนักในเครื่องมือวัดเมื่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงเดียวกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 [11]

$$\text{Hysteresis Error} = \left| \frac{Y_P - Y_D}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

โดย

Hysteresis Error	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างช่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น - ลดลง (%)
Y_D	คือ	ค่าน้ำหนักค่อยๆลดลงในแต่ละช่วง (kg)
Y_P	คือ	ค่าน้ำหนักค่อยๆเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วง (kg)
Y_{\max}	คือ	ค่าน้ำหนักสูงสุด (kg)
Y_{\min}	คือ	ค่าน้ำหนักต่ำสุด (kg)

2.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error)

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผลที่ได้ของการวัดกับค่าจริง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 [12]

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

โดย

Relative error	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการวัดกับค่าจริง (%)
X_T	คือ	ค่าจริง (kg)
X_M	คือ	ค่าที่ได้จากการวัด (kg)

2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ คือ ค่าที่แสดงว่าตัวแปร x มีอิทธิพลต่อตัวแปร y มากน้อยเพียงใด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ R^2 โดยที่ $0 \leq R^2 \leq 1$ [13]

2.2 การยศาสตร์

การยศาสตร์ เป็นเรื่องการศึกษาสภาพการทำงานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม การทำงานเป็นการพิจารณาว่าสถานที่ทำงานดังกล่าว ได้มีการออกแบบหรือปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานอย่างไร เพื่อป้องกันปัญหาต่าง ๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยในการทำงาน และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ด้วย หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เพื่อให้งานที่ต้องปฏิบัติดังกล่าว มีความเหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน แทนที่จะบังคับให้ผู้ปฏิบัติงานต้องทนฝืนปฏิบัติงานนั้น ๆ ตัวอย่างง่าย ๆ ตัวอย่างหนึ่งได้แก่การเพิ่มระดับความสูงของโต๊ะทำงานให้สูงขึ้น เพื่อพนักงานจะได้ไม่ต้องก้มโน้มตัวเข้าใกล้ชิ้นงาน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการยศาสตร์ หรือนักการยศาสตร์ (Ergonomist) จึงเป็นผู้ที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ปฏิบัติงาน สถานที่ทำงาน และการออกแบบงาน ในการนำการยศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ทำงานนั้น ย่อมก่อให้เกิดประโยชน์ที่สามารถเห็นได้อย่างเด่นชัดมากมาย อาทิ ทำให้พนักงานมีสุขภาพอนามัยที่ดีขึ้น และสภาพการทำงานมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ส่วนนายจ้างก็จะได้รับประโยชน์อย่างเด่นชัดจากผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น

การยศาสตร์ จึงเป็นแขนงวิชาที่มีเนื้อหาสาระครอบคลุมกว้างขวาง โดยได้รวมเนื้อหาวิชาหลาย ๆ สาขาที่เกี่ยวกับสภาพการทำงานที่สามารถทำให้พนักงานมีความสะดวกสบายและมีสุขภาพอนามัยดี รวมไปถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แสงสว่าง เสียงดัง อุณหภูมิ ความสั่นสะเทือน การออกแบบหน่วยที่ทำงาน การออกแบบเครื่องมือ การออกแบบเครื่องจักร การออกแบบเก้าอี้ และการออกแบบงาน (รูปที่ 2.1) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 คนงานเกษตรกำลังตัดปาล์มน้ำมัน [15]

2.3 การออกแบบเครื่องมือตามหลักกายศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องมือที่ใช้แรงจากมือกับเครื่องมือที่ใช้กำลัง เครื่องมือที่ใช้แรงจากมือ หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้การออกแรงจากมือหรือแรงการของคนในการบังคับควบคุมการทำงานโดยไม่ใช้พลังงานภายนอกมาช่วยในการออกแรง เช่น ค้อน ไขควง คีม กรรไกร และเลื่อยมือ เป็นต้น ส่วนเครื่องมือที่ใช้กำลัง หมายถึง อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้พลังงานภายนอกมาช่วยเช่น สว่านไฟฟ้า เครื่องตัดหญ้า เครื่องตัดแต่งทางปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

เครื่องมือที่ใช้แรงมือมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมหลายประเภทเครื่องมือที่ใช้มากในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน เช่น อุตสาหกรรมการประกอบใช้คีม อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์มีการใช้มีดในการหั่นแล่เนื้อ อุตสาหกรรมการเกษตรในส่วนการผลิตได้แก่ เคียว เสียม จอบ พร้า เป็นต้น คนงานจำเป็นต้องใช้งานเครื่องมือเป็นประจำในกิจกรรมการทำงานของพวกเขา เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานานและอยู่ในการทำงานที่มีท่าทางซ้ำๆ และความเครียดที่จำกัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถนำไปสู่ปัญหาในการได้รับบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหรือกระดูกอาจนำไปสู่อาการบาดเจ็บสะสมเป็นความผิดปกติของกล้ามเนื้ออ่อนของเส้นเอ็นและเส้นประสาทที่เกิดจากการออกแรงซ้ำๆ และการเคลื่อนไหวที่มากเกินไปโดยสำนักงานสถิติแรงงาน (BLS) รายงานว่าในปี 1981, 18% ของโรคจากการประกอบอาชีพเนื่องจากการบาดเจ็บสะสมและมีการเพิ่มขึ้นถึง 62% ในปี 1992 [16] สาเหตุอาจเกิดจากการออกแบบเครื่องมือหรือท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม ส่วนหนึ่งสำคัญของเครื่องมือจับ คือ มือจับ หากออกแบบขนาดที่เหมาะสม คือ การใช้งานจะมีความปลอดภัย ความสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังส่งผลในเชิงบวกด้านสุขภาพและความพึงพอใจในงานที่เขาปฏิบัติอีกด้วยด้วยลักษณะการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับมือ ในการทำกิจกรรมต่างๆทั้งเพื่อการทำงานหรือในกิจกรรมประจำวันได้แก่

1. การปวดเมื่อยข้อนิ้วมือ เนื่องจากการเคลื่อนไหวที่นิ้วมากเกินไป
2. การปวดกล้ามเนื้อในอุ้งฝ่ามือ อาจเกิดจากแรงกดทับในอุ้งมือเนื่องจากด้ามจับที่สั้นเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปวดข้อมืออาจเกิดจากการหมุนบิดข้อมือหลายครั้งหรือออกแรงท่าทางข้อมือบิดงอเป็นเวลานาน

4. การปวดกล้ามเนื้อแขนและไหล่ เกิดจากการปฏิบัติงานที่ต้องยกแขนและไหล่เป็นเวลานาน

5. การถูกบาดและถูกตัดด้วยของมีคมหรือถูกหนีบด้วยชิ้นส่วนของอุปกรณ์

6. การเกิดแผลพุพองเนื่องจากการสัมผัสของร้อนหรือสารเคมี

ดังนั้น การออกแบบเครื่องมือจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับลักษณะการใช้งานหรือประเภทของเครื่องมือโดยใช้หลักการออกแบบตามหลักการต่างๆ ได้แก่ กายวิภาคของมือ ชีวกลศาสตร์ และหลักการการยศาสตร์ รวมถึงแนวทางการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

2.3.1 ประเภทของเครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้จับทั่วไปสามารถแบ่งประเภทได้หลายลักษณะ เช่น แบ่งตามลักษณะของด้ามจับ แบ่งตามลักษณะการจับถือและการออกแรงของผู้ใช้งาน แบ่งตามลักษณะการใช้กำลัง ดังนี้

1. ประเภทของเครื่องมือแบ่งตามลักษณะของด้ามจับ ดังนี้

- มือจับแบบด้ามเดี่ยว ได้แก่ ไขควง ค้อน เคียว เสียม เป็นต้น
- มือจับแบบด้ามคู่ ได้แก่ กรรไกร คีม เป็นต้น

2. ประเภทของเครื่องมือแบ่งตามลักษณะการจับถือและการออกแรงของผู้ใช้งาน ได้แก่

- ประเภทที่ต้องใช้แรงจับอย่างมั่นคง เป็นเครื่องมือที่ต้องการแรงจากมือและแขนช่วยเสริมในการทำกิจกรรม เช่น พวงมาลัย คันโยก เป็นต้น

- ประเภทที่ต้องใช้แรงจับน้อยแต่เน้นการแม่นยำ คือ เครื่องมือที่จับด้วยกล้ามเนื้อนิ้วมือเพื่อระบุตำแหน่งที่เจาะจง เช่น ปากกา ตะเกียบ เป็นต้นลักษณะเช่นนี้จะออกแรงไม่มากแต่จะออกแรงซ้ำๆ ของกล้ามเนื้อนิ้วมือส่วนใหญ่อุปกรณ์พวกนี้จะใช้นิ้วชี้และนิ้วกลาง

3. ประเภทเครื่องมือแบบแบ่งจากการใช้กำลัง แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆดังนี้

- เครื่องมือใช้มือ หมายถึง อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้แรงมือหรือแรงของคนเท่านั้น
- เครื่องมือที่ใช้กำลัง หมายถึง อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้กำลังภายนอกมาช่วย เช่น

พลังงานน้ำ พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

4. ประเภทเครื่องมือแบ่งตามการจับ

- เครื่องมือที่ใช้ในการจับแบบด้ามเดี่ยว ได้แก่ ค้อน สิว ประแจ ไขควง เป็นต้น
- เครื่องมือที่ใช้แบบจับแบบด้วยคู่ ได้แก่ คีม กรรไกร เป็นต้น

2.3.2 การออกแบบเครื่องมือโดยใช้หลักการยศาสตร์

หลักการทางยศาสตร์ควรจะรวมอยู่ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือเครื่องมือทางอุตสาหกรรม เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเครื่องมือจับที่ออกแบบตามหลักการยศาสตร์สามารถลดอาการไม่สบาย ความเครียดทางชีวกลศาสตร์และปัจจัยเสี่ยงต่างๆแต่หลักการพื้นฐานที่ควรพิจารณา ได้แก่ ด้ามจับของเครื่องมือที่ถูกออกแบบจะต้องไม่เกิดการหักงอขณะทำงานสำหรับ

หลักการที่ควรนำไปประยุกต์ใช้ สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ หลักกายวิภาคของมือ หลักชีวกลศาสตร์ และหลักการยศาสตร์

2.3.3 การออกแบบจากหลักกายวิภาคของมือ

การเคลื่อนไหวซ้ำๆ และการออกแบบแรงหีบขึ้นงานด้วยนิ้วมือ (ไม่ใช่การกำมือ) เป็นท่าทางที่ควรหลีกเลี่ยง เช่น การใช้แรงนิ้วชี้หนีเยวโก ซึ่งเป็นการควบคุมเครื่องมือใดเครื่องมือหนึ่ง โดยมีการออกแรงซ้ำๆติดต่อกันตลอดการทำงาน จะเกิดอาการที่เรียกว่าโรคนิ้วล็อค โดยผู้ป่วยจะมีอาการกระดูกเมื่อยึดนิ้วออกหรือบางครั้งอาจต้องใช้มือช่วยในการยืด สาเหตุของการเกิดท่าทางนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อมือต้องถือกับด้ามจับที่มีขนาดใหญ่เกินไปซึ่งทำให้เกิดการแกว่งได้ ผู้ปฏิบัติงานควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสเทือนของแขนและมือซ้ำๆและเป็นเครื่องมือที่ใช้กำลังมาก เช่น เลื่อยไฟฟ้า ส่วน เป็นต้น หรือการออกแรงต่อวัสดุเป้าหมายที่แข็ง เช่น จอบ ที่ใช้ในการขุดดินแข็ง ซึ่งทำให้มีแรงโต้ตอบมายังมือ การใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดอาการนิ้วตายเพราะเส้นเลือดเกิดการบีบรัดตัวสูงทำให้การไหลเวียนเลือดไม่สะดวก

2.3.4 หลักการยศาสตร์สำหรับการออกแบบเครื่องมือ

หลักการที่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์เพื่อการพิจารณาออกแบบเครื่องมือจับตลอดจนการเลือกใช้ที่ถูกเสนอแนะโดยนักการยศาสตร์หลายท่าน ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1985 ถึงปัจจุบัน [17] สามารถสรุปได้ดังนี้

- ด้ามจับควรหลีกเลี่ยงการบากร่องตามรอยนิ้วแต่ละนิ้ว เพราะลักษณะเช่นนั้นจะทำให้การออกแรงของกล้ามเนื้อมือลดลงและการออกแรงของแต่ละนิ้วย่อมถูกจำกัด (ยกเว้นว่าเป็นการออกแบบและผลิตมาเฉพาะบุคคลขนาดของด้ามจับและร่องนิ้วเหล่านั้นมีขนาดพอดีกับผู้ใช้งานเท่านั้นจริงๆ) แต่ที่พบเห็นในตลาดทั่วไปนั้นด้ามจับประเภทนี้ถูกออกแบบและผลิตมาให้มีขนาดที่เข้ากันได้กับคนส่วนใหญ่ ดังนั้นผู้ใช้ที่มีมือขนาดเล็กย่อมต้องกำนิ้วมากกว่าปกติในขณะที่ใช้งานในขณะที่กลุ่มผู้ใช้ที่มีมือขนาดใหญ่จะต้องจับกำแบบเบียดนิ้วโดยมีส่วนสัมผัสบนสันนูนระหว่างนิ้วของด้ามจับนั้นทำให้ไม่สะดวกสบายและบาดเจ็บได้
- ด้ามจับควรหลีกเลี่ยงด้ามจับที่ทำให้อยู่ในท่าทางที่ผิดปกติในขณะที่ทำงาน เช่น ต้องหักงอข้อมือหรือต้องเปียงข้อมือ
- ด้ามจับควรหลีกเลี่ยงด้ามจับที่อยู่ใกล้ส่วนที่มีคมหรือเป็นมุมแหลมขณะที่เป็นอันตรายเหล่านี้ควรถูกกำจัดออกไปหรือมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายในขณะที่ใช้งานอย่างเหมาะสม
- วัสดุที่ใช้ทำด้ามจับควรทำให้เป็นผิวด้ามจับถูกจับอย่างถนัดมือ ไม่ลื่น ไม่นำความร้อน ไม่นำไฟฟ้า
- ด้ามจับควรหลีกเลี่ยงด้ามจับที่สั่นหรือเมื่อจับกำแล้วให้อยู่ในอุ้มมือให้เกิดแรงกดอัดสูงในอุ้มมือก่อให้เกิดการบาดเจ็บได้เนื่องจากการไหลเวียนของเลือดและแนวเส้นประสาทถูกขัดขวาง
- ขนาดของด้ามจับควรพอดีกับขนาดมือทั้งนี้คือการพิจารณาทั้งรูปร่าง ความหนา ความยาวซึ่งขนาดของการจับกำที่เหมาะสมย่อมขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของนิ้วมือฝ่ามือและมือของผู้ใช้งาน
- หลีกเลี่ยงหรือป้องกันความสั่นสะเทือนจากเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน
- การใช้งานเครื่องมือควรหลีกเลี่ยงการจับถือด้ามจับพร้อมการออกแรงที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการจับ
 - ผู้ใช้เครื่องมือต้องจับถือเครื่องมือด้วยแรงที่เหมาะสม เช่น เครื่องมือที่ใช้แรงมากควรจับกำด้วยกำมือทั้งหมด แต่ถ้าเป็นเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดแม่นยำต้องจับถือด้วยกำมือเนื้อมัดเล็ก
 - ความแข็งแรงของการบีบกำมือกับระยะเวลาในการออกแรงเป็นปัจจัย 2 ตัวที่มีความสำคัญต่อการออกแบบและการเลือกใช้เครื่องมือบีบจับโดยความแข็งแรงของแรงบีบกำมือวัดจากค่าแรงบีบมือที่สูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องวัดซึ่งจะถูกพิจารณาควบคุมไว้กับระยะเวลาที่นานที่สุดโดยทั่วไปพบว่าบุคคลที่มีความแข็งแรงของแรงบีบกำมือต่ำและระยะเวลาในการออกแรงน้อยจะมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสะสม
 - ขนาดความกว้างของด้ามจับและเส้นผ่านศูนย์กลางด้ามจับโดยควรออกแบบให้มีขนาดด้ามจับให้เหมาะสมกับขนาดของผู้ใช้
 - ความสั่นสะเทือนโดยการจับตามอุปกรณ์เครื่องมือที่มีความสั่นสะเทือนย่อมต้องการแรงมือในการจับกำและควบคุมมากกว่าการจับกำและควบคุมเครื่องมือที่ไม่มีการสั่นสะเทือนท่าทางของข้อมือความสามารถในการออกแรงบีบกำมือจะมีค่าลดลงเมื่อข้อมืออยู่ในท่าบิดงอ [18]

2.4 แรงบีบมือ

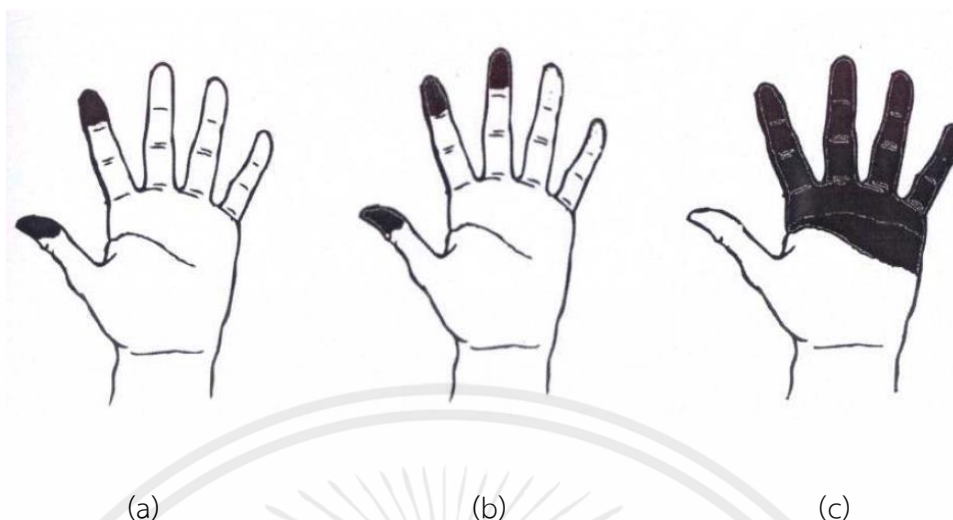
ในชีวิตประจำวันมนุษย์ใช้การกระทำที่จับต้องเพื่อทำงานที่แตกต่างกัน การจับยึดทำได้ด้วยมือมนุษย์และในขณะที่ดำเนินการนี้วัตถุและมือจะสัมผัสกัน ดังนั้นแรงจึงถูกพัฒนาขึ้น เรียกว่าเป็นแรงยึดเกาะและมือของมนุษย์สามารถจับวัตถุในตำแหน่งที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2.2) และ รูปที่ 2.3 (a) แสดงนิ้วที่เกี่ยวข้องกับการบีบสองจุด ในกรณีนี้ส่วนปลายของนิ้วโป้งและนิ้วชี้จะสัมผัสกับวัตถุ ในขณะที่ใช้นิ้วหัวแม่มือสามนิ้วบีบนิ้วหัวแม่มือสามนิ้ว นิ้วชี้และนิ้วกลางส่วนปลายสัมผัสกับวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (b) ในทางกลับกันในการบีบตะขอยกเว้นนิ้วหัวแม่มือทั้งสี่นิ้วและส่วนบนของฝ่ามือสัมผัสวัตถุดังแสดงในรูป (c) (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.2 การจับยึดประเภทต่างๆ (a) การบีบสองจุด (b) การบีบสามจุด (c) การบีบตะขอ [19]

รูปที่ 2.2 (a), (b) และ (c) แสดงการบีบสองจุดการบีบสามจุดและการบีบตะขอตามลำดับ และนิ้วที่เกี่ยวข้องหรือสัมผัสกับวัตถุในการจับยึดแต่ละประเภทแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 (a), (b) และ (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 พื้นที่สัมผัสสำหรับการจับยึดที่แตกต่างกัน (a) การบีบสองจุด (b) การบีบสามจุด (c) การบีบตะขอ [19]

แรงจับมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของเราในปัจจุบัน ในทางการแพทย์ใช้เป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยการลดลงของวัยชราและระดับการทำงานของมือในการฟื้นฟูสมรรถภาพ แรงยึดเกาะยังเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับบุคลิกของนักกีฬา กีฬาที่แรงในการจับมีความสำคัญ ได้แก่ ยิมนาสติก ปีนเขา ยกกำลัง ชีมน้ำ แบดมินตัน หรือเทนนิส เป็นต้น เพื่อศึกษาชีวกลศาสตร์ของมือมนุษย์ การวัดแรงในการจับมือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างแม่นยำ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ใช้เครื่องมือจับหรือวัตถุสำหรับวัดแรงยึดเกาะในด้ามจับ ด้ามจับทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงและเป็นอุปกรณ์วัดแรงยึดเกาะในอุดมคติ เนื่องจากสามารถจับพื้นที่สัมผัสมือทั้งหมดได้ [19]

