

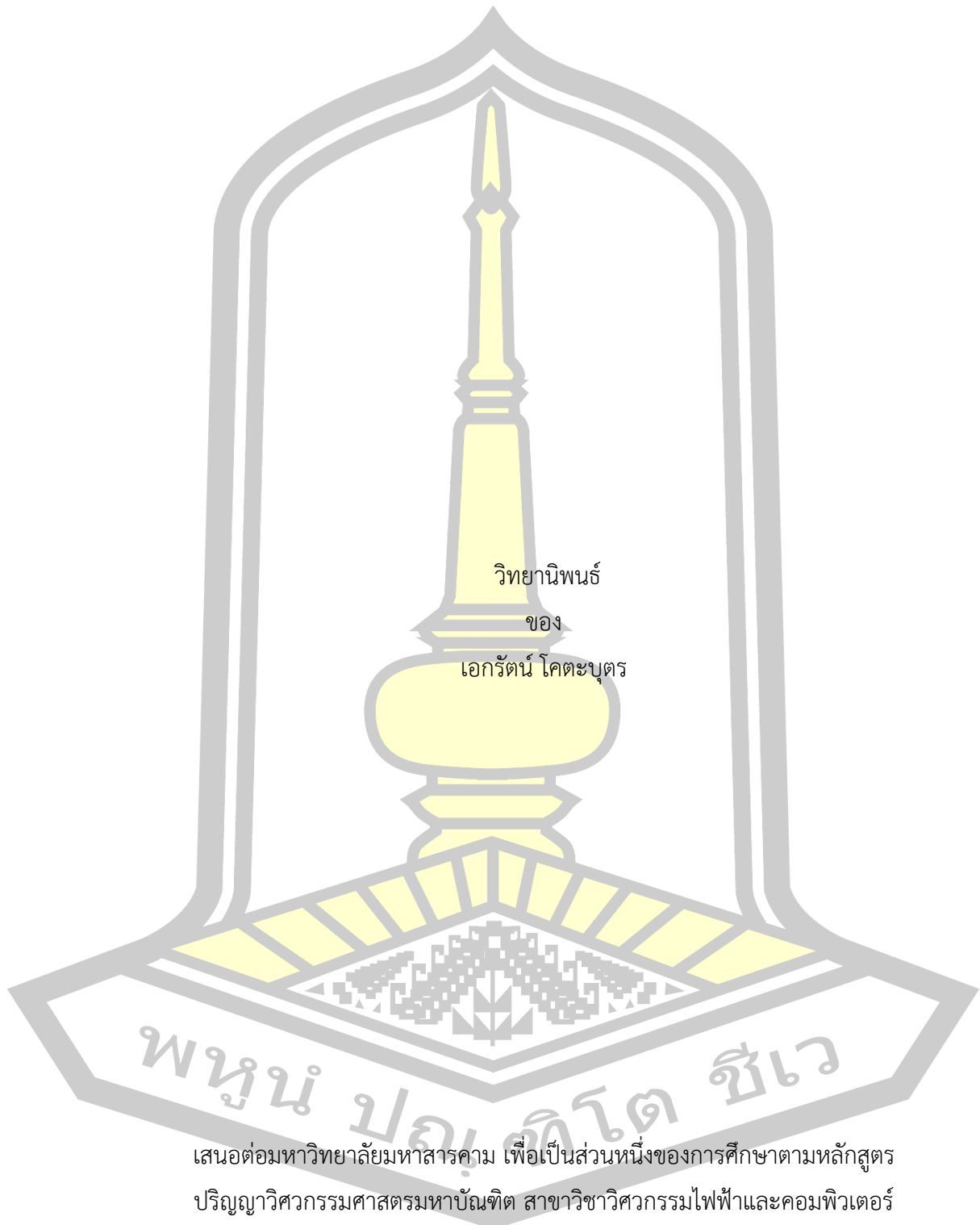
แรงกดที่เหมาะสมสำหรับจุดต่อทางไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์

วิทยานิพนธ์
ของ
เอกรัตน์ โคตะบุตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มีนาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

แรงกดที่เหมาะสมสำหรับจุดต่อทางไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์



วิทยานิพนธ์

ของ

เอกภรณ์ โคตะบุตร

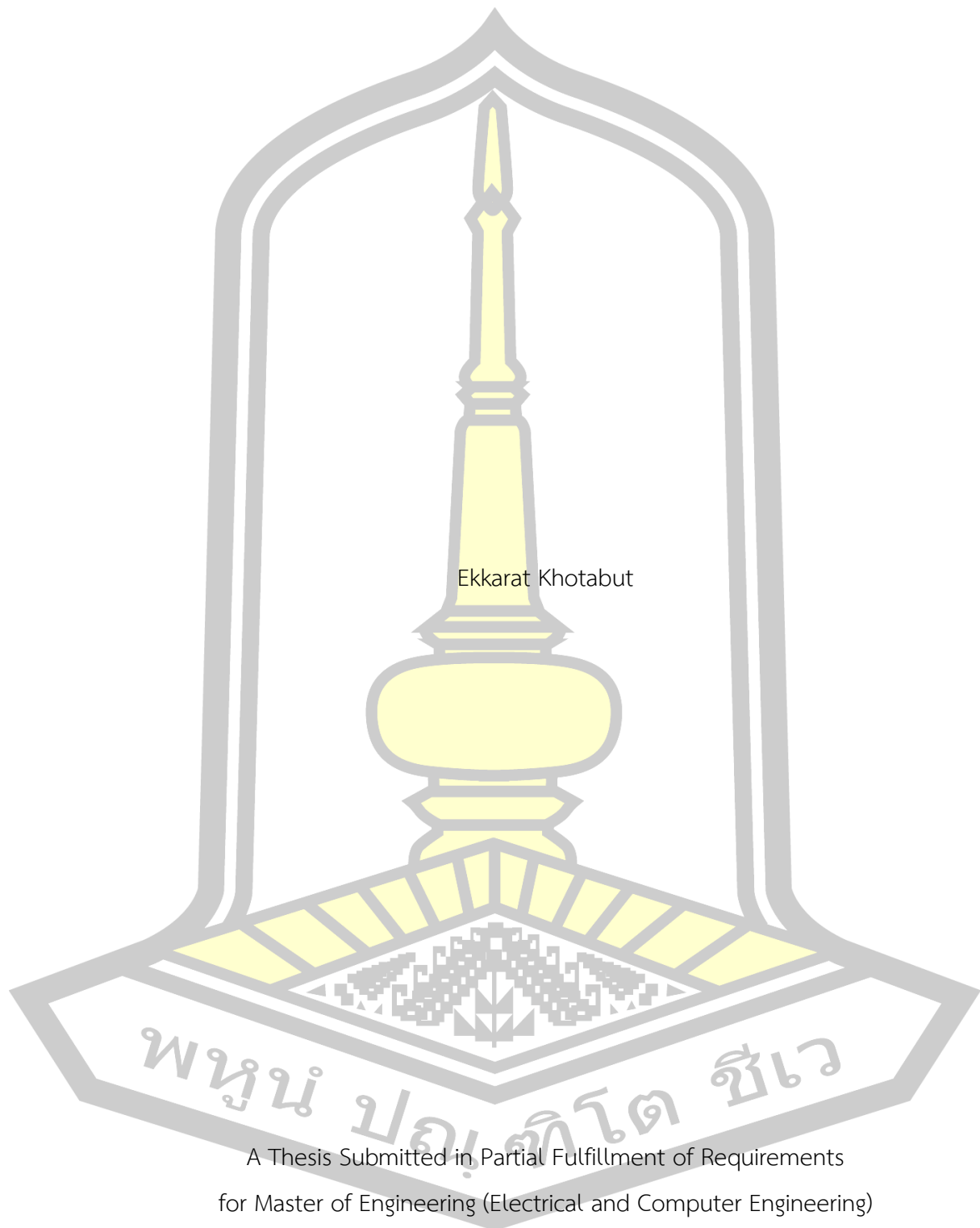
พูน บุญเกิด ชีวะ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มีนาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The Optimal Pressing Force for Electrical Connector on Printed Circuit Board



Ekkarat Khotabut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

March 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเอกรัตน์ โคตะบุตร
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อนันต์ เครือทรัพย์ถาวร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์)

กรรมการ

(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสี่ยงยมวิบูล)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ญัฐวุฒิ สุวรรณทา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง แรงกตที่เหมาะสมสำหรับจุดต่อทางไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์
 ผู้วิจัย เอกรัตน์ โคตะบุตร
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ โปธิ์ทอง
 ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2562

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบแสดงผลแรงกตแบบเวลาจริง (Real-time) ของหัวกตของตัวเชื่อมกล็องหน้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำค่าดังกล่าวไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกต และทำให้มั่นใจว่าเครื่องกตมีความพร้อมแก่การใช้งานอยู่ เนื่องจากในปัจจุบันระบบในโรงงานยังวัดค่าแรงกตโดยใช้คนวัดอยู่ อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและรบกวนเวลาทำงานของผู้อื่น โดยระบบที่นำเสนอจะใช้ Pressure sensor ในการตรวจวัดแรงกตและไม่โครคอนโทรลเลอร์ในการรับค่าแอนะล็อกจาก Pressure sensor แล้วแปลงค่าความดันอากาศเป็นแรงกตอีกครั้ง โดยใช้โพลดเซลล์เป็นเครื่องมือวัดแรง แล้วหาความสัมพันธ์ของแรงกตกับค่าแอนะล็อกจาก pressure sensor ด้วยการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสมและเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล phpMyAdmin และใช้ C# ในการแสดงข้อมูลแบบ Real-time จากการทดลองพบว่าค่าแรงกตที่ได้จากโปรแกรมมีความใกล้เคียงกับการวัดโดยใช้โพลดเซลล์และมีค่าความผิดพลาดที่ 0.001-0.03% และสามารถนำไปใช้วัดแรงกตของหัวกตแบบอื่นๆที่มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวลูกสูบ (Bore) และค่าความยาวของกระบอกสูบ (Stroke) เท่ากัน

คำสำคัญ : ความดันอากาศ, โพลดเซลล์, เวลาจริง, กระบอกสูบ, สัญญาณแอนะล็อก

พหุณ ปณุ ทิโต ชีเว

TITLE	The Optimal Pressing Force for Electrical Connector on Printed Circuit Board		
AUTHOR	Ekkarat Khotabut		
ADVISORS	Assistant Professor Chonlatee Photong , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2019

ABSTRACT

This thesis presents a Real-time pressing force display system of front camera connector pressing machine, which has objectives to analyze the performance of the pressing machine and ensure that the machine is ready to work. In the present, The company used maintenance worker to measure pressing force using force gauge (Mark-10 M3-012 Gauge) which may cause measurement errors and interrupts operator working. The proposed system using pressure sensor (KEYANCE AP-C33W) to measure the pressure of front camera connector pressing cylinder, microcontroller (Arduino UNO) to receive analogue signal from pressure sensor and loadcell to measure pressing force. After that, Find the correlation equation of pressing force and analogue value with statistical analysis and display real-time graph of pressing force using C# programming. The experimental results of the proposed system indicated the pressing force those received from program are close the pressing force those measure from loadcell and relative error is 0.001-0.03 percents.

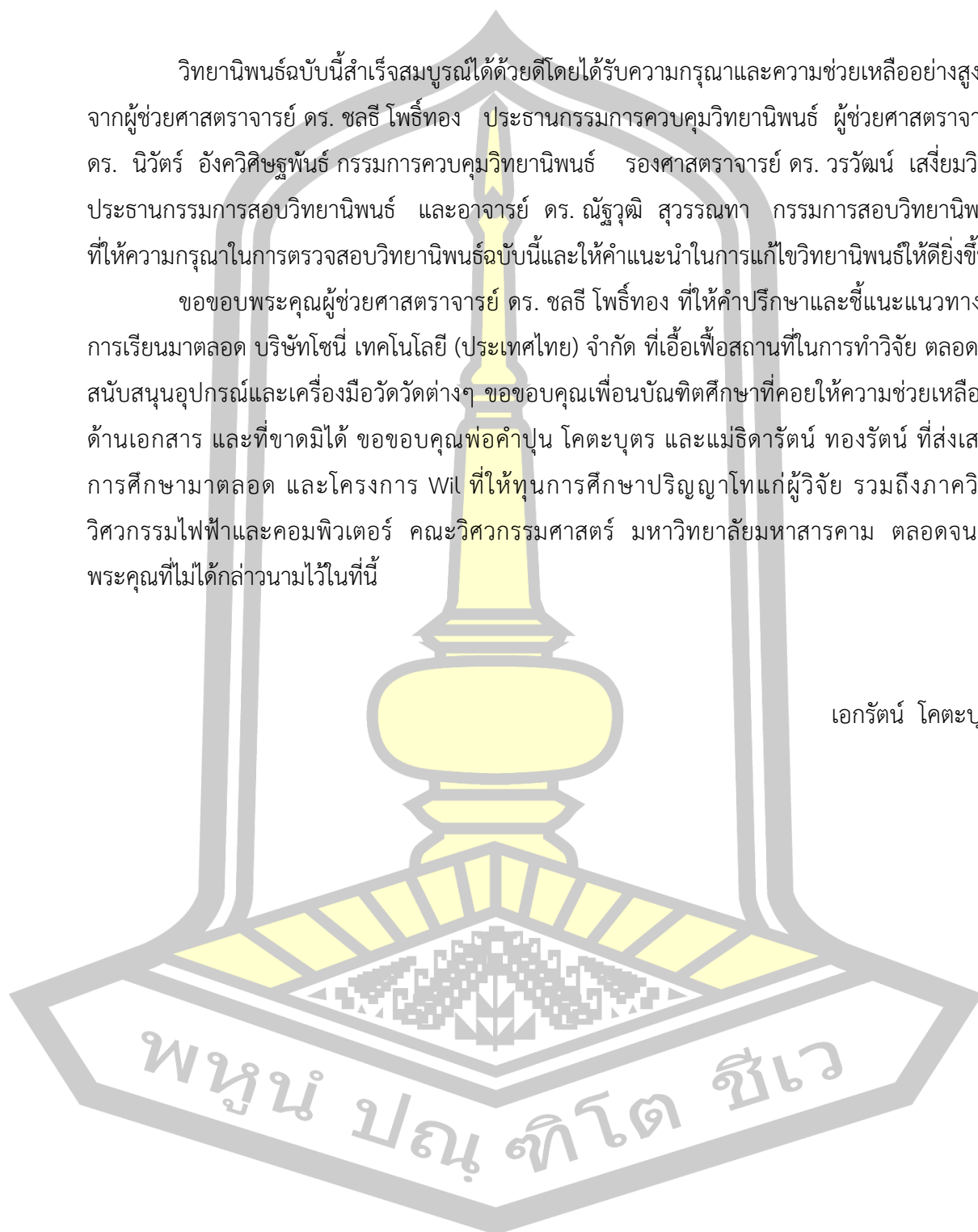
Keyword : Pressure sensor, Load cell, Real-time, Cylinder, Analog signal

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการเรียนมาตลอด บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือวัดวัดต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสาร และที่ขาดมิได้ ขอขอบคุณพ่อคำปุน โคตะบุตร และแม่ธิดารัตน์ ทองรัตน์ ที่ส่งเสริมการศึกษามาตลอด และโครงการ Wil ที่ให้ทุนการศึกษาปริญญาโทแก่ผู้วิจัย รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตลอดจนผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้

เอกรัตน์ โคตะบุตร



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 สมมุติฐานการศึกษา.....	6
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 แผนการดำเนินการศึกษา.....	7
1.7 สถานที่ดำเนินการศึกษา.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ประเภทของเครื่องกด.....	8
2.2 ประเภทของกระบอกสูบ.....	13
2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	16
2.4 ความดันของของไหล.....	20
2.5 ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดัน.....	20
2.6 โหลดเซลล์ (load cell).....	24

2.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	28
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.1 การออกแบบและโครงสร้าง	39
3.1.1 การออกแบบการทดลองส่วนของเครื่องกต Forceman	39
3.1.2 ส่วนของการออกแบบโปรแกรม	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	54
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกตและความดันอากาศของเครื่องกตแบบกระบอกสูบ	56
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกตและค่าแรงดันไฟฟ้าของการวัดโดยใช้โพลเซลล์	57
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกตกับความดันอากาศ	59
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกตกับแรงดันไฟฟ้า	60
4.5 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกตของโพลเซลล์กับแรงกตจากโปรแกรมไมโครโปรเซสเซอร์	61
4.6 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกตของโพลเซลล์กับแรงกตจากไมโครโปรเซสเซอร์ของหัวกต แบบกระบอกสูบที่กตจุดเชื่อมต่อส่วนต่างๆ	66
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	67
5.1 สรุปผลการวิจัย	67
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	78

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าแบบfine pitch board to board จุดต่อทางไฟฟ้าของเป็นส่วนประกอบ [1].....	2
ภาพประกอบ 1.2 แสดงร้อยละความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าแบบ fine pitch board to board connector [1].....	2
ภาพประกอบ 1.3 ขีดกำหนดตำแหน่งการวางจุดต่อทางไฟฟ้า [1].....	3
ภาพประกอบ 1.4 การวางตำแหน่งจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ตรงตำแหน่ง [1].....	3
ภาพประกอบ 1.5 หน้าสัมผัสของจุดต่อทางไฟฟ้าเสียหาย [2].....	4
ภาพประกอบ 2.1 ตัวอย่างเครื่องกดโดยใช้มือ [13].....	9
ภาพประกอบ 2.2 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้ลม [14].....	10
ภาพประกอบ 2.3 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้ทั้งลมและน้ำมัน [15].....	11
ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างเครื่องกดแบบไฮดรอลิก [16].....	12
ภาพประกอบ 2.5 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ [17].....	13
ภาพประกอบ 2.6 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดของกระบอกสูบทางเดียว [18].....	14
ภาพประกอบ 2.7 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดกระบอกสูบสองทาง [19].....	14
ภาพประกอบ 2.8 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดกระบอกสูบสองทางแบบมีก้านกระบอกสูบสองด้าน [20].....	15
ภาพประกอบ 2.9 การทำงานของกระบอกสูบลมทางเดียว [21].....	15
ภาพประกอบ 2.10 การทำงานของกระบอกสูบลมสองทาง [22].....	16
ภาพประกอบ 2.11 สัญลักษณ์และภาพตัดขวางของวาล์วแบบคอคอด [23].....	17
ภาพประกอบ 2.12 สัญลักษณ์และภาพตัดขวางของวาล์วแบบอริฟิซ [23].....	17
ภาพประกอบ 2.13 การทำงานของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน [24].....	18
ภาพประกอบ 2.14 การทำงานของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยกลไก [24].....	19

ภาพประกอบ 2.15 การทำงานของวาล์ววาล์วลดการไหล [25].....	19
ภาพประกอบ 2.16 เกจวัดความดันแบบบูร์ดอง [26].....	21
ภาพประกอบ 2. 17 เกจวัดความดันแบบเบลโลว์ [27].....	21
ภาพประกอบ 2.18 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้กระบอกสูบ [28]	22
ภาพประกอบ 2.19 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้แผ่นไดอะเฟรม [29].....	22
ภาพประกอบ 2.20 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบสเตรนเกจ [30].....	23
ภาพประกอบ 2. 21 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มบาง [31]	23
ภาพประกอบ 2.22 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มหนา [32].....	24
ภาพประกอบ 2.23 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ [33].....	25
ภาพประกอบ 2.24 โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก [34].....	25
ภาพประกอบ 2.25 โหลดเซลล์แบบนิวเมติกส์ [35].....	26
ภาพประกอบ 2.26 โหลดเซลล์แบบไพโซรีซิสทีฟ [36].....	27
ภาพประกอบ 2.27 โหลดเซลล์แบบแมกเนโตสเตริกทีฟ [37].....	27
ภาพประกอบ 2.28 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Counting Converter [38].....	28
ภาพประกอบ 2.29 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Successive Approximation [39]	29
ภาพประกอบ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Dual-Slope Converter [40].....	30
ภาพประกอบ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Flash Converter [41]	30
ภาพประกอบ 2.32 ซีพียูตระกูล Z-8 [42].....	31
ภาพประกอบ 2.33 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 [43].....	32
ภาพประกอบ 2.34 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC [44].....	32
ภาพประกอบ 2.35 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC [45].....	33
ภาพประกอบ 2.36 บอร์ด Arduino รุ่น UNO [46].....	34
ภาพประกอบ 2. 37 บอร์ด Raspberry Pi [47]	34

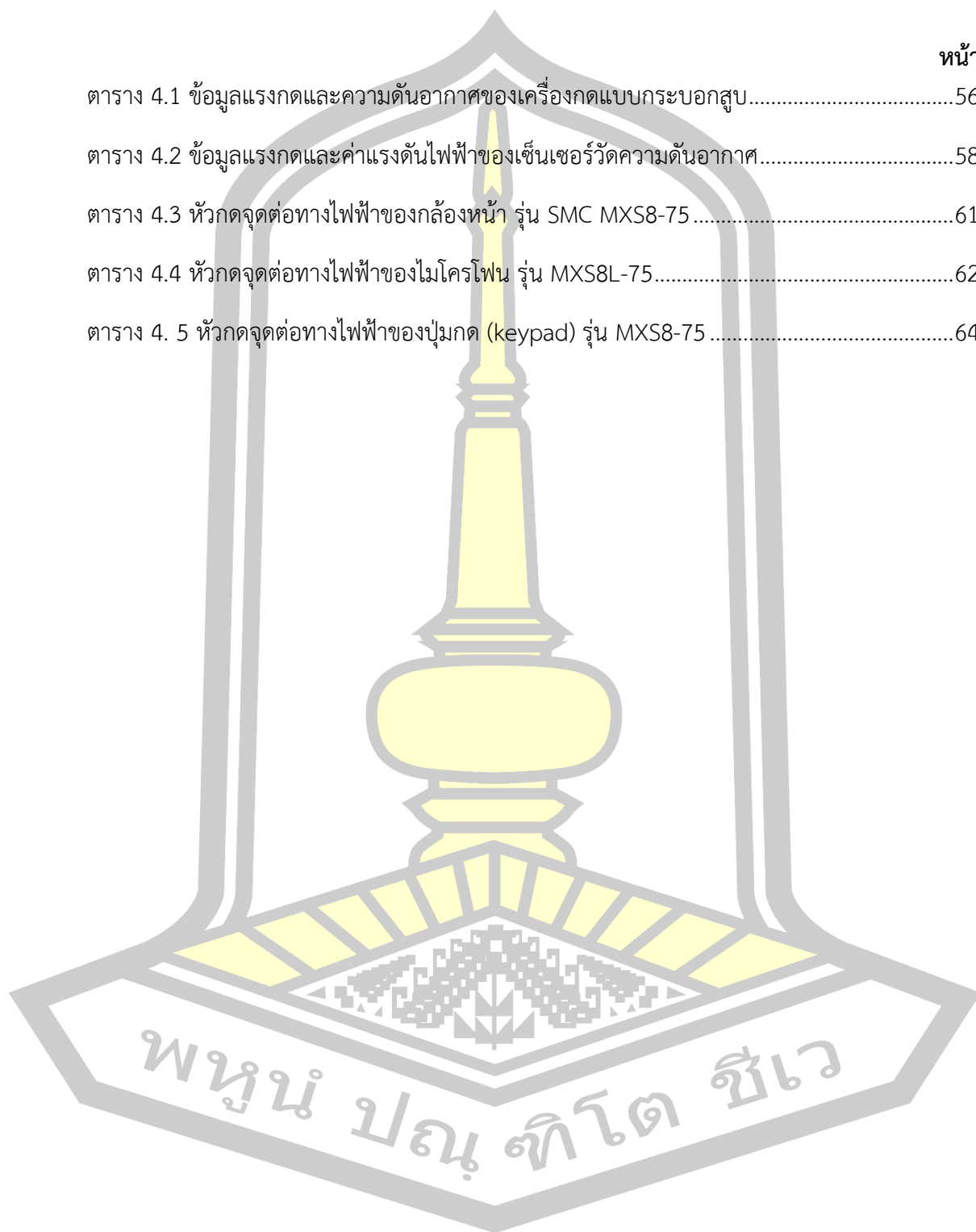
ภาพประกอบ 3.1 ภาพรวมการวัดแรงกดเครื่อง Forceman [1]	40
ภาพประกอบ 3.2 วงจรภายในของ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ AP-C33W [58]	41
ภาพประกอบ 3.3 การต่อสายเพื่อวัดสัญญาณแอนะล็อกของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ.....	41
ภาพประกอบ 3.4 เครื่องมือวัดแรงกดของ cylinder [1].....	42
ภาพประกอบ 3.5 การต่อเครื่องวัดกับเครื่อง Forceman	42
ภาพประกอบ 3.6 การต่อเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ กับบอร์ด Arduino UNO	43
ภาพประกอบ 3.7 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมของ Arduino	44
ภาพประกอบ 3.8 โปรแกรมใน Arduino.....	45
ภาพประกอบ 3.9 การนำค่าแรงกดที่ได้จาก Arduino มาเก็บในฐานข้อมูล	46
ภาพประกอบ 3.10 ตั้งชื่อ Server.....	46
ภาพประกอบ 3.11 ตั้งรหัสผ่านสำหรับเข้าฐานข้อมูล	47
ภาพประกอบ 3.12 การติดตั้งเสร็จสมบูรณ์	47
ภาพประกอบ 3.13 หน้าต่างของโปรแกรม AppServ	48
ภาพประกอบ 3.14 ลิงค์สำหรับเข้าฐานข้อมูล phpMyAdmin	48
ภาพประกอบ 3.15 การเข้าระบบฐานข้อมูล	49
ภาพประกอบ 3.16 การตั้งชื่อฐานข้อมูล	49
ภาพประกอบ 3.17 สร้างตารางของฐานข้อมูล	50
ภาพประกอบ 3.18 การตั้งชื่อคอลัมน์เพื่อเก็บข้อมูล.....	50
ภาพประกอบ 3.19 ตารางของฐานข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์	51
ภาพประกอบ 3.20 แผนภาพแสดงการนำข้อมูลจาก Arduino ไปยังฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม python	52
ภาพประกอบ 3.21 ส่วนของโปรแกรม python.....	53
ภาพประกอบ 3.22 รายละเอียดของอุปกรณ์และการต่อกับเครื่อง Forceman.....	54