2.5 เครื่องวัดแรงบีบมือ

การทดสอบความแข็งแรงของมือ (HGS) จะวัดปริมาณแรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อต้นแขนที่ควบคุมด้วยมือ ตัวชี้วัดนี้ได้มาจากการใช้งานง่าย ๆ ของไดนามิเตอร์แบบด้ามจับ ความเรียบง่าย ความน่าเชื่อถือและความทนทานของการทดสอบนี้นำไปสู่การใช้กันอย่างแพร่หลายในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ความแข็งแรงของมือ (HGS) ได้รับผลกระทบอย่างมากโดยเพศและอายุ แรงยึดเกาะสูงสุดมักพบในผู้ชายที่มีอายุระหว่าง 24 ถึง 39 ปี โดยปกติผู้ชายจะมีความแข็งแรงของมือ (HGS) ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผู้หญิงด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับการออกกำลังกาย สุขภาพโดยรวม โภชนาการ BMI ระดับฮีโมโกลบิน และอัตราการกรองไตที่เหลือนำไปสู่อายุขัยแล้วส่งผลต่อความแข็งแรงของมือ (HGS) จุดแข็งของมือสามารถส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของมือ (HGS) ได้เช่นกัน คนถนัดขวาสามารถเห็นความแตกต่างได้ถึง 10% ในความแข็งแรงของมือ (HGS) อย่างไรก็ตาม คนถนัดซ้ายไม่ได้แสดงความแตกต่างระหว่างมือที่ถนัดและไม่ถนัด (รูปที่ 2.4) [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดแรงบีบจับมือแบบด้ามจับ [20]

2.6 การทดสอบแรงบีบมือ

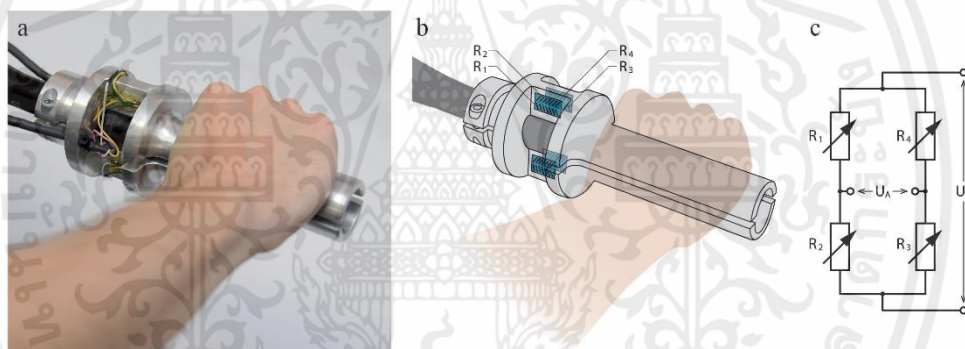
การทดสอบวัตถุด้วยการบีบจับนั้นเป็นการทดสอบแรงบีบมือที่เกิดขึ้นระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งการปรับแรงจับที่เหมาะสมในระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อรับมือกับแรงโหลดที่แปรผันตามเวลาที่เกิดจากความเฉื่อยวัตถุและเป็นลักษณะสำคัญของการควบคุมการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ในการทดสอบ การสร้างแรงสูงสุดในระหว่างการบีบฝ่ามือที่วัตถุจะเกิดแรงจับ (แรงจับปกติสำหรับพื้นผิว) แรงรับน้ำหนัก (แนวตั้ง) และแรงเฉือน (แนวนอน) ระหว่างการปฏิบัติงาน แรงแนวตั้ง (ทิศทาง y) จะสะท้อนถึงผลรวมของแรงโน้มถ่วงและแรงเฉื่อย แรงตั้งฉาก (ทิศทาง z) สอดคล้องกับแรงจับปกติกับพื้นผิววัตถุและแรงเฉือน (แนวนอน : ทิศทาง x) หมายถึงแรงเฉือนส่วนปลายที่เกิดจากปลายนิ้วแสดงถึงส่วนประกอบของแรงที่เบี่ยงเบนไปจากทิศทางที่เกี่ยวข้องกับงาน (เช่น แรงตั้งฉาก) ทิศทางแรงปลายนิ้ว คือ อัตราส่วนแรงต่อแรงเฉือน (ปกติ) แสดงถึงรูปแบบการประสานกันของกล้ามเนื้อ เนื่องจากกล้ามเนื้อแต่ละนิ้วจะสร้างทิศทางแรงกดจากปลายนิ้วที่ไม่ซ้ำกัน (เช่น อัตราส่วนแรงปกติต่อแรงเฉือน) [21]

2.7 ทฤษฎีการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบีบจับมือ

ในการประเมินความต้านทานแบบเชิงกลของวัตถุในระหว่างการปั่นจักรยาน ต้องพึ่งพาไดนาโมมิเตอร์ที่สามารถใช้ร่วมกันหรือแลกเปลี่ยนกับแฮนด์จักรยานเพื่อควบคุมแรงจับของวัตถุ ซึ่งไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Jamar hand dynamometer เป็นไดนาโมมิเตอร์เชิงพาณิชย์ใช้ระบบไฮดรอลิก อุปกรณ์ที่จับที่ปรับได้สำหรับตำแหน่งจับและวัดแรงในแกนเดียว แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่นเดียวกับไดนาโมมิเตอร์แบบใช้มือถือเชิงพาณิชย์อื่นๆ อุปกรณ์ได้รับการออกแบบมาเพื่อวัดแรงสูงสุดเท่านั้น ให้อิสระเพียงระดับเดียว และไม่สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆได้ จึงมีไดนาโมมิเตอร์แบบใช้มือถือที่ผลิตขึ้นเองหลายตัวที่ใช้งาน ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการเฉพาะงาน ดังนั้น จุดประสงค์ของบทความนี้ คือ เพื่อพัฒนาไดนาโมมิเตอร์ที่ทนทานสามารถบันทึกแรงจับที่แฮนด์มือจับส่วนต่อประสานระหว่างคนกับเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรายละเอียดแล้ว อุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่นี้ควรจะสามารถวัดแรงยึดจับและแรงสนับสนุนที่แฮนด์จักรยานได้อย่างอิสระ ในขณะที่เผชิญกับแรงสั่นสะเทือน สำหรับรูปลักษณะและการออกแบบไดนาโมมิเตอร์ คือ ตัวจับยึดจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลวงที่ทำจากอะลูมิเนียม ไดนาโมมิเตอร์ประกอบด้วย คานตัดสองอันที่หันเข้าหากันที่ด้านจับยึดที่มีรูปร่างครึ่งเปลือก และแคลมป์หนึ่งอันที่ด้านที่ไม่จับยึด (รูปที่ 2.5) คานตัดได้รับการติดตั้งเกจวัดแรงเฉือน 4 ตัว เกจความเครียดถูกนำไปใช้อย่างสมมาตรในแกนกลางของคาน เกจสองตัวเชื่อมต่อกันในวงจรฟูลบริดจ์เพื่อครอบคลุมวงจรถัดของครึ่งส่วนบน (THS) และเกจสองตัวเชื่อมต่อกันในวงจรฟูลบริดจ์เพื่อครอบคลุมวงจรถัดของครึ่งส่วนล่าง (BHS) การจัดเรียงช่วยให้สามารถวัดแรงสนับสนุนได้ เช่น แรงที่กระทำในแนวรัศมีกับ THS และแรงจับยึด กล่าวคือ ผลรวมของแรงที่กระทำในแนวรัศมีกับ THS และ BHS นอกจากนี้การจัดเรียงยังช่วยให้สามารถชดเชยการขยายตัวทางความร้อน การชดเชยแรงกระทำที่ด้านหน้าและการชดเชยแรงบิด การทำงานของไดนาโมมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ได้รับการพิสูจน์ในการทดสอบนำร่อง การทดสอบแสดงให้เห็นว่าการออกแบบมีความทนทานและอุปกรณ์สามารถทำงานได้ในขณะที่ถูกสั่นสะเทือน [22]



รูปที่ 2.5 ไดนาโมมิเตอร์แบบใหม่ (a) ติดตั้งบนแฮนด์จักรยานสี่หมอบและจับด้วยมือขวา (b) วิธีแก้ปัญหาหลักที่บ่งชี้ตำแหน่งของเกจความเครียด (c) โครงร่างของวงจรฟูลบริดจ์ที่ใช้สำหรับครึ่งด้านบนและด้านล่าง [22]

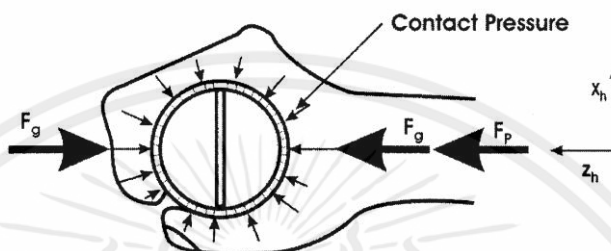
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sharence Nai Sowat et al. [1] ศึกษาการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันสด (FFB) บนต้นปาล์มน้ำมันที่สูงด้วยมือแบบธรรมดาโดยใช้แรงงานคน การใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องเก็บเกี่ยว ตลอดจนการวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์ปีนเขาเพื่อเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันสด (FFB) มีการใช้และพัฒนาวิธีการเก็บเกี่ยวและเทคโนโลยีมากมายเพื่อเพิ่มผลผลิตในการเก็บเกี่ยวและลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน

Y. Aldien et al. [2] ศึกษาการกระจายความดันเฉพาะที่และแรงสัมผัสที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวมือ ซึ่งการกระจายแรงของการสัมผัสเหนือพื้นผิวของมือเป็นฟังก์ชันของแรงยึดจับแรงกดและขนาดของมือจับ โดยจะศึกษาจากอาสาสมัครชาย 10 คน ทำการทดสอบด้วยการตรวจวัดที่ดำเนินการภายใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

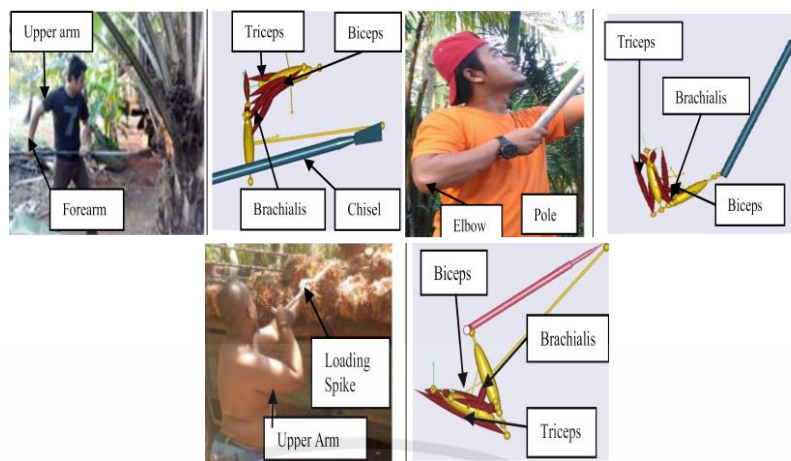
การใช้งานที่หลากหลายของการจับมือ ได้แก่ การจับยึดแบบคงที่และแบบกดใช้ด้ามจับทรงกระบอกที่แตกต่างกันสามแบบคือ 30, 40 และ 48 mm และแรงกดในช่วง 0-75 N เพื่อวัดแรงที่เกิดจากมือและแรงกดแบบกระจายโดยใช้แผ่นตรวจจับความดันแบบ capacitive ที่พันรอบด้ามจับจะได้ค่าแรงของด้ามจับ เพื่อหาการกระจายแรงสัมผัสบนพื้นผิวมือตามแรงจับ แรงผลักและขนาดที่จับ แรงกดตันสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆของมือ ยังได้รับการตรวจสอบด้วยขีดจำกัด เกณฑ์ความดัน ความรู้สึกไม่สบายและความเจ็บปวด (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การจับแรงสัมผัสของมือ [2]

Robertoes Koekoeh K et al. [3] ศึกษาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการบาดเจ็บของเกษตรกรและความไม่สะดวกในการใช้เครื่องมือการเกษตรระหว่างการทำฟาร์มแบบดั้งเดิมและเพื่อลดการบาดเจ็บของเกษตรกรในชาวตะวันออกเฉียงใต้ การเกษตรการบาดเจ็บส่วนใหญ่อยู่ที่มือเกษตรกรและรู้สึกเหนื่อยล้า/ไม่สบายในส่วนต่างๆของร่างกายเมื่อใช้เครื่องมือการเกษตรพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่บ่นว่ามีอาการเหนื่อยล้าบริเวณหลังส่วนบน (ร้อยละ 92.8%) กลางหลัง (93.6%) และหลังส่วนล่าง (91.8%) หลักเกณฑ์ที่สามของการออกแบบเครื่องมือการเกษตรที่อ้างอิงจากการสำรวจมีความปลอดภัยดีและพอดีมือและใช้งานง่ายการประเมินตามหลักสรีรศาสตร์แสดงให้เห็นว่าความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ามจับ 12.4 cm และ 3.0 cm ตามลำดับเกษตรกรส่วนใหญ่ชอบเครื่องมือที่ปลอดภัยแล้วตามด้วยจับด้วยมือที่ดีใช้งานง่ายโดยไม่เกิดการอักเสบที่มือ

Aliff Rahman et al. [4] ศึกษาแบบจำลองกล้ามเนื้อแขนแบบง่ายสำหรับกระบวนการเก็บเกี่ยวน้ำมันปาล์มมุ่งเน้นในการวิเคราะห์แบบไดนามิกซัพพอร์ตเพื่อตรวจสอบแรงปฏิกิริยาของกล้ามเนื้อและความยาวของการหดตัวจึงทำให้กระบวนการเก็บเกี่ยวน้ำมันเป็นสิ่งสำคัญที่จะตรวจสอบว่ากล้ามเนื้อจะมีการตอบสนองผ่านการเคลื่อนไหวของงานกระบวนการเก็บเกี่ยวน้ำมัน งานวิจัยนี้ใช้การเขียนโปรแกรมของระบบ Anybody Modeling เพื่อออกแบบส่วนของแขนกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว โดยการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและความยาวการหดตัวของกล้ามเนื้อเมื่อใช้เครื่องมือในการเก็บเกี่ยวมี สิว เหล็กเกี่ยวปาล์ม และ เหล็กแทงปาล์มสำหรับยกและมิกกล้ามเนื้อที่ถูกเลือกสามแบบ ได้แก่ Biceps, Triceps และ Brachialis Biceps (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 แบบจำลองกล้ามเนื้อแขนอย่างง่ายโดยใช้เครื่องมือเก็บเกี่ยว [4]

Na Jin Seo et al. [5] ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค้ำจับและแรงบิดเกี่ยวกับแกนยาวของค้ำจับทรงกระบอกต้องใช้แรงบิดที่เพียงพอกับมือดำเนิน กิจกรรมต่าง ๆ ของการทำงานชีวิตประจำวัน ทำการทดลองโดยมีอุปกรณ์ทดสอบเป็นค้ำจับ ทรงกระบอก 3 ขนาดด้วยกันและผู้เข้าร่วมการทดลองแบ่งเป็นเพศชาย 6 คนและเพศหญิง 6 คน อายุระหว่าง 21 ถึง 35 ปี ทำการทดสอบผลกระทบของทิศทางแรงบิดเส้นผ่านศูนย์กลางของค้ำจับ ในการกระจายแรงยึดเกาะและแรงบิด แรงในการยึดเกาะถูกวัดโดยเกจวัดแรง load cell ซึ่งจะเชื่อมต่อในค้ำจับทรงกระบอก ผลการทดสอบพบว่าแรงบิดเฉลี่ยแรงยึดจับแรงปกติรวม ที่ปลายนิ้ว/นิ้วหัวแม่มือแรง เพศชายมากกว่าเพศหญิงถึง 2 เท่า การวัดแรงจับขึ้นอยู่กับมุมที่วัดจาก เกจวัดที่มือแรงบิดของมือจะเกิดมากขึ้นเมื่อแรงบิดของเหล็กทรงกระบอกถูกใช้ในทิศทางที่มีปลายนิ้ว กอดอยู่ขณะกำทำให้กระดูกนิ้วงอและเพิ่มแรงยึดเกาะและแรงบิด

Josária F. Amaral et al. [6] ศึกษาความน่าเชื่อถือ ความหลากหลายของเครื่องวัดแรงบีบ จับแบบมือถือและรูปทรงค้ำจับที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ ระหว่างไดนามิเตอร์แบบมือถือสามแบบที่แตกต่างกันและวิเคราะห์ความแข็งแรงในการจับ ทำการทดสอบด้วยไดนามิเตอร์ Jamar, ไดนามิเตอร์ Takei และทรานสดิวเซอร์แบบใช้มือระบบ EMG พร้อมค้ำจับที่ดัดแปลง โดยมีอาสาสมัครสุขภาพดีสิบแปดคนอายุ 20.0 ± 1.3 ปี ที่ไม่มีประวัติ กระดูกและกล้ามเนื้อความผิดปกติหรือการบาดเจ็บในแขนขาที่ประเมินถูกรวม ทดสอบความเป็น มาตรฐานของข้อมูลโดยใช้การทดสอบ Shapiro-Wilk เพื่อยืนยันความเป็นไปได้ความแตกต่าง ระหว่างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า กระบวนการสอบเทียบเครื่องวัดไดนามิเตอร์ประเมินโดยใช้วิธีการ ถอดอยเชิงเส้น ผลที่ได้เราจะสังเกตเห็นสำคัญทางสถิติความแตกต่างของกลุ่มเพศหญิงระหว่าง Jamar และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าTakei (ตัวเมีย $p < 0.001$ และตัวผู้ $p = 0.022$) และทรานสดิวเซอร์ แบบใช้มือระบบ EMG พร้อมค้ำจับที่ดัดแปลง (หญิง $p < 0.001$ และเพศชาย $p = 0.007$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลต่อรูปร่างที่จับของเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการวัดความแข็งแรงจับ

D. Welcome et al. [7] ศึกษาพัฒนาวิธีการวัดแรงสัมผัสที่ด้ามจับของเครื่องมือและเพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างแรงและด้ามจับมือและการผลักดันโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือจับแบบจำลองขึ้นในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดแรงยึดเกาะและแรงผลักโดยใช้เซ็นเซอร์แรงกด/แรงดึง ที่รวมอยู่ในด้ามจับและแผ่นแรง แรงสัมผัสได้มาจากการรวมแรงกดส่วนต่อประสานกับพื้นที่สัมผัส จะทำการวัดโดยใช้ตารางวัดความดันแบบ capacitive ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแรงสัมผัสของมือจับนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงจับยึดและแรงผลักเท่านั้นแต่ยังรวมถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ามจับด้วย ผลการวิจัยเพิ่มเติมชี้ให้เห็นว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นสามารถระบุลักษณะการฟังพาของแรงสัมผัสที่ด้ามจับเส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสกับการสัมผัสถูกสั่นสะเทือนด้วยมือและการบาดเจ็บที่มือและข้อมือสะสม

Yumeng Yao et al. [8] ศึกษาการออกแบบเซ็นเซอร์มือแบบฟิล์มบางที่ยืดหยุ่นเพื่อการวัดที่เชื่อถือได้ของแรงกด/การกระจายแรงที่ส่วนต่อประสานมือจับที่มีความหนืด รวมถึงแรงสัมผัสของมือที่สวมถุงมือจับ คุณสมบัติทางสถิติของเซ็นเซอร์มือได้รับการประเมินในแง่ของการดริฟท์ ความเป็นเส้นตรง ความสามารถในการทำซ้ำ และฮิสเทอรีซิสภายใต้โหลด ต่อจากนั้น การทดลองได้รับการออกแบบเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงจับ แรงผลัก และแรงสัมผัสที่ส่งผ่านผิวหนังที่อยู่ระหว่างสองส่วนสำหรับมือจับที่ยืดหยุ่น แรงสัมผัสของมือจับจะทำการทดลอง 3 แบบ คือ (1) มือเปล่าจับที่จับแบบแข็ง (BH) (2) มือจับที่จับที่หุ้มด้วยวัสดุป้องกันการสั่นสะเทือน (MT) และ (3) มือที่สวมถุงมือจับที่จับ (GV) ทดสอบด้วยอาสาสมัครชาย 5 คนและการจับยึด 9 ครั้ง (10, 30 และ 50 N) และแรงผลัก (25, 50 และ 75 N) ข้อมูลที่วัดได้ถูกวิเคราะห์โดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นหลายแบบเพื่อสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด (Fp) และแรงสัมผัส (Fc) สำหรับแต่ละส่วนต่อประสานมือจับและตรวจสอบผลของถุงมือป้องกันการสั่นสะเทือน (AV) ต่อความแข็งแรงของด้ามจับ ผลที่ได้การใช้ถุงมือป้องกันการสั่นสะเทือนหรือที่จับเครื่องมือที่มีส่วนหุ้มแบบยืดหยุ่นด้วยความหนืด จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องการแรงจับที่มากขึ้น เพื่อให้มือจับใช้แรงกดตามความต้องการ เมื่อเทียบกับมือเปล่าจับที่จับแบบแข็งพร้อมแรงกดแบบเดียวกัน

K.N. Dewangan et al. [9] ศึกษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อของแรงงานเกษตรจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย เพื่อสร้างข้อมูลและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบสามมิติของแรงงานเกษตรจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย ทำการทดสอบโดยแรงงานเกษตรชายอายุระหว่าง 18 ถึง 60 ปี จำนวน 379 คน ทำการใช้แรงกดด้วยมือทั้งสองบนโพลลิตเซลล์ที่ด้ามจับเป็นเวลา 5 s และใช้แรงดึงสูงสุดด้วยมือทั้งสองข้างบนโพลลิตเซลล์ที่ด้ามจับ เป็นเวลา 5 s ทดลอง 3 ครั้ง ในแต่ละเรื่องผลที่ได้พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของด้ามจับอยู่ที่ 300.3 N ความแข็งแรงของมือซ้ายคือ 118.0 N และความแข็งแรงดึงมือขวาอยู่ที่ 148.9 N การศึกษาครั้งนี้ให้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและดัดแปลงการออกแบบของมือการเกษตรเครื่องมือและ

อุปกรณ์โดยมีเป้าหมายในการลดความน่าเบื่อหน่ายและเพิ่มระดับของประสิทธิภาพความปลอดภัย และความสะอาดสบายให้กับผู้ใช้งาน

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า กระบวนการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันจะใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยว ด้วยเสียมในขณะปฏิบัติงาน ผู้เก็บเกี่ยวจะใช้มือบีบจับด้ามให้มั่นคงแล้วออกแรงส่งผ่านด้ามจับไปสู่ทลายปาล์มหรือทางปาล์ม ซึ่งการกระทำดังกล่าวมีโอกาสทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดแรงสำหรับวัดแรงบีบจับมือสำหรับการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบหาแรงบีบจับมือขณะปฏิบัติงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับและการสร้างเครื่องวัดแรงบีบจับสำหรับการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันชนิดเสียม จากนั้นทำการสอบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงและแรงดันไฟฟ้าขาออกและประเมินตำแหน่งการบีบจับด้ามจับ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. SolidWorks 2019 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับออกแบบและประเมินค่าความเครียดของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ

2. อลูมิเนียมเพลลาตัน เบอร์ 7075 เป็นอลูมิเนียมที่ผสมสังกะสี มีคุณสมบัติทางกล mechanical property ที่มีความแข็งแรงสูงมาก ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิมและการผุกร่อนในการใช้งานโดยทั่วไปได้ดี การเชื่อมอลูมิเนียม 7075 ควรจะเชื่อมด้วยวิธีการการเชื่อมต้านทาน (resistance welding method) มี Strength สูงสุดในบรรดา Aluminum Alloys [23] ใช้สำหรับสร้างอุปกรณ์วัดแรงหรือ Grip Force Sensor (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 อลูมิเนียมเพลลาตัน เบอร์ 7075

3. เหล็กแป๊ปกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm เป็นเหล็กที่มีลักษณะเป็นทรงกลมแบบกลวง มีน้ำหนักเบา แต่คงความแข็งแรง ทนทาน ตะเข็บเรียบ สามารถรับแรงดันได้ดีทั้งแรงลมและแรงเสียดทาน [24] ซึ่งจะนำมาทำเป็นด้ามจับประกอบกับ Grip Force Sensor

4. Strain gage model KFGS-2-350-D31-11 2 mm มี Gage Factor (24°C , 50%RH) $2.08 \pm 1.0\%$ มีความต้านทาน $350.9 \pm 1.5\Omega$ [25]

5. เทปพันสายไฟ เป็นเทปที่ทนต่อการขีดถูและการเจาะรวมทั้งสารเคมีและของเหลว เนื้อเทปไม่เหนียวเยิ้มและแห้งกรอบ เมื่อโดนความร้อนกันความร้อนได้ถึง 80°C กันน้ำและความชื้นได้ดีเยี่ยม ป้องกันสายไฟจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต UV สารเคมีและเนื้อเทปมีความยืดหยุ่นสูง ติดตั้งง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่บนพื้นผิวขรุขระ สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้อย่างน้อย 600 V [26] ใช้สำหรับเก็บสายไฟและปิดสเตรนเกจที่ติดตั้งอยู่บน Grip Force Sensor

6. วัสดุปิดผิวสเตรนเกจ เป็นดินเหนียวพิเศษ วัสดุเป็นยางบิวทิล (Butyl rubber) ผสมสารเติมแต่งอนินทรีย์ มีสีเขียว ลักษณะรูปทรงคล้ายดินเหนียวช่วยให้เคลือบงานได้ง่าย อุณหภูมิในการทำงาน -30 ถึง 120 °C กันความชื้นและกันน้ำได้ดีเยี่ยม การป้องกันทางกลและความต้านทานน้ำมันต่ำ มีความต้านทานโทลูอินต่ำ ความต้านทานต่อแอลกอฮอล์และความต้านทานกรด-ด่างค่อนข้างดี [27] ใช้สำหรับปิดทับสเตรนเกจที่ติดตั้งอยู่บน Grip Force Sensor เพื่อป้องกันความชื้น

7. คอมพิวเตอร์ ACER NITRO 5 รุ่น AN515-43-R0T3 ใช้เพื่อเก็บและบันทึกข้อมูลทั้งหมด ขณะที่ทำการปรับเทียบค่าจากโปรแกรม LabVIEW 2014

8. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150mm Digital รุ่น CD-8 ASX เป็นเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูง เปิดใช้งานด้วยเซ็นเซอร์เหนียวนาแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้มั่นใจถึงความแม่นยำสูงสุด มีความละเอียด 0.01 mm ความแม่นยำ ± 0.001 in แหล่งจ่ายไฟแบตเตอรี่ซิลเวอร์ออกไซด์แบบปุ่ม มีความเร็วในการตอบสนองสูงและปากคิบบลายคาร์ไบด์สำหรับการวัดภายนอกและภายใน [28] ใช้สำหรับการวัดขนาดของอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องวัดแรงบีบจับ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo 150mm Digital รุ่น CD-8 ASX

9. สกรูโบลต์ ขนาด M12 *1.5 เป็นอุปกรณ์จับยึดสิ่งต่าง ๆ ในงานช่าง ใช้สำหรับจับยึดแบบชั่วคราว สามารถขัน ไช ออกจากกันได้และมีลักษณะเป็นเกลียว [29] ซึ่งจะนำมายึดกับสปริงและตัวโหลดเซลล์

10. เหล็กเพลลาขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm มีลักษณะเป็นเส้นกลม ผิวเรียบเท่ากันทั้งเส้น ไม่มีรอยแตก หรือขรุขระ มีคุณสมบัติทางกลที่เหนียว ไม่เปราะง่าย เนื่องจากเหล็กเพลลาขาวมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในงานกลึง งานเครื่องจักร งานขึ้นส่วนรถยนต์ [30] จึงนำใช้สำหรับทำชุดด้ามจับ Grip Force Sensor

11. เหล็กกล่อง 1 1/2" หรือเหล็กกล่องกัลวาไนซ์ ขนาด 1 1/2" เป็นเหล็กที่ผ่านการชุบสังกะสี เพื่อให้มีคุณสมบัติในการป้องกันสนิม ซึ่งตัวสังกะสีจะมีความหนาประมาณ 65-300 micron เหมาะกับการใช้งานในสถานที่กลางแจ้ง (outdoor) หรือในบริเวณที่พบความชื้นเป็นประจำ [31] ซึ่งใช้สำหรับการทำโครงเหล็กสำหรับจับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 เหล็กกล่อง

12. เหล็กแผ่นเพลท หนา 6 mm ยาว 50 mm นิยมเรียกใช้กันหลายชื่อ เช่น เหล็กพืด เหล็กเส้นแบนและเหล็กแบน มีลักษณะเป็นเหล็กสีเหลี่ยมผืนผ้าแบนยาว มีคุณสมบัติทนแรงยึดพับได้ดี [32] ซึ่งนำมาใช้เป็นแผ่นยึดกับสปริงในการชันสกรู

13. ลวดสลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ทำมาจากเส้นเหล็กกล้า ซึ่งมีคุณสมบัติโดดเด่นในด้านความแข็งแรงสูง ทนทานต่อแรงกระแทก แรงบีบอัด รองรับน้ำหนักได้มาก สามารถยึดให้ตั้งหรือบิดโค้งงอในลักษณะต่างๆได้ [33] โดยนำมาร้อยกับชุดวัดแรงดึงเพื่อทำการใส่น้ำหนักด้ามจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือ

14. โหลดเซลล์ IEN 408 Series 150 kg เป็น load cell โลหะผสมเหล็กและสแตนเลส (Alloy steel & Stainless steel) ขนาด 150 kg มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบอนาล็อก พิกัดกำลังไฟฟ้าขาออกอยู่ที่ 2.0 ± 0.003 mV/V ค่าความต้านทานขาเข้า 400 ± 20 Ω ค่าความต้านทานขาออก 352 ± 3 Ω และอุณหภูมิในการทำงาน -10° - 40° C [34] ซึ่งใช้งานโดยการยึดด้านบนกับชุดวัดแรงดึง ส่วนด้านล่างยึดกับสปริง สามารถแกว่งตัวเล็กน้อยได้และไม่มีผลกับการดึง (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 โหลดเซลล์ IEN 408 Series 150 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Helical Spring (ค่า $k = 15 \text{ N/mm}$) จะมีลักษณะเป็นขด รูปทรงกระบอกเวียนขวามีรูปหน้าตัดเป็นรูปทรงกลม เมื่อถูกแรงกดจะยุบตัวและเมื่อปล่อยจะยืดตัวออก ทำหน้าที่รับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือน [35] นำมาใช้สำหรับทดลองการวัดแรงดึงของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ โดยสปริงจะยึดกับโหลดเซลล์และน้ำหนัก 6 เหลี่ยม (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 Helical Spring

16. โปรแกรม LabVIEW version 2014 เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บค่าขณะทดสอบเพื่ออ่านค่าข้อมูลที่ได้จากกล่องรับสัญญาณ

17. NI USB-6210 เป็นอุปกรณ์ I/O มัลติฟังก์ชัน National Instruments USB-6210 ผลิตขึ้นด้วยช่องสัญญาณอนาล็อกแบบ single-ended 16 ช่องที่ทำงานร่วมกับอัตราการสุ่มตัวอย่าง 250 kS/s ควบคู่ไปกับความละเอียด 16 bit มีช่องสัญญาณอินพุตดิจิทัลสองช่องและช่องสัญญาณเอาต์พุตดิจิทัลสองช่อง ใช้อินเทอร์เฟซ USB 2.0 พร้อมอัตราข้อมูลความเร็วสูง อุปกรณ์ USB-6210 มาพร้อมกับสายไฟหัวต่อเกจ 16 ถึง 28 AWG และสามารถส่งสัญญาณผ่าน USB ในรูปแบบของการไหลสองทิศทาง [36] ซึ่งอุปกรณ์นี้จะทำการอ่านค่าผลทดสอบที่ได้ผ่านโปรแกรม LabVIEW 2014 (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 NI USB-6210 และ Power Supply

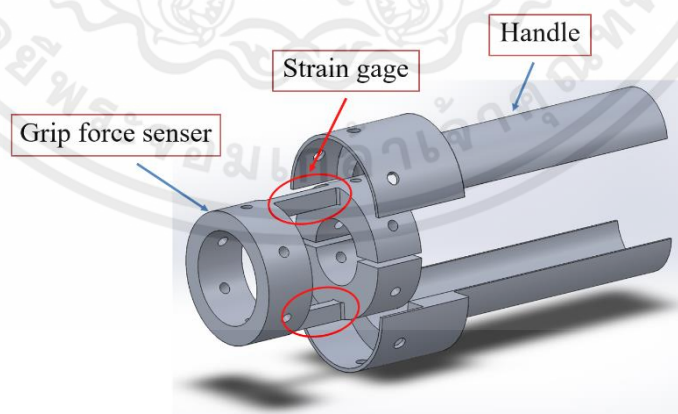
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. Dual-Range DC power supply ยี่ห้อ GW Instek รุ่น SPD-3606 เป็นแหล่งจ่ายไฟที่ให้กำลังเอาต์พุต 375 W มีการแปลงพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขั้นต่ำ 70% พร้อมโหลดเต็มที่เสียงรบกวนต่ำ (≤ 50 dB) ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ (≤ 100 ppm/ $^{\circ}\text{C} + 3$ mV, ≤ 150 ppm/ $^{\circ}\text{C} + 3$ mA) และ 3 เอาต์พุตพร้อมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเต็มรูปแบบพร้อมกับการเลือกช่วงเอาต์พุตสำหรับ CH1 และ CH2 ที่ 60 V/3 A หรือ 30 V/6 A ต่อช่องสัญญาณเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย สามารถเชื่อมต่อภายในแบบอนุกรมหรือขนานเพื่อให้เอาต์พุตที่ยืดหยุ่น (30 V/12 A, 60 V/6 A หรือ 120 V/3 A) [37] เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ NI USB-6210 (รูปที่ 3.6)

3.2 วิธีการดำเนินงาน

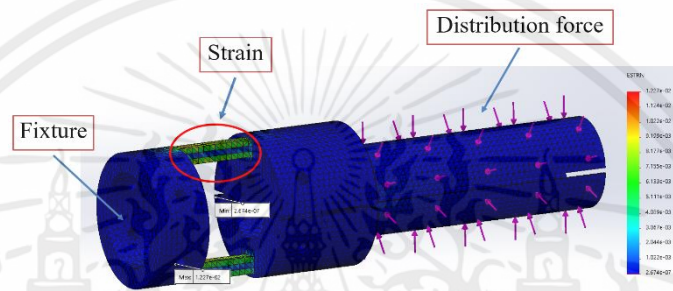
3.2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดแรงบีบจับ

1. การออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ Grip force sensor และ ด้ามจับ สำหรับ Grip force sensor เป็นอุปกรณ์ที่จะทำการติดตั้งสเตรนเกจ โดยตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งสเตรนเกจ จะต้องมีส่วนที่ที่เพียงพอต่อสเตรนเกจที่เลือกใช้ ซึ่งขนาดสเตรนเกจที่เลือกใช้ มีขนาดความกว้าง 10.5 mm ความยาว 6.5 mm ในการหาพื้นที่ติดตั้งสเตรนเกจจะต้องมีขนาดความหนา ความยาว และความกว้างที่เหมาะสม โดยในการหาขนาดที่เหมาะสม ค่าความเครียดในบริเวณที่ติดตั้งจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.2% ความต้านทานแรงที่จุดคราก (โดยคุณสมบัติของอลูมิเนียมสามารถศึกษาได้จากภาคผนวก จ Aluminum 7075) และค่าความเครียดในพื้นที่ติดตั้งเกจวัดความเครียดควรมีค่าใกล้เคียงกันทั้งพื้นที่ ในส่วนของด้ามจับ จะมีขนาดเท่ากับด้ามเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันที่ขนาด 32 mm และสามารถปรับเปลี่ยนได้ในกรณีที่จะทดสอบในขนาดอื่นๆ โดยการออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับจะออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2019 โดยมีเงื่อนไขตามที่กล่าวไว้ข้างต้น (รูปที่ 3.7)



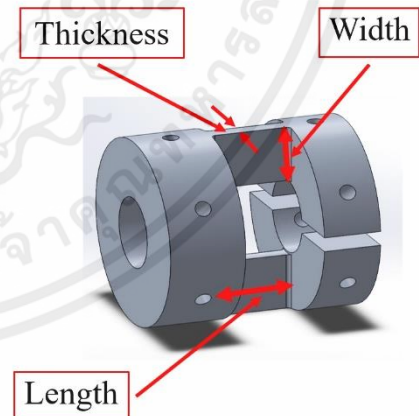
รูปที่ 3.7 ออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับ

2. ทำการ Simulation อย่างง่ายด้วยโปรแกรม SolidWorks 2019 เพื่อออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับ โดยใส่แรงกระจายที่ด้ามจับ 400 N [8] และทำการประเมินค่าความเครียดเพื่อหาตำแหน่งที่สามารถติดตั้ง สเตรนเกจได้ (รูปที่ 3.8(ก)) โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดความกว้าง ความยาวและความหนาที่คานัดสองอันของ Grip Force จากนั้นประเมินค่าความเครียดในบริเวณที่ติดตั้งไม่เกิน 0.2% ความต้านทานแรงที่จุดครากและค่าความเครียดในพื้นที่ติดตั้งเกจวัดความเครียดมีค่าใกล้เคียงกันทั้งพื้นที่โดยผลจากการออกแบบสามารถพิจารณาได้จาก (รูปที่ 3.8 (ข)) และขนาดที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งสเตรนเกจจะมีความยาว 20 mm ความกว้าง 15 mm และความหนา 4 mm (รูปที่ 3.8 (ค))



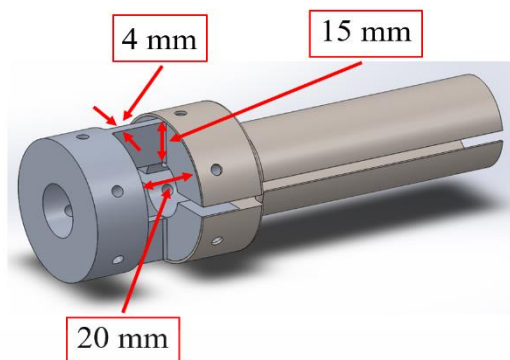
(ก)

Design	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	Strain ($\mu\text{m}/\text{m}$)
1	6	30	5	1068
				963.2
				1662
				2050
2	9	20	4	1501
				1539
				854.0
				1603
3	12	20	3	1952
				1852
				1605
				2132
4	15	20	4	431.3
				467.3
				621.6
				645.3



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 3.8 (ก) Simulation เครื่องวัดแรงบีบจับ, (ข) ตารางประเมินค่าความเครียดเครื่องวัดแรงบีบจับ และ (ค) ขนาดสำหรับการติดตั้งสเตรนเกจ

3. นำอลูมิเนียมเพลาต้นมากลิ้งให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 mm ยาว 55 mm เจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm และ นำชิ้นงานมาขึ้นเครื่อง milling กัดผิวตรงกลางให้เหลือจุดที่ติด สเตรนเกจขนาดความกว้าง 15 mm ความยาว 20 mm จากนั้นนำมาเจาะรูตึาปเกลียว M5×1.0 mm ฝึ้งจับยึดชุดทดสอบเครื่องวัดแรงบีบมือและฝึ้งยึดกับด้ามจับ พร้อมกับ Milling ฝึ้งตรงกลางฝึ้งด้ามจับ ขนาด 4 mm (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 Grip force sensor

4. นำเหล็กแป๊ปกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 mm ยาว 28 mm เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm จากนั้นนำมาเชื่อมกับเหล็กแป๊ปกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm ยาว 100 mm และ Milling ฝึ้งครึ่งตรงกลางขนาด 4 mm (รูปที่ 3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ค้ำจับ

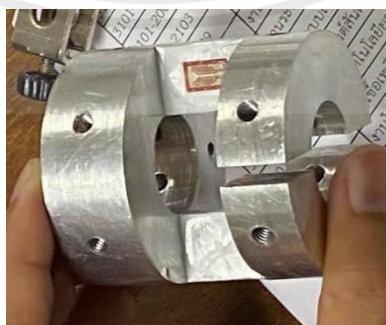
3.2.2 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ

1. นำ Grip force sensor ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320 บริเวณตำแหน่งติดตั้งสเตรนเกจ โดยขัดให้เป็นพื้นที่กว้างกว่าขนาดของตัวสเตรนเกจ จากนั้นทำการมาร์คจุดโดยใช้เหล็กขีดตามแบบที่ได้กำหนดไว้ (รูปที่ 3.11)