ภาพประกอบ 3.23 การวัดค่าแรงกดด้วยโพลดเซลล์และโปรแกรม.....	56
ภาพประกอบ 3.24 การวัดสัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ.....	58
ภาพประกอบ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับความดันอากาศ.....	59
ภาพประกอบ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับแรงดันไฟฟ้า.....	60
ภาพประกอบ 3.27 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโพลดเซลล์ของกระบอกสูบกล้องหน้า.....	62
ภาพประกอบ 3.28 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโพลดเซลล์ของกระบอกสูบไมโครโฟน.....	63
ภาพประกอบ 3.29 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโพลดเซลล์ของกระบอกสูบปุ่มกด.....	65
ภาพประกอบ 3.30 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกดของโพลดเซลล์กับแรงกดจาก ไมโครโปรเซสเซอร์ของหัวกดแบบกระบอกสูบที่กวดจุดเชื่อมต่อส่วนต่างๆ.....	66



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 4.1 ข้อมูลแรงกดและความดันอากาศของเครื่องกดแบบกระบอกสูบ.....	56
ตาราง 4.2 ข้อมูลแรงกดและค่าแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ.....	58
ตาราง 4.3 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของกล่องหน้า รุ่น SMC MXS8-75.....	61
ตาราง 4.4 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของไมโครโฟน รุ่น MXS8L-75.....	62
ตาราง 4.5 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของปุ่มกด (keypad) รุ่น MXS8-75.....	64



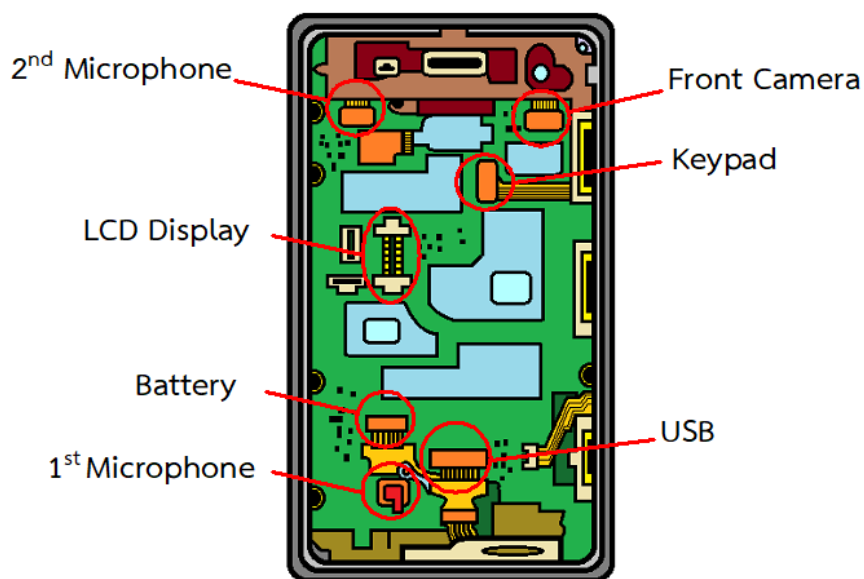
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผู้วิจัยได้รับทุนภายใต้โครงการโรงเรียนในโรงงาน หรือ WiL (Work integrated Learning) ซึ่งเป็นความร่วมมือด้านการเรียนการสอนและการวิจัย 3 ภาคส่วน ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์, สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ และ บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด หรือ Sony Technology (Thailand) Co., Ltd. ตั้งอยู่ 140 หมู่ 5 สวนอุตสาหกรรมบางกระดี ถนนติวานนท์ ตำบลบางกะดี อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ซึ่งผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าทำงานและดำเนินการวิจัยเพื่อปรับปรุงหรือพัฒนากระบวนการผลิตภายในบริษัทโดยใช้กระบวนการวิจัยและความรู้จากการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยมหาสารคามในการปรับปรุงหรือพัฒนากระบวนการดังกล่าว

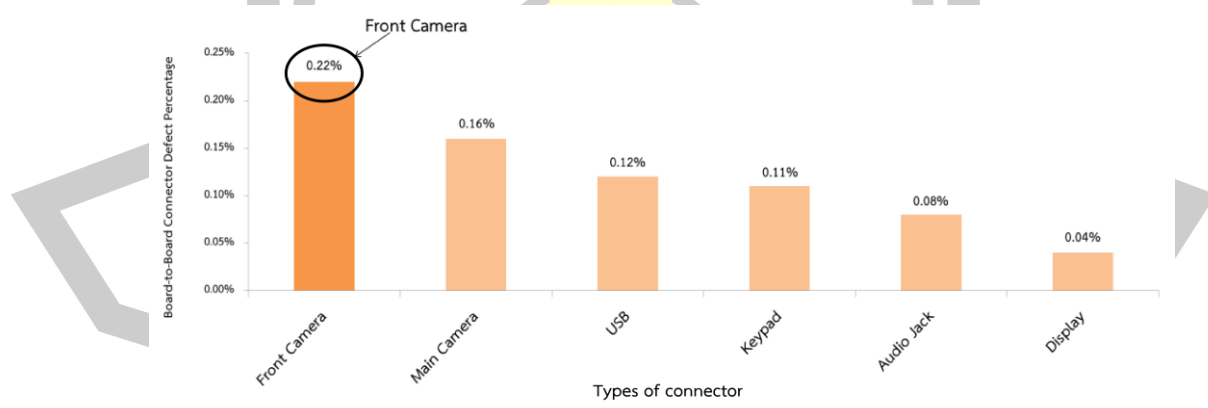
จากการเข้าทำงานและศึกษากระบวนการเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาดังกล่าว ได้รับทราบข้อมูลเบื้องต้นจากการสำรวจ คือ บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตและขายส่งเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทโทรศัพท์มือถือ ซึ่งในกระบวนการผลิต สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ ส่วนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์ (assembling part) เป็นส่วนที่นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโทรศัพท์มาประกอบเป็นตัวโทรศัพท์ และส่วนการบรรจุภัณฑ์โทรศัพท์ (packing part) เป็นส่วนที่นำตัวโทรศัพท์ที่ประกอบและตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้วมาบรรจุกล่องเพื่อส่งให้ลูกค้าต่อไป

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ส่วนที่มีผลต่อกระบวนการผลิตมากที่สุดคือ ส่วนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์ (assembling part) เนื่องจากส่วนนี้มีกระบวนการที่ซับซ้อนและมีขั้นตอนมากกว่าส่วนการบรรจุภัณฑ์โทรศัพท์ โดยกระบวนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์ดังกล่าว สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริม และส่วนการตรวจสอบ โดยส่วนประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริม ประกอบด้วยการประกอบชิ้นส่วนของลำโพง ปุ่มกด กล้อง อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ หน้าจอแสดงผล และ แบตเตอรี่ ลงบนแผงวงจรพิมพ์ (main Printed Circuit Board หรือ PCB) รวมถึงการประกอบเป็นตัวโทรศัพท์ ส่วนของการตรวจสอบ เป็นส่วนที่ตรวจสอบทั้งลักษณะในและภายนอกของตัวโทรศัพท์ ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์เสริม การตรวจสอบสีของตัวโทรศัพท์ การตรวจสอบรอยที่เกิดบนโทรศัพท์ เป็นต้น จากข้อมูลการสำรวจพบว่า ปัญหาที่ตรวจพบมากที่สุด จะเกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมลงบนแผงวงจรหลัก คือ การเกิดความเสียหายของจุดต่อทางไฟฟ้า (connectors) ในระหว่างการเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมกับแผงวงจรพิมพ์ โดยจุดต่อทางไฟฟ้าที่เสียหายบ่อย คือ จุดต่อทางไฟฟ้าสำหรับเชื่อมระหว่างบอร์ด (fine pitch board to board) ซึ่งชิ้นส่วนที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าชนิดนี้ ได้แก่ กล้องหน้า (front camera) กล้องหลัง (main camera) หน้าจอแสดงผล (display) พอร์ตยูเอสบี (USB) แบตเตอรี่ (battery) ปุ่มกด (keypad) และ ไมโครโฟน (microphone) ภาพประกอบ 1.1 แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้จุดต่อทางไฟฟ้าชนิดนี้เป็นส่วนประกอบ



ภาพประกอบ 1.1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าแบบfine pitch board to board จุดต่อทางไฟฟ้าของเป็นส่วนประกอบ [1]

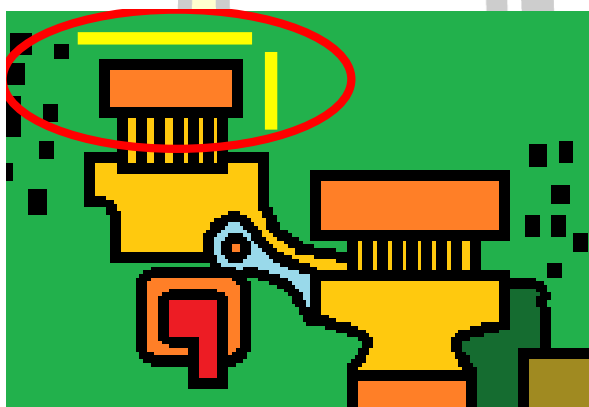
ภาพประกอบ 1.2 แสดงข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนเสริม 6 ชิ้นส่วนที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าแบบ fine pitch board to board เป็นส่วนประกอบที่เกิดความเสียหาย จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ชิ้นส่วนของกล้องหน้า (Front Camera) มีค่าร้อยละความเสียหายสูงกว่าชิ้นส่วนอื่น (ร้อยละ 0.22) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและลดความเสียหายในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของจุดต่อทางไฟฟ้า สำหรับการประกอบกล้องหน้า



ภาพประกอบ 1.2 แสดงร้อยละความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมที่ใช้จุดต่อทางไฟฟ้าแบบ fine pitch board to board connector [1]

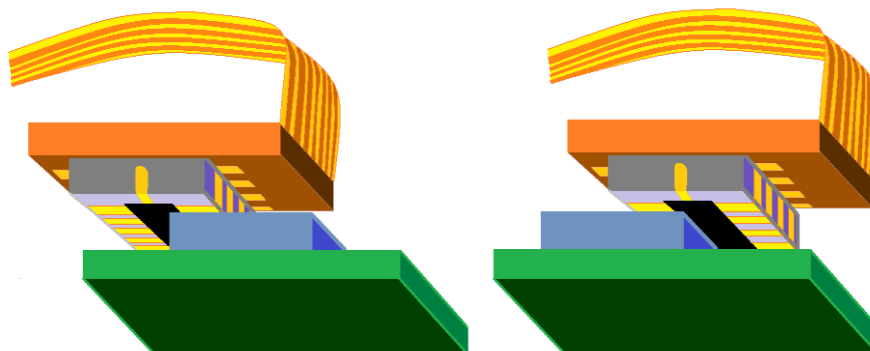
จากการศึกษากระบวนการประกอบขึ้นส่วนกลิ้งหน้าพบว่า มีกระบวนการประกอบ 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการกำหนดตำแหน่งของจุดต่อทางไฟฟ้าโดยคน และ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้เครื่องจักรในการกดย้ำตรงตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อจุดต่อทางไฟฟ้าอีกครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 จะใช้คนในการประกอบ โดยสังเกตที่ขีดสีทองเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่งของจุดต่อทางไฟฟ้า เมื่อตำแหน่งตรงแล้วจึงทำการใช้นิ้วหัวแม่มือกดด้วยแรงกดที่พอเหมาะ และเมื่อกดลงแล้วให้ใช้อุปกรณ์พิเศษกดย้ำเบาๆ เพื่อให้จุดต่อทางไฟฟ้าได้ระนาบ ดังแสดงในภาพประกอบ 1.3

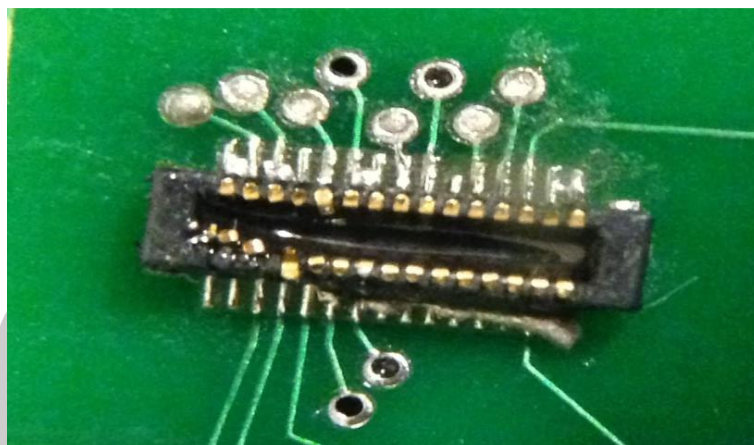


ภาพประกอบ 1.3 ขีดกำหนดตำแหน่งการวางจุดต่อทางไฟฟ้า [1]

ซึ่งปัญหาที่เกิดจากคน มีอยู่หลายประการได้แก่ การวางตำแหน่งจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ตรง การกดด้วยแรงกดที่สูงเกินไป การกดที่ไม่ได้ระนาบ เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้ตัวจุดต่อทางไฟฟ้าหรือหน้าสัมผัสเสียหายได้ ภาพประกอบ 1.4 แสดงตัวอย่างปัญหาการวางจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ตรงตำแหน่ง และภาพประกอบ 1.5 แสดงความเสียหายของหน้าสัมผัสที่เกิดจากการวางตำแหน่งจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ตรง



ภาพประกอบ 1.4 การวางตำแหน่งจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ตรงตำแหน่ง [1]



ภาพประกอบ 1.5 หน้าสัมผัสของจุดต่อทางไฟฟ้าเสียหาย [2]

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ใช้เครื่องจักรในการกดย้ำตรงตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อจุดต่อทางไฟฟ้าอีกครั้ง ด้วยแรงกดที่สม่ำเสมอ ($50 \pm 10\%$ N) ในเวลาที่เหมาะสม (3 ± 1 s) ทำให้จุดต่อทางไฟฟ้าประกบลงพอดี เนื่องจากเครื่องกดที่ใช้ในกระบวนการนี้เป็นแบบใช้ลมในการทำงาน หรือระบบนิวแมติก (pneumatic machine) ถ้าหากความดันลมไม่เพียงพอ จะส่งผลให้แรงกดของเครื่องกดไม่เพียงพอด้วยและส่งผลให้เครื่องกดจุดต่อทางไฟฟ้าไม่ลง หรือถ้าหากความดันลมสูงเกินไป จะส่งผลให้แรงกดของเครื่องกดสูงกว่าค่าที่กำหนด ก็จะทำให้แผงวงจรและตัวจุดต่อทางไฟฟ้าเสียหายได้

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างเครื่องมือที่สามารถปรับแรงกดของเครื่องกดได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพกว่าระบบเดิม

การศึกษาค้นคว้าเครื่องมือที่สามารถปรับแรงกด จากบทความวิจัยและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ พบว่า

ในบทความ [3] S.L.Xie, J.P. Mei, H.T. Liu และ Y. Wang ได้ใช้การควบคุมป้อนกลับฮิสเทอรีซิสแบบ modified Prandtl-Ishlinskii ในการควบคุมระยะชักของ pneumatic muscle actuator โดยใช้เซ็นเซอร์วัดระยะร่วมกับเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศและใช้บอร์ด NI PCI-6230 เพื่อรับค่าแอนะล็อกจากเซ็นเซอร์ โดยควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ พบว่า ค่าความผิดพลาดของระยะชักน้อยกว่าร้อยละ 2 เมื่อเทียบกับการควบคุมป้อนกลับแบบ classical Prandtl-Ishlinskii แต่มีข้อเสียด้านราคาของอุปกรณ์ที่มีราคาแพง อย่างเช่น DAQ card

ในบทความ [4] M. Sorli และ S. Pastorelli ได้จำลองการควบคุมแรงของปลายกระบอกลูกสูบเซอร์โว ด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณ

ในบทความ [5] A.Wache, H.Aschemann, R.Prabel, J.Kurth, B.J.Krause และ S.Zorn ได้จำลองการควบคุมกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์ในระบบ 3 แกน ของเครื่องสแกนเนื้ออกในปอด ด้วยการควบคุมป้อนกลับแบบ cascade

ในบทความ [6] P.Yi, R.B.Yuan, W.Long และ S.N.Ba ได้ใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการควบคุมแรงคืบของหุ่นยนต์นิวแมติกส์แบบ H-infinity ซึ่งสามารถจำกัดผลกระทบที่เกิดจาก

structure uncertainty และ unstructured-uncertainty ได้ แต่มีปัจจัยในการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก

ในบทความ [7] C.Ying, Z.J.fan, Y.C.jun และ N.Bin ได้เสนอวิธีการควบคุมป้องกันแรงของระบบนิวเมติกส์ในแขนหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วย กระจบอกลูกแบบ 2 แกน วาล์วเปิด-ปิด ความเร็วสูง DAQ card และตัวควบคุมแบบพีซี (ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega8 MCU) โดยมีเซ็นเซอร์วัดระยะทางและเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศเป็นตัวตรวจจับค่าปัจจัยขาเข้า

ในบทความ [8] T.Nakamura และ H.Shinohara ได้จำลองระบบควบคุมตำแหน่งและแรงของกล้ามเนื้อจำลองในระบบนิวเมติกส์ ซึ่งในระบบประกอบด้วย laser sensor เพื่อวัดระยะการยืดหดของกล้ามเนื้อจำลอง เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ เซ็นเซอร์วัดแรง แล้วนำค่าจากเซ็นเซอร์มาแปลงค่าจากแอนะล็อกเป็นค่าดิจิทัลและนำไปประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ และส่งสัญญาณควบคุมไปยังวาล์วแบบสัดส่วน (proportional valves) เพื่อปรับค่าความดันอากาศให้เหมาะสมกับแรงที่ทำการกระทำ

จากแหล่งข้อมูล [9]-[12] อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าแรงกตามทฤษฎีอยู่ประมาณ 4 ชนิดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่

1. เครื่องมือวัดแรงดึง (drawbar force gauge) เป็นเครื่องมือวัดแรงที่อุปกรณ์จำพวกเหล็กต่อพ่วง นิยมใช้ในงานกลึง งานไม้ งานตัดหิน และการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ โดยหลักการทำงานจะมีสเตรนเกจรับแรงและแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือใช้แท่งกดไฮดรอลิกต่อกับมาตรวัดความดันแล้วแสดงผลเป็นแรง แต่ข้อเสียของตัววัดแบบไฮดรอลิกคือมีความเที่ยงตรงน้อย เนื่องจากข้อจำกัดทางกายภาพของตัวแสดงผล

2. ไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังงาน แรงม้า แรงบิด ของเครื่องยนต์ นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์

3. โหลดเซลล์ (load cell) คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าแรง หรือน้ำหนักที่กระทำกับ โหลดเซลล์ โดยที่ โหลดเซลล์ จะเปลี่ยนแรงหรือน้ำหนักให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สามารถเอาไปประยุกต์ทำเครื่องชั่งตวงในอุตสาหกรรม ใช้ทดสอบวัสดุด้วยการวัดแรงดึง (tensile) ได้อีกด้วย การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงาน (press fit) เป็นต้น แต่ข้อเสียคือหากใส่ น้ำหนักเกินพิกัดอาจทำให้ โหลดเซลล์ เสียหายได้

4. เครื่องชั่งน้ำหนัก (weighing scale) คือ เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำหนักของวัตถุ โดยแบ่งตามโครงสร้างหลักการทำงานได้ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบกล และ ระบบไฟฟ้า เครื่องชั่งกลจะใช้คานถ่วงตุลน้ำหนัก กลไกใบมีด เพื่อทศ สปริง หรือใช้หลายระบบร่วมกันในเครื่องชั่งตัวเดียวเพื่อให้เกิดแรงกด หรือ แรงดึง แล้วเปลี่ยนเป็นน้ำหนักของวัตถุที่เราชั่งแสดงที่หน้าจอ เช่น เครื่องชั่งเข็ม เครื่องชั่งคานเลื่อน เครื่องชั่งสปริง เครื่องชั่งหน้าปัด เป็นต้น ส่วนเครื่องชั่งไฟฟ้าจะใช้ โหลดเซลล์เป็นตัวรับแรงและแสดงผลทางจอแอลซีดี นิยมใช้ในการชั่งน้ำหนักของสารเคมี และการทดลองทางวิทยาศาสตร์

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้สำรวจและค้นคว้าพบว่า วิธีการใช้โหลดเซลล์ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นวิธีการที่ผู้วิจัยให้ความสนใจ ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. การใช้เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศง่ายต่อการติดตั้ง และไม่ต้องทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเครื่อง โดยการต่อเซ็นเซอร์ทางด้านลมเข้าของชุดกดจุดต่อทางไฟฟ้า

2. การใช้โหลดเซลล์เพื่อวัดแรงกด จำเป็นที่จะต้องวางโหลดเซลล์ให้ตรงกับชุดกดจุดต่อทางไฟฟ้าหรือเพิ่มส่วนแขนกดเพื่อแยกส่วนที่กดจุดต่อทางไฟฟ้ากับส่วนที่กดโหลดเซลล์ออกจากกัน ซึ่งจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชุดกดด้วย

3. การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ สามารถติดตั้งแยกออกจากตัวกดได้ และนิยมใช้ในการรับค่าปัจจัยมาพิจารณาในระบบควบคุมของระบบนิวเมติกส์

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ควบคุมหรือรับค่าแอนะล็อกแบบอื่น เช่น พีแอลซี หรือ บอร์ด DAQ card

ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า การใช้โหลดเซลล์และเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสามารถช่วยลดความเสียหายของตัวจุดต่อทางไฟฟ้าและแผงวงจรของโทรศัพท์ที่เกิดจากแรงกดของเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการช่วยลดจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่เสียหายและลดระยะเวลาเครื่องหยุดทำงาน (down time) ในกระบวนการผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการวิจัยซึ่งเป็นการลดความเสียหายของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากความไม่แม่นยำของแรงกดชิ้นงานในกระบวนการประกอบจุดต่อทางไฟฟ้าดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังนี้

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดจุดต่อทางไฟฟ้ากับความดันอากาศของเครื่องกดแบบใช้ความดันอากาศ

2. พัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมแรงกดด้วยเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศเพื่อให้เก็บค่าแรงกดได้อย่างอัตโนมัติ

1.3 สมมุติฐานการศึกษา

หากแรงกดสำหรับกระบวนการประกอบจุดต่อทางไฟฟ้าได้รับการควบคุมแบบอัตโนมัติ จะทำให้ความเสียหายกับชิ้นงานและระยะเวลาเครื่องหยุดการทำงาน (down time) เกิดขึ้นน้อยลงแล้วระบบการควบคุมแรงกดอัตโนมัติโดยใช้โหลดเซลล์จะสามารถลดความเสียหายกับชิ้นงานและระยะเวลาเครื่องหยุดการทำงาน (down time) ให้น้อยลงได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้กรณีศึกษากระบวนการประกอบชิ้นส่วนกล่องหน้าของบริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
2. เลือกปรับปรุงกระบวนการประกอบจุดต่อทางไฟฟ้าของชิ้นส่วนกล่องหน้า (front camera) เนื่องจากเกิดความเสียหายสูงสุด
3. ใช้โพลิตเซลล์แบบสเตรนเกจเนื่องจากมีลักษณะเหมาะสมในการติดตั้งในระบบการผลิต
4. ใช้เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศแบบวัดความดันอากาศที่เป็นค่าบวกและสามารถส่งค่าที่เป็นแอนะล็อกได้
5. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถประมวลผลแบบแอนะล็อกได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้
2. ช่วยลด down time ในกระบวนการผลิตได้
3. ช่วยลดเวลาการตรวจสอบค่าแรงกดในการ start-up check
4. ช่วยให้เครื่องกดสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ

1.6 แผนการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษาและสืบค้นข้อมูลจาก บทความวิจัยและแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบเครื่องมือวัดความดันและแรงกด
3. เก็บข้อมูลแอนะล็อกจากเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ
4. จัดทำเครื่องปรับแรงกดอัตโนมัติ
5. ทำการทดสอบเครื่องและเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์และสรุปผล

1.7 สถานที่ดำเนินการศึกษา

บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งอยู่ 140 หมู่ 5 สวนอุตสาหกรรมบางกระดี ถนนติวานนท์ ตำบลบางกะดี อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับ ประเภทของเครื่องกด ประเภทของกระบอกสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหล ความดันของของไหล ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดัน โหลดเซลล์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ระบบควบคุมพีไอดี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของเครื่องกด

ประเภทของเครื่องกดในอุตสาหกรรมการประกอบโดยทั่วไปมี 5 ประเภท ได้แก่

1. เครื่องกดโดยใช้มือ (manual pressing machine)
2. เครื่องกดแบบใช้ลม (pneumatic pressing machine)
3. เครื่องกดแบบใช้ทั้งลมและน้ำมัน (pneumatic intensified pressing machine)
4. เครื่องกดแบบไฮดรอลิก (hydraulic pressing machine)
5. เครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ (servo electric pressing machine)

2.1.1 เครื่องกดโดยใช้มือ (manual pressing machine) เครื่องกดประเภทนี้จะใช้คนในการทำงาน เนื่องจากไม่มีกลไกซับซ้อนและมีวิธีการใช้ที่ง่ายจึงทำให้มีราคาถูก นิยมใช้ในการประกอบชิ้นส่วนที่ต้องการปริมาณน้อย ตัวเครื่องประกอบด้วยกระบอกสูบไฮดรอลิกและใช้คันโยกเป็นตัวดันให้กระบอกสูบเคลื่อนที่อย่างช้าๆด้วยแรงกดที่สูง ตัวอย่าง เครื่องกดชนิดนี้ดังภาพประกอบ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่ามียกในการกดชิ้นงาน

พหุ ประถมศึกษา



ภาพประกอบ 2.1 ตัวอย่างเครื่องกดโดยใช้มือ [13]