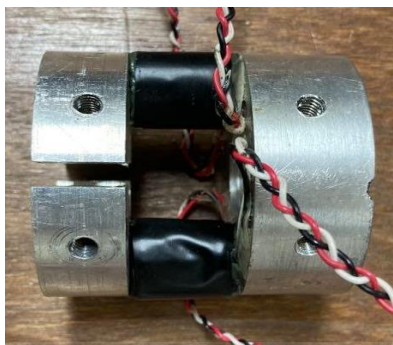
รูปที่ 3.11 จุดติดสเตรนเกจบน Grip force sensor

2. วางสเตรนเกจลงบนเทปใสและวางลงบนพื้นผิวบริเวณที่ต้องการติดตั้ง จากนั้นหยอดกาวลงไปบนผิวด้านหลังของสเตรนเกจเพื่อให้กาวไหลลงบนพื้นผิว กดทับไว้ประมาณ 30 s (รูปที่ 3.12 (ก)) จากนั้นนำวัสดุปิดทับสเตรนเกจมาปิดทับและพันด้วยเทปดำรอบสเตรนเกจเพื่อลดการกระแทก (รูปที่ 3.12 (ข))



(ก)

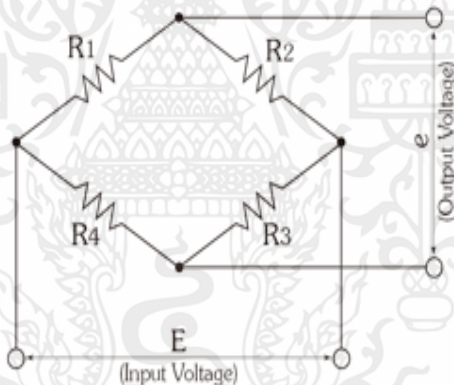
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.12 (ก) ติดตั้งสเตรนบน grip force sensor และ (ข) ปิดทับสเตรนเกรจด้วยวัสดุ ปิดทับสเตรนเกรจและเทปดำ

3. วงจรที่ใช้ต่อกับสเตรนเกรจและวงจรที่จ่ายไฟให้กับตัวสเตรนเกรจเป็นวงจรวิทสโตน บริดจ์ประกอบไปด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว แหล่งจ่ายแรงดันไฟกระแสตรง $E=5\text{ V}$ จะต่อเข้าสู่วงจรดังรูป ที่ 13.3 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจร [38]

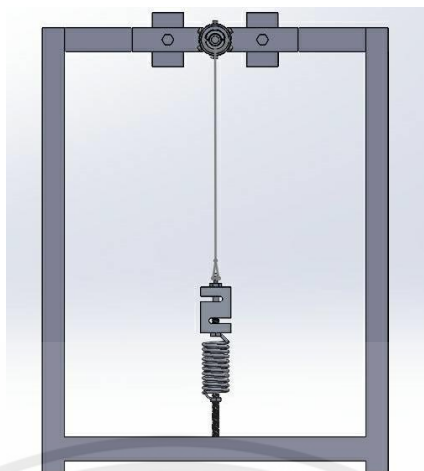


รูปที่ 3.13 วงจรวิทสโตนบริดจ์ [38]

3.2.3 การออกแบบชุดทดลองการวัดแรงดึง

1. ออกแบบชุดทดลองการวัดแรงดึงด้วยโปรแกรม SolidWorks 2019 จะมีหลักการ การหมุนสตัดเกลียวที่ยึดติดกับชุดวัดแรงดึง โดยใช้โพลดเซลล์ S-Bream ในการอ่านค่าน้ำหนักเวลา ชั้นทดลอง และออกแบบการจับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับมือให้เหมาะสมกับการทดลอง โดยมีขนาด ความกว้าง 50 cm ความยาว 50 cm และความสูง 70 cm (รูปที่ 3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



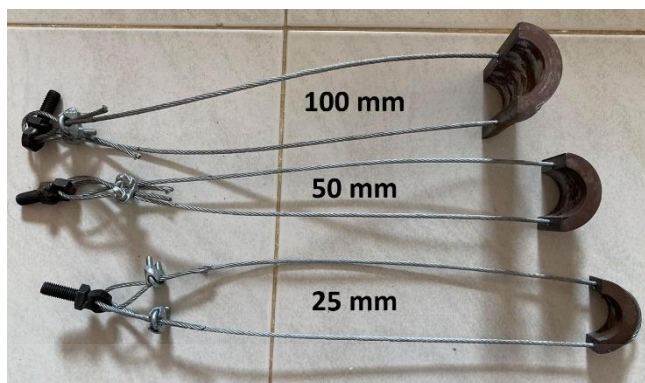
รูปที่ 3.13 การออกแบบชุดทดลองการวัดแรงดึงสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ

2. นำเหล็กกล่องมาตัดและเชื่อมให้ได้ขนาดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากนั้นเจาะรูเหล็กกล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm และยึดกับโครงเหล็ก นำแผ่นเหล็กมาเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านกลาง 14 mm เพื่อยึดสปริงและนำมาเชื่อมเข้ากับฐานโครงเหล็ก (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 โครงเหล็กสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ

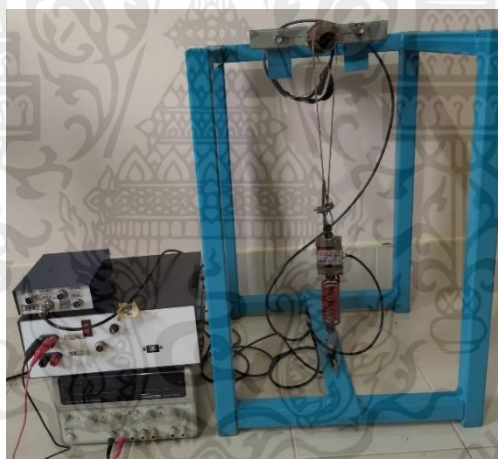
3. นำเหล็กเพลตันมาเจาะรูและคว้านให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm และผ่าครึ่ง จากนั้นนำมาตัดให้ได้ขนาดความยาว 25, 50 และ 100 mm พร้อมกับเจาะรูร้อยกับลวดสลิง นำสกรูตัวผู้และตัวเมียมาเชื่อมติดกันและร้อยลวดสลิงไว้ยึดติดกับโพลดเซลล์ เพื่อทำเป็นชุดวัดแรงดึงขนาดความยาว 25, 50 และ 100 mm (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 ชุดวัดแรงดึง

3.2.4 การสอบเทียบแรงดึง

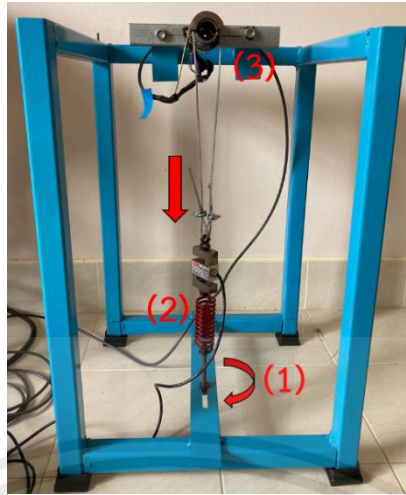
1. ต่อ power supply เข้ากับกล่อง NI USB-6210 เพื่อจ่ายไฟให้กับวงจรและสเตรนเกจ จากนั้นต่อเครื่องวัดแรงบีบจับและโหลดเซลล์เข้ากับกล่อง NI USB-6210 และคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 การต่อเครื่องวัดแรงบีบจับและโหลดเซลล์เข้ากับกล่อง NI USB-6210

2. ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ บนโครงเหล็ก และทำการทดลองเครื่องวัดแรงบีบจับ เริ่มจากการขึ้นสกรู (1) ของชุดวัดแรงดึง ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อให้สปริงกดลง (2) และตั้ง Grip force sensor (3) และบันทึกผลของภาระกระทำตั้งแต่ 0 – 38 kg ในช่วงการทดลอง 0 – 30 kg ทำการทดลองโดย ในช่วง 0 – 5 kg ใส่น้ำหนักเพิ่มครั้งละ 0.5 kg ช่วง 5 - 10 kg ใส่น้ำหนักเพิ่มครั้งละ 1 kg และช่วง 10 - 38 kg จะใส่น้ำหนักเพิ่มครั้งละ 2 kg จากนั้นคลายสปริงโดยหมุนทวนเข็มนาฬิกา ด้วยภาระกระทำเดียวกัน (รูปที่ 3.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การทดสอบแรงดึงขนาด 100 mm

3. ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนขนาดชุดวัดแรงดึงแล้วทำการทดสอบตามข้อที่ 4 โดยจะทำการทดสอบชุดวัดแรงดึง 3 ขนาด เป็นจำนวนขนาดละ 3 ครั้ง ทดลองในส่วนแรงบีบจับมือ ส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง (รูปที่ 13.18)



รูปที่ 13.18 แรงบีบจับมือในส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง

- โดยเริ่มจากชุดทดสอบวัดแรงดึงขนาด 100 mm ทำการทดสอบจำนวน 1 ตำแหน่ง เพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 13.19 การทดสอบวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)

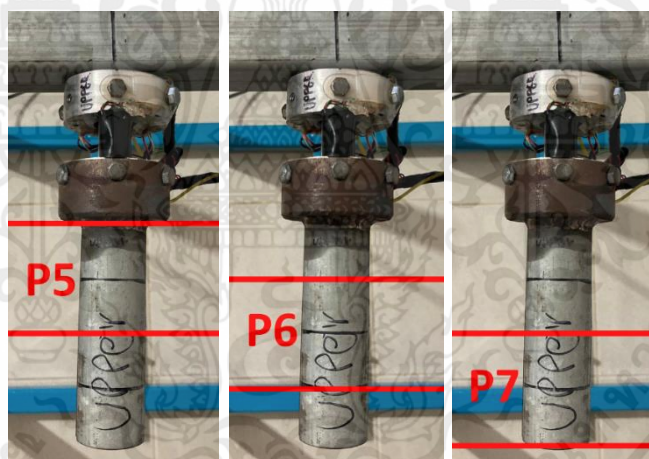
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากนั้นเปลี่ยนชุดวัดแรงดึงเป็นขนาด 25 mm (25%) ทำการทดสอบจำนวน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่ง P1, P2, P3 และ P4 ตามลำดับ (รูปที่ 13.20) จากนั้นทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4



รูปที่ 13.20 ตำแหน่งการทดสอบวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)

- สุดท้ายเปลี่ยนชุดวัดแรงดึงเป็นขนาด 50 mm (50%) ทำการทดสอบจำนวน 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่ง P5, P6, และ P7 ตามลำดับ (รูปที่ 13.21) จากนั้นทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4



รูปที่ 13.21 ตำแหน่งการทดสอบวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%)

4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ โดยผลการทดลองชุดทดสอบวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%) จะทำการวิเคราะห์สอบเทียบกับโพลดเซลล์มาตรฐานเพื่อหาสมการปรับแก้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้โดยคำนวณเป็นน้ำหนักเพื่อทำเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือแบบ 100% จากนั้นนำผลการทดลองวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) กับผลการทดลองชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดแรงบีบจับมือแบบ 100% โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1. วิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดแต่ละตำแหน่งแบบโดยรวมด้วยสมการค่าความชัน 2. วิเคราะห์โดยใช้สมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ภายใต้เงื่อนไขเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 2% และพิจารณาในช่วงน้ำหนัก 20-30 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

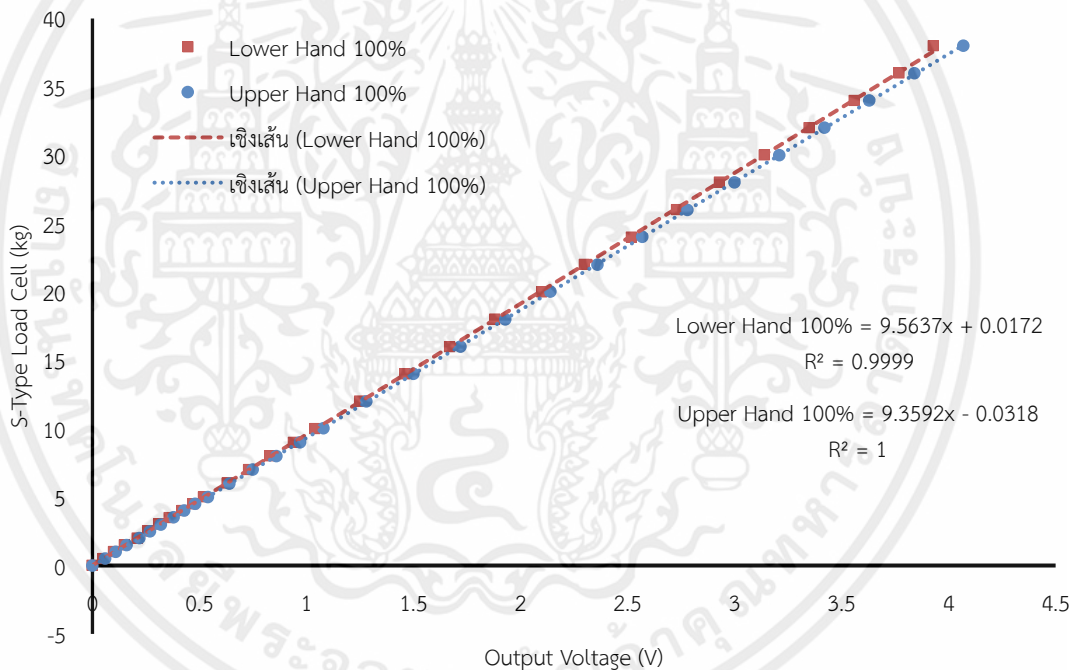
บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการสอบเทียบของเครื่องวัดแรงบีบจับ โดยการใส่น้ำหนักลงบนจุดรับแรงที่กำหนดของแต่ละตำแหน่ง เพื่อหาตำแหน่งการบีบจับที่เหมาะสมสำหรับการใช้เครื่องวัดแรงบีบจับสำหรับการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

4.1 ผลการสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบมือ

การสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบมือ ได้แก่ แรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง โดยกดน้ำหนัก 0-30 kg ในแนวตั้ง ได้ผลการสอบเทียบดังนี้ (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ผลการสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ

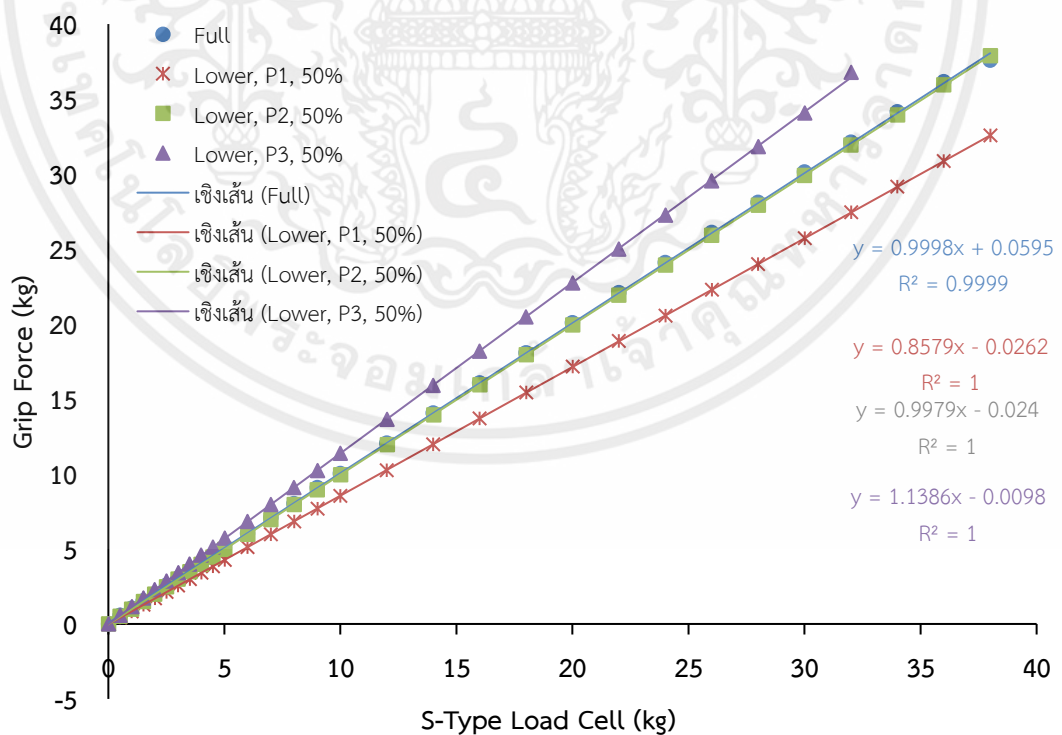
ตารางที่ 4.1 การสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ

Parameters	Hand grip force	
	Upper Hand	Lower Hand
slope	9.3592	9.5637
R^2	1	0.99
Hysteresis (%)	1.47	0.27
Non-linearity (%)	0.29	1.08%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

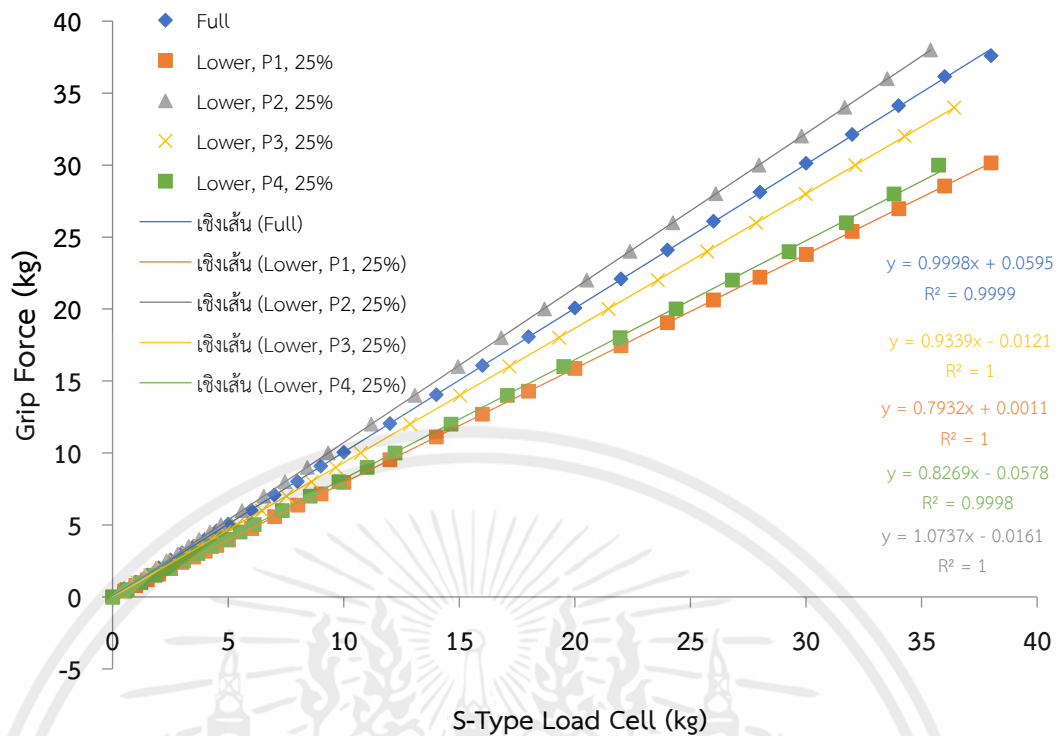
จากรูปที่ 4.1 จากการสอบเทียบโพลดเซลล์ของเครื่องวัดแรงบีบจับมือเพื่อหาสมการปรับแก้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้โดยคำนวณเป็นน้ำหนักเพื่อทำเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือแบบ 100% โดยทำการสอบเทียบที่แรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่างด้วยการกดน้ำหนัก 3 ช่วง ในช่วงแรกเริ่มทดลองที่ 0-5 kg ทำการกดน้ำหนักเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 kg จากน้ำหนัก 0-5 kg ในช่วงที่สอง ทำการเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 1 kg จากน้ำหนัก 5-10 kg และในช่วงที่สาม ทำการเพิ่มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 2 kg จากน้ำหนัก 10-38 kg ตามลำดับ จากกราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าของแรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง พบว่า แนวโน้มของเส้นกราฟมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อเพิ่มน้ำหนักที่โพลดเซลล์มาตรฐาน ส่งผลให้เครื่องวัดแรงบีบจับมือสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้นเช่นกัน และจากตารางที่ 4.1 แรงบีบจับมือในส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง มีค่าความชัน 9.3592 และ 9.5637 ตามลำดับ แรงบีบจับมือในส่วนด้านบน มีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 1 แรงบีบจับมือในส่วนด้านล่าง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 ค่าผิดพลาดที่มากที่สุดอยู่ที่แรงบีบจับมือในส่วนด้านบน คือ 1.47% และน้อยสุดที่ 0.27% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นเชิงเส้นมากที่สุดอยู่ที่แรงบีบจับมือในส่วนด้านล่าง คือ 1.08% และน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.29% แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดแรงบีบจับมือมีความเป็นเชิงเส้นสูงเหมาะแก่การนำไปใช้งานและเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดแรงบีบจับมือได้อย่างแม่นยำ