2.1.2 เครื่องกดแบบใช้ลม (pneumatic pressing machine) เครื่องกดประเภทนี้จะใช้แหล่งจ่ายลมเป็นตัวขับเคลื่อนตัวเครื่อง ประกอบด้วยกระบอกสูบและวาล์วแบบ two hand anti tie down ถูกใช้เพื่อเริ่มต้นรอบการกดและทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่อย่างปลอดภัย รวมทั้งแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนกระบอกสูบมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อพิจารณาที่ขนาดของกระบอกสูบและความดันอากาศจากแหล่งจ่าย ทำให้แรงกดมีความสม่ำเสมอตลอดแนวเคลื่อนที่ของก้านสูบ ซึ่งข้อดีของเครื่องกดแบบใช้ลมคือ มีความเร็วในการทำงานสูง มีราคาถูก และลดกำลังคนได้ ตัวอย่าง เครื่องกดชนิดนี้ดังภาพประกอบ 2.2 ซึ่งจะเห็นว่าตัวเครื่องจะมีท่อสำหรับต่อกับแหล่งจ่ายลม เพื่อดันกระบอกสูบไปกดชิ้นงาน

พูนุ ปณุ ทิโต ชีเว



ภาพประกอบ 2.2 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้ลม [14]

2.1.3 เครื่องกดแบบใช้ทั้งลมและน้ำมัน (pneumatic intensified pressing machine) เครื่องกดประเภทนี้มีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องกดแบบใช้ลมหลายประการ ซึ่งใช้ลมเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกดให้ทำงาน อย่างไรก็ตาม ได้มีการเพิ่มน้ำมันไฮดรอลิกในวงจรควบคุมเพื่อเพิ่มขีดจำกัดของการกดแบบใช้ลม เนื่องจากน้ำมันไม่สามารถบีบอัดได้ ซึ่งทำให้การกดที่แรงดันสูงมีความปลอดภัยขึ้น ตัวอย่าง เครื่องกดชนิดนี้ดังภาพประกอบ 2.3 ซึ่งจะเห็นว่า ตัวเครื่องประกอบด้วยท่อลมและท่อน้ำมัน โดยมีปั๊มกดสำหรับควบคุมการไหลของลม

พูน ปรณ ทัต ชีเว



ภาพประกอบ 2.3 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้ทั้งลมและน้ำมัน [15]

2.1.4 เครื่องกดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Pressing Machine) เครื่องกดประเภทนี้ประกอบด้วยชุดต้นกำลังไฮดรอลิกและกระบอกสูบไฮดรอลิกเพื่อเคลื่อนแกนกด โดยเครื่องกดแบบไฮดรอลิกมีคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องกดแบบใช้ลม ซึ่งแรงกดสูงสุดจะพิจารณาจากขนาดของกระบอกสูบของตัวเครื่องและแหล่งจ่ายลม แต่มีคุณสมบัติต่างจากเครื่องกดแบบใช้ทั้งลมและน้ำมัน โดยแรงกดจะมีค่าสม่ำเสมอตลอดจังหวะกดและความเร็วของแกนกดจะถูกจำกัดโดยปริมาณของน้ำมัน ตัวอย่าง เครื่องกดชนิดนี้ดังภาพประกอบ 2.4 ซึ่งจะเห็นว่า ตัวเครื่องมีค้ำโยกสำหรับกด เพื่อดันกระบอกสูบไปกดชิ้นงาน



ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างเครื่องกดแบบไฮดรอลิก [16]

2.1.5 เครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Electric Pressing Machine) เครื่องกดประเภทนี้ใช้เซอร์โวมอเตอร์และแอกชูเอเตอร์แบบสกรูกลม (ball screw actuator) เพื่อเคลื่อนตัวแกนกด โดยควบคุมผ่านวงจรไฟฟ้า ทำให้เครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์มีราคาถูกลงและบำรุงรักษาง่าย ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์มากกว่าเครื่องกดแบบอื่น ตัวอย่าง เครื่องกดชนิดนี้ดังภาพประกอบ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่า หัวกดต่อกับกล่องควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ และใช้การหมุนของเกลิยวเพื่อดับหัวกดขึ้นงาน

พหุ ประ โท ชี เว



ภาพประกอบ 2. 5 ตัวอย่างเครื่องกดแบบใช้เซอร์โวมอเตอร์ [17]

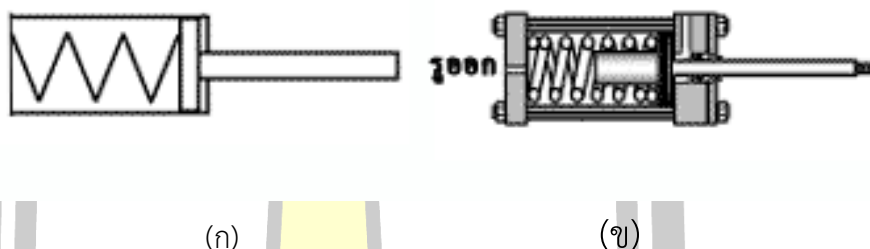
ซึ่งในปัจจุบัน บริษัทใช้เครื่องกดแบบใช้ลม จากที่ศึกษาพบเครื่องกดที่ใช้ในบริษัทมี 2 แบบ คือ เครื่องกดแบบใช้ลมดันและเครื่องกดแบบใช้ลมดูด โดยส่วนมากเครื่องกดแบบใช้ลมดันจะใช้ในการกดชิ้นส่วนโทรศัพท์และจุดต่อทางไฟฟ้า เช่น เครื่อง forceman ใช้กดจุดต่อทางไฟฟ้า ส่วนเครื่องกดแบบใช้ลมจะใช้ในการทดสอบสถานะสุญญากาศของโทรศัพท์และแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์ออกจากกัน เช่น เครื่อง detaching ใช้แยกหน้าจ้อแอลซีดีออกจากตัวเครื่องของโทรศัพท์

2.2 ประเภทของกระบอกสูบ

กระบอกสูบเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องกดที่ใช้ในงานกระบวนการกดชิ้นงานของบริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อให้เข้าใจหลักการและลักษณะเฉพาะของกระบอกสูบ หัวข้อนี้จึงนำเสนอประเภทของกระบอกสูบที่ใช้ในเครื่องกดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ กระบอกสูบไฮดรอลิก (hydraulic cylinder) และกระบอกสูบนิวเมติกส์ (pneumatic cylinder) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (hydraulic cylinder) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนกำลังงานความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกเป็นกำลังงานกลในแนวเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ในการดัน ยก ดึง หรือขับเคลื่อนชิ้นงาน กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

2.2.1.1 กระบอกลูกสูบทางเดียว (single acting cylinder) กระบอกลูกสูบทางเดียวทำงานโดยการรับน้ำมันจากกระบอกลูกสูบทางด้านหัวเพียงทางเดียว เพื่อผลักดันให้ลูกสูบและก้านสูบเคลื่อนที่ไปดันชิ้นงาน โดยจะใช้แรงดันจากสปริงเป็นตัวผลักดันให้ลูกสูบค่อยๆเคลื่อนที่กลับอย่างช้า



ภาพประกอบ 2.6 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดของกระบอกลูกสูบทางเดียว [18]

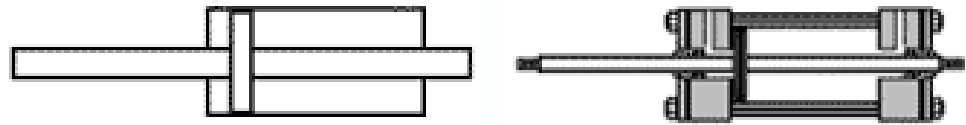
2.2.1.2 กระบอกลูกสูบสองทาง (double acting cylinder) กระบอกลูกสูบสองทางทำงานโดยรับน้ำมันจากกระบอกลูกสูบได้ทั้งด้านหัวและด้านก้านสูบ โดยจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ลักษณะ คือ ลูกสูบเคลื่อนที่ออกเพื่อผลักดันชิ้นงาน และลูกสูบเคลื่อนที่เข้าเพื่อดึงชิ้นงานกลับเข้ามา



ภาพประกอบ 2.7 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดกระบอกลูกสูบสองทาง [19]

2.2.1.3 กระบอกลูกสูบสองทางแบบมีก้านสูบสองด้าน (double rod cylinder)

กระบอกลูกสูบสองทางแบบมีก้านสูบสองด้าน ทำงานโดยรับน้ำมันจากกระบอกลูกสูบได้ทั้งสองด้าน เพื่อใช้ในการผลักและดึงชิ้นงาน



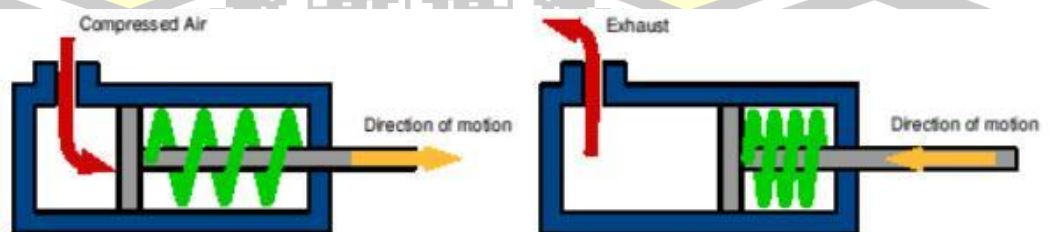
(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 2.8 สัญลักษณ์และลักษณะภาพตัดกระบอกลูกสูบสองทางแบบมีก้านกระบอกลูกสูบสองด้าน [20]

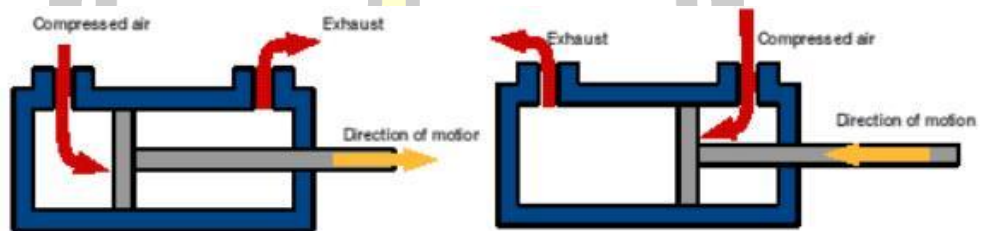
2.2.2 กระบอกลูกสูบนิวเมติกส์ (pneumatic cylinder) จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล ในลักษณะเคลื่อนที่แบบเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ในการดัน ยก ดึง หรือขับเคลื่อนชิ้นงาน กระบอกลูกสูบนิวเมติกส์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.2.2.1 กระบอกลูกสูบทางเดียว (single acting cylinder) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกลูกสูบในกลางและมีก้านสูบที่เคลื่อนที่ไปตามแกนกลาง ที่ปลายก้านสูบมีซีลกันลมรั่วและมีสปริงอยู่ระหว่างก้านสูบกับกระบอกลูกสูบ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบมีค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของกระบอกลูกสูบ การสั่งงานให้ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เพียงทิศทางเดียว ด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกลูกสูบในทิศทางด้านกับแรงกระทำของสปริง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่และเมื่อหยุดจ่ายลมอัดให้กระบอกลูกสูบ ก้านสูบจะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งปกติด้วยแรงกระทำจากสปริง



ภาพประกอบ 2.9 การทำงานของกระบอกลูกสูบลมทางเดียว [21]

2.2.2 กระบอกลูกสูบสองทาง (Double acting cylinder) กระบอกลูกสูบชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานและรูปลักษณะภายนอกเช่นเดียวกับกระบอกลูกสูบทางเดียว แตกต่างเฉพาะภายในและสามารถสั่งงานได้ทั้งสองทิศทาง ด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกลูกสูบที่หัวหรือท้ายกระบอกลูกสูบจะทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้าหรือออก เมื่อจ่ายลมอัดเข้าที่ท้ายกระบอกลูกสูบจะทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกและเกิดการระบายลมที่ค้างในกระบอกลูกสูบออกทางด้านหัวกระบอกลูกสูบ เมื่อไม่มีลมอัดจ่ายให้กระบอกลูกสูบ ก้านสูบจะหยุดค้างอยู่ ณ ตำแหน่งสุดท้ายที่เคลื่อนที่และสามารถใช้มือดึงก้านสูบให้เคลื่อนที่ไปมาได้ อย่างอิสระ



ภาพประกอบ 2.10 การทำงานของกระบอกลูกสูบสองทาง [22]

เครื่องที่ศึกษาในบริษัทประกอบจากกระบอกลูกสูบนิวเมติกส์แบบสองทาง ซึ่งมีช่องลม 2 ด้าน คือ ด้านที่ติดกับหัวกระบอกลูกสูบและด้านที่ติดกับปลายกระบอกลูกสูบ ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกัน คือ ให้ลมเข้าและออก สถานะการทำงานของกระบอกลูกสูบนิวเมติกส์แบบสองทางจะมี 2 สถานะ คือ กระบอกลูกสูบเคลื่อนออกและกระบอกลูกสูบเคลื่อนเข้า โดยกระบอกลูกสูบจะเคลื่อนออกก็ต่อเมื่อมีลมเข้าทางช่องลมด้านปลายของกระบอกลูกสูบ มีลมออกทางช่องลมด้านหัวของกระบอกลูกสูบ และกระบอกลูกสูบจะเคลื่อนเข้าก็ต่อเมื่อมีลมเข้าทางช่องลมด้านหัวของกระบอกลูกสูบ มีลมออกทางช่องลมด้านปลายของกระบอกลูกสูบ ซึ่งกระบอกลูกสูบที่ใช้ในการวิจัยคือ กระบอกลูกสูบรุ่น SMC MXS8-75

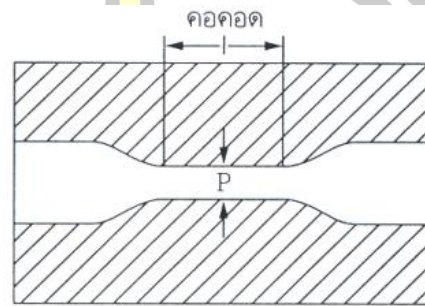
2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

วาล์วควบคุมอัตราการไหล (flow control valve) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่สำคัญที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องกลคือ วาล์วที่ควบคุมปริมาณลมให้น้อยลง สามารถควบคุมได้ทั้ง 2 ทาง ซึ่งวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบ่งตามโครงสร้างและลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิด คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลไม่ได้และวาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลได้

2.3.1 วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลไม่ได้

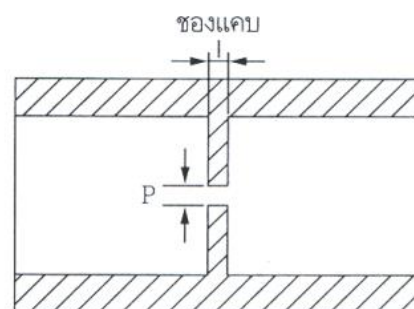
วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลไม่ได้สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่

2.3.1.1 วาล์วแบบแคบคอคอด (throttle or restrictor valve) ความยาวของช่องแคบยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลมเข้า นิยมใช้ในอุปกรณ์ฉีดพ่นเชื้อเพลิง เช่น อุปกรณ์ส่งจ่ายน้ำมัน จะทำหน้าที่ผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้ากับลมอัดของอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยหลักการทำงานคือ เมื่อลมอัดไหลผ่านคอคอด ลมอัดจะมีความเร็วสูงแต่ความดันบริเวณคอคอดจะต่ำ ดังนั้น น้ำมันจะถูกดูดขึ้นไปผสมกับลมอัดที่บริเวณคอคอดซึ่งมีความเร็วลมสูง ซึ่งจะช่วยให้ น้ำมันกลายเป็นฝอยละเอียด



ภาพประกอบ 2.11 สัญลักษณ์และภาพตัดขวางของวาล์วแบบคอคอด [23]

2.3.1.2 วาล์วแบบออริฟิซหรือไดอะแฟรม (orifice plate or diaphragm valve) ความยาวของช่องแคบสั้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อลมเข้า นิยมใช้กับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของไหล โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของของไหลเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางที่มีการลดพื้นที่หน้าตัดหรือช่องการไหล จะทำให้เกิดความดันสูญเสียเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วของการไหล

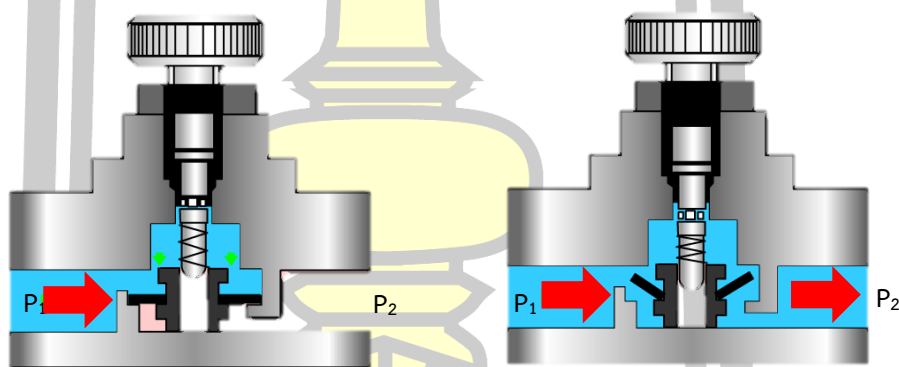


ภาพประกอบ 2.12 สัญลักษณ์และภาพตัดขวางของวาล์วแบบออริฟิซ [23]

2.3.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลได้

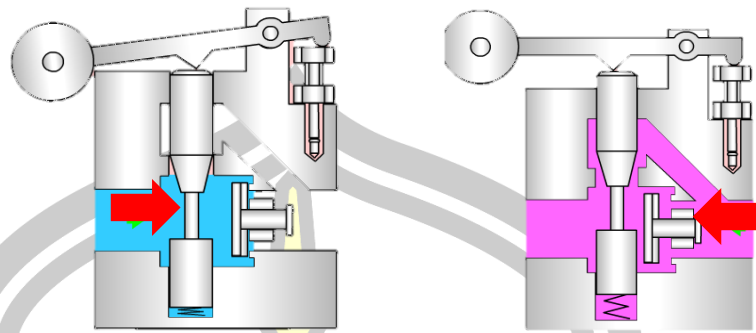
วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลได้เป็นวาล์วแบบคอคอด ซึ่งสามารถควบคุมให้ลมผ่านออกมาน้อยโดยใช้สกรูปรับด้วยมือหรือใช้กลไกลูกกลิ้งกด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออกมากดลูกกลิ้ง ลมก็ถูกควบคุมชั่วขณะ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับ วาล์วจะเลื่อนกลับด้วยสปริง วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลได้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยกลไก และ วาล์วลดการไหล

2.3.2.1 วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน ประกอบด้วยวาล์วลดการไหลและวาล์วกันกลับต่อขนานกัน ลมอัดจึงสามารถไหลอย่างอิสระได้ทางหนึ่งและโดยบังคับการไหลอีทางหนึ่ง ดังภาพประกอบ 2.13 การทำงานของวาล์ว ถ้าลมเข้ามาจากรูลม 1 จะผ่านวาล์วกันกลับไปได้ ต้องผ่านทางวาล์วปรับปริมาณลม จึงจะออกไปทางรู 2 ได้ ปริมาณลมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะการปรับวาล์ว แต่ถ้าลมผ่านเข้าทางรู 2 จะผ่านวาล์วกันกลับออกไปได้ โดยไม่ต้องผ่านทางวาล์วปรับปริมาณลม วาล์วชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการปรับความเร็วของกระบอกสูบลม



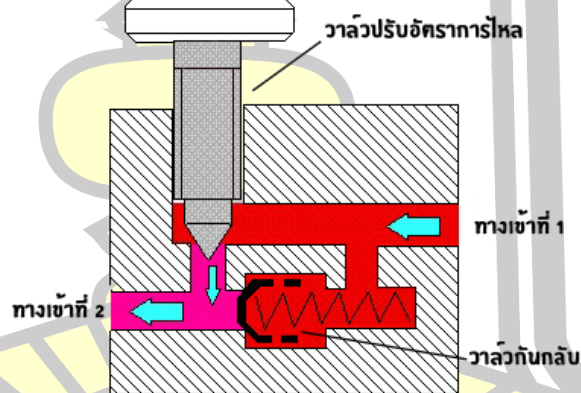
ภาพประกอบ 2.13 การทำงานของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน [24]

2.3.2.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยกลไก วาล์วชนิดนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการให้ความเร็วของลูกสูบในระหว่างช่วงชัก ให้ลดความแตกต่างกันโดยใช้ก้านสูบไปกดกลไกบังคับปริมาณลมในระหว่างช่วงชักได้ โดยปริมาณลมไหลผ่านวาล์วได้มากขึ้นเพียงใดขึ้นอยู่กับสกรูที่บังคับกลไก มีลักษณะการทำงานดังแสดงในภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 การทำงานของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยกลไก [24]

2.3.2.3 วาล์วลดการไหล เป็นวาล์วที่ใช้หลักการผสมระหว่างวาล์วปรับอัตราไหลและวาล์วกันกลับ จัดเป็นวาล์วชนิดลมไหลทางเดียวจะควบคุมอัตราการไหลของลมเพียงทิศทางเดียว ส่วนทิศทางตรงข้ามลมจะไหลผ่านได้อิสระโดยผ่านวาล์วกันกลับ ประโยชน์ของวาล์วชนิดนี้คือ ใช้ควบคุมความเร็วของลูกสูบ โดยการติดตั้งโดยตรงที่ท่อทางลมเข้าและออกของลูกสูบ มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพประกอบ 2.15



ภาพประกอบ 2.15 การทำงานของวาล์ววาล์วลดการไหล [25]

จากการศึกษาพบว่า บริษัทโซนี่ใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับการไหลได้โดยใช้มือหมุน เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วในการกดชิ้นส่วนโทรศัพท์และปิดทางเดินของลมเมื่อต้องการเคลื่อนย้ายหรือซ่อมบำรุงเครื่องกด ซึ่งวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ในงานวิจัย คือวาล์วควบคุมอัตราการไหลรุ่น SMC AW-A air regulator

2.4 ความดันของของไหล

เพื่อให้เข้าใจการควบคุมความดันของลมจึงมีความจำเป็นต้องเข้าใจความหมายของความดันของของไหล โดยมีคำนิยามดังนี้

ความดันของของไหล คือ อัตราส่วนของแรงที่กระทำต่อวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ที่สัมผัสกับของไหล ดังสมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ความดัน มีหน่วยเป็น N/m^2 หรือปาสคัล (Pa)

F คือ แรงที่ของไหลกระทำในแนวตั้งฉากต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ราบของวัตถุที่มีแรงมากระทำ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

หลักการนี้เป็นที่มาของเซ็นเซอร์วัดความดันใช้ในการวัดความดันอากาศของกระบอกสูบของเครื่องกดจุดต่อไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 2.5

2.5 ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดัน

ประเภทของเซ็นเซอร์วัดแรงดันที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถจำแนกตามรูปแบบการใช้งานได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. เกจวัดความดัน (pressure gauge)
2. สวิตช์ควบคุมความดัน (pressure switch)
3. อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน (pressure transmitter)

2.5.1 เกจวัดความดัน (pressure gauge) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดความดันได้ทั้งความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ และสุญญากาศ โดยจะแสดงผลเป็นแบบแอนะล็อกหรือแบบเข็ม ข้อดีคือ มีราคาถูก ติดตั้งง่าย แต่ข้อเสียคือ อ่านค่าได้อย่างเดียว ไม่ละเอียด และไม่สามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้ เกจวัดความดันจะอาศัยหลักการยืดตัวและโค้งตัวของวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่น ทำงานโดยอาศัยการแปลงความดันที่อุปกรณ์ได้รับให้อยู่ในรูปการเคลื่อนที่ ประเภทของเกจวัดความดัน มีดังนี้

2.5.1.1 เกจวัดความดันแบบบูร์ตอง (bourdon gauge) โดยเกจวัดความดันแบบบูร์ตองจะมีลักษณะเป็นขดทองแดงกลวง มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีซึ่งเมื่อมีความดันเข้าไปภายในท่อ ขดบูร์ตองจะพยายามยืดตัวออกเป็นวงกลม จึงทำให้ดัดงอที่ต่อกับเข็มชี้หมุนเลื่อนขึ้นแสดงความดันที่เกิดขึ้น มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 2.16



ภาพประกอบ 2.16 เกจวัดความดันแบบบูร์ตอง [26]

2.5.1.2 เกจวัดความดันแบบเบลโลว์ (bellow pressure gauge) โครงสร้างของเบลโลว์มีลักษณะคล้ายลูกฟูก ภายในกลวงสามารถยืดหยุ่นตัวได้ ปลายด้านหนึ่งปิดยึดติดกับเข็มชี้วัดระยะ ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดเพื่อเป็นช่องทางเข้าของความดันที่ต้องการวัด ภายในเบลโลว์อาจติดตั้งสปริงหรือตัวหยุดการเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการรับค่าความดันเกินพิกัด เมื่อเบลโลว์ได้รับความดันจากภายนอกทำให้ความดันภายในสูงขึ้น ส่งผลให้เบลโลว์เกิดการยืดตัวออกในทิศทางเดียวกับทิศทางของความดันที่เข้าไปในเบลโลว์



ภาพประกอบ 2. 17 เกจวัดความดันแบบเบลโลว์ [27]

2.5.2 สวิตช์ควบคุมความดัน (pressure switch) นิยมใช้ในการตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าเมื่อความดันถึงจุดที่เรากำหนดไว้ สวิตช์ควบคุมความดันสามารถใช้งานควบคุมแรงดันทั่วไป เช่น การตัดต่อการทำงานของปั้มน้ำ สวิตช์ควบคุมความดันใช้ระบบกลไกในการทำงาน โดยไม่ต้องอาศัยแรงดันไฟเลี้ยง สวิตช์ควบคุมความดันสามารถแบ่งตามหลักการทำงานออกได้ 2 แบบ ดังนี้

2.5.2.1 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้กระบอกสูบ (piston pressure switch) ทำงานโดยใช้กระบอกสูบขนาดเล็กด้านในซึ่งอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับกลไกสวิตช์สามารถปรับตั้งสปริงเลือกช่วงในการทำงานได้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันสูงๆ เช่น วัดแรงดันของระบบไฮดรอลิกในระบบเครื่องกดโลหะ เป็นต้น



ภาพประกอบ 2.18 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้กระบอกสูบ [28]

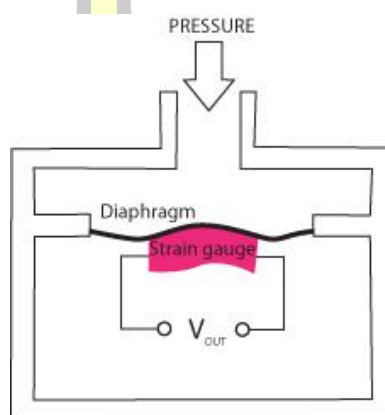
2.5.2.2 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้แผ่นไดอะเฟรม (diaphragm pressure switch) ส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นยางไดอะเฟรมทำจากวัสดุ Nitrile butadiene rubber (NBR) เมื่อมีแรงดันมากจะทำกับแผ่นไดอะเฟรมซึ่งอีกด้านจะต่อกับกลไกสวิตช์จะทำงานในแรงดันที่เราตั้งไว้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันไม่สูงมาก เช่น แรงดันของลมในระบบนิวเมติก



ภาพประกอบ 2.19 สวิตช์ควบคุมความดันแบบใช้แผ่นไดอะเฟรม [29]

2.5.3 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน (pressure transmitter) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐาน เช่น สัญญาณแอนะล็อก 4-20 mA, 0-10 VDC เพื่อนำไปควบคุมกระบวนการทำงานต่างๆ ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ตรวจวัดความดันสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้ดังนี้

2.5.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบสเตรนเกจ (strain gauge pressure transmitter) ทำงานโดยอาศัยการยึดหดตัวของสเตรนเกจ ที่ยึดติดอยู่กับแผ่นไดอะเฟรมและต่อวงจรไปยังวงจรวีทสโตนบริดจ์ (wheatstone bridge) เพื่อแปลงความดันไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า



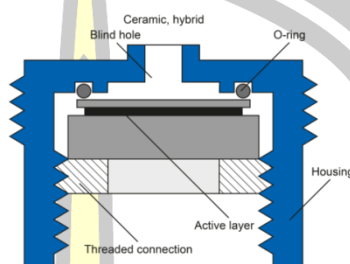
ภาพประกอบ 2.20 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบสเตรนเกจ [30]

2.5.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มบาง (thin film pressure transmitter) เป็นเซ็นเซอร์ลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ ที่จะรับแรงกดแล้วแสดงค่าแรงดันออกมา นิยมใช้กับงานที่มีแรงดันต่ำ



ภาพประกอบ 2. 21 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มบาง [31]

2.5.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มหนา (thick film pressure transmitter) เป็นเซ็นเซอร์ลักษณะแผ่นฟิล์มหนา ทำมาจากเซรามิก เหมาะกับงานที่แรงดันสูง มีความแข็งแรงมากกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มบาง นิยมใช้ในงานไฮดรอลิก



ภาพประกอบ 2.22 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบฟิล์มหนา [32]

2.6 โหลดเซลล์ (load cell)

โหลดเซลล์ เป็นระบบเซ็นเซอร์ที่แปลงค่าน้ำหนักทางกลของสิ่งของให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยสเตรนเกจ (strain gauge) เป็นส่วนตัวจับ ซึ่งจะคอยเปลี่ยนค่าความเครียดทางกลอันเนื่องมาจากน้ำหนักของวัตถุ เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้า เมื่อนำค่าความต้านทานที่ได้จากสเตรนเกจ มาต่อเข้ากับวงจร deflection bridge ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง ก็จะสามารถหาค่าเอาต์พุตของน้ำหนักวัตถุที่เป็นเปลี่ยนแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าได้ โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกดของชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงาน (press fit) ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุ โลหะ ทดสอบโลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรมโยธา ทดสอบคอนกรีต ทดสอบไม้ เป็นต้น และสามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.6.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (strain gauge load cell) หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากกระทำ จะเกิดที่สเตรนเกจความเครียด (strain) และจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากกระทำ ปกติแล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว (วงจร wheatstone bridge) ในการวัดโดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น mV/V



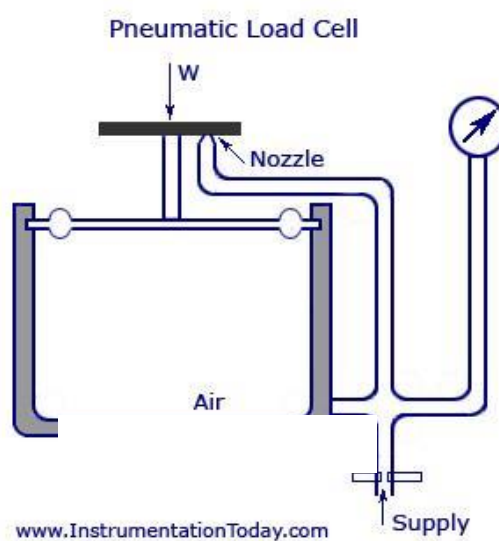
ภาพประกอบ 2.23 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ [33]

2.6.2 โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก (hydraulic load cell) ลักษณะของการทำงานก็คืออุปกรณ์จะวัดน้ำหนักจากการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวภายในระบบเมื่อมีแรงกระทำที่แท่นรับน้ำหนักในโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิกที่มีแผ่นไดอะเฟรม โดยแรงจะถูกส่งผ่านลูกสูบเป็นผลให้ของเหลวภายในช่องแผ่นไดอะเฟรมถูกกดอัด ซึ่งการวัดแรงที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากความดันของเหลวความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับแรงดันของของเหลวนี้มีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นและไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของของเหลวในกระบอกสูบโดยปกติโหลดเซลล์แบบนี้จะความแม่นยำในการวัดอยู่ที่ประมาณ 0.3 % ที่ Full Scale ซึ่ง ระดับความแม่นยำนี้ก็เป็นที่ยอมรับได้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ข้อดีของโหลดเซลล์แบบนี้คือ สามารถที่จะใช้ในพื้นที่ที่อันตราย(hazardous area) เช่น พวกโรงงานที่มีวัตถุไวไฟต่างๆ เนื่องจากโหลดเซลล์ประเภทนี้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการวัด สำหรับข้อเสียของโหลดเซลล์ประเภทนี้ คือสามารถรับแรงสูงสุดได้ไม่เกิน 1000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้ในงานที่ต้องการวัดแรงดันสูง



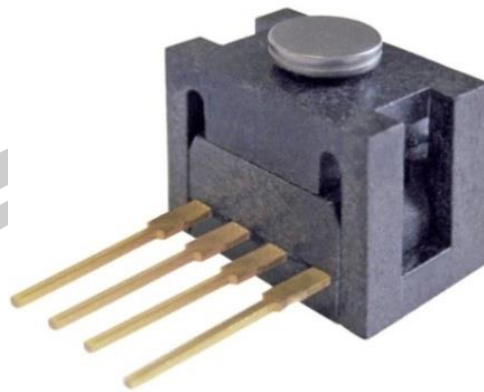
ภาพประกอบ 2.24 โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก [34]

2.6.3 โหลดเซลล์แบบนิวเมติกส์ (pneumatic load cell) ซึ่งจะทำงานโดยใช้หลักการสมดุลแรงเช่นเดียวกับแบบไฮดรอลิก แต่ต่างกันว่า โหลดเซลล์แบบนี้จะมีความแม่นยำกว่าแบบไฮดรอลิก เพราะมีการใช้ช่องว่างหลายช่อง ในการหน่วงความดันของของเหลวเพื่อลดแรงสั่นสะเทือนโหลดเซลล์แบบนี้ มักใช้วัดสิ่งของที่มีน้ำหนักไม่มาก ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความสะอาดและความปลอดภัยสูง ข้อดีของโหลดเซลล์ประเภทนี้คือ สามารถทนแรงกระแทกได้สูง และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่มีข้อเสียคือ ความเร็วในการตอบสนองต่ำและต้องใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่สะอาดปลอดภัย



ภาพประกอบ 2.25 โหลดเซลล์แบบนิวเมติกส์ [35]

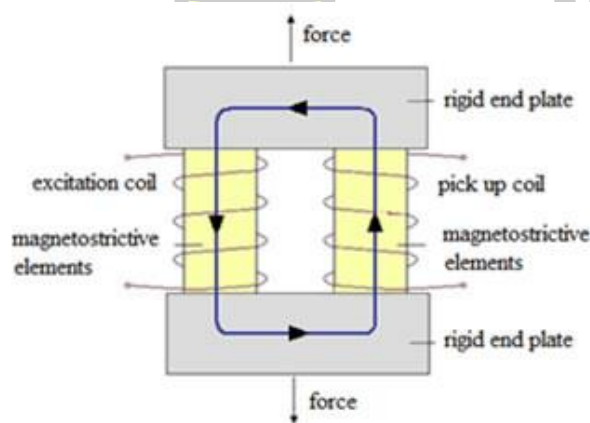
2.6.4 โหลดเซลล์แบบไพโซเรซิสทีฟ (piezoresistive force sensor) ซึ่งมีการทำงานเหมือนกับเกจวัดความเครียด แต่โหลดเซลล์แบบไพโซเรซิสทีฟสามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ในระดับสูงจึงเหมาะสำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความไม่ซับซ้อนในการวัด เนื่องจากสามารถต่อเข้าโดยตรงกับส่วนแสดงผล อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดลักษณะนี้ได้รับความนิยมลดลงเรื่อยๆ เพราะตัวขยายสัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้นมีราคาถูกลง นอกจากนี้โหลดเซลล์แบบไพโซเรซิสทีฟยังมีข้อเสียคือ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกกับน้ำหนักที่วัดมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น



ภาพประกอบ 2.26 โหลดเซลล์แบบไพโซอิเล็กทริก [36]

2.6.5 โหลดเซลล์แบบแมกเนโตสเตริกทีฟ (magnetostrictive force sensor)

หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในการแผ่สัญญาณแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายใต้แรงที่มากระทำแรงทำให้เกิดการผิดรูปของสนามแม่เหล็กและจะเกิดสัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อแรงที่มากระทำ โดยจะใช้หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก โดยอุปกรณ์ลักษณะนี้จะตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็กและวัดการเหนี่ยวนำของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป ในที่นี้การเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็กจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่วัด โหลดเซลล์รูปแบบนี้มีความทนทานมากและยังคงมีใช้อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรีดโลหะ



ภาพประกอบ 2.27 โหลดเซลล์แบบแมกเนโตสเตริกทีฟ [37]

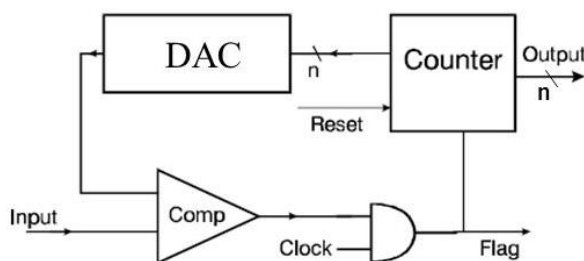
ในส่วนการศึกษาพบว่า บริษัทโซนี่ใช้โพลดเซลส์แบบสเตรณเกจ เนื่องจากเป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถรับได้ทั้งแรงกดและแรงดึง มีความไวสูงและสัญญาณที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรม

2.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ (sensor) ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกในรูปของแรงดันหรือกระแสที่เปลี่ยนแปลง เช่น ตัวตรวจจับอุณหภูมิความดัน แสง เป็นต้น มาประมวลผลด้วยตัวประมวลผลที่เป็นวงจรดิจิทัล ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกจากตัวตรวจจับเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้วงจรที่เรียกว่า วงจร Analog to Digital Converter (ADC) ซึ่งวิธีการในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีทั้งหมด 4 วิธี ดังนี้

1. Counting Converter
2. Successive Approximation Converter
3. Dual-Slope Converter
4. Flash Converter

2.7.1 Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึมการนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังภาพประกอบ 2.28



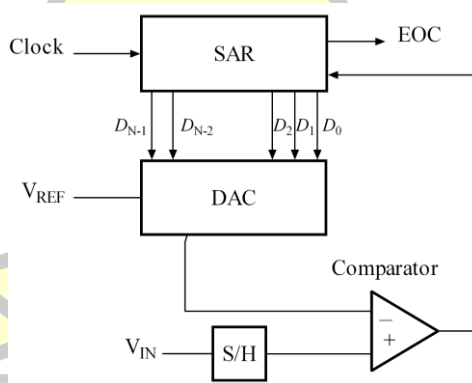
ภาพประกอบ 2.28 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Counting Converter [38]

จากวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้วงจรแปลงสัญญาณ มีขา Reset รับสัญญาณ Reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ วงจรแปลงสัญญาณเมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณ แอนะล็อกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆ หนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ (Comparator)

Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา (ลอจิก 1) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต AND กับสัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่า ยังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาจะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิทัลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จาก ตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต AND กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะทำให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิทัลจากตัวนับที่ต้องการ

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอและนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การประมวลผลช้า เอาท์พุตที่ได้จะมีการหน่วงเวลา จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร

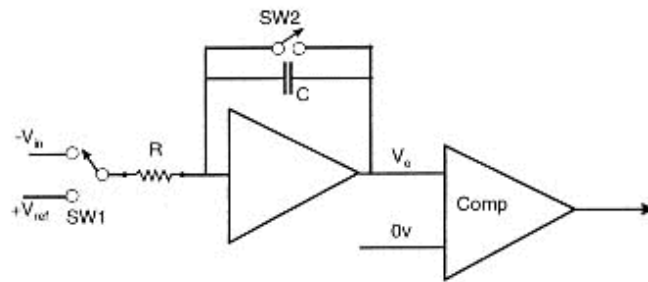
2.7.2 Successive Approximation Converter ใช้หลักการของ binary search ในการหาค่าตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่า ค่านั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า $(0+7)/2 = 4$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า $(0+4)/2 = 2$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า $(2+4)/2 = 3$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ



ภาพประกอบ 2.29 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Successive Approximation [39]

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาค่าตอบ n รอบแน่นอน (สำหรับ n bit converter ซึ่งอ้างอิงได้ 2^n ระดับ และระดับ V_{in} ที่คงที่) ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบ Counting Algorithm แต่มีข้อเสีย คือถ้า V_{in} เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่ นั่น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด

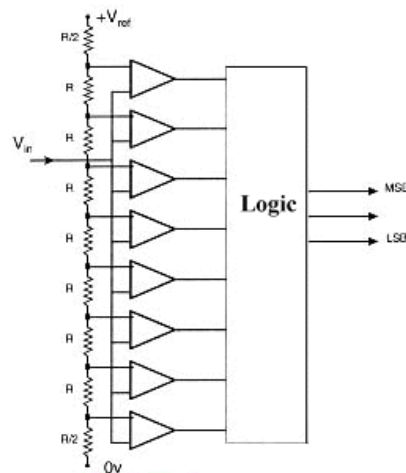
2.7.3 Dual-Slope Converter ใช้หลักการของวงจร Integrator ทำงานร่วมกับตัว Comparator ดังภาพประกอบ 2.30



ภาพประกอบ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Dual-Slope Converter [40]

จากภาพประกอบ 2.30 จะเห็นว่า มีแรงดันขาเข้า 2 ตัว คือ ค่าความต่างศักย์แอนะล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัล ($-V_{in}$) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง (V_{ref}) และมีสวิตช์ SW1 ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณจากวงจรตอนเริ่มต้นสวิตช์ SW2 ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิด SW2 ออกเมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่ $-V_{in}$ จากวงจร Integrator ความเร็วของการแปลงสัญญาณแบบนี้ขึ้นอยู่กับ V_{in} และ Slope ของวงจร integrator

2.7.4 Flash Converter หลักการของ Flash Converter คือการใช้การแบ่งแรงดันเป็นแรงดัน (V_{in}) หลายๆ ค่า แล้วเปรียบเทียบกับ V_{in} เป็นคู่ๆ พร้อมกัน แล้วทำการทางลอจิก จากภาพประกอบ 2.31 มีแรงดัน เปรียบเทียบ 8 บิต ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ที่ได้นั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} แล้วมากกว่าก็จะปล่อยลอจิกออกมา ถ้ามากกว่าก็จะให้ลอจิก 1 ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากันก็จะให้ลอจิก 0 วิธี Flash Converter นี้จะเร็วที่สุด แต่ใช้อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์มากกว่าแบบอื่นๆ



ภาพประกอบ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแบบ Flash Converter [41]

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย ซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรงตัวก็คือ ระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่างหนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาอินพุตและเอาต์พุตเพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้านดิจิตอลและแอนะล็อก ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ, ระบบบัตรคิว, ระบบตอกบัตรพนักงาน และอื่นๆ ยิ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบเน็ตเวิร์คของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่แค่หน้าแผงวงจร แต่สามารถสั่งงานจากคนละซีกโลกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ ที่ได้รับความนิยมและมีพัฒนาการมาจนถึงปัจจุบันมีดังนี้

2.8.1 ซีพียูตระกูล Z-80 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้กัน เป็นลักษณะของซีพียู คือ ตระกูล Z80 เป็นลักษณะของซีพียูขนาดเล็ก ข้อดีประการหนึ่งของซีพียูตระกูล Z-80 คือสามารถให้การรีเฟรชหน่วยความจำได้ อย่างอัตโนมัติ โดยค่าใน R รีจิสเตอร์จะเพิ่มค่าขึ้นอีก 1 ทุกครั้งที่มีการกระทำการ fetch คำสั่ง และ ข้อมูลในรีจิสเตอร์ R นี้ จะถูกส่งออกไปยังแอดเดรสบัสในส่วนบิทที่มีนัยสำคัญต่ำกว่าจังหวะของการส่งนี้จะเป็นจังหวะเดียวกันกับที่ซีพียูส่งสัญญาณรีเฟรชออกมา ผู้โปรแกรมสามารถกำหนดค่าให้กับ รีจิสเตอร์ R นี้ได้แต่ค่าในรีจิสเตอร์ นี้จะเรียกใช้โดยผู้โปรแกรมทางคำสั่งโดยตรงไม่ได้ที่ต้องอาศัย IO ต่างๆ เพิ่มเติมเข้ามามาก จึงทำให้บอร์ดมีขนาดค่อนข้างใหญ่



ภาพประกอบ 2.32 ซีพียูตระกูล Z-8 [42]

2.8.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 บริษัทที่สร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นบริษัทแรกคือบริษัท Intel ตระกูล MCS-51 เป็นตระกูลที่พัฒนาต่อจาก Z80 ทำให้การศึกษาเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ง่ายขึ้นกว่าเดิม ไม่ว่าจะเป็นการเขียนโปรแกรมในลักษณะของ Assembly Code แล้วโหลดลงบอร์ดเพื่อใช้งาน ตลอดจนสถาปัตยกรรมในการออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้จะช่วยลดอุปสรรคหรือข้อข้างลงไปได้มาก เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริง



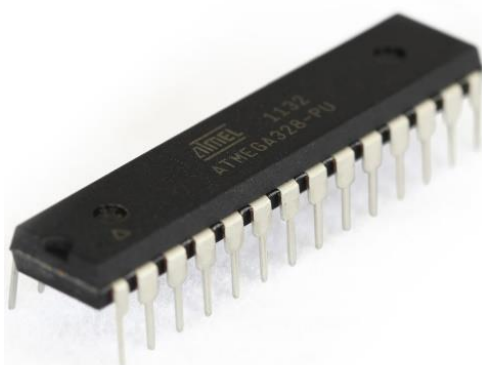
ภาพประกอบ 2.33 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 [43]

2.8.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC บริษัท Microchip Technology เป็นผู้สร้างและผลิต PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคต่อมาที่ได้รับความนิยมสูงอีกตระกูลหนึ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คำว่า PIC ย่อมาจากคำว่า (Peripheral Interface Controller) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มีการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นในทุกด้าน ทำให้ได้รับความนิยมกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคเก่า เพราะในเรื่องของอุปกรณ์ต่อพ่วงที่มีน้อย ประกอบกับมีหน่วยความจำ EEPROM ในตัว จึงทำให้ง่ายต่อการบันทึกและจัดเก็บข้อมูล และ PORT ต่างๆ ได้มีการ latch ในตัว IC อยู่แล้ว จึงสามารถต่อออกมาใช้งานภายนอกได้โดยตรง มีกระแสและแรงดันที่เพียงพอ และสามารถโปรแกรมตัว Boot Loader เข้าไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จึงทำให้ง่ายในการโหลดโปรแกรมเข้าไปจากคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง Serial Port และกดปุ่ม Reset เพียงอย่างเดียว



ภาพประกอบ 2.34 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC [44]

2.8.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่อมาที่มีการพัฒนาต่อมาจาก MCS-51 โดยบริษัท ATMEL อันเนื่องมาจากว่า MCS-51 ยุคหลังนี้ไม่ค่อยมีคนใช้งานจริง และมีใช้งานแต่เฉพาะในสถาบันการศึกษา เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าการออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องอาศัยการต่ออุปกรณ์ร่วมเยอะ ดังนั้น AVR จึงเข้ามาเป็นที่นิยมในการทำงานด้านนี้ โดยคุณสมบัติหลักที่น่าสนใจก็คือ สามารถ Interface ผ่าน USB ได้โดยตรง ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคเก่าทำได้โดยต่อผ่านพอร์ต RS-232 แต่เนื่องด้วยคอมพิวเตอร์ยุคใหม่ พอร์ต RS-232 เริ่มหายาก ดังนั้น AVR จึงได้รับความนิยมสูง



ภาพประกอบ 2.35 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC [45]

2.8.5 บอร์ด Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ open source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆได้และความสามารถในการเพิ่ม boot loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ upload code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำโมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น

พหุ ประถม ศึกษาศาสตร์



ภาพประกอบ 2.36 บอร์ด Arduino รุ่น UNO [46]

2.8.6 บอร์ด Raspberry Pi เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM เหมือนกับ Arduino ซึ่งลักษณะพิเศษของบอร์ด Raspberry Pi ก็คือการจำลองตัวมันเองให้เป็นระบบคอมพิวเตอร์เครื่องเล็กๆเครื่องหนึ่ง ที่สามารถใช้ระบบ Linux ได้ในตัว นั่นก็หมายถึงการดึงระบบต่างๆเพื่อมาใช้งานในบอร์ด ทำให้มีความสะดวกมากเพราะมี OS Linux ทำงานให้แทนอยู่แล้ว อย่างเช่นการติดต่อกับระบบเน็ตเวิร์กการติดต่อกับระบบจอภาพ การติดต่อบนเสียง ตลอดจนการติดต่อกับระบบการเก็บข้อมูลผ่าน SD Card ซึ่งสามารถทำได้ครบและครอบคลุมด้วยระบบปฏิบัติการ Linux ที่รันอยู่บนตัวบอร์ด Raspberry Pi มีลักษณะบอร์ดดังภาพ



ภาพประกอบ 2. 37 บอร์ด Raspberry Pi [47]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุวัตร ศรีนวล (2554) [48] สร้างเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบ drop-weight และนำไปใช้หาผลของแรงกระแทกที่มีผลต่อความเสียหายของเมล็ดข้าวเปลือกและผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน โดยมวลของเครื่องทดสอบตกลงมากระแทกกับเมล็ดข้าวเปลือกที่วางอยู่บนโพลีเอทิลีน ซึ่งสัญญาณแรงกระแทกจะส่งต่อไปยังเครื่องขยายสัญญาณและแสดงผลออกมาเป็นรูปของกราฟโดยใช้โปรแกรม force diagram ซึ่งได้รับการบันทึกโดยคอมพิวเตอร์

ชัชวาลย์ พงศ์เจริญสุข (2551) [49] สร้างเตียงซึ่งน้ำหนักนี้จะใช้โพลีเอทิลีนสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากแรงของน้ำหนักตัวผู้ป่วยที่กดบนตัวโพลีเอทิลีน โดยทำการขยายสัญญาณแรงดันที่เกิดขึ้น แล้วส่งมาประมวลผลสัญญาณโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำค่าผลลัพธ์ที่ได้แสดงผลบนภาคแสดงผล LED 7-segment

ศิริชัย ต่อสกุล (2543) [50] ได้ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการตัดโอบหะแผ่น AISI 1012 มีความหนา 0.8 มิลลิเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณคลื่นอะคูสติก และเกจวัดความเครียด ที่ได้จากผลกระทบของช่องว่างแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่น

Rat Tongaim (2009) [51] พัฒนาเครื่องมือที่สามารถวัดเวลาตอบสนองและแรงชกได้ในเวลาเดียวกัน รวมไปถึงการนำเอาเครื่องมือที่ได้จากการพัฒนาไปทดลองใช้ ตัวเครื่องมือประกอบด้วยโพลีเอทิลีนจำนวน 6 ตัว ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเครื่องมือ วัดเวลาตอบสนอง อ่านและแปลผลสัญญาณไฟฟ้า จากโพลีเอทิลีน รวมถึงการ ใช้กล้อง ถ่ายภาพเคลื่อนไหว ความเร็วสูงในการหาความเร็วของข้อมือนักกีฬาขณะชกเป่าร่วมด้วย

ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์ (2544) [52] ศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก วิธีการศึกษาทำโดยจำลองสภาพการทำงานของรถไถพรวนดิน โดยทดลองพรวนทรายในกระบะทรายที่เคลื่อนที่ได้ ขณะทดลองวัดแรงที่กระทำกับล้อหลังโดยใช้อุปกรณ์วัดแรง 2 มิติรูปตัว L ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดแรงที่สร้างขึ้นใหม่ในการศึกษานี้ ส่วนแรงภายนอกอื่นๆ ที่กระทำต่อรถไถพรวนดิน ได้แก่ แรงที่ใช้ยี่ตรรถไถพรวนดินให้อยู่กับที่ จะวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงดึง ขณะเดียวกันก็วัดการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายพร้อมกันไปด้วย จากนั้นใช้แรงต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณหาแรงต้านทานทรายที่กระทำต่อใบมีดโดยอาศัยการเขียนแผนผังวัตถุอิสระ และใช้สมการสมดุลของแรงในแนวตั้ง แนวระดับ และสมดุลของโมเมนต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกียร์ความเร็ว และน้ำหนักถรถไถพรวนดิน ต่อแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดและลักษณะการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือจากผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ส่งผลต่อขนาด ทิศทาง ตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือในลักษณะต่างๆ กัน และเมื่อนำขนาดการสั่นสะเทือนที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 2631 พบว่าขนาดการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือยังมีขนาดเกินกว่าขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล้า และขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมงอยู่ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้เมื่อใช้งานรถไถนี้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการถ่วง