4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดโดยรวมของ Grip Force Sensor



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของ Grip Force กับ S-Type Load Cell
(ก) ชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) และ (ข) ชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)

ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดของชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) และชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) แบบโดยรวม

Position	Lower Hand		Upper Hand	
	slope (-)	error (%)	slope (-)	error (%)
Full	1.0029	0.00	1.0000	0.00
25%, P1	0.7932	20.91	1.2588	25.88
25%, P2	1.0737	7.06	1.0738	7.38
25%, P3	0.9339	6.88	0.9427	5.73
25%, P4	0.8269	17.55	0.8320	16.80
50%, P5	1.1656	16.22	1.1508	15.08
50%, P6	1.0021	0.08	1.0119	1.19
50%, P7	0.8782	12.43	0.8795	12.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏว่ารูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) เมื่อทำการใส่น้ำหนักที่ระยะต่างๆ จะเกิดค่าความผิดพลาดขึ้น (Error) จากค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% ที่ขนาดชุดวันแรงดึง 25 mm (25%) และขนาดชุดวัดแรงดึง 50 mm (50%) ลักษณะของกราฟที่ได้จะเป็นกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น จากกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของ Grip Force กับ S-Type Load Cell ในแต่ละตำแหน่งของชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) และ ชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) พบว่าทุกตำแหน่งจะมีสมการค่าความชัน (slope) และค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดลิ้นใจ (R^2) จากนั้นนำสมการค่าความชันที่ได้ไปหาค่าความผิดพลาดแต่ละตำแหน่งแบบโดยรวม จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตลอดช่วงที่ทำการทดลองในส่วนแรงบีบจับมือในส่วนด้านบนและในส่วนด้านล่าง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทั้งหมด ปรากฏว่า ช่วงที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ถ้าใส่แรงที่ชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) จะอยู่ที่ตำแหน่ง P2 และ P3 มีค่าความผิดพลาด 7.06% และ 6.88% ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านบน ค่าความผิดพลาด 7.38% และ 5.73% ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง ตามลำดับ และถ้าใส่แรงที่ชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) จะอยู่ที่ตำแหน่ง P6 มีค่าความผิดพลาด 0.08% ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านบน ค่าความผิดพลาด 1.19% ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง

4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผลที่ได้ของการวัดกับค่าจริง ในการทดลองชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) และชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ทำการสอบเทียบกับค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{Relative error} = \left| \frac{X_M - X_T}{X_T} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

โดย	Relative error	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการวัดกับค่าจริง (%)
	X_T	คือ	ค่าจริง (kg)
	X_M	คือ	ค่าที่ได้จากการวัด (kg)

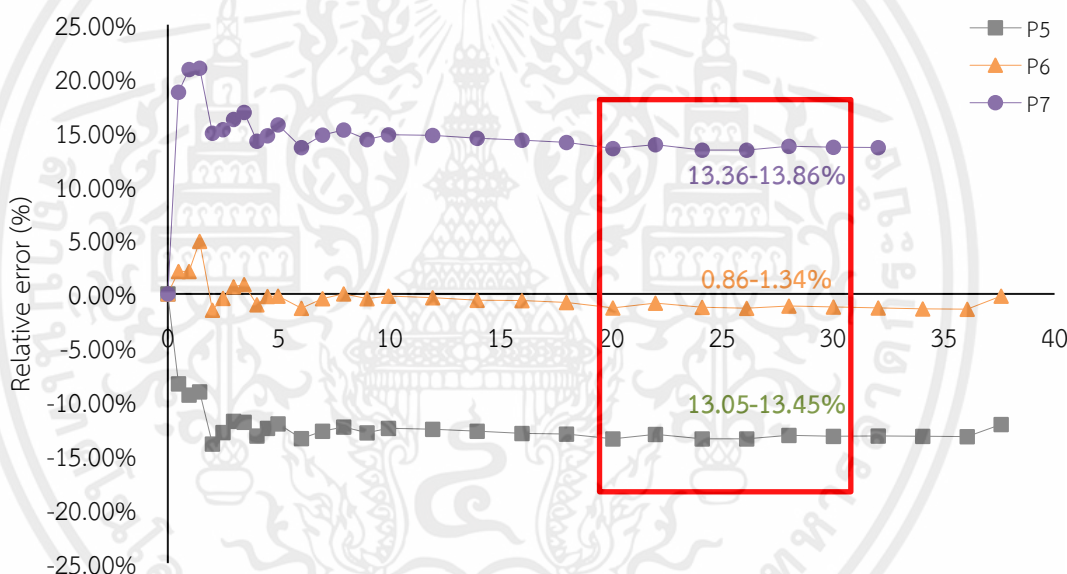
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 50 mm (50%)

การสอบเทียบชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 50 mm (50%) กับค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% โดยมีตำแหน่งการทดสอบที่ตำแหน่ง P5, P6 และ P7 ตามลำดับ (จากรูปที่ 3.13 (ข)) ทำการทดสอบแรงบีบมือส่วนด้านล่างและส่วนด้านบน จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 โดยทำการ

พิจารณาในช่วงน้ำหนัก 20-30 kg เนื่องจากเป็นช่วงน้ำหนักของการใช้งานแรงบีบจับมือทั่วไปของผู้หญิงและผู้ชาย[7] ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.4.1 ผลการสอบเทียบชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบมือส่วนด้านบน

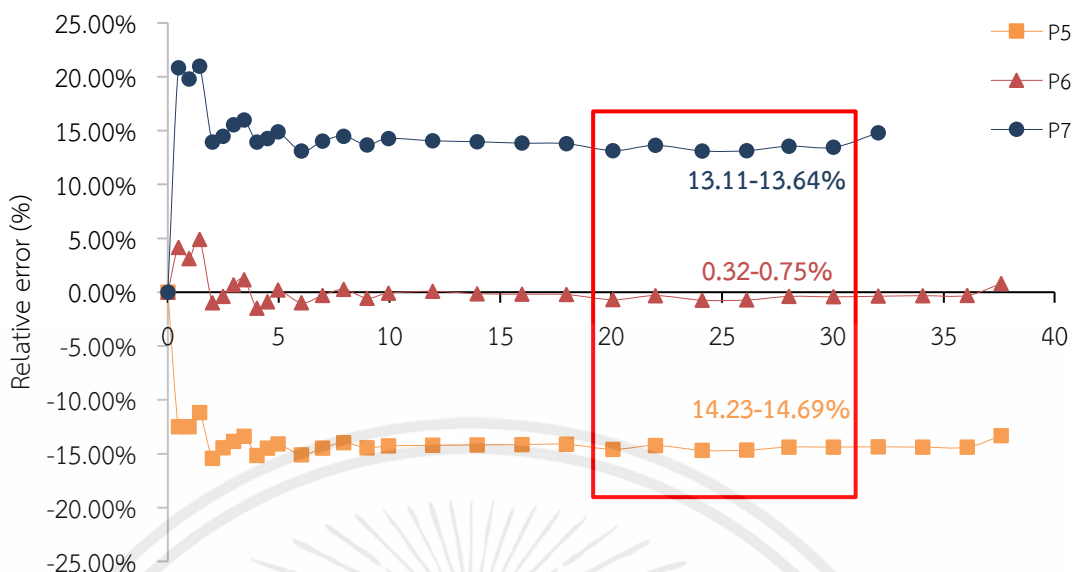
แรงบีบมือในส่วนด้านบน ทำการวัดดึงแรงที่ตำแหน่ง P5, P6 และ P7 พิจารณาในช่วงน้ำหนัก 20-30 kg พบว่าที่ตำแหน่ง P5 กราฟติดลบ (-) ตลอดช่วงการดึงน้ำหนัก แสดงว่าค่าแรงบีบมือขนาด 50 mm (50%) อ่านค่าได้น้อยกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% มีค่า Relative error สูงสุด 13.45% ในตำแหน่ง P7 มีค่า Relative error มากถึง 13.86% ถือเป็นค่าที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ส่วนตำแหน่ง P6 ตั้งมีค่า Relative error น้อยที่สุด 0.86% ที่ 22 kg ซึ่งอยู่ในช่วงน้ำหนักที่สนใจและค่าความคลาดเคลื่อนเป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้นตำแหน่ง P6 จึงเป็นตำแหน่งที่อ่านค่าได้แม่นยำที่สุดเมื่อวัดแรงบีบมือที่ขนาด 50 mm (50%) (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบมือส่วนด้านบน

4.4.2 ผลการสอบเทียบชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบมือส่วนด้านล่าง

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลแรงบีบมือส่วนด้านล่าง โดยช่วงน้ำหนักที่สนใจ 20-30 kg พบว่าตำแหน่ง P5 เส้นกราฟติดลบ (-) ค่าที่อ่านได้จึงมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% ส่วนตำแหน่ง P7 อ่านค่าได้มากกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% มีค่า Relative error น้อยสุด 13.11% ที่น้ำหนัก 24 kg และตำแหน่ง P6 มีค่า Relative error น้อยสุด 0.32% ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่มีค่าไม่เกิน 2% เป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นตำแหน่ง P6 จึงเป็นตำแหน่งที่อ่านค่าได้แม่นยำที่สุดเมื่อวัดแรงบีบมือที่ขนาด 50 mm (50%)



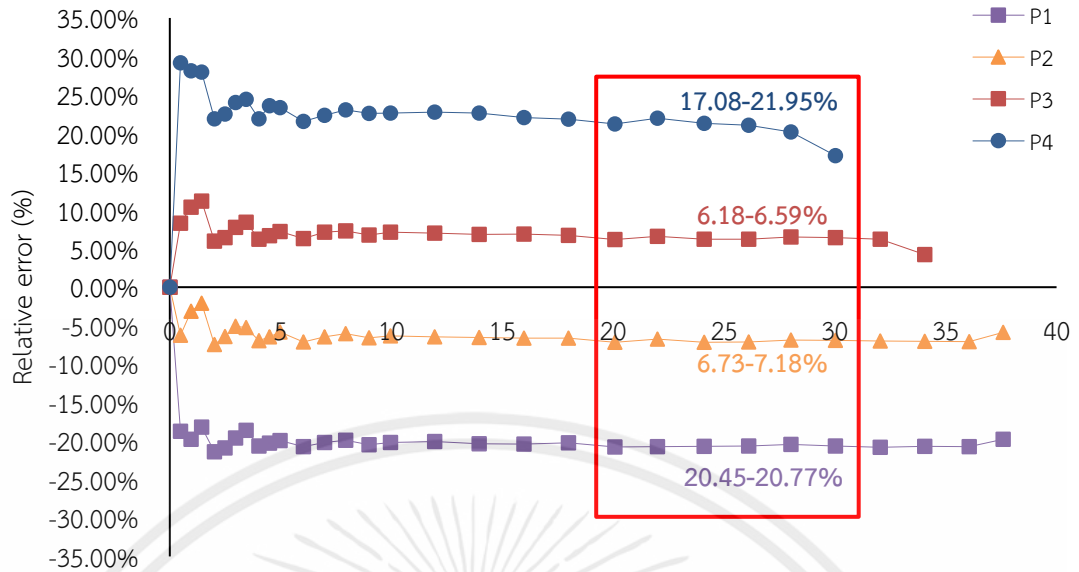
รูปที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) ของแรงบีบมือส่วนด้านล่าง

4.5 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 25 mm (25%)

การสอบเทียบชุดวัดแรงดึงที่ขนาด 25 mm (25%) กับค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% โดยมีตำแหน่งการทดสอบตำแหน่งที่ P1, P2, P3 และ P4 ตามลำดับ (จากรูปที่ 3.13 (ก)) ทำการทดสอบแรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ได้ผลการทดสอบดังนี้

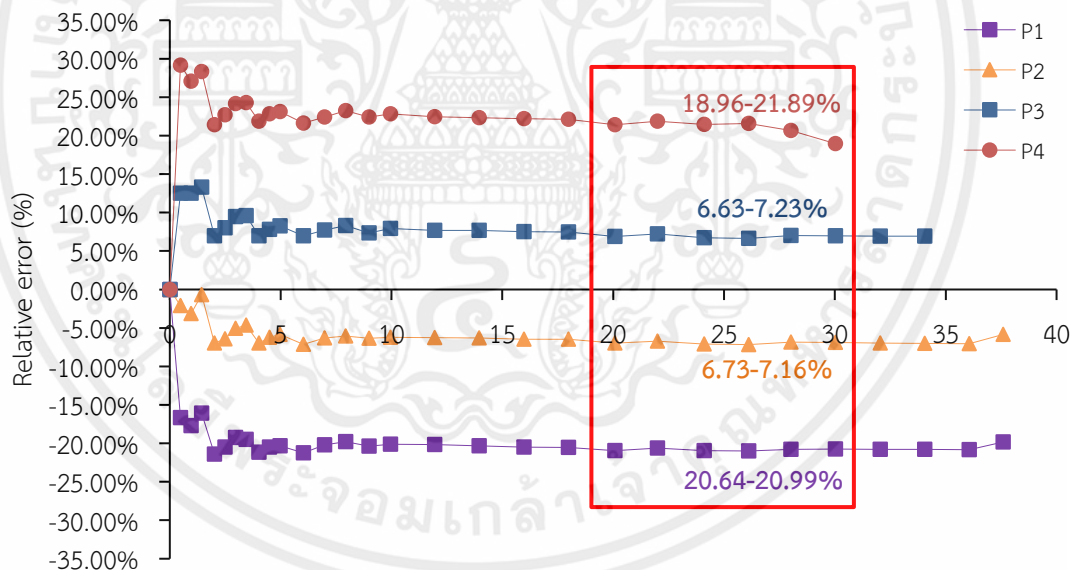
4.5.1 ผลการสอบเทียบชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน

แรงบีบจับมือในส่วนด้านบน ทำการวัดดึงแรงที่ตำแหน่ง P1, P2, P3 และ P4 พิจารณาในช่วงน้ำหนักที่สนใจ 20-30 kg พบว่าที่ตำแหน่งที่ P1 และ P2 กราฟติดลบ (-) ตลอดช่วงการดึงน้ำหนัก แสดงว่า ค่าแรงบีบจับมือขนาด 25 mm (25%) อ่านค่าได้น้อยกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% มีค่า Relative error สูงสุด 20.77% และ 7.18% ตามลำดับ ในตำแหน่งที่ P4 มีค่า Relative error มากถึง 21.95% ถือเป็นค่าที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ส่วนตำแหน่งที่ P3 กราฟมีค่า Relative error น้อยที่สุด 6.18% ที่ 20 kg ดังนั้นตำแหน่งที่มีค่า Relative error น้อยสุดจะอยู่ประมาณ P2 และ P3 (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm ของแรงบีบมือส่วนด้านบน

4.5.2 ผลการสอบเทียบชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบมือส่วนด้านล่าง



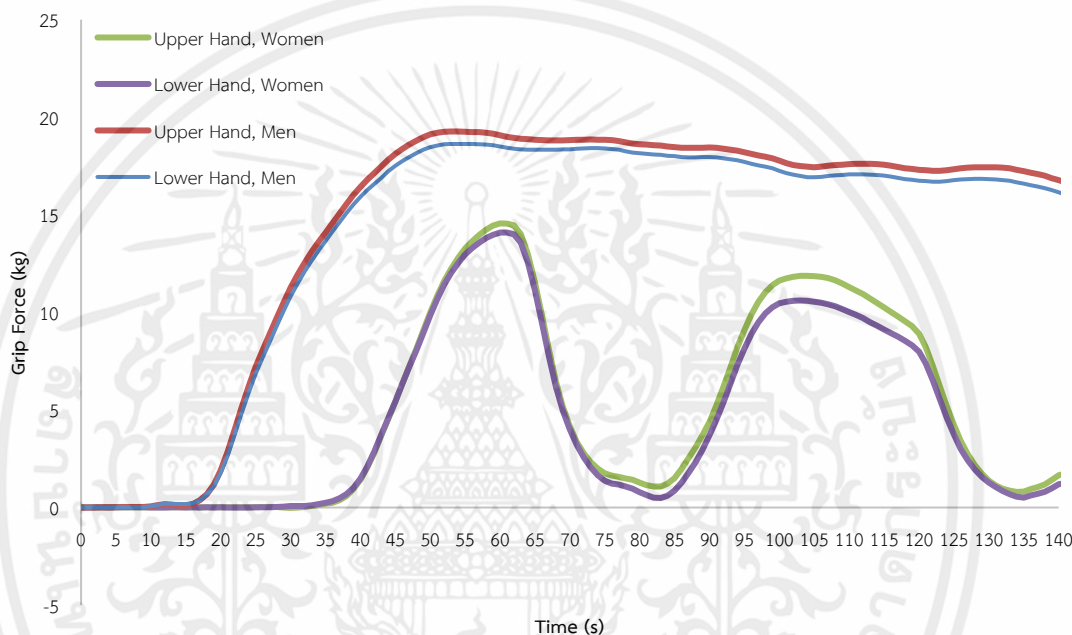
รูปที่ 4.6 ความคลาดเคลื่อนชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) ของแรงบีบมือส่วนด้านล่าง

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลแรงบีบมือส่วนด้านล่าง โดยที่ตำแหน่ง P1 และ P2 เส้นกราฟติดลบ (-) ค่าที่อ่านได้จึงมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% ส่วนตำแหน่งที่ P3 และ P4 อ่านค่าได้มากกว่าค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบมือ 100% มีค่า Relative error น้อยสุด 6.85% ในตำแหน่ง P3 ที่น้ำหนัก 28 kg และค่า Relative error สูงสุด 21.89% ในตำแหน่ง P4 ที่น้ำหนัก 22 kg ในช่วงน้ำหนักที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองการบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือ

การใช้งานเครื่องวัดแรงบีบจับมือเพื่อประเมินแรงบีบจับมือโดยให้อาสาสมัคร ผู้หญิง 1 คน และผู้ชาย 1 คน ทดลองการใช้งานเครื่องวัดแรงบีบจับมือโดยใช้มือขวาในการบีบจับที่ด้ามจับเป็นเวลาประมาณ 1 นาที พบว่า เมื่อเริ่มทำการบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือ เส้นกราฟมีทิศทางเพิ่มขึ้นและหยุดนิ่ง ในขณะที่บีบจับที่ด้ามจับค้างไว้ จากนั้นเส้นกราฟจะลดลงเมื่อทำการผ่อนแรงบีบจับมือ แสดงให้เห็นว่าเครื่องวัดแรงบีบจับมือสามารถใช้งานได้และเป็นเครื่องวัดแรงบีบจับมือที่สามารถอ่านค่าได้แม่นยำ (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.7 การบีบจับเครื่องวัดแรงบีบจับมือของผู้หญิงและผู้ชาย

จากการสอบเทียบผลของชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) และชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (25%) กับค่ามาตรฐานเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% พบว่า ตำแหน่งหรือพื้นที่ที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของเครื่องวัดแรงบีบจับมืออยู่ที่ตำแหน่ง P6 ของชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (50%) มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดไม่เกิน 2% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และอ่านค่าได้แม่นยำสุด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องวัดแรงบีบจับมือขณะเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันถูกสร้างและทำการสอบเทียบกับโหลดเซลล์มาตรฐานผ่านแผ่นกระจายแรงขนาด 100 mm เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าน้ำหนัก เพื่อทำเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงบีบจับมือ (แบบ 100%) ด้วยการวัดแรงดึงที่น้ำหนัก 0-30 kg ทดสอบในส่วนของแรงบีบจับมือส่วนด้านบนและส่วนด้านล่าง ปรากฏว่าแรงบีบจับมือส่วนด้านบนและด้านล่างมีสภาพความเป็นเชิงเส้นสูง ค่า R^2 ใกล้เคียงกับ 1 เหมาะแก่การนำไปใช้งานและเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดแรงบีบจับมือได้อย่างแม่นยำ ต่อมาจึงทำการทดสอบโดยเปลี่ยน ความยาวแผ่นกระจายโหลดแรงดึง 2 ขนาด ได้แก่ ชุดวัดแรงดึงขนาด 50 mm (คิดเป็น 50%) และ ชุดวัดแรงดึงขนาด 25 mm (คิดเป็น 25%) เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเครื่องวัดแรงบีบจับมือ 100% ทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ภายใต้เงื่อนไขเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 2% เพื่อหาตำแหน่งการบีบจับที่อ่านค่าได้แม่นยำ และเกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุด พบว่า การใช้งาน Grip Force สามารถใช้งานได้ในช่วงการวัดแรงบีบจับมือที่ 20-30 kg ในช่วงการบีบจับของด้ามบีบจับมือที่ขนาด 50 mm (50%) ตำแหน่ง P6 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุด และเครื่องวัดแรงบีบจับมือนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวัดแรงบีบจับมือขณะเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันได้