น้ำหนักรถไถพรวนดินด้วยน้ำหนักที่เหมาะสมในตำแหน่งที่เหมาะสมจะช่วยลดขนาดการสั่นสะเทือนลงได้มาก ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนาการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนของรถไถพรวนดิน ตลอดจนรูปร่างที่เหมาะสมของใบมีด

พรพิรุณ มงคลแสง และคณะ (2556) [53] ได้ การควบคุมความเข้มข้นและการเตรียมสารละลายน้ำตาลในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยหลักการเชื่อมมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อให้อัตราการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างต่อเนื่องและการใช้สารละลายน้ำตาลอย่างคุ้มค่า เนื่องจากระบบดั้งเดิมอาศัยผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้วัดค่าความเข้มข้นและผลผลิตส่วนของสารละลายน้ำตาล ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดสูงทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับเตรียมสารละลายน้ำตาลแบบอัตโนมัติ โดยการวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจากหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น(มวลต่อปริมาตร) และคำนวณสัดส่วนในการผสมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากระเบียบวิธีของเพียร์สันสแควร์ ระบบนี้ประกอบด้วยถังผสม โหลดเซลล์ชั่งน้ำหนัก อุปกรณ์วัดระดับ และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผลควบคุมการทำงานโดยการเชื่อมต่อผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม RS 485 ด้วย Modbus RTU โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนการผสมสารละลายน้ำตาลเพื่อให้ได้ ปริมาตรตรงตามที่กำหนด และการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย น้ำตาลมีค่าที่ยอมรับได้ที่ ± 5 องศาปริกซ์ ซึ่งสามารถรองรับการนำไปใช้ในกระบวนการเตรียมสารละลายน้ำตาลสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารเชื่อมในระดับอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติได้ในอนาคต

วิศิษฐ์ วิวัฒน์เกษมสุข (2547) [54] ได้นำวงจรควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าและตัวต้านทานปรับค่าได้ มาใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมปริมาณกระแสที่ขดลวด ในส่วนการวัดแรงบิดของไดนาโมมิเตอร์ โดยทั่วไป เป็นการใช้ตาชั่งสปริง หรือ โหลดเซลล์ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน คือ การใช้ตาชั่งสปริงมีข้อเสียที่ต้องคอยปรับตำแหน่งของแกนสเตเตอร์ให้ตั้งฉากกับแนวแรงอยู่เสมอ ส่วนโหลดเซลล์มีข้อเสียที่ราคาอุปกรณ์ค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นเครื่องมือสำหรับวัดแรงบิดในรูปแบบใหม่ขึ้นเพื่อที่จะลดข้อเสียเหล่านั้น โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ได้นำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ประมวลผลในรูปแบบดิจิทัล

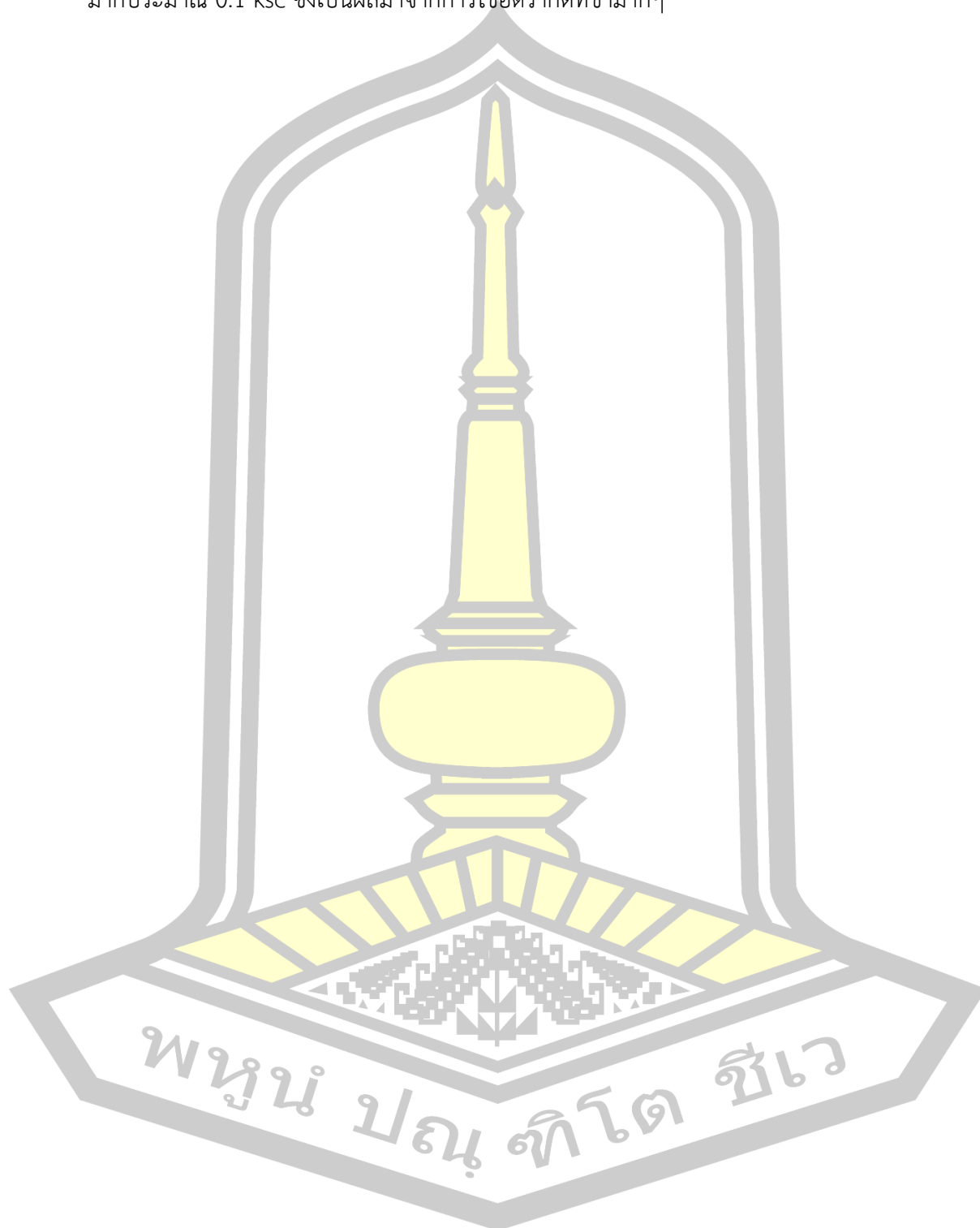
ไพฑูรย์ วิเศษการ (2527) [55] ออกแบบและสร้างเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิเลคทรอนิกส์ แสดงผลด้วยตัวเลข ได้ออกแบบโหลดเซลล์ให้ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าน้ำหนักของวัตถุให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ภายในโหลดเซลล์ประกอบด้วยชิ้นส่วนรับน้ำหนักแบบคอลัมน์ และสเตรนเกจแบบความต้านทาน ความสามารถในการรับน้ำหนักของโหลดเซลล์แต่ละอันสูงถึง 20 เมตริกตัน และออกแบบอินดิเคเตอร์เพื่ออ่านสัญญาณทางไฟฟ้าจากโหลดเซลล์ ภายในประกอบด้วยวงจรรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนต์เซ็น วงจรกรองสัญญาณ และวงจรถ่ายค่าน้ำหนักเป็นตัวเลข 4½ หลัก เครื่องชั่งที่ออกแบบสร้างนี้ สามารถจะเลือกใช้เป็นแบบโหลดเซลล์เดี่ยว หรือโหลดเซลล์ 4 อันก็ได้ ทั้งระบบเมื่อทดสอบและเปรียบเทียบแล้ว จะมีค่าความไม่แม่นยำเกินกว่า $\pm 0.05\%$ เต็มพิกัด และค่าความแม่นยำในการชั่ง $\pm 0.15\%$ เต็มพิกัด ซึ่งผลที่ได้นี้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ

วุฒิพงษ์ บุญแก้ว (2556) [56] ศึกษาการออกแบบตัวเรือนยึดซีลให้เหมาะสมด้วยวิธีการสวมอัดร้อน (Shrink Fit) เพื่อปรับปรุงวิธีการประกอบซีลวงแหวนหน้าสัมผัส โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์ เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench เวอร์ชัน 14.0 ในการวิเคราะห์ความดันผิวสัมผัส

ของการสวมอัดร้อนซีลวงแหวนหน้าสัมผัสกับตัวเรือนยึดซีลในแนวแกนเพลลา โดยการสร้างแบบจำลองรูปร่างร่องบากที่ผ่านกระบวนการกลึงทรง 5 รูปแบบ ได้แก่ รูปร่างร่องครึ่งวงกลม รูปร่างร่องพาลาโปลา รูปร่างร่องสี่เหลี่ยม รูปร่างร่องยู และรูปร่างร่องวี จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบขณะตัวเรือนยึดซีลกันรั่วเชิงกลอยู่ในสภาวะสถิตและอุณหภูมิสมดุลที่ 50, 100 และ 150 °C โดยวัดแรงกดที่สามารถอ่านค่าจากโหลดเซลล์ ผลการทดสอบเปรียบเทียบพบว่า รูปร่างร่องครึ่งวงกลมให้ค่าความดันผิวสัมผัสคงที่สม่ำเสมอเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ซีลวงแหวนหน้าสัมผัสไม่หลุดออกจากตัวเรือนยึดซีล

พลากร พิรภาคย์ (2547) [57] พัฒนาเครื่องมือ Miniature Cone Penetration Test in Triaxial Apparatus ขึ้นมาใหม่ ซึ่งเครื่องมือนี้จะจำลองสภาพการทดสอบ CPT มาไว้ภายในเครื่องมือแรงอัดสามแกนที่สามารถควบคุมสภาวะของหน่วยแรงในดินให้สอดคล้องกับสภาพจริงในสนามได้ กรวยขนาดเล็กที่ใช้ในเครื่องมือทดสอบจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm และมีมุมปลายกรวยเท่ากับ 60° โดยที่ Cone Head และ Penetrometer จะทำมาจากสแตนเลสทั้งหมดเพื่อป้องกันสนิมและการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ ส่วนบริเวณฐานกรวยจะติดตั้ง Porous Ceramic เอาไว้เพื่อให้สามารถวัดแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) ที่เกิดขึ้นบริเวณปลายกรวยได้ นอกจากนี้ที่ฐานตั้งตัวอย่างดินจะติดตั้ง Transducer เอาไว้สำหรับวัดแรงดันน้ำในตัวอย่าง ส่วนที่ปลายล่างของ Cone Penetrometer จะติดตั้ง โหลดเซลล์ เอาไว้เพื่อใช้วัดแรงรวมต้านทานปลายกรวยที่เกิดขึ้น สำหรับขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือทดสอบจะดำเนินการเพื่อวัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่าง O-ring กับ Cone Penetrometer และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแรงดันน้ำที่วัดได้ที่ปลายกรวย ดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ สร้างใหม่ที่เก็บตัวอย่างมาจากบริเวณทางเข้าออกด้านใต้สนามบินสุวรรณภูมิ (PI ~ 62%) ซึ่งนำมาเตรียมทดสอบที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น $W_{[subscript n]} \sim 150\%$ โดยมีหน่วยแรงในแนวตั้งสูงสุดเท่ากับ 1 ksc และลดหน่วยแรงลงมาอยู่ที่ 0.25 ksc ซึ่งมี OCR เท่ากับ 4 ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบการกดกรวยขนาดเล็ก (MCPT) จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 130 mm และสูง 100 mm ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่างดินต่อเส้นผ่าศูนย์กลางกรวยเท่ากับ 16.25 โดยใช้อัตราการกดที่ 0.156 mm/Min. ดินเหนียวนี้จะถูกนำมาทดสอบในสภาวะของหน่วยแรงแบบ Isotropic ที่ Effective Vertical Consolidation Stress เท่ากับ 0.5 ksc และ OCR เท่ากับ 2 ซึ่งการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำที่สภาวะหน่วยแรงเดียวกันก็จะถูกทำการทดสอบด้วยเช่นกันเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ การทดสอบ MCPT ทั้งสองตัวอย่างจะให้ผลที่ตรงกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงรวมต้านทานปลายกรวยกับความลึกกรวยที่กดเข้าไปในตัวอย่างจะมีความแตกต่างกันอยู่ 2 แบบ พฤติกรรมแรกจะพบว่าในช่วงความลึกเริ่มต้น 0-20 mm ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจากผลกระทบขอบเขต (Boundary Effect) ที่เกิดขึ้น ซึ่งแตกต่างกับพฤติกรรมที่สองในช่วงความลึก 20-70 mm ที่ความสัมพันธ์นี้จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงโดยมีหน่วยแรงต้านทานปลายกรวยคงที่ ดังนั้นหน่วยแรงต้านทานปลายกรวยสามารถหาได้จากจุดตัดแกนของเส้นตรงและแรงเสียดทานที่ผิวปลอกหาได้จากความชันของเส้นตรง ค่า $N_{[subscript k]}$ ที่คำนวณได้จะมีค่าประมาณ 19 ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากงานวิจัยอื่น ส่วนอัตราส่วนแรงเสียดทานผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวกับแอส

ตนเลสนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.6 นอกจากนี้ยังพบว่าแรงดันน้ำส่วนเกินในโพรงดินที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าน้อยมากประมาณ 0.1 ksc ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้อัตราทดที่ช้ามากๆ



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่อง แรงกตที่เหมาะสมสำหรับจุดต่อทางไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์ มีขั้นตอนเริ่มจากการศึกษารูปแบบการทำงานของกระบวนการประกอบจุดต่อทางไฟฟ้าของกล่องหน้าว่ามีข้อบกพร่องอย่างไรบ้าง จากนั้นวิเคราะห์ปัญหาว่าเกิดจากสาเหตุอะไร แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสู่การศึกษาและออกแบบชุดทดลองเพื่อลดปัญหานั้น ในส่วนของปัญหา บทวิเคราะห์ได้นำเสนอในบทที่ 1 และ บทที่ 2 แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองจากข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งนี้ชุดการทดลองจะสามารถใช้งานได้หรือไม่ ยังขึ้นอยู่กับขั้นตอนการออกแบบนี้เป็นสำคัญ ซึ่งได้แก่ รูปแบบโครงสร้าง การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบและโครงสร้าง

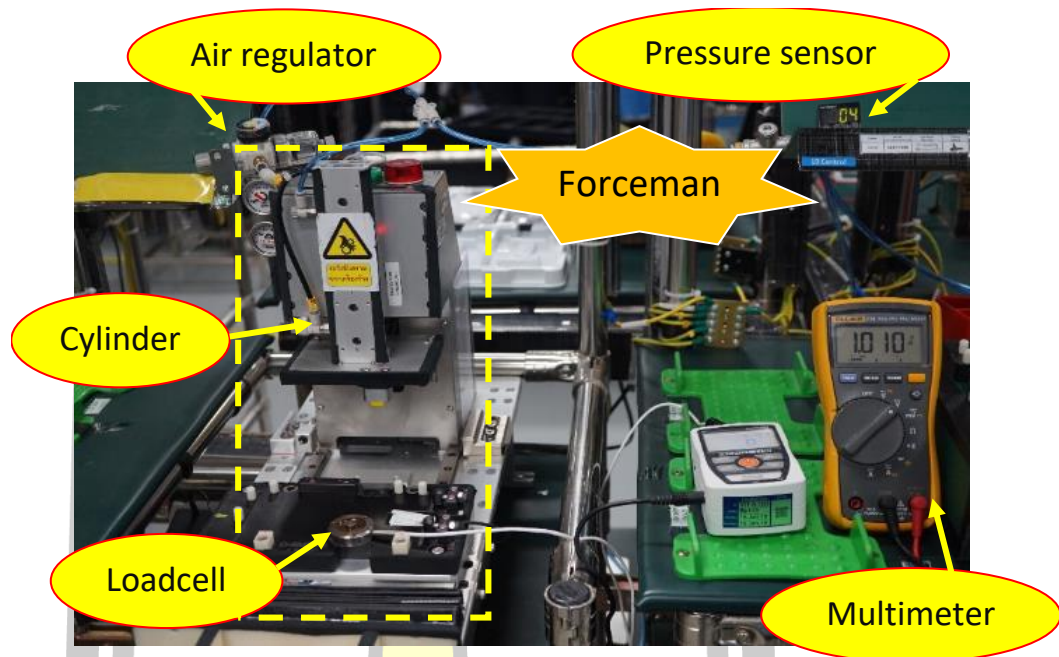
ในการออกแบบจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของเครื่องกต Forceman
2. ส่วนของโปรแกรม
3. ส่วนเปรียบเทียบผลระหว่างเครื่องวัดกับโปรแกรม

3.1.1 การออกแบบการทดลองส่วนของเครื่องกต Forceman

ในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดแรงกตของกระบอกสูบของเครื่องกต Forceman ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศต่อเข้ากับท่อต่อลมบริเวณปลายกระบอกสูบ โหลดเซลล์ต่อร่วมกับ Force gauge วางไว้บนฐานของเครื่อง Forceman โดยวางไว้ใต้หัวกต วาล์วปรับความดันลมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายลมกับเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศและมัลติมิเตอร์ต่อกับขาสัญญาณแอนะล็อกของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ดังภาพประกอบ 3.1

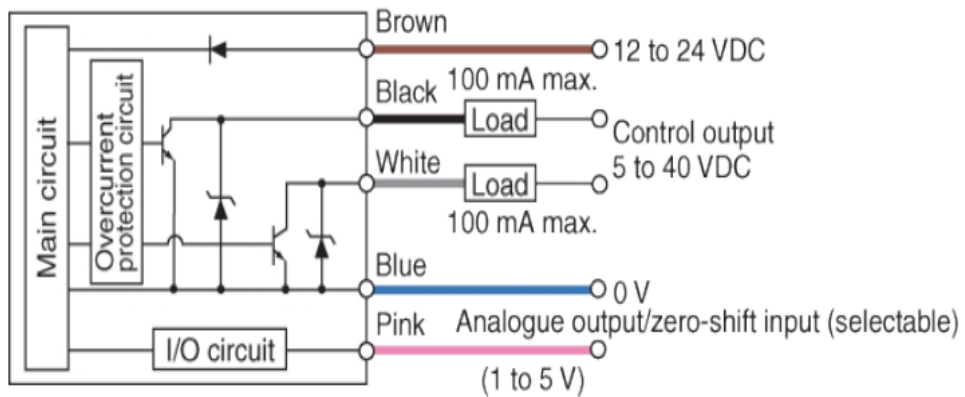
พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพประกอบ 3.1 ภาพรวมการวัดแรงกดเครื่อง Forceman [1]

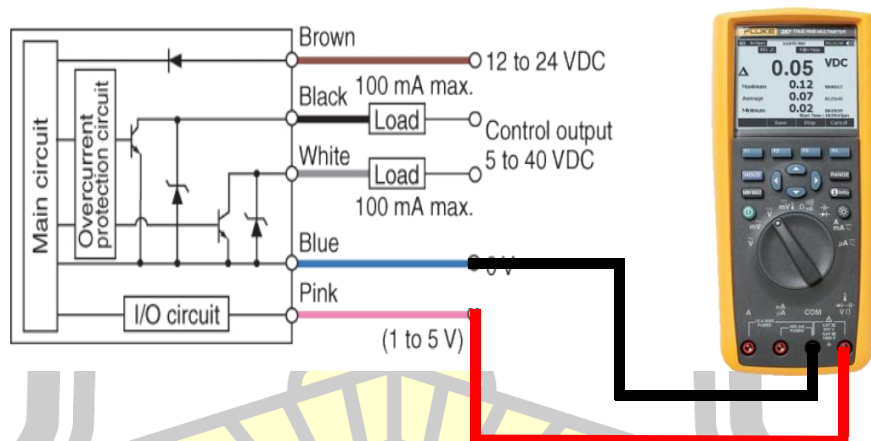
ในการวัดแรงกดของเครื่อง Forceman จะใช้ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ เพื่อวัดความดันอากาศแล้วนำมาแปลงค่าเป็นแรงกดต่อไป โดยใช้ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ รุ่น KEYANCE AP-C33W เนื่องจากสามารถวัดความดันอากาศได้ตั้งแต่ 0-1 Mpa และมีขาสัญญาณแอนะล็อก ตั้งแต่ 1-5 โวลต์ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศรุ่น KEYANCE AP-C33W จะมี 5 สาย ซึ่งมีการต่อสาย ดังนี้

1. สายสีน้ำตาล ต่อกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า 12-24 โวลต์
2. สายสีดำ ต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม (ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 5-40 โวลต์)
3. สายสีขาว ต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม (ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 5-40 โวลต์)
4. สายสีน้ำเงิน ต่อกับกราวด์
5. สายสีชมพู เป็นสายสัญญาณแอนะล็อก



ภาพประกอบ 3.2 วงจรภายในของ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ AP-C33W [58]

ในการวัดค่าสัญญาณแอนะล็อกจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ จะใช้มัลติมิเตอร์วัดที่สายสีชมพูกับสายสีน้ำเงิน



ภาพประกอบ 3.3 การต่อสายเพื่อวัดสัญญาณแอนะล็อกของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ

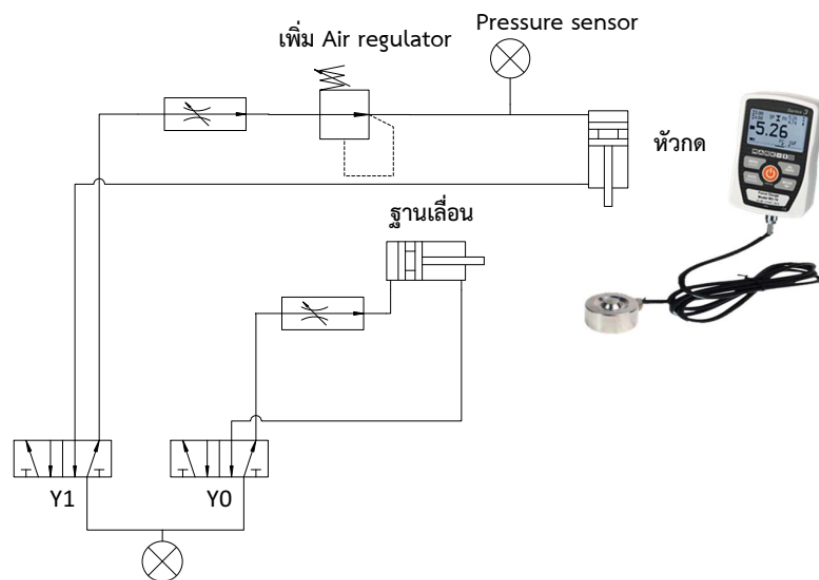
ส่วนต่อมาจะเป็นการวัดแรงกดของ cylinder โดยใช้ Force Gauge รุ่น MARK-10 ซึ่งประกอบด้วย หน้าจอแสดงผล และ โหลดเซลล์ แบบ Button



ภาพประกอบ 3.4 เครื่องมือวัดแรงกดของ cylinder [1]

3.1.1.1 วิธีเตรียมการทดลอง

1. ต่อ Air regulator กับ Cylinder ส่วนของหัวกดทางด้านลมเข้า
2. ต่อ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ระหว่าง Air regulator กับ Cylinder
3. วาง โหลดเซลล์ ให้ตรงกับส่วนของหัวกด



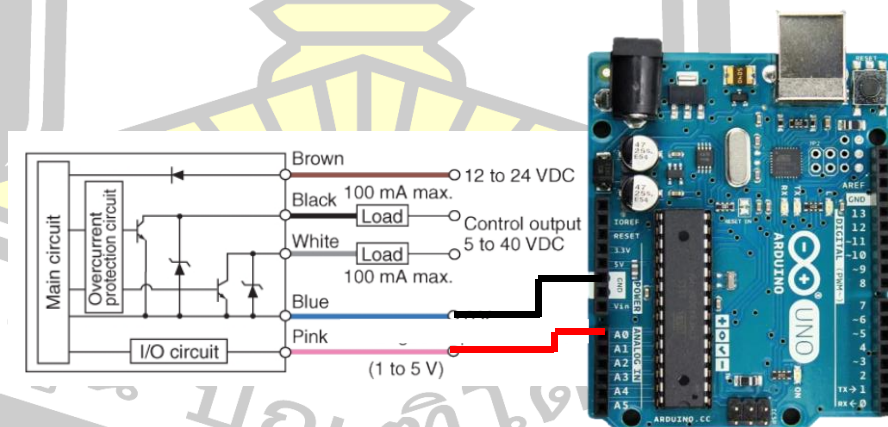
ภาพประกอบ 3.5 การต่อเครื่องวัดกับเครื่อง Forceman

3.1.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการปรับ Air regulator เพื่อให้ความดันอากาศในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น โดยให้แรงกดที่เกิดจากความดันอากาศเพิ่มทีละ 1 นิวตัน
2. กด Solenoid valve ส่วน Y1 ค้างไว้เพื่อให้หัวกดตกลงบน โหลดเซลล์
3. วัดค่าความดันอากาศจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ในหน่วย เมกะปาสคาล (MPa)
4. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าแอนะล็อกจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ด้วยมัลติมิเตอร์ ในหน่วย นิวตัน (N)
5. วัดค่าแรงกดของหัวกด
6. ทำการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง
7. หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศกับแรงกด ด้วย Regression line

3.1.2 ส่วนของการออกแบบโปรแกรม

3.1.2.1 หลักการเขียนโปรแกรม ใช้ Arduino UNO รับสัญญาณแอนะล็อกจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ โดยการต่อที่ pin A0

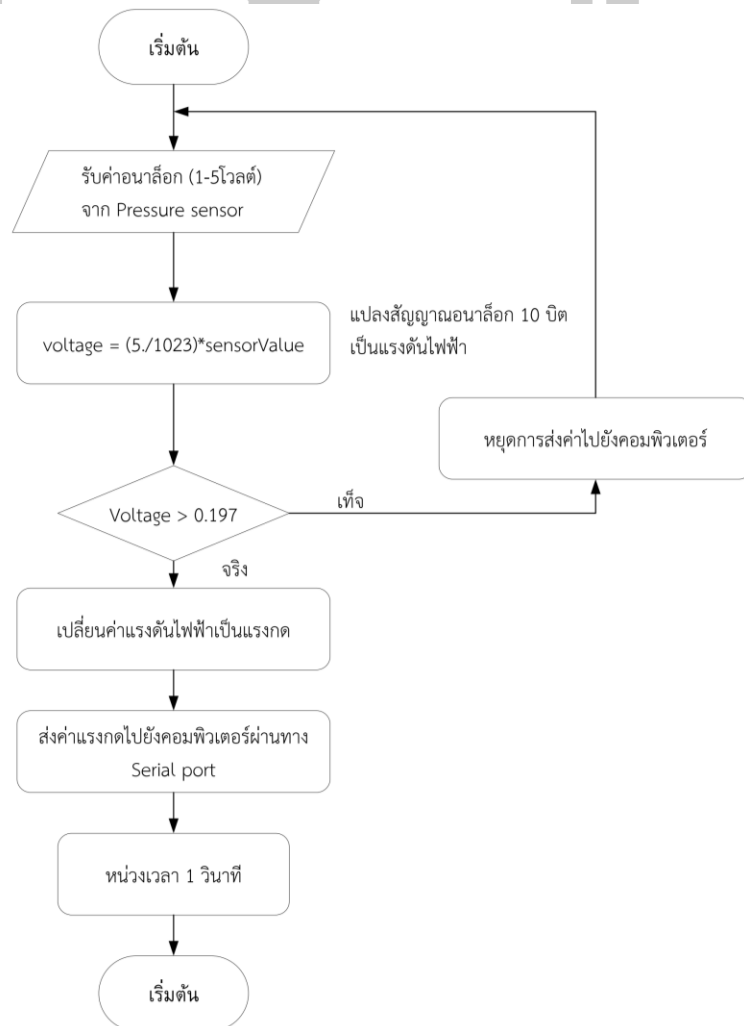


ภาพประกอบ 3.6 การต่อเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ กับบอร์ด Arduino UNO

หน้าที่ของ Arduino คือ การส่งข้อมูลของ เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่าน serial port โดยมีหลักการว่า

1. Arduino จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ก็ต่อเมื่อ หัวกดตกลงไปยังชิ้นงาน ซึ่งหมายความว่าภายใน เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ จะต้องมีความดันอากาศมากกว่า 0 MPa หรือมีสัญญาณแอนะล็อกเป็น 0.197 โวลต์ (เมื่อต่อโหลด 1kΩคร่อม)

2. หากไม่มีการกดชิ้นงานหรือไม่มีความดันอากาศภายในตัว เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ Arduino จะไม่ทำการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ และกลับไปรับค่าจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ อีกครั้ง



ภาพประกอบ 3.7 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมของ Arduino

3.1.2.2 การโปรแกรมใน Arduino

```

int SensorPin = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  int sensorValue = analogRead(SensorPin);
  float voltage = (5./1023)*sensorValue;

  if(voltage > 0.197){

    float force = 130.08*voltage-24.537;
    Serial.println(force);

  }

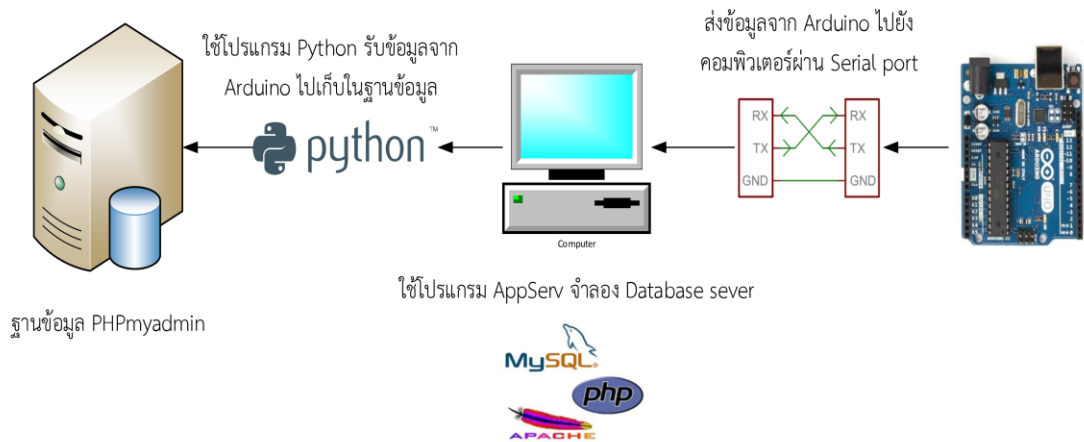
  delay(1000);
}

```

ภาพประกอบ 3.8 โปรแกรมใน Arduino

3.1.2.3 การนำค่าแรงกดที่ได้จาก Arduino มาเก็บในฐานข้อมูล

ใช้โปรแกรม AppServ เพื่อทำให้คอมพิวเตอร์เป็นเสมือนเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเป็นได้ทั้ง web server และ database server แล้วเลือกใช้ phpMyAdmin เพื่อสร้างฐานข้อมูล โดยมีโปรแกรม python เป็นตัวรับค่าจาก Arduino แล้วส่งไปยังฐานข้อมูล

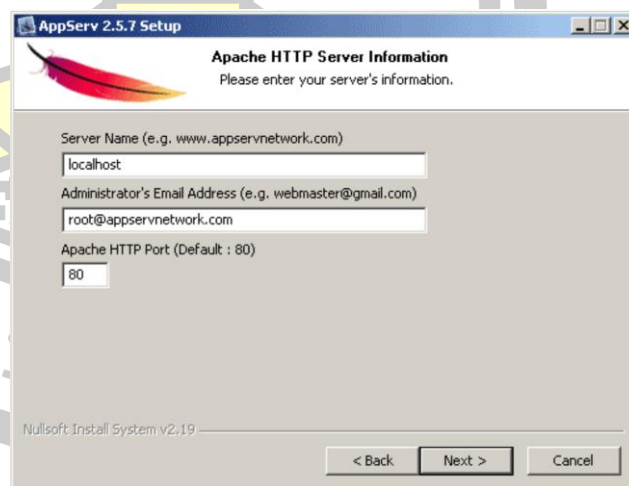


ภาพประกอบ 3.9 การนำค่าแรงกดที่ได้จาก Arduino มาเก็บในฐานข้อมูล

3.1.2.4 วิธีติดตั้งโปรแกรม AppServ

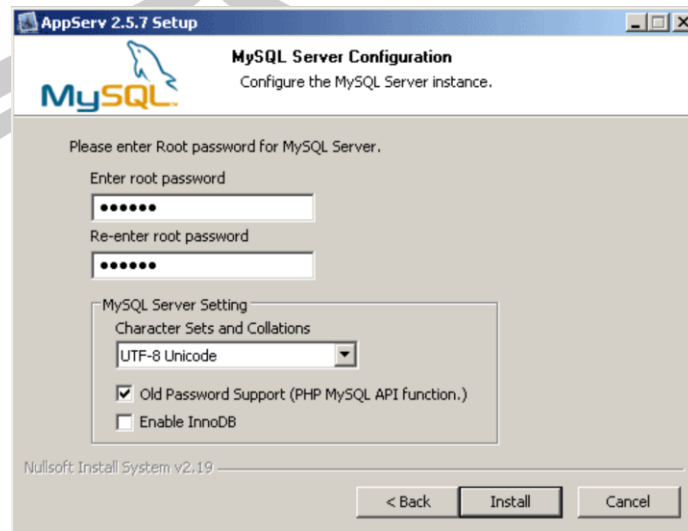
1. ดาวน์โหลดโปรแกรม AppServ จากเว็บไซต์ <http://www.appserv.org>
2. ทำการติดตั้งตามคู่มือ
3. ตั้งชื่อ server name ว่า localhost อีเมลล์ของผู้ดูแลระบบ และตั้งค่า

พอร์ตของ Apache server



ภาพประกอบ 3.10 ตั้งชื่อ Server

4. ตั้งค่ารหัสผ่านสำหรับเข้าฐานข้อมูล



ภาพประกอบ 3.11 ตั้งรหัสผ่านสำหรับเข้าฐานข้อมูล

5. กด finish เพื่อสิ้นสุดการติดตั้ง

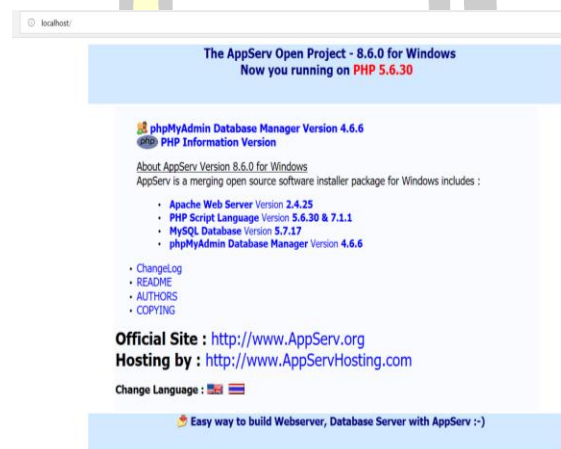


ภาพประกอบ 3.12 การติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

3.1.2.5 การเข้าใช้งาน phpMyAdmin

คอมพิวเตอร์

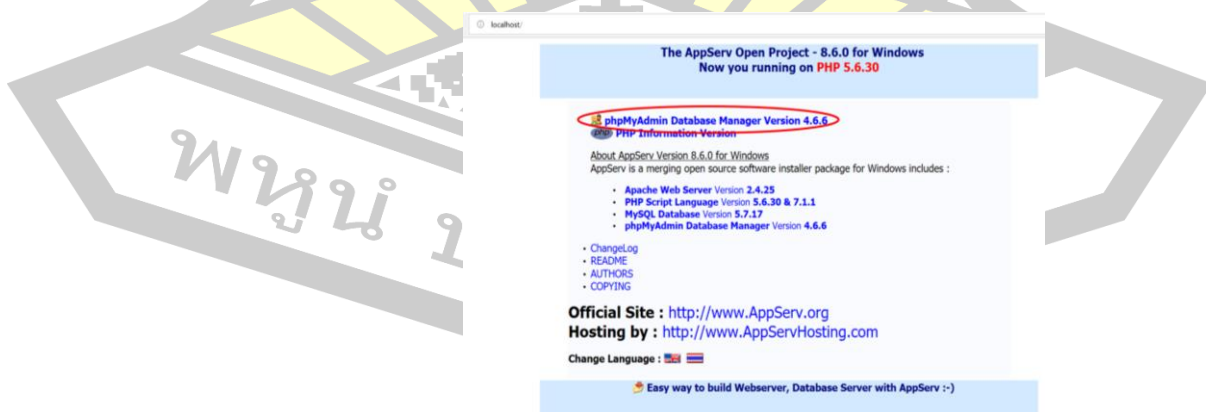
1. เข้า web browser
2. พิมพ์ web address ด้วยชื่อ localhost หรือ IP address ของเครื่อง
3. หน้าเว็บไซต์จะแสดงหน้าต่างของโปรแกรม AppServ ขึ้นมา



ภาพประกอบ 3.13 หน้าต่างของโปรแกรม AppServ

4. เข้า phpMyAdmin โดยคลิกที่ข้อความ phpMyAdmin Database

Manager



ภาพประกอบ 3.14 ลิงค์สำหรับเข้าฐานข้อมูล phpMyAdmin

5. เข้าสู่ระบบฐานข้อมูลด้วย username ชื่อ root และรหัสที่ตั้งค่าไว้



Language

English

Log in

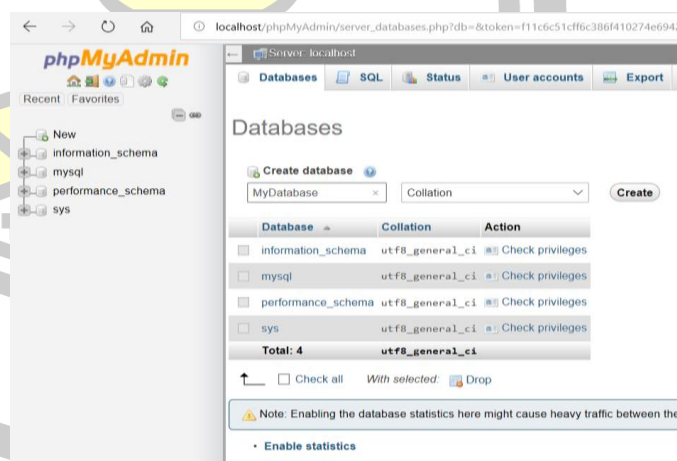
Username: root

Password:

Go

ภาพประกอบ 3.15 การเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล

6. ตั้งชื่อฐานข้อมูล (ชื่อ MyDatabase) คลิก Create



phpMyAdmin

localhost/phpMyAdmin/server_databases.php?db=&token=f11c6c51cff6c386f410274e6942

Server: localhost

Databases SQL Status User accounts Export

Databases

Create database

MyDatabase Collation

Create

Database	Collation	Action
<input type="checkbox"/> information_schema	utf8_general_ci	Check privileges
<input type="checkbox"/> mysql	utf8_general_ci	Check privileges
<input type="checkbox"/> performance_schema	utf8_general_ci	Check privileges
<input type="checkbox"/> sys	utf8_general_ci	Check privileges
Total: 4	utf8_general_ci	

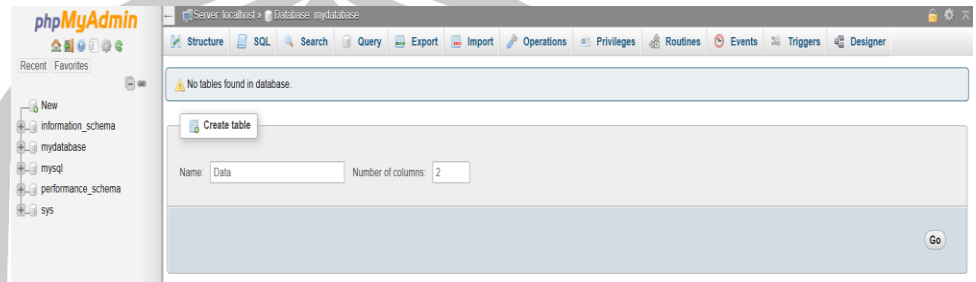
Check all With selected: Drop

Note: Enabling the database statistics here might cause heavy traffic between the

Enable statistics

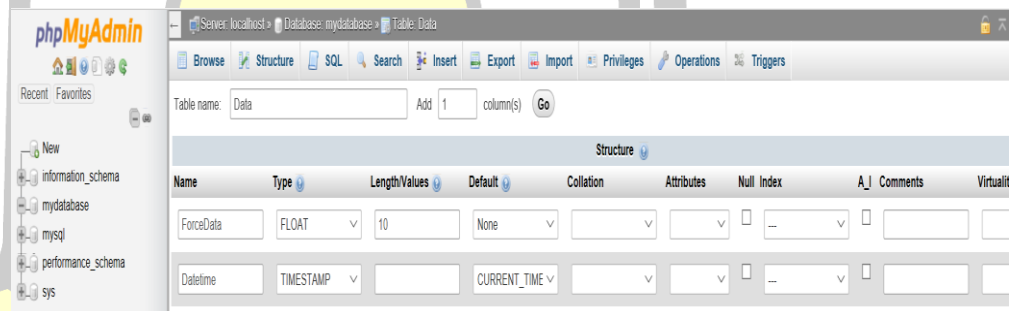
ภาพประกอบ 3.16 การตั้งชื่อฐานข้อมูล

7. สร้างตารางชื่อ Data ให้มี 2 คอลัมน์ (คอลัมน์แรกเก็บค่าแรงกด คอลัมน์ที่สองเก็บค่าเวลา)



ภาพประกอบ 3.17 สร้างตารางของฐานข้อมูล

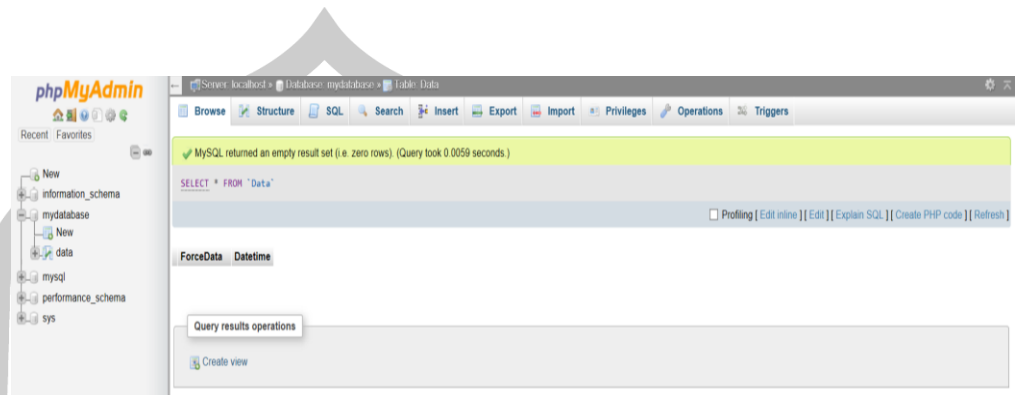
8. ตั้งชื่อคอลัมน์ (คอลัมน์แรกชื่อ ForceData เก็บค่าแรงกด คอลัมน์ที่สองชื่อ Datetime เก็บค่าเวลา) ข้อมูล ForceData เก็บอยู่ในรูปทศนิยม ข้อมูล Datetime เก็บในรูปแบบ ปี/เดือน/วัน และเวลา ชั่วโมง:นาที



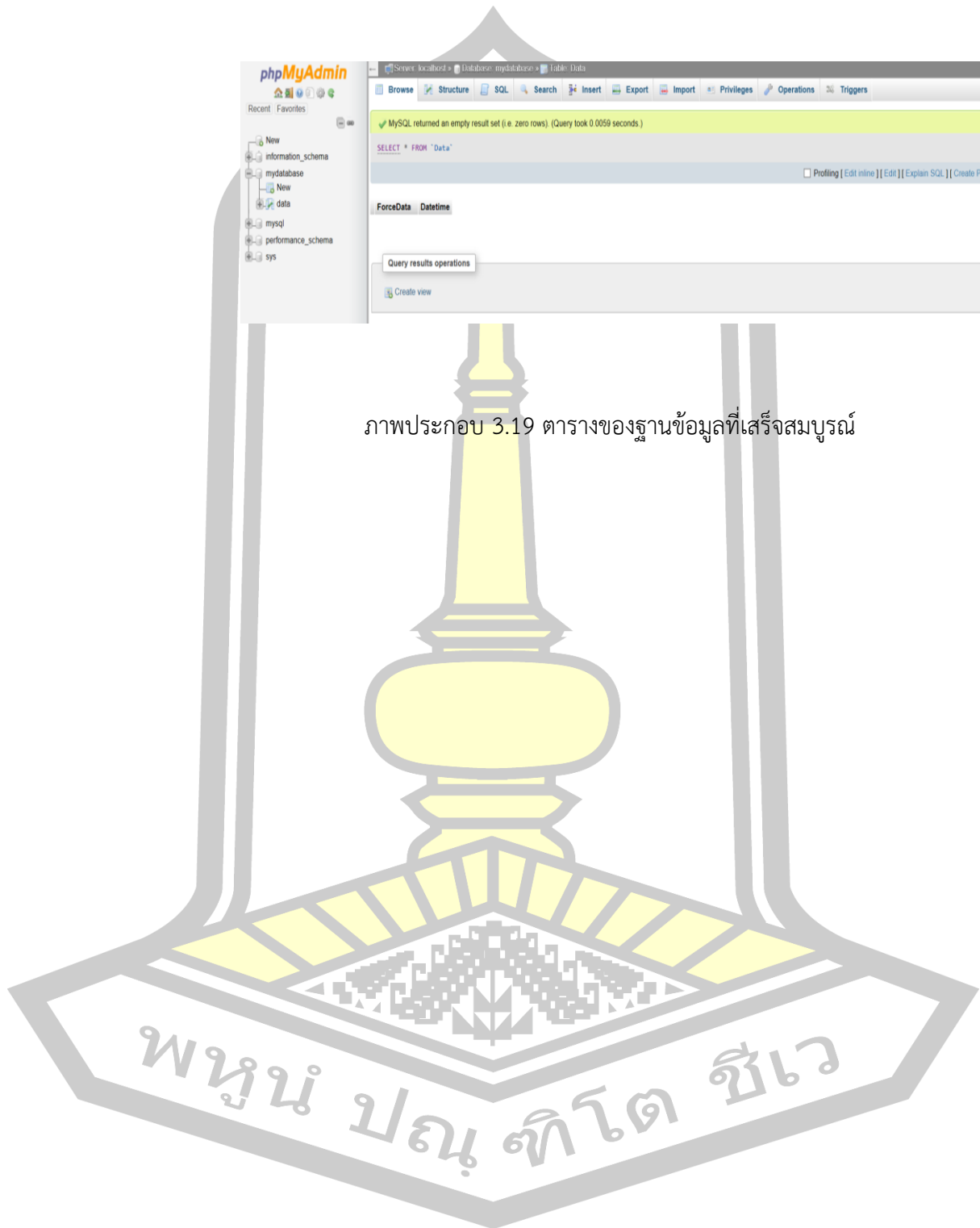
ภาพประกอบ 3.18 การตั้งชื่อคอลัมน์เพื่อเก็บข้อมูล

พหุ ประถมศึกษา

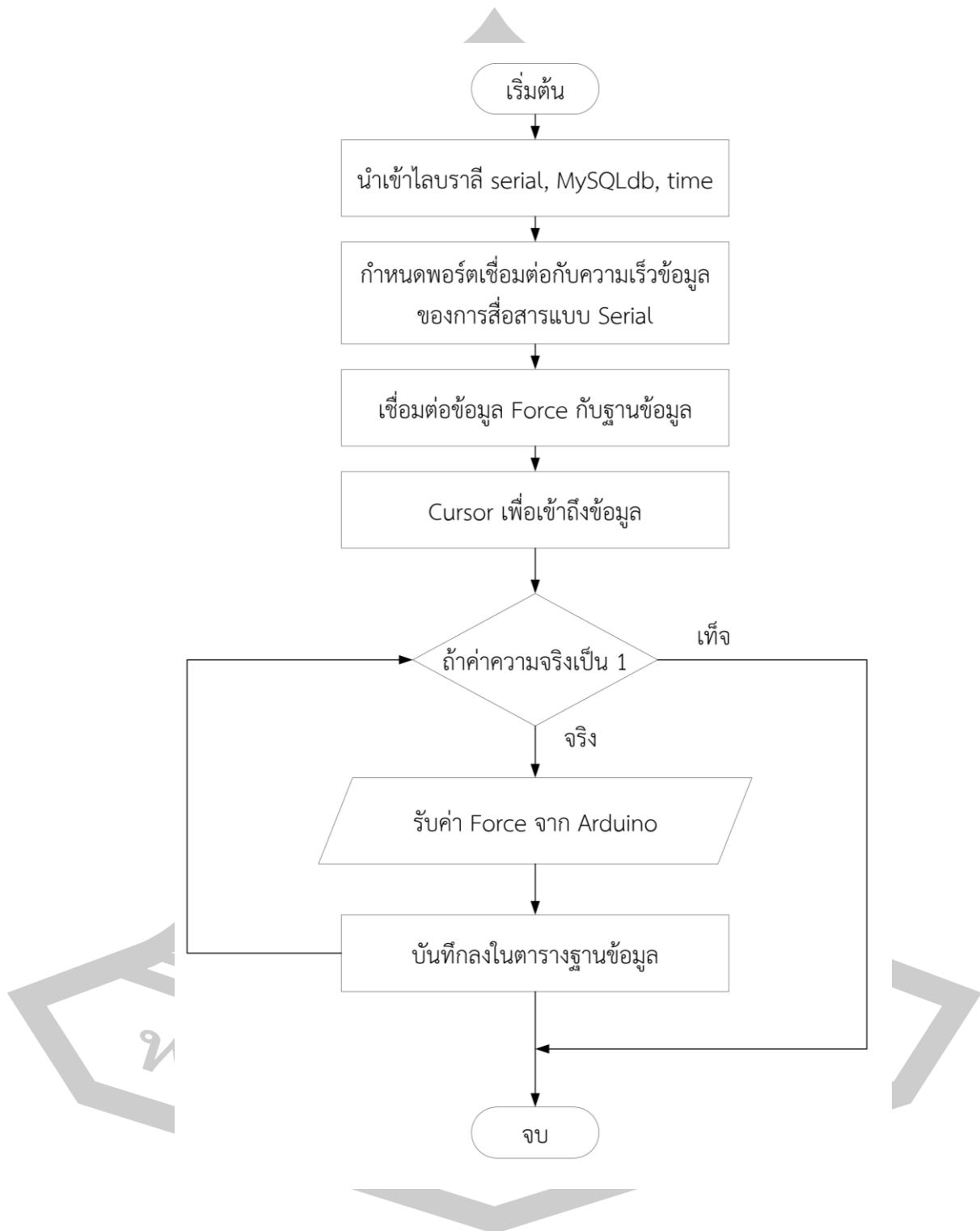
9. แสดงตารางของฐานข้อมูล



ภาพประกอบ 3.19 ตารางของฐานข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์



3.1.2.6 การเขียนโปรแกรม python เพื่อติดต่อระหว่าง Arduino กับ ฐานข้อมูล



ภาพประกอบ 3.20 แผนภาพแสดงการนำข้อมูลจาก Arduino ไปยังฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม python

3.1.2.7 ส่วนของโปรแกรม

```
import serial
import MySQLdb
import time

ser = serial.Serial("COM4", 9600)
db = MySQLdb.connect("localhost", "root", "ekkarat176", "mydatabase")
cursor = db.cursor()

while 1:
    print("Get data")
    print("")
    x = ser.readline()
    print("Data has been inserted")
    print("")
    time.sleep(1)
    x = float(x)
    sql = "INSERT INTO Data(ForceData) VALUES (%f)"%(x)
    cursor.execute(sql)
    db.commit()
```