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

5.2.1 ด้ามบีบจับมือเกิดการบิดตัวออกด้านข้างขณะทำการทดลอง ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าที่วัดได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 Grip force sensor และด้ามจับ ควรเป็นชิ้นเดียวกัน
- 5.3.2 ด้ามบีบจับควรมีความหนาของชิ้นงาน อย่างน้อย 5 mm ขึ้นไป
- 5.3.3 ควรใช้สกรูที่เป็นวัสดุเหล็กแข็ง ขนาด M12 ขึ้นไป ในการทดลอง
- 5.3.4 ควรใช้เครื่อง Universal Testing Machine ในการปรับเทียบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sharence Nai Sowat et al. (2018). “Trend In The Development Of Oil Palm Fruit Harvesting Technologies In Malaysia”10 (January) : 84-91
- [2] Y. Aldien et al. (2004). “Contact pressure distribution at hand–handle interface : role of hand forces and handle size” **International Journal of Industrial Ergonomics** 35,8 (September) : 268-286
- [3] Robertoes Koekoeh K. Wibowo and Peeyush Soni (2015). “Farmers’Injuries, Discomfort and Its Use in Design of Agricultural Hand Tools : A Case Study from East Java, Indonesia” **International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources, IC-FANRes** : 323-327
- [4] Aliff Rahman et al. (2017). “Simple Arm Muscle Model for Oil Palm Harvesting Process” **MATEC Web of Conferences** 87 : 1-4
- [5] Na Jin Seo et al. (2007). “The effect of torque direction and cylindrical handle diameter on the coupling between the hand and a cylindrical handle” **Journal of Biomechanics** 40,29 (April) : 3236-3243
- [6] Josária F. Amaral, Marcelly Mancini and José M. Novo Júnior (2012). “Comparison of three hand dynamometers in relation to the accuracy and precision of themeasurements”12 (January) : 216-224
- [7] D. Welcome et al. (2004). “An investigation on the relationship between grip, push and contact forces applied to a tool handle” **International Journal of Industrial Ergonomics** 34,17 (August) : 507-518
- [8] Yumeng Yao, Subhash Rakheja and Pierre Marcotte, (2019). “Relationship among hand forces imparted on a viscoelastic hand-handle interface”28 (May) : 525-534
- [9] K.N. Dewangan et al. (2010). “Isometric muscle strength of male agricultural workers of India and the design of tractor controls” **International Journal of Industrial Ergonomics** 40,11 (June) : 484-491
- [10] Julie Bang. (2021). **Linear Relationship Definition**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.investopedia.com/terms/l/linearrelationship.asp> (เข้าถึงเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564)
- [11] Mike Kettering. (2021). **Hysteresis and How it Affects Proportional Valves**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://clippard.com/cms/wiki/hysteresis-and-how-it-affects-proportional-valves> (เข้าถึงเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนงนัทธา หนูนา (2564). **Static error/ความคลาดเคลื่อนสถิติ**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4298/static-error> (เข้าถึงเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564)
- [13] อีระพงษ์ กระการดี (2564). **บทที่ 13 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <http://www.stvc.ac.th/elearning/stat/csu13.html> (เข้าถึงเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564)
- [14] รัตนาภรณ์ อมรรัตน์ไพจิตร และสุดธิดา กรุงไกรวงศ์ (2544). **การยศาสตร์ในสถานที่ทำงาน**. บริษัท เรียง สาม กราฟฟิค ดีไซน์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [15] มูลนิธิชัยพัฒนา (2017). **โครงการพัฒนาที่ดินมูลนิธิชัยพัฒนา บ้านชวดบัว ตำบลดอนยอ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://www.chaipat.or.th/site_content/item/4899-20-2555.html (เข้าถึงเมื่อ 19 กันยายน 2563)
- [16] Chi Chang Lee et al. (1997). “An ergonomic comparison of industrial spray paint guns” **International Journal of Industrial Ergonomic** **19**, 29 (March) : 425-435
- [17] Fariborz Tayyari and James L. Smith (1997). **Occupational Ergonomics: Principles and applications**. United States of America.
- [18] สมชาย ชูโฉม และ กลางเดือน โทพนา (2559). **การออกแบบและพัฒนาเคียวตัดปาล์มน้ำมันตามหลักการยศาสตร์**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [19] Chittaranjan Subadar and Binita Boro (2016). “Hand Grip Force Measurement Using Custom Made Load Cells” (June) : 1-2
- [20] Molly Eckman et al. (2014). “Get a Grip! Handgrip Strength as a Health Screening Tool” **10** (December) : 242
- [21] Billy C. Vermillion, Peter S. Lum and Sang Wook Lee (2015). “Proximal arm kinematics affect grip force-load force coordination” **18** (August) : 2265-226
- [22] Dominik Krumma and Stephan Odenwalda (2014). “Development of a dynamometer to measure grip forces at a bicycle handlebar” **The 2014 conference of the International Sports Engineering Association** : 80-85
- [23] ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี ลาย (2021). **อลูมิเนียม 7075 (Aluminum 7075)**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.clinemetal.com/content/13657A1-7075-aluminium-7075> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)

- [24] บริษัท ซีเจ เมทัลลิก จำกัด (2564). **เหล็กท่อกลมดำ (Carbon Steel Tubes)**. เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ <https://www.cj.co.th/carbon-steel-tubes?fbclid=IwAR0k5F5f7FKRo ma0fM0DmcFohpeY99KT2v8p63LomAyZGWW0zLC0UvLjMu4> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [25] Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd. (2012). **Strain gage KFGS-2-350-D31-11**.
เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ https://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/strain_gages/kfgs/index.html (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [26] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด (2019). **เทปพันสายไฟ ไวนิลอเนกประสงค์**. เข้าถึงได้จาก :
เว็บไซต์ <https://mall.factomart.com/vinyl-electrical-tapes/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [27] Spectris Pte Ltd, HBK Division (2020). **AK22: Covering Material for Strain Gauges - Strongly Adhering kneadable Putty**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<https://www.hbm.com/en/3079/ak22-tough-kneadable-putty/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [28] RS Components Co., Ltd. (Head Office) 50 GMM Grammy Place (2014). **Mitutoyo 150mm Digital Caliper 0.01 mm, Metric & Imperial**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<https://th.rs-online.com/web/p/calipers/2455676/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [29] บริษัท คชา (ไทยแลนด์) จำกัด (2019). **มารู้จัก “สกรู โบลต์ นัต” เป็นแบบไหนกันบ้างนะ?**.
เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.kachathailand.com/articles/มารู้จัก-สกรู-โบลต์-นัต-/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [30] บริษัท เหล็กเลคกล้า (ไทยแลนด์) จำกัด (2017). **เหล็กเพลลาขาว (Steel Round Bar)**. เข้าถึง
ได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.lekkla.com/product/steellroundbar/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [31] บริษัท สปริงกรีนอีโวลูชั่น จำกัด (2021). **เหล็กกล้าวไนซ์ คืออะไร ข้อดีข้อเสียเป็นอย่างไร**.
เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ <https://www.sgethai.com/article/เหล็กกล้าวไนซ์-คืออะไร-ข/>
(เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [32] thaimetallic (2021). **เหล็กแบน (Flat Bar)**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<https://www.thaimetallic.com/2020/05/28/เหล็กแบน-flat-bar/> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [33] Wikipedia (2021). **Wire rope**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
https://en.wikipedia.org/wiki/Wire_rope (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)

- [34] บริษัท โพลดเซลล์ เอ็นจิเนียริง (ไทยแลนด์) จำกัด (2557). **408 SERIES IEN CELL-WEICOMP/FORCE TECHNOLOGY**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<http://www.loadcellthailand.com/index.php?mo=59&action=page&id=419082>
 (เข้าถึง เมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [35] จุฑาศินี พรพุทธรศรี (2019). **เขียนแบบเครื่องกล (Mechanical Drawing)**.
 เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
http://courseware.npru.ac.th/admin/files/20190107151526_e702b00aac0ab2dd4a14e75bc9a4258d.pdf (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [36] Apex Waves LLC (2021). **USB-6210**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<https://www.apexwaves.com/modular-systems/national-instruments/m-series/USB-6210> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [37] Good Will Instrument Co., Ltd (2021). **SPD-3606 Multiple Output Dual Range D.C. Power Supply**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<https://www.gwinstek.com/en-global/products/detail/SPD-3606> (เข้าถึงเมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [38] Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd. (2012). **วีทสโตน บริดจ์**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
https://www.kyowa-ei.co.th/tha/technical/strain_gages/wheatstone-bridge.html (เข้าถึง เมื่อ 14 มิถุนายน 2564)
- [39] Thonburi Special Steel Co., Ltd. (2016). **อลูมิเนียมอัลลอย 7075, อลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075-T6,7075-T651**. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์
<http://www.thonburiss.com/projects/A270757075-t6-7075-t651/> (เข้าถึงเมื่อ 21 มิถุนายน 2564)



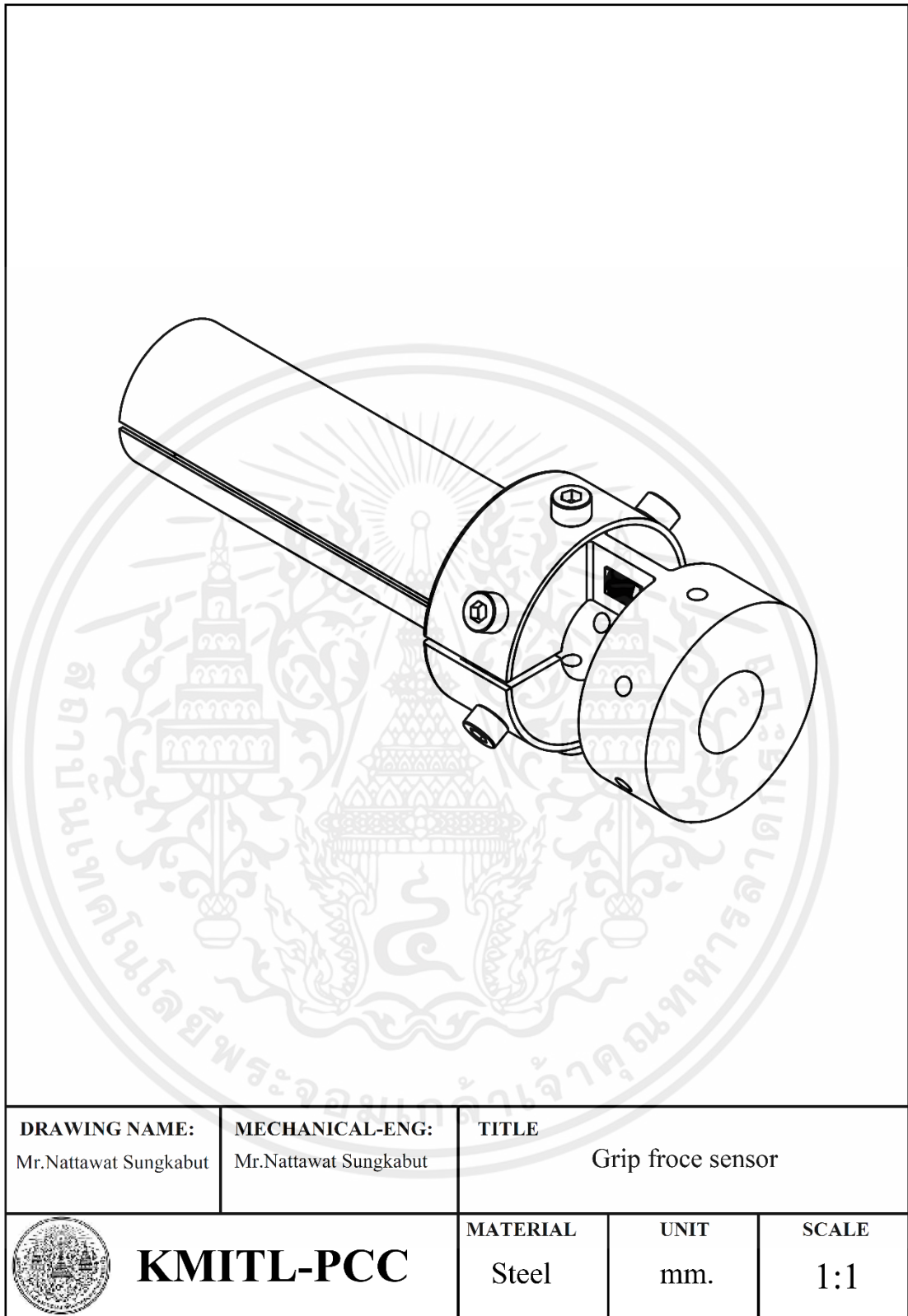
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



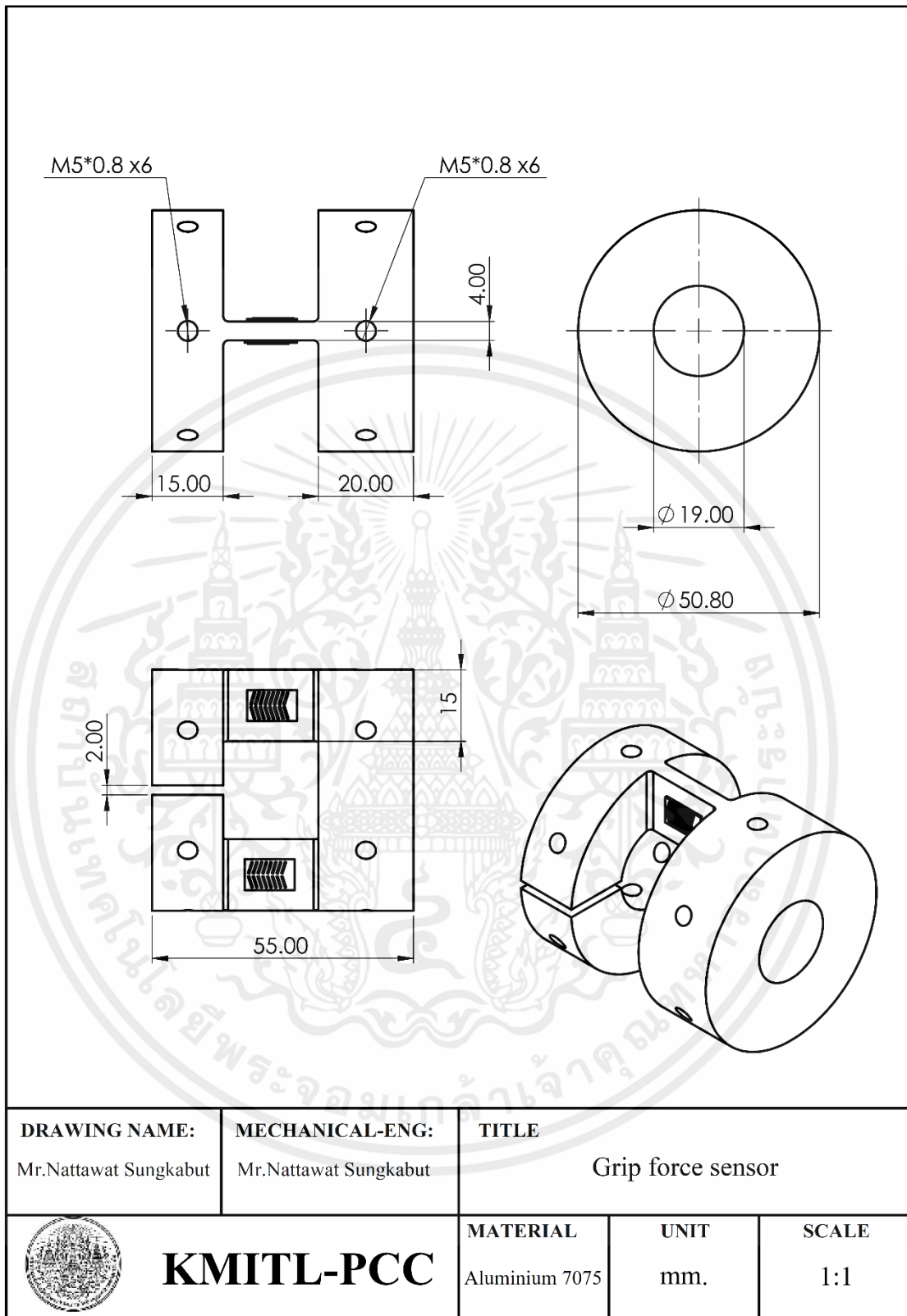
ภาคผนวก ก
การออกแบบเครื่องวัดแรงบีบจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



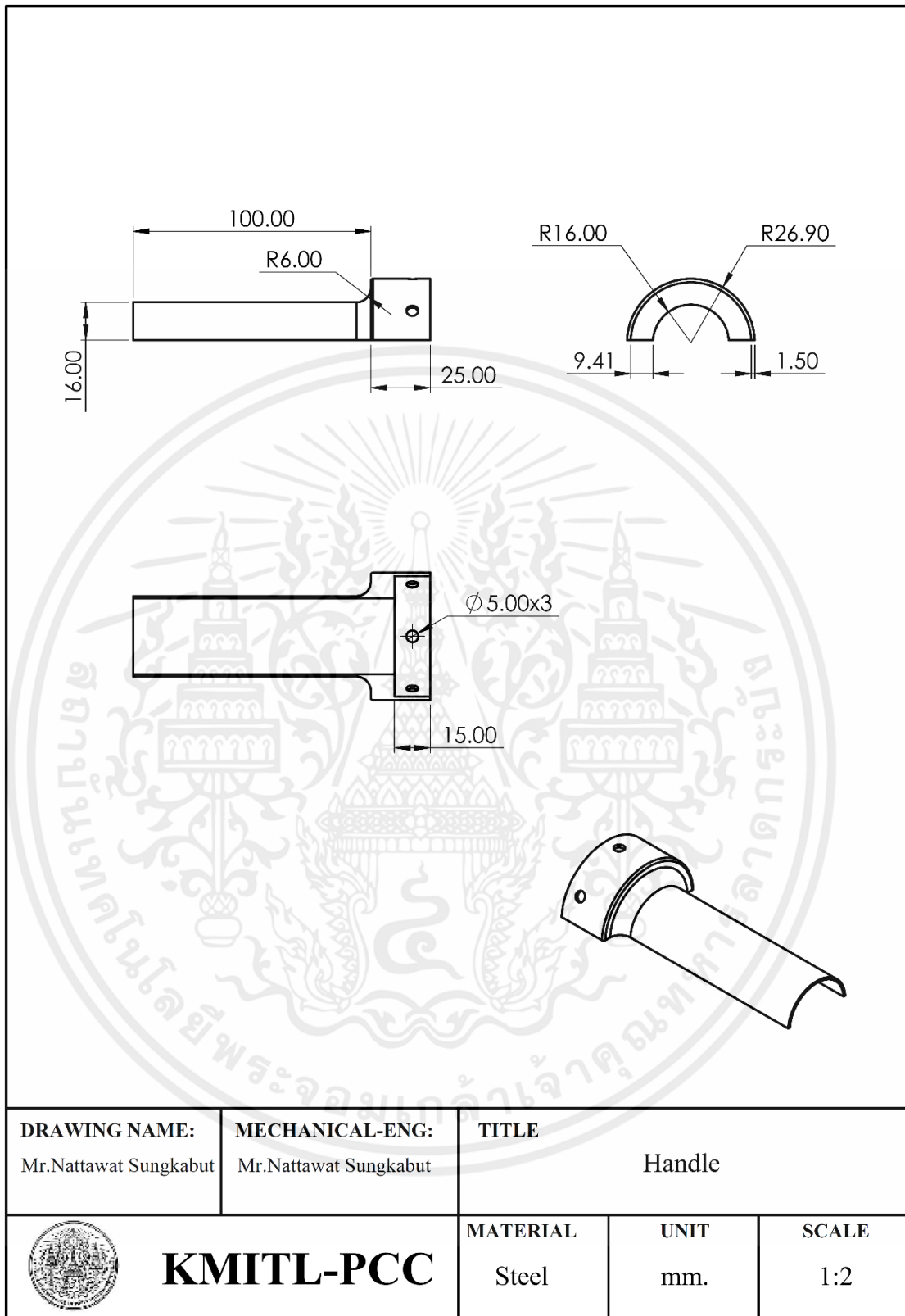
รูปที่ ก.1 เครื่องวัดแรงบีบจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



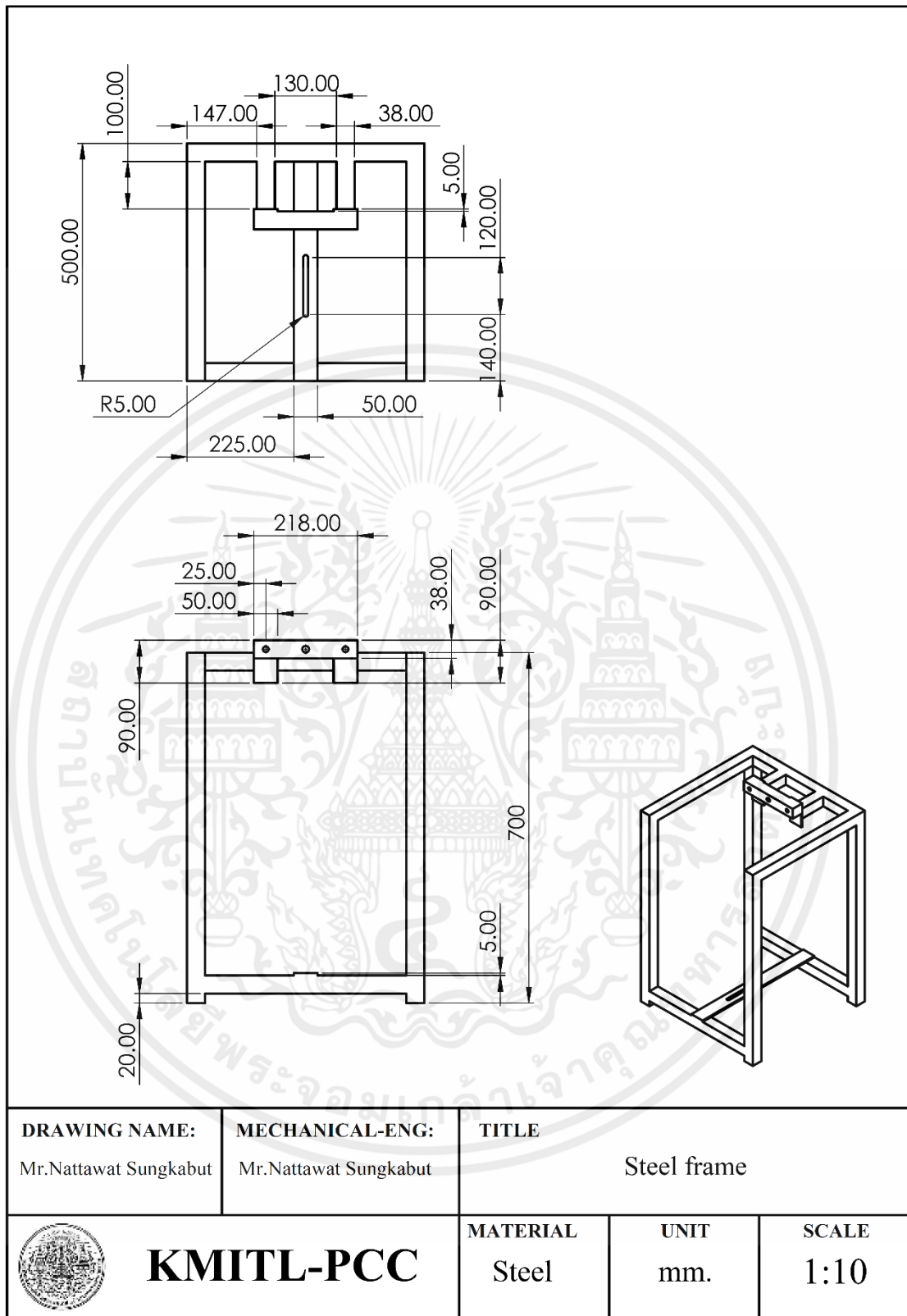
รูปที่ ก.2 Grip Force Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ด้ามจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ชุดทดลองการวัดแรงดึงสำหรับยึดเครื่องวัดแรงบีบจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

**ตารางวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ
และค่าความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)

Weight (kg)	Upper Hand (Volt)		Lower Hand (Volt)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0
0.5	0.057	0.057	0.046	0.053
1	0.109	0.109	0.098	0.108
1.5	0.162	0.162	0.147	0.158
2	0.217	0.217	0.199	0.211
2.5	0.269	0.269	0.251	0.264
3	0.322	0.322	0.304	0.316
3.5	0.38	0.38	0.357	0.371
4	0.433	0.433	0.408	0.426
4.5	0.483	0.483	0.459	0.479
5	0.54	0.54	0.51	0.531
6	0.642	0.642	0.614	0.639
7	0.75	0.75	0.717	0.742
8	0.862	0.862	0.82	0.849
9	0.965	0.965	0.924	0.953
10	1.075	1.075	1.028	1.06
12	1.284	1.284	1.236	1.271
14	1.498	1.498	1.441	1.487
16	1.715	1.715	1.651	1.697
18	1.929	1.929	1.859	1.908
20	2.144	2.144	2.07	2.12
22	2.357	2.357	2.274	2.335
24	2.573	2.573	2.482	2.549
26	2.782	2.782	2.691	2.761
28	2.996	2.996	2.898	2.97
30	3.208	3.208	3.103	3.182
32	3.421	3.421	3.315	3.394
34	3.629	3.629	3.518	3.608
36	3.84	3.84	3.726	3.823
38	4.088	4.053	3.933	3.936

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึงขนาด 100 mm (100%)

Weight (kg)	Upper Hand (kg)		Lower Hand (kg)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0
0.5	0.53	0.53	0.44	0.51
1	1.02	1.02	0.94	1.03
1.5	1.52	1.52	1.41	1.51
2	2.03	2.03	1.9	2.02
2.5	2.52	2.52	2.4	2.52
3	3.01	3.01	2.91	3.02
3.5	3.56	3.56	3.41	3.55
4	4.05	4.05	3.9	4.07
4.5	4.52	4.52	4.39	4.58
5	5.05	5.05	4.88	5.08
6	6.01	6.01	5.87	6.11
7	7.02	7.02	6.86	7.1
8	8.07	8.07	7.84	8.12
9	9.03	9.03	8.84	9.11
10	10.06	10.06	9.83	10.14
12	12.02	12.02	11.82	12.16
14	14.02	14.02	13.78	14.22
16	16.05	16.05	15.79	16.23
18	18.05	18.05	17.78	18.25
20	20.07	20.07	19.8	20.28
22	22.06	22.06	21.75	22.33
24	24.08	24.08	23.74	24.38
26	26.04	26.04	25.74	26.41
28	28.04	28.04	27.72	28.4
30	30.02	30.02	29.68	30.43
32	32.02	32.02	31.7	32.46
34	33.96	33.96	33.65	34.51
36	35.94	35.94	35.63	36.56
38	38.26	37.93	37.61	37.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึง 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วน
ด้านบน (Upper Hand)

Weight (kg)	P5 (kg)		P6 (kg)		P7 (kg)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.45	0.42	0.5	0.47	0.57	0.57
1	0.88	0.85	0.99	0.96	1.16	1.15
1.5	1.31	1.29	1.52	1.47	1.73	1.72
2	1.74	1.72	2	1.96	2.31	2.3
2.5	2.18	2.16	2.49	2.46	2.87	2.86
3	2.62	2.6	2.99	2.96	3.45	3.43
3.5	3.03	3.03	3.48	3.45	4.04	4
4	3.49	3.48	3.99	3.96	4.58	4.59
4.5	3.93	3.92	4.49	4.46	5.16	5.14
5	4.35	4.38	4.98	4.93	5.75	5.74
6	5.23	5.21	5.99	5.91	6.86	6.84
7	6.1	6.08	6.97	6.93	8	8.01
8	6.96	6.95	7.95	7.93	9.16	9.13
9	7.84	7.82	8.96	8.93	10.3	10.26
10	8.71	8.71	9.94	9.91	11.42	11.41
12	10.45	10.44	11.94	11.88	13.73	13.69
14	12.19	12.17	13.91	13.85	16	15.95
16	13.89	13.9	15.89	15.85	18.28	18.21
18	15.63	15.65	17.86	17.82	20.53	20.48
20	17.38	17.38	19.82	19.82	22.8	22.77
22	19.13	19.13	21.81	21.81	25.06	25.03
24	20.86	20.85	23.83	23.77	27.33	27.31
26	22.61	22.59	25.77	25.74	29.58	29.62
28	24.35	24.32	27.73	27.69	31.86	31.85
30	26.1	26.01	29.68	29.66	34.13	34.11
32	27.85	27.76	31.62	31.62	36.38	36.42
34	29.58	29.52	33.58	33.57		
36	31.34	31.22	35.55	35.54		
38	33.08	32.97	37.55	37.48		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึง 50 mm (50%) ของแรงบีบจับมือส่วน
ด้านล่าง (Lower Hand)

Weight (kg)	P5 (kg)		P6 (kg)		P7 (kg)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.4	0.44	0.5	0.5	0.58	0.57
1	0.83	0.85	1	0.97	1.17	1.12
1.5	1.26	1.28	1.51	1.48	1.74	1.71
2	1.68	1.72	2	1.97	2.29	2.28
2.5	2.12	2.13	2.49	2.47	2.87	2.83
3	2.54	2.56	3	2.95	3.43	3.41
3.5	2.96	3	3.5	3.46	3.99	3.98
4	3.39	3.43	3.97	3.95	4.58	4.57
4.5	3.82	3.85	4.45	4.44	5.14	5.12
5	4.25	4.28	4.99	4.96	5.71	5.7
6	5.11	5.12	6	5.93	6.83	6.8
7	5.94	5.99	6.97	6.95	7.98	7.94
8	6.82	6.83	8	7.92	9.09	9.09
9	7.68	7.69	8.97	8.91	10.24	10.2
10	8.5	8.56	9.95	9.93	11.38	11.35
12	10.22	10.28	11.95	11.96	13.65	13.6
14	11.95	12	13.95	13.93	15.9	15.91
16	13.72	13.7	15.95	15.92	18.15	18.21
18	15.46	15.41	17.95	17.93	20.43	20.49
20	17.18	17.12	19.98	19.89	22.7	22.74
22	18.89	18.84	21.96	21.89	25	24.99
24	20.57	20.55	23.94	23.89	27.25	27.26
26	22.29	22.27	25.94	25.9	29.5	29.58
28	24.01	23.97	27.92	27.89	31.76	31.88
30	25.72	25.69	29.9	29.9	34	34.14
32	27.47	27.4	31.92	31.92	36.27	37.29
34	29.15	29.14	33.93	33.94		
36	30.87	30.86	35.95	35.94		
38	32.58	32.57	37.89	37.88		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึง 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วน
ด้านบน (Upper Hand)

Weight (kg)	P1		P2		P3		P4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0
0.5	0.39	0.38	0.46	0.44	0.51	0.52	0.63	0.61
1	0.77	0.76	0.94	0.91	1.05	1.06	1.23	1.22
1.5	1.19	1.15	1.41	1.39	1.57	1.6	1.84	1.81
2	1.59	1.57	1.86	1.85	2.11	2.14	2.47	2.43
2.5	1.98	1.96	2.34	2.32	2.65	2.64	3.06	3.04
3	2.39	2.37	2.81	2.8	3.18	3.2	3.68	3.66
3.5	2.79	2.8	3.26	3.26	3.72	3.73	4.31	4.24
4	3.22	3.16	3.75	3.72	4.27	4.26	4.91	4.89
4.5	3.6	3.55	4.21	4.18	4.77	4.81	5.57	5.53
5	3.99	3.96	4.68	4.68	5.31	5.34	6.16	6.09
6	4.79	4.77	5.62	5.58	6.4	6.42	7.35	7.31
7	5.56	5.57	6.54	6.51	7.46	7.5	8.57	8.51
8	6.35	6.36	7.48	7.44	8.49	8.55	9.81	9.72
9	7.15	7.14	8.41	8.39	9.6	9.59	11.05	10.99
10	7.94	7.93	9.33	9.31	10.64	10.67	12.23	12.16
12	9.56	9.53	11.19	11.17	12.76	12.81	14.68	14.66
14	11.14	11.09	13.08	13.02	14.91	14.93	17.14	17.09
16	12.71	12.71	14.95	14.87	17.09	17.05	19.53	19.45
18	14.38	14.3	16.79	16.78	19.2	19.17	21.91	21.91
20	15.95	15.87	18.65	18.63	21.3	21.33	24.34	24.33
22	17.44	17.44	20.53	20.5	23.44	23.45	26.85	26.8
24	19.14	19.07	22.4	22.33	25.6	25.6	29.25	29.21
26	20.73	20.7	24.28	24.22	27.74	27.73	31.59	31.62
28	22.33	22.24	26.15	26.04	29.86	29.84	33.76	33.57
30	23.82	23.83	28.01	27.89	31.97	31.96	35.16	35.15
32	25.38	25.36	29.86	29.73	34.02	34.05		
34	26.99	27	31.65	31.66	35.26	35.74		
36	28.59	28.57	33.51	33.51				
38	30.12	30.18	35.42	35.34				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ตารางน้ำหนักที่อ่านค่าได้จากชุดวัดแรงดึง 25 mm (25%) ของแรงบีบจับมือส่วน
ด้านล่าง (Lower Hand)

Weight (kg)	P1		P2		P3		P4	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.4	0.4	0.47	0.47	0.54	0.54	0.63	0.61
1	0.8	0.78	0.93	0.92	1.08	1.07	1.24	1.2
1.5	1.2	1.19	1.43	1.4	1.62	1.61	1.85	1.82
2	1.59	1.57	1.87	1.86	2.16	2.13	2.46	2.42
2.5	1.99	1.97	2.36	2.3	2.71	2.66	3.08	3.03
3	2.4	2.37	2.83	2.78	3.24	3.24	3.69	3.66
3.5	2.77	2.76	3.3	3.26	3.8	3.74	4.29	4.26
4	3.17	3.16	3.76	3.71	4.33	4.27	4.93	4.87
4.5	3.56	3.57	4.23	4.18	4.86	4.81	5.54	5.49
5	3.96	3.95	4.7	4.66	5.43	5.33	6.15	6.09
6	4.75	4.75	5.63	5.57	6.47	6.43	7.35	7.32
7	5.61	5.52	6.55	6.53	7.56	7.48	8.58	8.51
8	6.4	6.33	7.49	7.42	8.64	8.56	9.82	9.75
9	7.21	7.1	8.45	8.38	9.69	9.61	11.02	10.99
10	7.99	7.91	9.35	9.31	10.78	10.7	12.25	12.19
12	9.57	9.51	11.22	11.17	12.91	12.83	14.67	14.6
14	11.15	11.08	13.09	13.06	15.05	15	17.1	17.06
16	12.72	12.67	14.97	14.91	17.21	17.13	19.52	19.51
18	14.32	14.26	16.85	16.79	19.36	19.28	21.98	21.93
20	15.9	15.84	18.71	18.64	21.5	21.42	24.4	24.36
22	17.49	17.43	20.55	20.49	23.63	23.55	26.83	26.8
24	19.09	19	22.4	22.37	25.77	25.66	29.29	29.25
26	20.66	20.59	24.27	24.21	27.86	27.82	31.76	31.74
28	22.23	22.17	26.11	26.08	30.01	29.96	34.18	33.43
30	23.83	23.77	27.96	27.95	32.15	32.1	36.59	34.86
32	25.41	25.34	29.82	29.79	34.27	34.24		
34	27	26.94	31.67	31.67	36.42	36.4		
36	28.59	28.51	33.52	33.51				
38	30.18	30.1	35.39	35.38				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดแรงดึงขนาด 50 mm (50%)
ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)

Weight (kg)	Relative error (%)		
	P5	P6	P7
0	0	0	0
0.51	0.0833	0.0208	0.1875
1	0.0938	0.0208	0.2083
1.49	0.0909	0.0490	0.2098
2.01	0.1393	0.0149	0.1493
2.5	0.1285	0.0040	0.1526
2.99	0.1182	0.0068	0.1622
3.52	0.1192	0.0087	0.1686
4.02	0.1318	0.0100	0.1418
4.5	0.1247	0.0022	0.1470
5	0.1207	0.0020	0.1569
5.98	0.1343	0.0133	0.1360
7.01	0.1275	0.0043	0.1476
8	0.1234	0.0000	0.1524
9	0.1290	0.0044	0.1435
10.02	0.1246	0.0020	0.1477
12	0.1255	0.0033	0.1473
14	0.1275	0.0057	0.1447
16	0.1296	0.0063	0.1428
18	0.1301	0.0078	0.1407
20.02	0.1345	0.0129	0.1350
22	0.1305	0.0086	0.1386
24.02	0.1344	0.0124	0.1336
25.99	0.1344	0.0134	0.1337
28	0.1313	0.0111	0.1370
30	0.1322	0.0120	0.1362
32.01	0.1320	0.0131	0.1361
34	0.1322	0.0138	
36	0.1326	0.0141	
38	0.1213	0.0019	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดแรงดึงขนาด 50 mm (50%)
ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)

Weight (kg)	Relative error (%)		
	P5	P6	P7
0	0	0	0
0.48	0.1250	0.0417	0.2083
0.96	0.1250	0.0313	0.1979
1.43	0.1119	0.0490	0.2098
2.01	0.1542	0.0100	0.1393
2.49	0.1446	0.0040	0.1446
2.96	0.1385	0.0068	0.1554
3.44	0.1337	0.0116	0.1599
4.02	0.1517	0.0149	0.1393
4.49	0.1448	0.0089	0.1425
4.97	0.1408	0.0020	0.1489
6.03	0.1509	0.0100	0.1310
6.98	0.1447	0.0029	0.1404
7.94	0.1398	0.0025	0.1448
8.99	0.1446	0.0056	0.1368
9.95	0.1427	0.0010	0.1427
11.95	0.1423	0.0008	0.1406
13.96	0.1418	0.0014	0.1397
15.97	0.1415	0.0019	0.1384
17.98	0.1413	0.0022	0.1379
20.08	0.1459	0.0070	0.1315
22	0.1423	0.0032	0.1364
24.1	0.1469	0.0075	0.1311
26.11	0.1467	0.0073	0.1314
28.02	0.1438	0.0039	0.1356
30.03	0.1439	0.0043	0.1345
32.04	0.1436	0.0037	0.1479
34.05	0.1439	0.0032	
36.06	0.1439	0.0031	
37.59	0.1333	0.0080	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)
ของแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)

Weight (kg)	Relative error (%)			
	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
0.51	0.1875	0.0625	0.0833	0.2917
1	0.1979	0.0312	0.1042	0.2813
1.49	0.1818	0.0210	0.1119	0.2797
2.01	0.2139	0.0746	0.0597	0.2189
2.5	0.2088	0.0643	0.0643	0.2249
2.99	0.1959	0.0507	0.0777	0.2399
3.52	0.1860	0.0523	0.0843	0.2442
4.02	0.2065	0.0697	0.0622	0.2189
4.5	0.2027	0.0646	0.0668	0.2361
5	0.1992	0.0584	0.0724	0.2334
5.98	0.2073	0.0713	0.0630	0.2156
7.01	0.2020	0.0645	0.0716	0.2235
8	0.1990	0.0605	0.0730	0.2305
9	0.2047	0.0656	0.0679	0.2258
10.02	0.2020	0.0633	0.0714	0.2261
12	0.2008	0.0644	0.0703	0.2276
14	0.2034	0.0652	0.0688	0.2264
16	0.2041	0.0664	0.0689	0.2204
18	0.2024	0.0662	0.0673	0.2186
20.02	0.2077	0.0717	0.0618	0.2122
22	0.2073	0.0673	0.0659	0.2195
24.02	0.2071	0.0718	0.0622	0.2129
25.99	0.2064	0.0712	0.0624	0.2106
28	0.2045	0.0685	0.0653	0.2016
30	0.2065	0.0693	0.0646	0.1708
32.01	0.2082	0.0699	0.0624	
34	0.2070	0.0702	0.0426	
36	0.2074	0.0707		
38	0.1979	0.0588		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ตารางค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุดของชุดแรงดึงขนาด 25 mm (25%)
ของแรงบีบจับมือส่วนด้านล่าง (Lower Hand)