ภาพประกอบ 3.21 ส่วนของโปรแกรม python



วิธีการวัดเริ่มจากการปรับความดันอากาศจาก air regulator โดยการปรับลดความดันอากาศเรื่อยๆเพื่อให้แรงกดของกระบอกสูบลดลงทีละ 1 นิวตัน เมื่อแรงกดลดลง 1 นิวตันแล้วให้ทำการบันทึกผลของ แรงกดของการะบอกสูบ ค่าความดันอากาศ และค่าแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาเส้นแนวโน้ม (regression line) ระหว่างค่า แรงกดของการะบอกสูบกับค่าความดันอากาศ แรงกดของการะบอกสูบกับค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าแรงกดของการะบอกสูบกับค่าแรงดันไฟฟ้า ด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Excel

2. เปรียบเทียบค่าแรงกดของกระบอกสูบของหัวกดระหว่างการวัดจากโหลดเซลล์กับการวัดจากโปรแกรม เมื่อหาสมการของเส้นแนวโน้มของแรงกดของกระบอกสูบและค่าแรงดันไฟฟ้าได้แล้ว นำสมการมาใช้ในการคำนวณภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO เพื่อแสดงและเก็บค่าแรงกด เลือกตัวอย่างกระบอกสูบของหัวกด ดังนี้ หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของกล่องหน้า (กระบอกสูบลุ่น SMC MXS8-75) หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของไมโครโฟน (กระบอกสูบลุ่น SMC MXS8L-75) และหัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของปุ่มกด (keypad) (กระบอกสูบลุ่น SMC MXS8-75) วิธีการวัดเริ่มจากการปรับความดันอากาศจาก air regulator โดยการปรับลดความดันอากาศเรื่อยๆเพื่อให้แรงกดของกระบอกสูบลดลงทีละ 1 นิวตัน เมื่อแรงกดลดลง 1 นิวตันแล้วให้ทำการบันทึกผลของ แรงกดของการะบอกสูบของค่าที่อ่านได้จากโหลดเซลล์กับค่าที่อ่านได้จากโปรแกรม โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาเส้นแนวโน้ม (regression line) ด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Excel



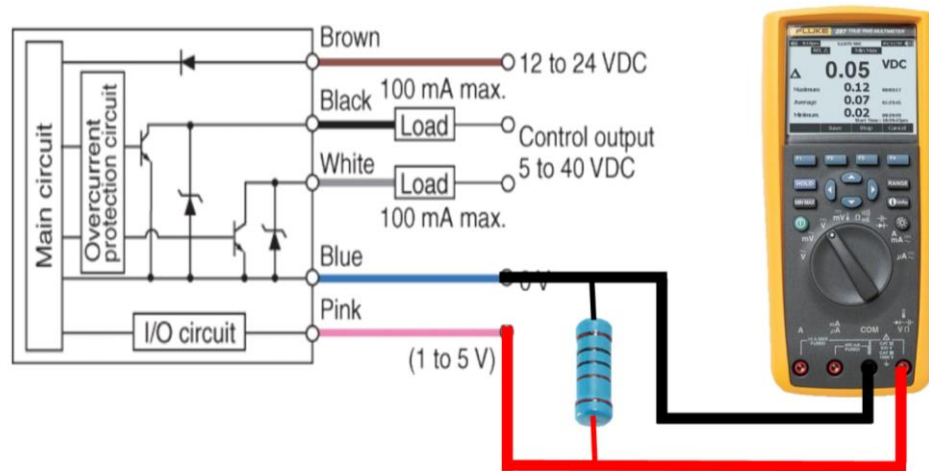
ตาราง 4.1(ต่อ)

Force(N)	Pressure(MPa)			Average pressure
31	0.305	0.309	0.305	0.306
32	0.315	0.318	0.314	0.316
33	0.326	0.328	0.335	0.330
34	0.333	0.344	0.344	0.340
35	0.343	0.354	0.352	0.350
36	0.357	0.361	0.366	0.361
37	0.364	0.372	0.374	0.370
38	0.377	0.381	0.383	0.380
39	0.392	0.398	0.398	0.396
40	0.400	0.403	0.405	0.403
41	0.409	0.411	0.413	0.411
42	0.414	0.424	0.426	0.421
43	0.424	0.431	0.434	0.430
44	0.440	0.444	0.441	0.442
45	0.453	0.448	0.453	0.451
46	0.458	0.465	0.464	0.462
47	0.470	0.471	0.478	0.473
48	0.484	0.486	0.484	0.485
49	0.487	0.493	0.489	0.490
50	0.497	0.498	0.499	0.498

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและค่าแรงดันไฟฟ้าของการวัดโดยใช้โพลดเซลล์

การวัดสัญญาณไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ โดยมีการต่อตัวต้านทานขนาด 1k Ω คร่อมระหว่างสายสัญญาณแอนะล็อกกับสายกราวด์ ดังภาพประกอบ 3.22

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพประกอบ 3.24 การวัดสัญญาณไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ

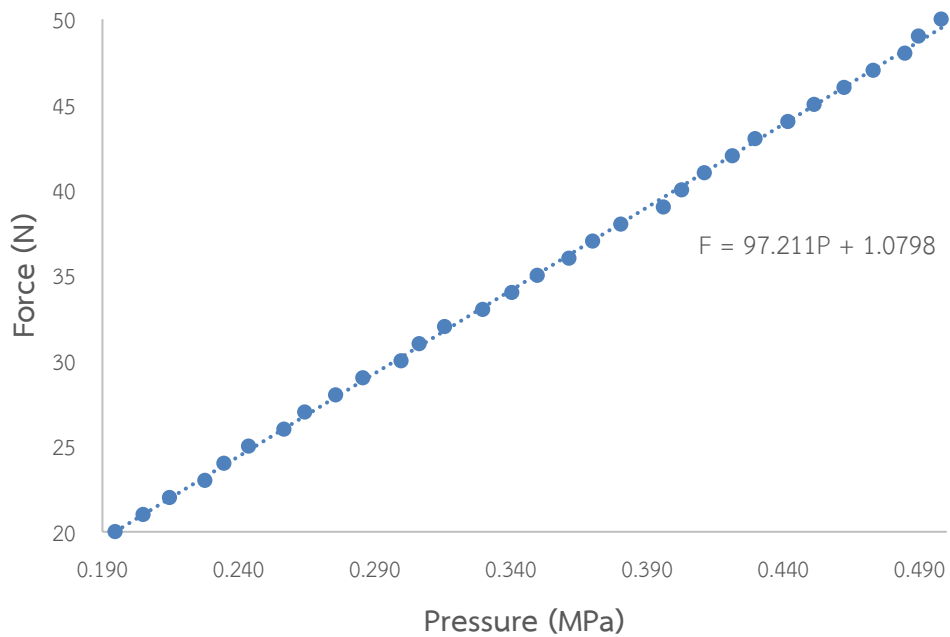
ตาราง 4.2 ข้อมูลแรงกดและค่าแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ

Force(N)	Voltage (V)			Average voltage (V)
20	0.339	0.342	0.338	0.340
21	0.347	0.35	0.344	0.347
22	0.357	0.355	0.354	0.355
23	0.369	0.367	0.364	0.367
24	0.376	0.371	0.372	0.373
25	0.384	0.382	0.38	0.382
26	0.391	0.389	0.388	0.389
27	0.396	0.399	0.395	0.397
28	0.404	0.403	0.402	0.403
29	0.411	0.415	0.414	0.413
30	0.422	0.424	0.423	0.423
31	0.426	0.427	0.429	0.427
32	0.437	0.433	0.436	0.435
33	0.442	0.443	0.445	0.443
34	0.451	0.449	0.452	0.451
35	0.457	0.461	0.461	0.460
36	0.461	0.465	0.468	0.465
37	0.471	0.474	0.475	0.473

ตาราง 4.2 (ต่อ)

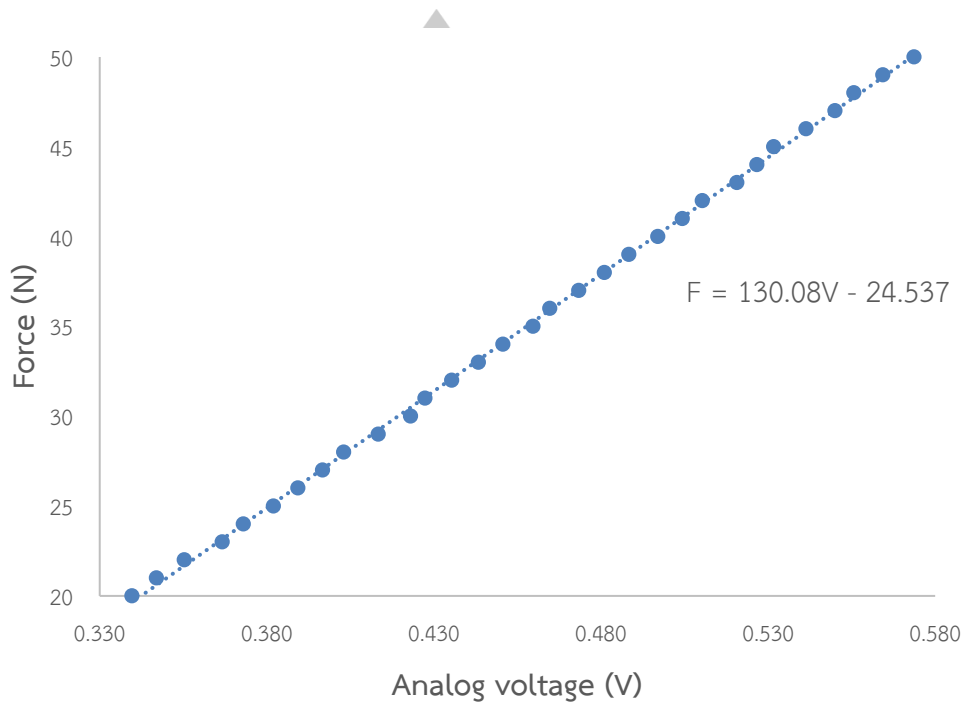
Force(N)	Voltage (V)			Average voltage (V)
38	0.479	0.484	0.48	0.481
39	0.487	0.49	0.488	0.488
40	0.494	0.501	0.496	0.497
41	0.501	0.508	0.504	0.504
42	0.511	0.513	0.507	0.510
43	0.521	0.523	0.518	0.521
44	0.526	0.529	0.525	0.527
45	0.53	0.533	0.532	0.532
46	0.541	0.543	0.54	0.541
47	0.549	0.551	0.55	0.550
48	0.553	0.558	0.556	0.556
49	0.565	0.564	0.564	0.564
50	0.573	0.574	0.574	0.574

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับความดันอากาศ



ภาพประกอบ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับความดันอากาศ

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับแรงดันไฟฟ้า



ภาพประกอบ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับแรงดันไฟฟ้า

จากสมการของเส้นแนวโน้มของค่าแรงกดกับค่าแรงดันจากสัญญาณแอนะล็อก แสดงให้เห็นว่าแรงกดกับแรงดันไฟฟ้าจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยจึงนำสมการดังกล่าวมาเขียนในโปรแกรม Arduino

$$Force = 130.08 \times voltage - 24.537 \quad (4.1)$$

โดยที่ Force คือ ค่าแรงกด
Voltage คือ แรงดันจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ

พหุ ประถม ศึกษาศาสตร์

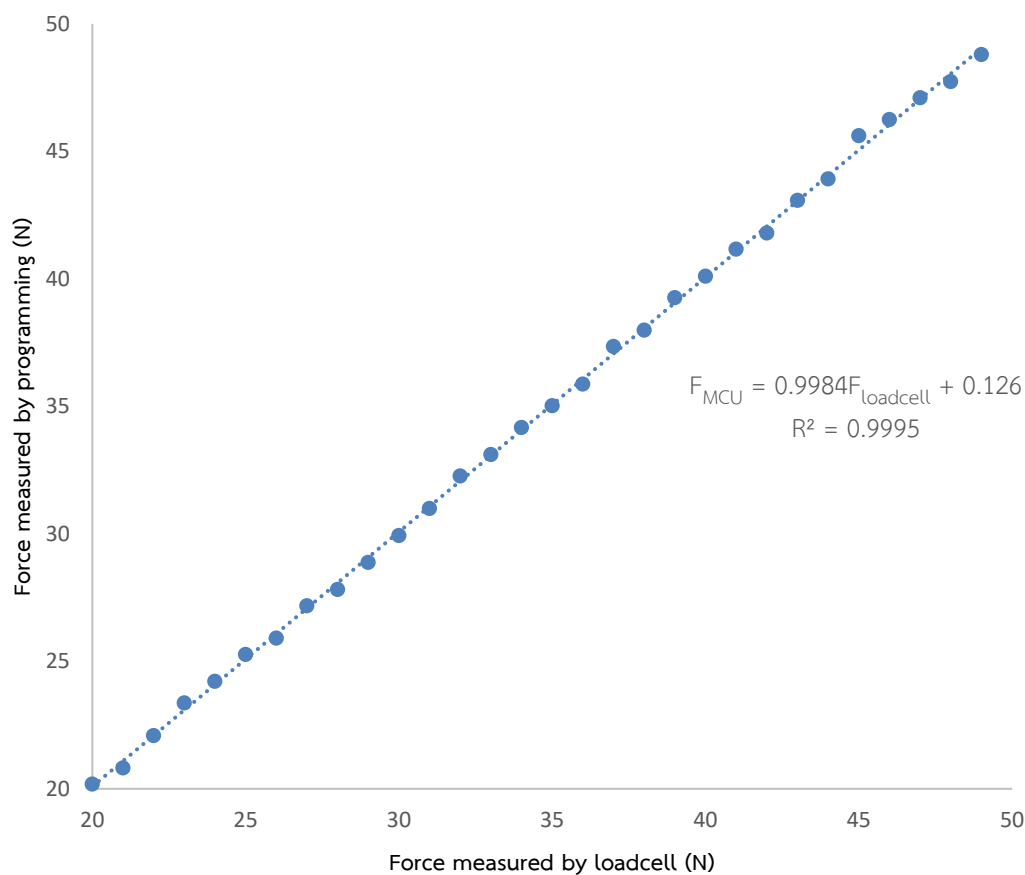
4.5 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกดของโพลิตเซลล์กับแรงกดจากโปรแกรมไมโครโปรเซสเซอร์

ตาราง 4.3 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของกล่องหน้า รุ่น SMC MXS8-75

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
20	19.97	19.97	20.60	20.18	0.009
21	20.60	21.24	20.60	20.81	0.009
22	21.87	21.87	22.51	22.08	0.004
23	23.15	23.78	23.15	23.36	0.016
24	24.42	24.42	23.78	24.21	0.009
25	25.05	25.05	25.69	25.26	0.011
26	25.69	25.69	26.33	25.90	0.004
27	26.96	26.96	27.60	27.17	0.006
28	27.60	27.60	28.23	27.81	0.007
29	28.87	28.87	28.87	28.87	0.004
30	29.50	30.14	30.14	29.93	0.002
31	30.78	30.78	31.41	30.99	0.000
32	32.05	32.68	32.05	32.26	0.008
33	32.68	33.32	33.32	33.11	0.003
34	33.95	33.95	34.59	34.16	0.005
35	34.59	35.23	35.23	35.02	0.000
36	35.86	35.23	36.50	35.86	0.004
37	37.13	37.13	37.77	37.34	0.009
38	37.77	37.77	38.40	37.98	0.001
39	39.04	39.04	39.68	39.25	0.006
40	39.68	40.31	40.31	40.10	0.003
41	40.95	40.95	41.58	41.16	0.004
42	41.58	41.58	42.22	41.79	0.005
43	42.86	42.86	43.49	43.07	0.002
44	43.49	44.13	44.13	43.92	0.002
45	45.40	46.03	45.40	45.61	0.014
46	46.03	46.03	46.67	46.24	0.005

ตาราง 4.3 (ต่อ)

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
47	47.31	46.67	47.31	47.10	0.002
48	47.94	47.94	47.31	47.73	0.006
49	48.58	49.21	48.58	48.79	0.004



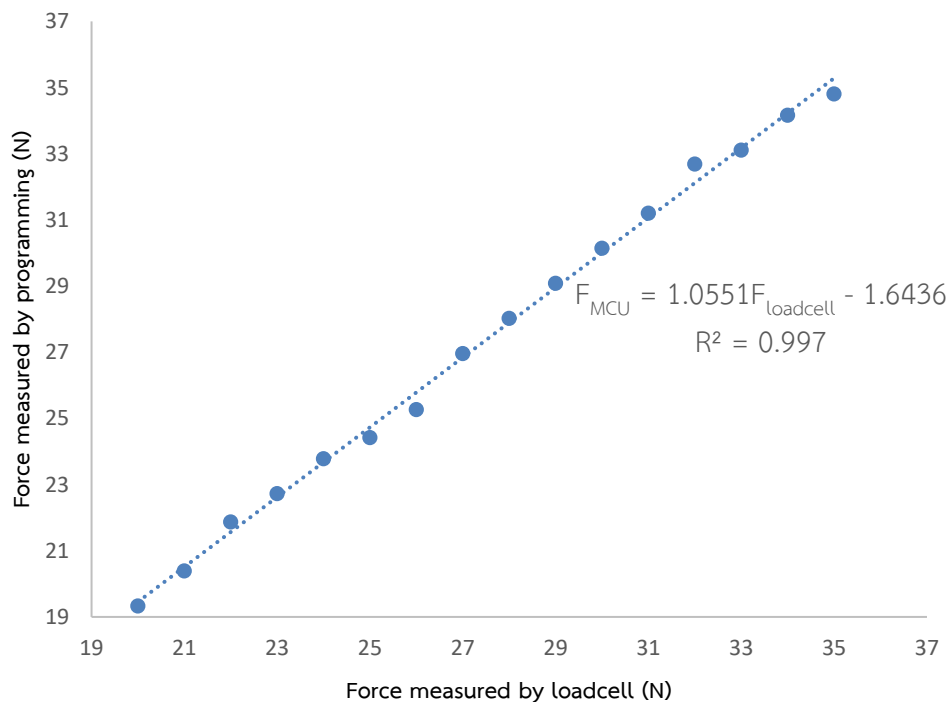
ภาพประกอบ 3.27 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโหลดเซลล์ของระบบอกสูบล้างหน้า

ตาราง 4.4 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของไมโครโฟน รุ่น MXS8L-75

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
20.00	19.33	19.33	19.33	19.33	0.034
21.00	20.60	20.60	19.97	20.39	0.029
22.00	21.87	21.87	21.87	21.87	0.006
23.00	22.51	23.15	22.51	22.72	0.012

ตาราง 4.4 (ต่อ)

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
24.00	23.78	23.78	23.78	23.78	0.009
25.00	24.42	24.42	24.42	24.42	0.023
26.00	25.05	25.05	25.69	25.26	0.028
27.00	26.96	26.96	26.96	26.96	0.001
28.00	27.60	28.23	28.23	28.02	0.001
29.00	28.87	29.50	28.87	29.08	0.003
30.00	30.14	30.78	29.50	30.14	0.005
31.00	30.78	31.41	31.41	31.20	0.006
32.00	32.05	32.68	33.32	32.68	0.021
33.00	33.32	32.68	33.32	33.11	0.003
34.00	33.95	33.95	34.59	34.16	0.005
35.00	34.59	34.59	35.23	34.80	0.006



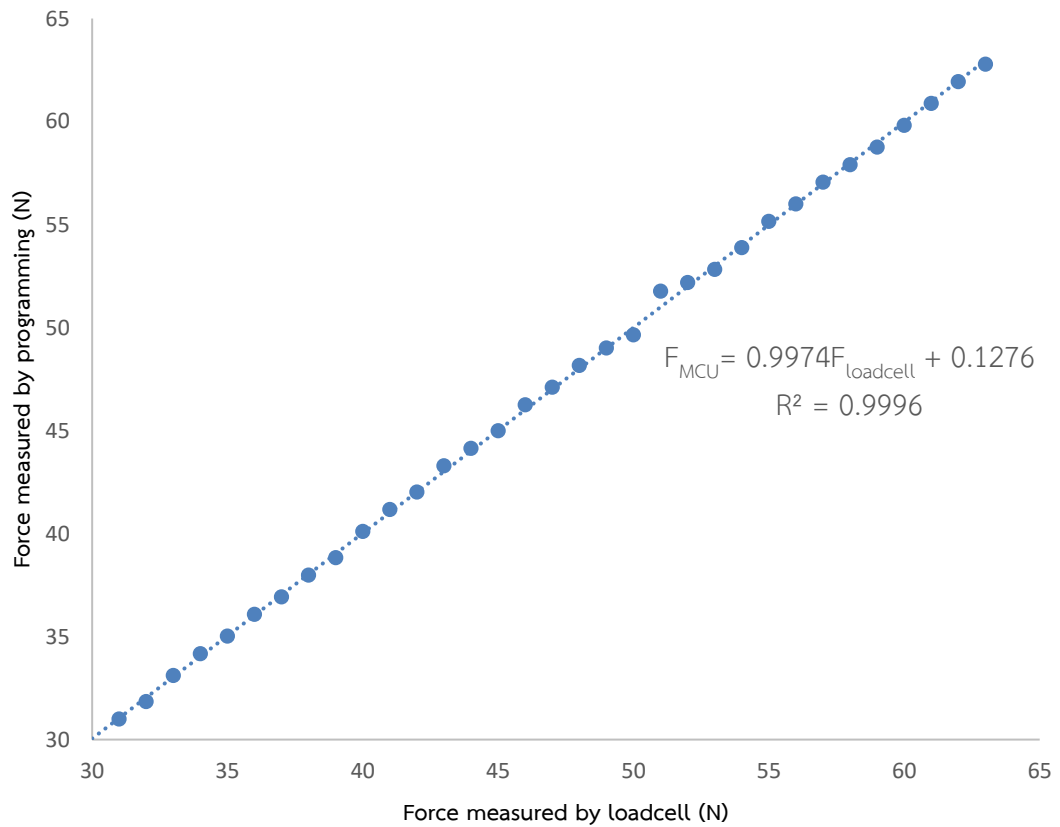
ภาพประกอบ 3.28 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโหลดเซลล์ของกระบอกสูบไมโครโฟน

ตาราง 4. 5 หัวกดจุดต่อทางไฟฟ้าของปุ่มกด (keypad) รุ่น MXS8-75

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
30	29.50	30.14	29.50	29.71	0.010
31	30.78	31.41	30.78	30.99	0.000
32	31.41	32.05	32.05	31.84	0.005
33	32.68	33.32	33.32	33.11	0.003
34	33.95	34.59	33.95	34.16	0.005
35	35.23	34.59	35.23	35.02	0.000
36	35.86	36.50	35.86	36.07	0.002
37	37.13	36.50	37.13	36.92	0.002
38	37.77	38.40	37.77	37.98	0.001
39	39.04	38.40	39.04	38.83	0.004
40	39.68	40.31	40.31	40.10	0.003
41	40.95	40.95	41.58	41.16	0.004
42	41.58	42.22	42.22	42.01	0.000
43	43.49	43.49	42.86	43.28	0.007
44	44.13	44.13	44.13	44.13	0.003
45	44.76	44.76	45.43	44.98	0.000
46	46.03	46.03	46.67	46.24	0.005
47	46.67	47.31	47.31	47.10	0.002
48	47.94	47.94	48.58	48.15	0.003
49	49.21	48.58	49.21	49.00	0.000
50	49.85	49.21	49.85	49.64	0.007
51	51.12	51.76	52.39	51.76	0.015
52	52.39	51.76	52.39	52.18	0.003
53	53.03	53.03	52.39	52.82	0.003
54	53.66	53.66	54.30	53.87	0.002
55	54.94	55.57	54.94	55.15	0.003
56	55.57	56.21	56.21	56.00	0.000
57	56.84	57.48	56.84	57.05	0.001

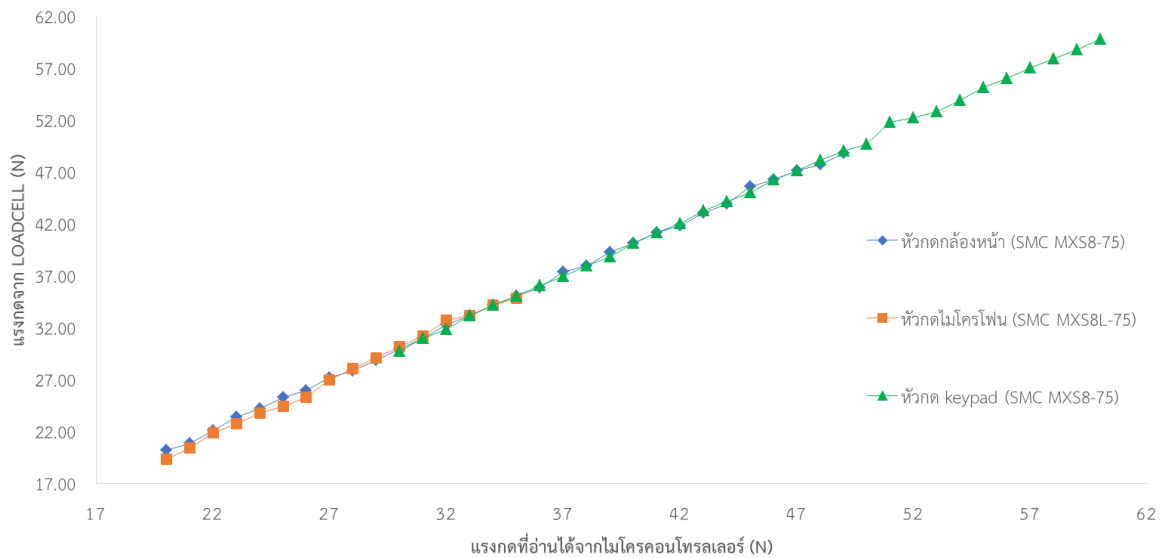
ตาราง 4.5 (ต่อ)