Weight (kg)	Relative error (%)			
	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
0.48	0.1667	0.0208	0.1250	0.2917
0.96	0.1771	0.0312	0.1250	0.2708
1.43	0.1608	0.0070	0.1329	0.2832
2.01	0.2139	0.0697	0.0697	0.2139
2.49	0.2048	0.0643	0.0803	0.2269
2.96	0.1926	0.0507	0.0946	0.2416
3.44	0.1948	0.0465	0.0959	0.2427
4.02	0.2114	0.0697	0.0697	0.2189
4.49	0.2049	0.0624	0.0780	0.2283
4.97	0.2032	0.0584	0.0825	0.2314
6.03	0.2123	0.0713	0.0697	0.2164
6.98	0.2020	0.0630	0.0774	0.2242
7.94	0.1977	0.0605	0.0831	0.2324
8.99	0.2036	0.0634	0.0734	0.2241
9.95	0.2010	0.0623	0.0794	0.2281
11.95	0.2017	0.0628	0.0770	0.2247
13.96	0.2034	0.0630	0.0766	0.2235
15.97	0.2048	0.0645	0.0751	0.2220
17.98	0.2052	0.0645	0.0745	0.2211
20.08	0.2097	0.0697	0.0687	0.2141
22	0.2064	0.0673	0.0723	0.2189
24.1	0.2095	0.0710	0.0672	0.2145
26.11	0.2099	0.0716	0.0663	0.2160
28.02	0.2077	0.0685	0.0703	0.2065
30.03	0.2075	0.0689	0.0699	0.1896
32.04	0.2079	0.0696	0.0693	
34.05	0.2079	0.0699	0.0693	
36.06	0.2083	0.0704		
37.59	0.1982	0.0585		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
การคำนวณ Hysteresis Error,
Non-linearity Error และ Relative error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 การคำนวณ Hysteresis Error

ตัวอย่างการคำนวณฮิสเทอรีซิสของชุดวันแรงดึงขนาด 100 mm (100%) กดน้ำหนัก 36 kg ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)

วิธีคำนวณ

$$\text{จากสูตร Hysteresis Error} = \left| \frac{Y_P - Y_D}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

โดย

$$Y_P = 35.94 \text{ kg}, Y_D = 35.38 \text{ kg}, Y_{\max} = 38.09 \text{ kg} \text{ และ } Y_{\min} = 0 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการที่ (1) ; Hysteresis Error} &= \left| \frac{35.94 - 35.38}{38.09 - 0} \right| \times 100\% \\ &= 1.47\% \end{aligned}$$

ดังนั้น Hysteresis Error คือ 1.47%

ค.2 การคำนวณ Non-linearity Error

ตัวอย่างการคำนวณความคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้นของชุดวันแรงดึงขนาด 100 mm (100%) กดน้ำหนัก 10 kg ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)

วิธีคำนวณ

$$\text{จากสูตร Non-linearity Error} = \frac{N}{M_{\max} - M_0} \times 100\% \quad (2)$$

โดย

$$N = -0.11 \text{ kg}, M_{\max} = 38 \text{ kg} \text{ และ } M_0 = 0 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการที่ (2) ; Non-linearity Error} &= \frac{-0.11}{38 - 0} \times 100\% \\ &= 0.29\% \end{aligned}$$

ดังนั้นคลาดเคลื่อนไม่เป็นเชิงเส้น คือ 0.29%

ค.3 การคำนวณ Relative error

ตัวอย่างการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ชุดวันแรงดึงขนาด 50 mm (50%)

ตำแหน่ง P6 กดน้ำหนัก 10 kg ในส่วนแรงบีบจับมือส่วนด้านบน (Upper Hand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณ

$$\text{จากสูตร Relative error} = \left| \frac{X_M - X_T}{X_T} \right| \times 100\% \quad (3)$$

โดย

$$X_M = 9.93 \text{ kg} \text{ และ } X_T = 10 \text{ kg}$$

$$\text{แทนค่าในสมการที่ (2) ; Relative error} = \left| \frac{9.93 - 10}{10} \right| \times 100\%$$

$$= 0.20\%$$

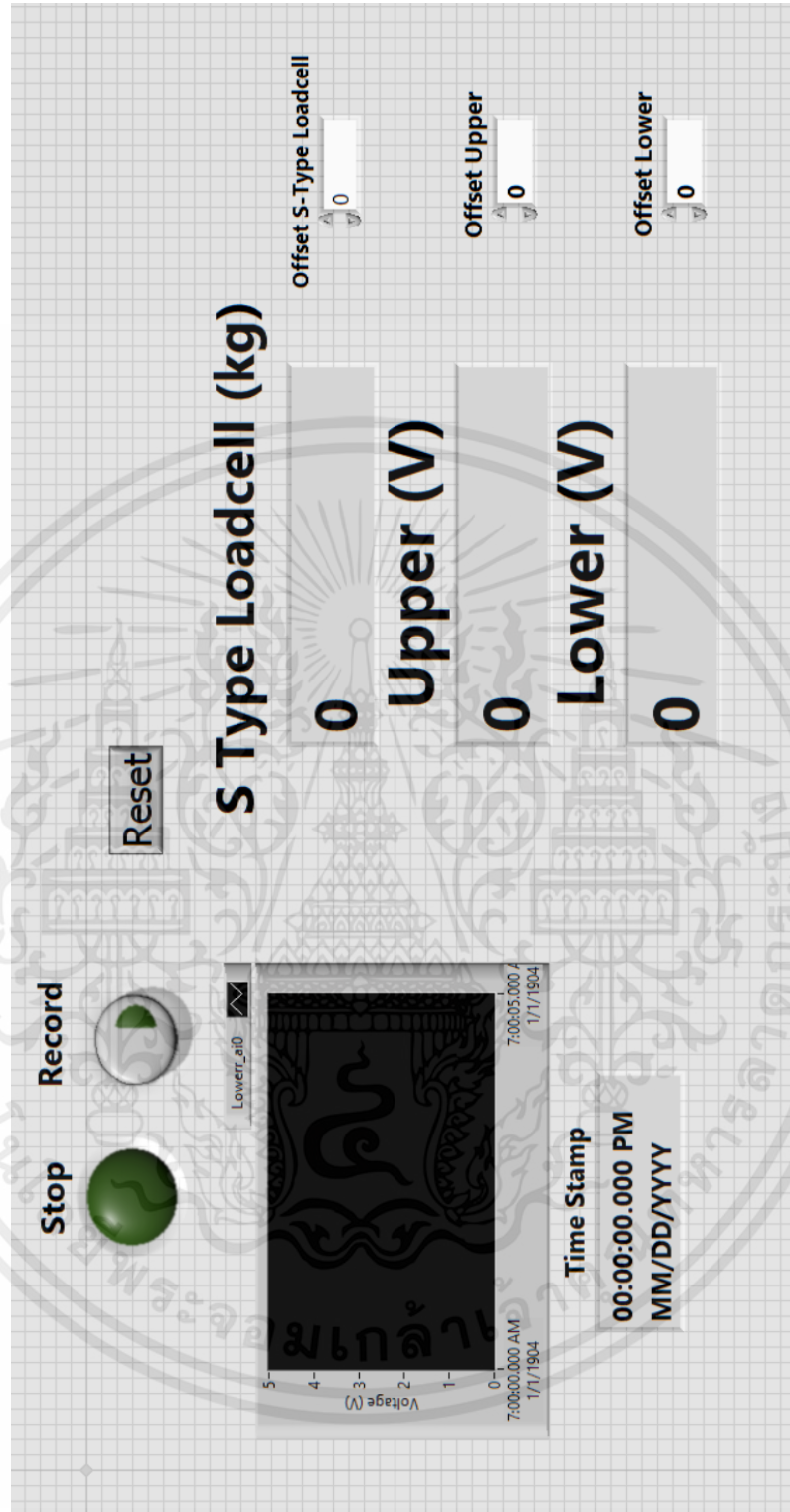
ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ คือ 0.20%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

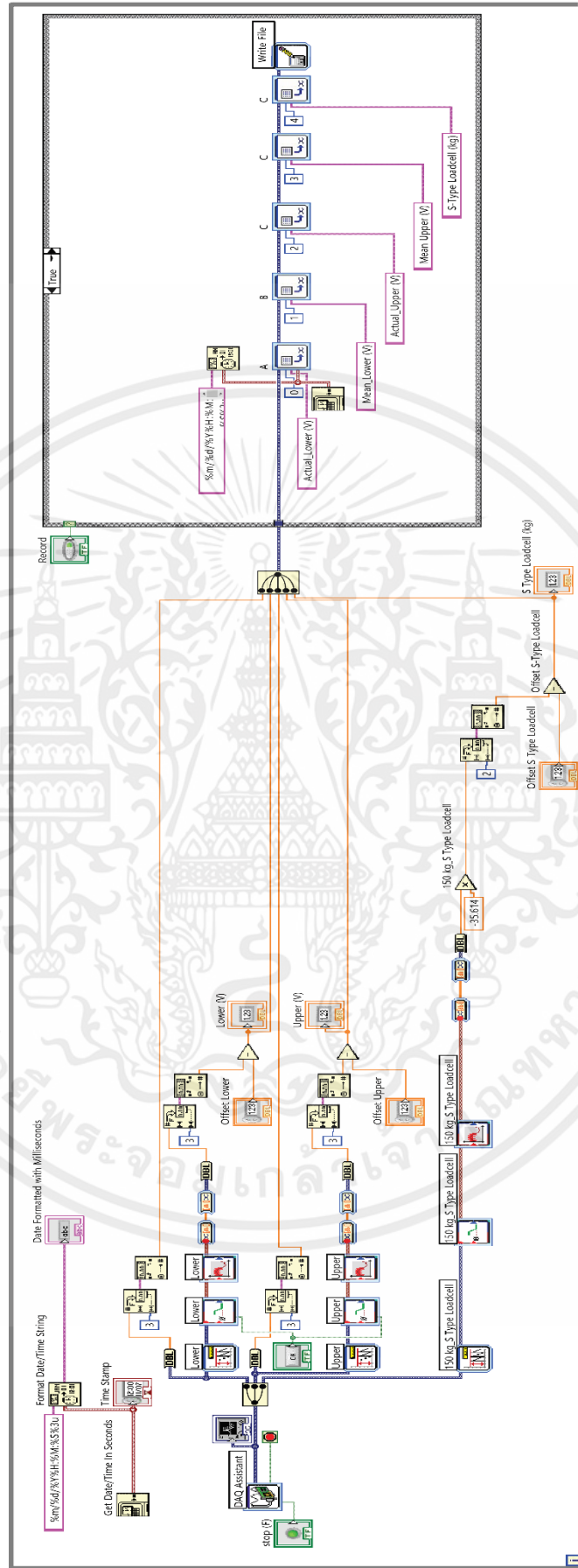


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



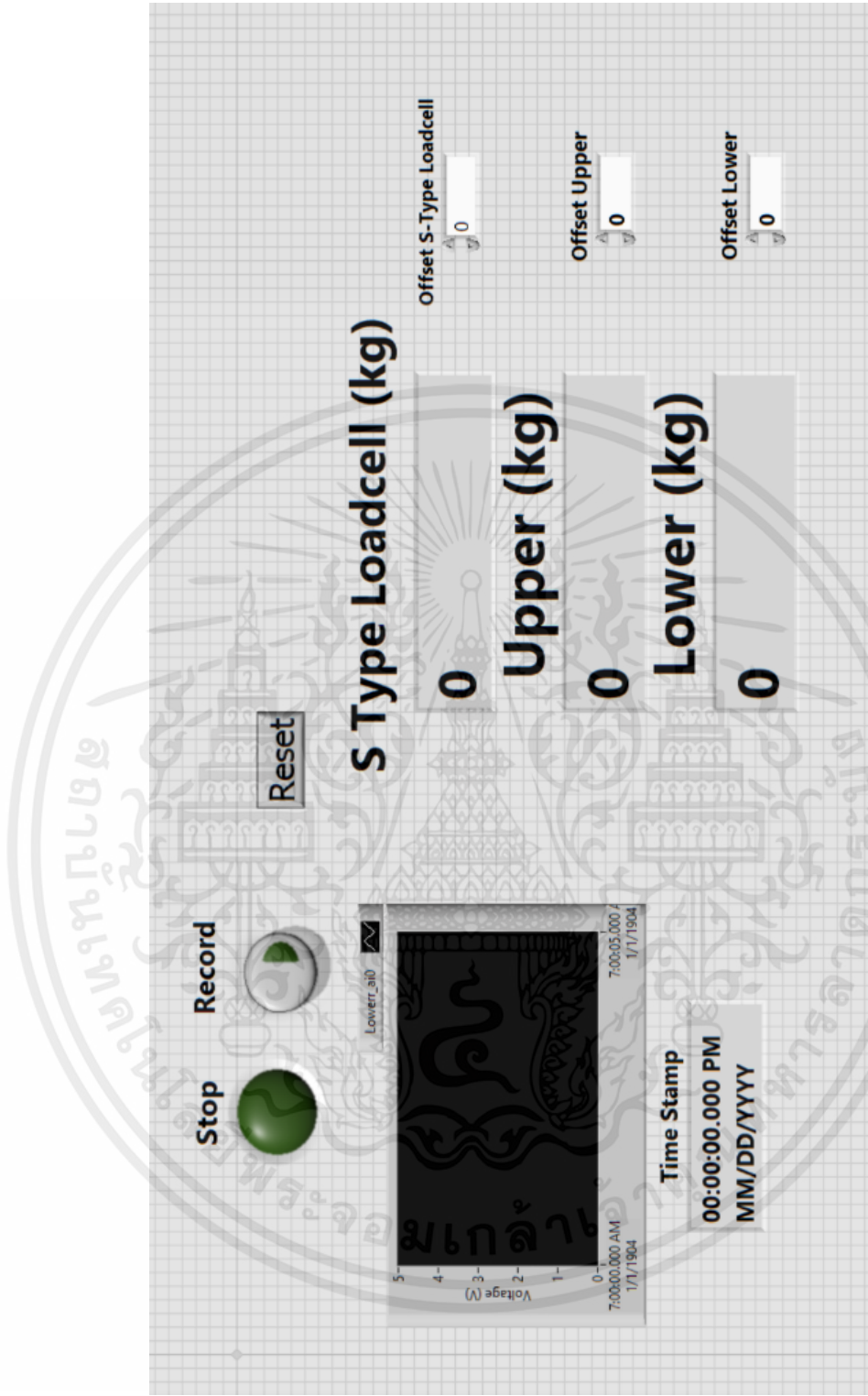
รูปที่ ง.1 หน้า โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



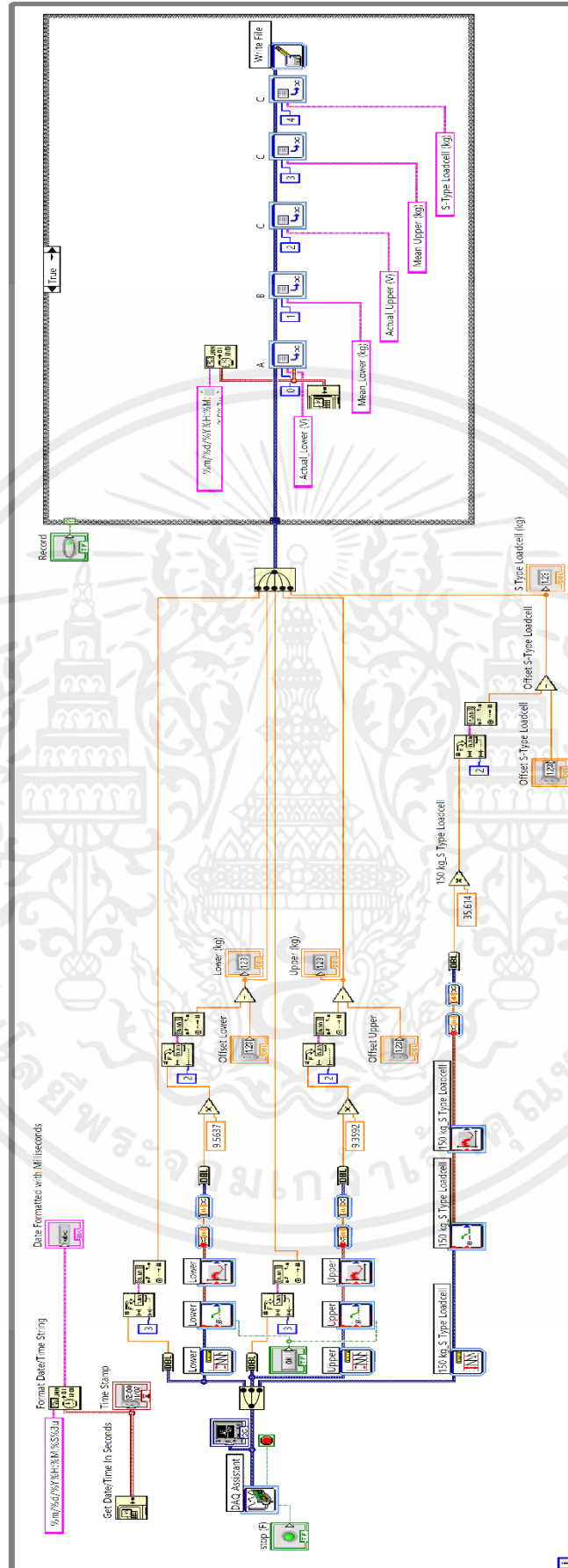
รูปที่ ง.1 หน้า block diagram โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 หน้า โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 หน้า block diagram โปรแกรม LabVIEW 2014 ที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	อลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075 ,7075-T6 ,7075-T651 [39]
Grade	อลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075, Aluminum 7075-T6; Aluminum 7075-T651, UNS A97075 ; ISO AlZn6MgCu ; Aluminum 7075-T6 ; Aluminum 7075-T651 ; AA7075-T6
AA	อลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075
ISO	AlZn6MgCu
DIN	AlZn6MgCu
Temper	T6, T651
Description	<p>“คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)”</p> <ul style="list-style-type: none"> • นำความร้อนได้ดีมากและมี น้ำหนักเบา • มีความแข็งแรงสูงเทียบเท่ากับเหล็กโครงสร้าง • ต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี • ความสามารถในการตัดกลึงดี มาก • สามารถเชื่อมได้ ง่ายพอใช้ • สามารถปรับปรุงคุณภาพผิวได้หลายวิธี <p>การใช้งาน (Applications)</p> <ul style="list-style-type: none"> • แม่พิมพ์เป่าและ ฉีดพลาสติก • อุปกรณ์ชิ้นส่วนในยานพาหนะ • ชิ้นส่วนในเครื่องจักรและเครื่องมือกล • ชิ้นส่วนในเครื่องจักรและเครื่องมือกล • แม่พิมพ์และส่วนประกอบ • หมุดย้ำและก้านสาดอะลูมิเนียม • อุปกรณ์วิทยุ
Mechanical Properties	
Elastic Modulus	$7.199999992 \times 10^{10}$ N/m ²
Poisson's Ratio	0.33 N/A
Tensile Strength	2199999997.2 N/m ²
Yield Strength	94999999.42 N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4×10^{-5} K
Mass Density	2810.000061 kg/m ³
Hardening Factor	0.85 N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical Composition (%)

Aluminum (AL)	Remainder
Copper (Cu)	1.2 – 2
Chromium (Cr)	0.18 – 0.28
Silicon (Si)	0.4 Max
Magnesium (Mg)	2.1 – 2.9
Manganese (Mn)	0.3 Max
Iron (Fe)	0.5 Max
Titanium (Ti)	0.2 Max
Zinc (Zn)	5.1 – 6.1
Other each	0.05 Max
Other Total	0.15 Max



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณัฐวัตร สังขบุตร
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 22 มีนาคม 2542
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 24/2 หมู่ 3 ตำบลบางลึก อำเภอเมือง
 จังหวัดชุมพร 86000
 E-mail nattawat014@outlook.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างกล
 โรงงาน ปีการศึกษา 2559 จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563
 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวธิรดา อ่อนอภัย
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 24 ธันวาคม 2539
 ภูมิลำเนา จังหวัดขอนแก่น
 ที่อยู่ 259 หมู่ 8 ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง
 จังหวัดขอนแก่น 40000
 E-mail thirada.onaphai@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย 2
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายวุฒิพงศ์ หมวตมณี
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 29 มีนาคม 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดตรัง
 ที่อยู่ 72 ถนนควนทองสี่ ตำบลกันตัง อำเภอกันตัง
 จังหวัดตรัง 92110
 E-mail Wuttipongkp@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนกันตังพิทยากร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้