Force(N)	Force from Arduino (N)			Average force(N)	%error
58	58.11	58.11	57.48	57.90	0.002
59	58.75	58.75	58.75	58.75	0.004
60	60.02	59.39	60.02	59.81	0.003
61	60.66	61.29	60.66	60.87	0.002
62	61.93	61.93	61.93	61.93	0.001
63	62.56	63.20	62.56	62.77	0.004



ภาพประกอบ 3.29 แรงกดจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับโหลดเซลล์ของกระบอกสูบปุ่มกด

4.6 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกดของโหลดเซลล์กับแรงกดจากไมโครโปรเซสเซอร์ของหัวกดแบบกระบอกสูบที่กดจุดเชื่อมต่อส่วนต่างๆ



ภาพประกอบ 3.30 การเปรียบเทียบผลการวัดแรงกดของโหลดเซลล์กับแรงกดจากไมโครโปรเซสเซอร์ของหัวกดแบบกระบอกสูบที่กดจุดเชื่อมต่อส่วนต่างๆ

จากกราฟ แสดงให้เห็นว่าผลการการ (4.1) วัดแรงกดจากโปรแกรม Arduino ของหัวกดทั้ง 3 ชนิด มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าสมการ สามารถใช้ได้กับหัวกดที่ใช้ cylinder รุ่นที่มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวลูกสูบ (Bore) และค่าความยาวของกระบอกสูบ (Stroke) เท่ากัน

พหุ ประถม ชาติ ชีวะ

บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากขั้นตอนต่าง ๆ ของการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ในโรงงานจากนั้นนำมาออกแบบเครื่องเพื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกด ค่าความดันอากาศและค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์ แล้วนำมาเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงค่าแรงกด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ค่าแรงกดที่ได้จากโปรแกรมมีค่าที่ใกล้เคียงกับแรงกดที่วัดได้จากโหลดเซลล์ โดยค่าความผิดพลาดของแรงกดที่วัดได้จากไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อเทียบกับแรงกดที่วัดได้จากโหลดเซลล์ของหัวกดกล้องหน้า (กระบอกสูบรุ่น SMC MXS8-75) อยู่ระหว่าง 0.001-0.016%
2. ค่าความผิดพลาดของแรงกดที่วัดได้จากไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อเทียบกับแรงกดที่วัดได้จากโหลดเซลล์ของหัวกด ไมโครโฟน (กระบอกสูบรุ่น SMC MXS8L-75) อยู่ระหว่าง 0.001-0.034%
3. ค่าความผิดพลาดของแรงกดที่วัดได้จากไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อเทียบกับแรงกดที่วัดได้จากโหลดเซลล์ของหัวกด ปุ่มกด (keypad) (กระบอกสูบรุ่น SMC MXS8-75) อยู่ระหว่าง 0.001-0.015%
4. สามารถนำข้อมูลแรงกดเก็บในฐานข้อมูลได้ และสามารถวัดแรงกดของเครื่องกดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของกระบอกสูบที่เท่ากันได้

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาการทดลองพบว่า ระบบวัดแรงกดจากเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ สามารถใช้แทนการวัดแรงกดด้วย force gauge กับโหลดเซลล์
2. สามารถติดตั้งระบบวัดแรงกดแบบใหม่กับเครื่องกดได้ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเครื่องกด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ค่าแรงดันที่ Arduino แพลตฟอร์มยังมีค่าไม่คงที่ จำเป็นจะต้องเพิ่มวงจรระดับแรงดันไฟฟ้า
2. อาจใช้ Raspberry Pi รับสัญญาณจาก เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ ด้วย GPIO

บรรณานุกรม



พหุมนุ ปรณ ทิโต ชีเว

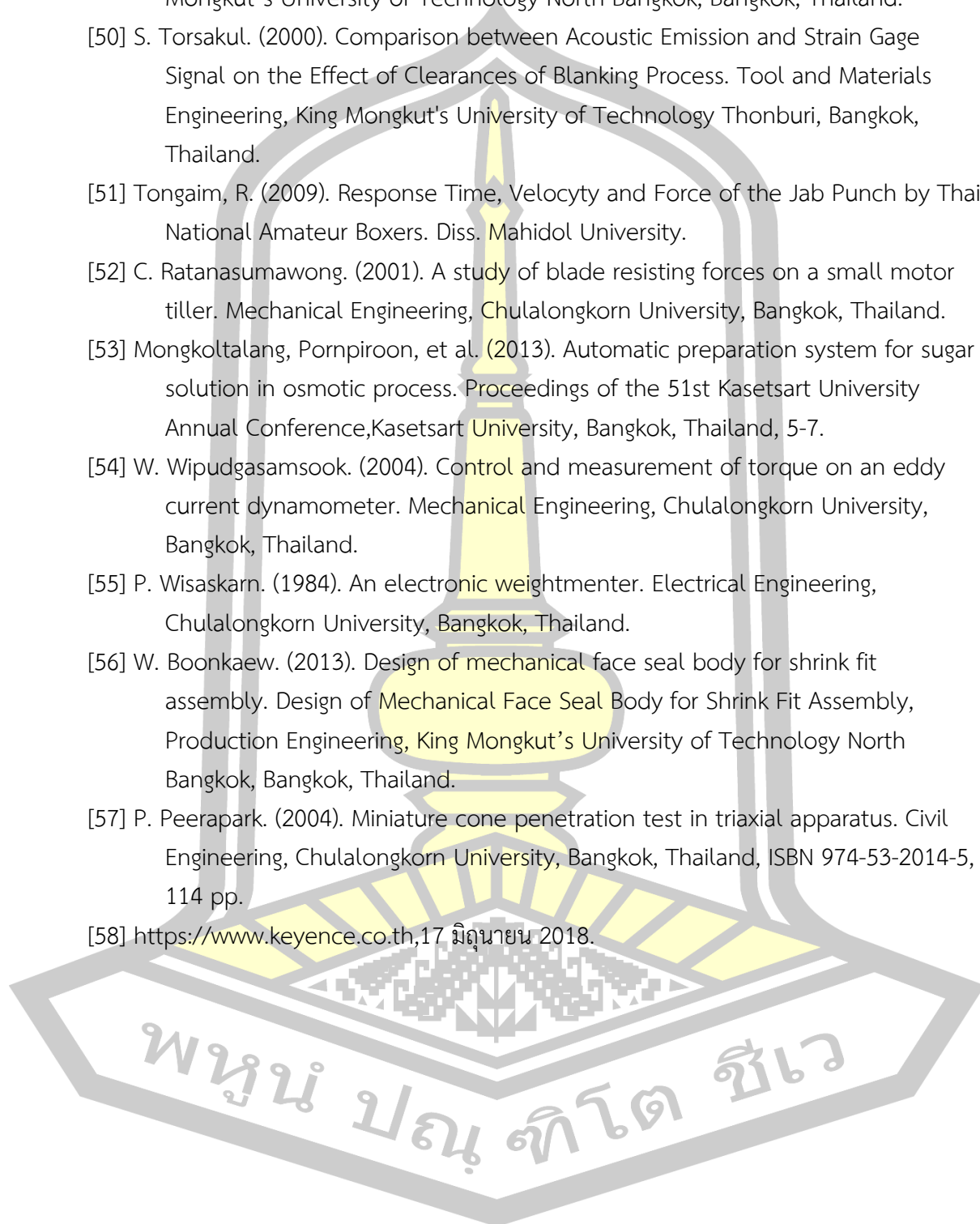
บรรณานุกรม

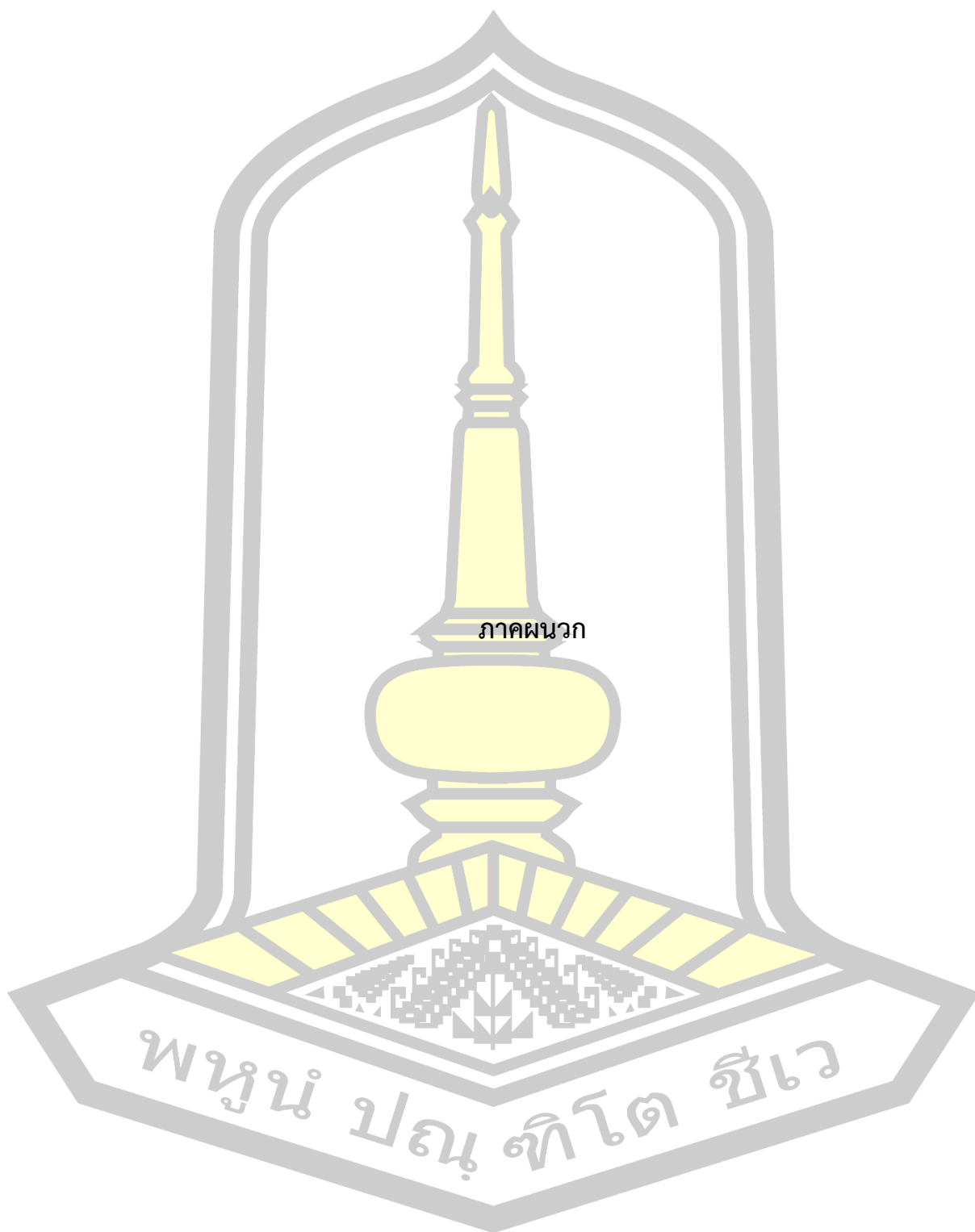
- [1] บริษัทโซนี่ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด, 2 ธันวาคม 2017.
- [2] https://lh3.googleusercontent.com/bYfkqFxV2rqpRoagBcs5P0p54QQmmMelfJbpDP7ORXSLJhBEo7uCe01W85KetxDIF7_fw=s85, 2 ธันวาคม 2017.
- [3] Xie, Shenglong, et al. (2018). Hysteresis modeling and trajectory tracking control of the pneumatic muscle actuator using modified Prandtl–Ishlinskii model. *Mechanism and Machine Theory* 120, 213-224.
- [4] Sorli, Massimo, and Stefano Pastorelli.(2000). Performance of a pneumatic force controlling servosystem: influence of valves conductance. *Robotics and Autonomous Systems* 30.3, 283-300.
- [5] Wache, Alexander, et al. (2017). Iterative Learning Control of a Pneumatically Actuated Lung Tumour Mimic Model. *IFAC-PapersOnLine* 50.1 , 7592-7597.
- [6] Yi, P., et al. (2012). Research for the clamping force control of pneumatic manipulator based on the mixed sensitivity method. *Procedia Engineering*, 31, 1225-1233.
- [7] Ying, Chen, et al. (2007). Design and hybrid control of the pneumatic force-feedback systems for Arm-Exoskeleton by using on/off valve. *Mechatronics* 17.6, 325-335.
- [8] Nakamura, Taro, and Hitomi Shinohara. (2007). Position and force control based on mathematical models of pneumatic artificial muscles reinforced by straight glass fibers. *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on.* IEEE.
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Drawbar_force_gauge, 2 ธันวาคม 2017.
- [10] <http://dynodynamicsthailand.blogspot.com/2015/07/dynamometer.html>, 3 ธันวาคม 2017.
- [11] <https://www.factomart.com>, 3 ธันวาคม 2017.
- [12] <http://www.ตาซังดิจิตอล.net>, 3 ธันวาคม 2017.
- [13] <https://cdn.shopify.com/s/files/1/1639/5867/products/B071H7HQJK00.jpg?v=1494558116>, 5 ธันวาคม 2017.
- [14] https://cdn.shopify.com/s/files/1/1639/5867/products/Rosineer_Pneumatic_Press_PV1-2.jpg?v=1490208814, 7 ธันวาคม 2017.

- [15] http://www.airhydraulics.com/Portals/10/Images/Custom/CSeries_8252_FullSize.gif, 13 ธันวาคม 2017.
- [16] <https://image.made-in-china.com/2f0j00anjELgPyhQcN/Small-Hydraulic-Press-Machine-for-Sale.jpg>, 13 ธันวาคม 2017.
- [17] http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/11656-2893311.jpg, 20 ธันวาคม 2017.
- [18] <http://www.ไฮดรอลิก.net/images/Product/Hydraulic-Accessories/Symbols-Glossary-part1.png>, 20 ธันวาคม 2017.
- [19] <http://www.ไฮดรอลิก.net/images/Product/Hydraulic-Accessories/Symbols-Glossary-part2.png>, 20 ธันวาคม 2017.
- [20] <http://www.ไฮดรอลิก.net/images/Product/Hydraulic-Accessories/Symbols-Glossary-part3.png>, 5 มกราคม 2018.
- [21] <http://wiki.dtonline.org/images/a/a3/PneumaticsSingleActingCylinder.jpg>, 5 มกราคม 2018.
- [22] <http://wiki.dtonline.org/images/f/fd/PneumaticsDoubleActingCylinder.jpg>, 5 มกราคม 2018.
- [23] ฐิถารีย์ ถมยา. (2546). นิวเมติกส์และนิวเมติกส์ไฟฟ้าเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [24] http://webstaff.kmutt.ac.th/~itheepen/WBI-Pneum/part_5/Valves_2.htm, 5 มกราคม 2018.
- [25] <http://www.hydraulic-thai.net/images/Product/Flow-Control-Valves/ex-Flow-control.png>, 7 มกราคม 2018.
- [26] https://www.idealvac.com/files/images/Bourdon_QtrNPT_1.jpg, 7 มกราคม 2018.
- [27] <http://www.prisma-instruments.com/images/pages/60.jpg>, 7 มกราคม 2018.
- [28] http://www.isimatik.com/img/kategori_img/b/MTU3ODczMjkyNzA2ZDg.jpg, 7 มกราคม 2018.
- [29] <https://assets-alpha.megadepot.com/product/image.640x640/mercoid/1004W-A1-D.jpg>, 7 มกราคม 2018.
- [30] <https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/104562717/2Aaa.jpg?version=1&modificationDate=1400485473000&api=v2>, 8 มกราคม 2018.
- [31] https://www.trafag.at/fileadmin/_processed_/e/1/csm_PIM-300-001_Teaser_Zoom_44d6b13be0.jpg, 8 มกราคม 2018.
- [32] https://www.baumer.com/medias/sys_master/images/images/ha2/hf8/8888156160030.png, 8 มกราคม 2018.
- [33] http://www.โหลดเซลล์summingbox.com/productimgage/up/image/20160429/20160429163953_0762.jpg, 8 มกราคม 2018.

- [34] http://www.noshok.com/images/force/4000_series/4000_Series_Load_Cell_Gauge_LG.jpg, 15 มกราคม 2018.
- [35] <http://www.instrumentationtoday.com/wp-content/uploads/2011/07/Pneumatic-Load-Cell.jpg>, 15 มกราคม 2018.
- [36] <https://i1.wp.com/assetsstock.com/wp-content/uploads/2018/04/global-multi-component-crystal-force-sensor-market.jpg?fit=300%2C300&ssl=1>, 19 มีนาคม 2018.
- [37] <http://nptel.ac.in/courses/112104160/lecture6/images/fig6.1.jpg>, 19 มีนาคม 2018.
- [38] <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/conversion/adc/images/counting1.GIF>, 19 มีนาคม 2018.
- [39] https://e2e.ti.com/resized-image/_size/1230x0/_key/communityserver-discussions-componentsfiles/73/3060.SA_5F00_ADC_5F00_block_5F00_diagram.png, 19 มีนาคม 2018.
- [40] http://lh6.ggpht.com/-T2cunjex-al/UFaw_JZTpGI/AAAAAAAAAK0/-l4GmpvU5JU/clip_image014%25255B2%25255D.gif?imgmax=800, 25 มีนาคม 2018.
- [41] http://lh4.ggpht.com/-Sg7X6tCpPBS/UFayKEZpZpl/AAAAAAAAAOo/9cRsDL_E-Qg/s1600-h/clip_image028%25255B3%25255D.gif, 25 มีนาคม 2018.
- [42] <https://i2.wp.com/www.philbywhizz.com/wp-content/uploads/2015/09/Z0840006PSC.jpg?fit=619%2C350&resize=350%2C200>, 28 มีนาคม 2018.
- [43] <http://www.decadecounter.com/vta/pic/p8031ah.jpg>, 28 มีนาคม 2018.
- [44] <http://microcontrollerslab.com/wp-content/uploads/2015/08/PIC16F877A-microcontroller.jpg>, 28 มีนาคม 2018.
- [45] <https://protostack.com.au/wp-content/uploads/IC-ATMEGA328-PU.jpg>, 28 มีนาคม 2018.
- [46] <https://www.fablabs.io/media/W1siZiIsIjIwMTg5MDMvMTIvMDQvMDQvMDYvMWQxZjlkNTAtMWQ3Mi00OTU1LTgxZTctMzVkZDY5NTQzM2FkLzUxNWlONjU2Y2UzOTVmOGEzODAwMDAwMC5wbmciXSxbInAiLCJ0aHVtYiIsIjY0MHg2NDBcdTAwM0UiXV0515b4656ce395f8a38000000png?sha=fe83321e25e5ff10>, 2 เมษายน 2018.
- [47] <https://www.raspberrypi.org/app/uploads/2017/05/Raspberry-Pi-2-overhead-1-1576x1080.jpg>, 2 เมษายน 2018.
- [48] A. Srinoun. (2011). การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงกระแทกเมล็ดข้าวเปลือก. Rajamangala University of Technology Lanna, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

- [49] C. Phongcharoensuk. (2008). Bed Scale Monitor. Medical Instrumentation, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.
- [50] S. Torsakul. (2000). Comparison between Acoustic Emission and Strain Gage Signal on the Effect of Clearances of Blanking Process. Tool and Materials Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.
- [51] Tongaim, R. (2009). Response Time, Velocity and Force of the Jab Punch by Thai National Amateur Boxers. Diss. Mahidol University.
- [52] C. Ratanasumawong. (2001). A study of blade resisting forces on a small motor tiller. Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- [53] Mongkoltalang, Pornpiroon, et al. (2013). Automatic preparation system for sugar solution in osmotic process. Proceedings of the 51st Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 5-7.
- [54] W. Wipudgasamsook. (2004). Control and measurement of torque on an eddy current dynamometer. Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- [55] P. Wisaskarn. (1984). An electronic weightmeter. Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- [56] W. Boonkaew. (2013). Design of mechanical face seal body for shrink fit assembly. Design of Mechanical Face Seal Body for Shrink Fit Assembly, Production Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.
- [57] P. Peerapark. (2004). Miniature cone penetration test in triaxial apparatus. Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, ISBN 974-53-2014-5, 114 pp.
- [58] <https://www.keyence.co.th>, 17 มิถุนายน 2018.





ภาคผนวก

พหุ ประจักษ์ วิทยา



การวัดผลการทดลอง



โพลดเซลล์แบบ Button



เครื่องมือวัดสำหรับวัดแรงกดของกระบอกลูกสูบ ค่าความดันอากาศ และค่าแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์
วัดความดันอากาศ



กระบอกลูกสูบของเครื่องกด Forceman



AP-C33W

ชนิดหลัก, ชนิดแรงดันที่เป็นบวก, 1 MPa, NPN

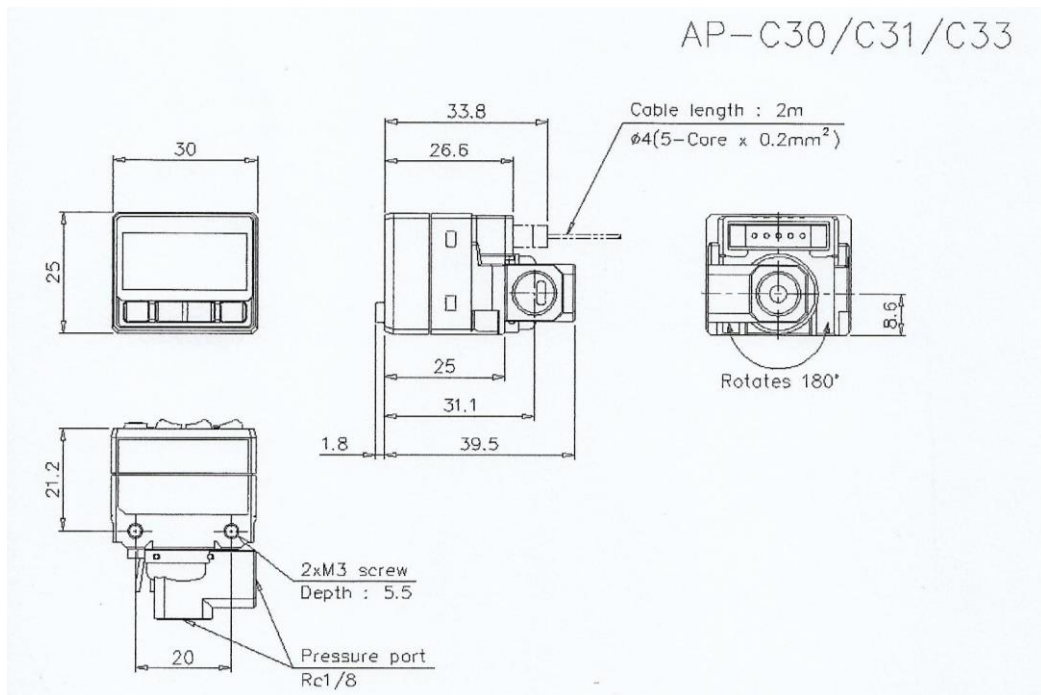


ข้อมูลจำเพาะ

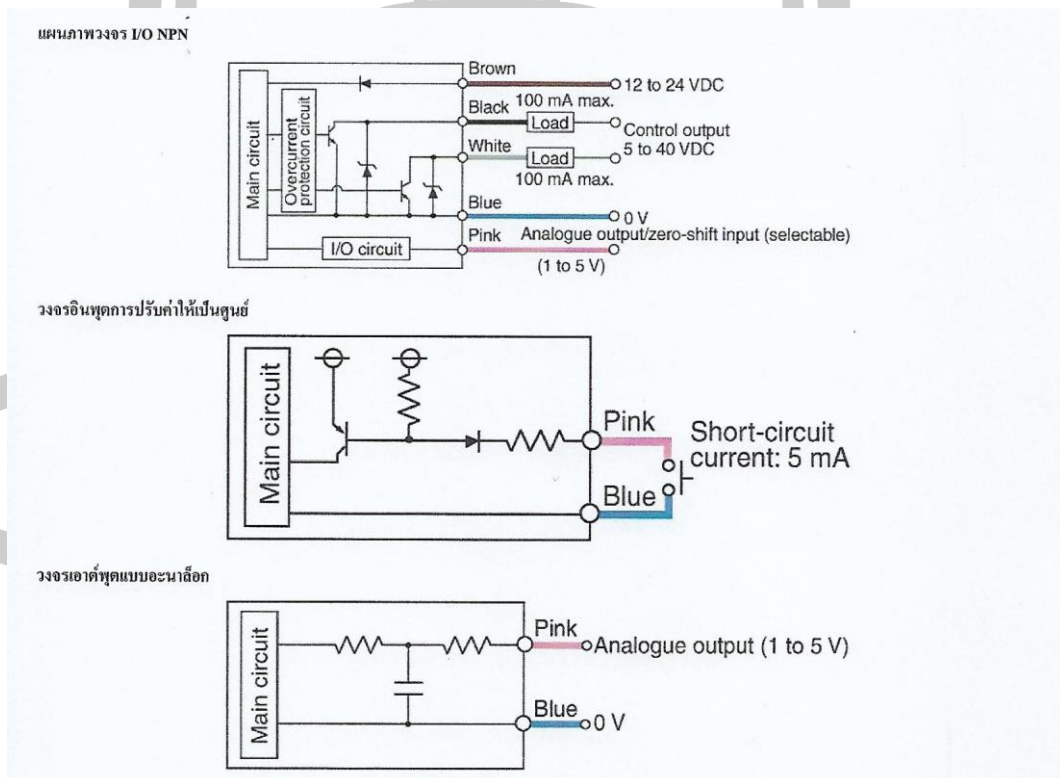
รุ่น	AP-C33W		
ชนิด	แรงดันที่เป็นบวก		
ช่วงกักแรงดัน	0 ถึง +1.000 MPa		
ชนิดของไหล	อากาศหรือก๊าซที่ไม่กัดกร่อน		
ชนิดแรงดัน	แรงดันแก๊ส		
จอแสดงผล	LED 7 Segment 3 1/2 หลัก, 2 สี (ความสูงของอักขระ: 11 มม.), รอบการแสดงผล: 10 ครั้ง/วินาที		
ไฟแสดงการทำงาน	LED สีแดง x 2 (ตามเอาต์พุตควบคุม 1 และ 2)		
การสิ้นเปลืองกำลังไฟ	ปกติ	12 V: สูงสุด 720 mW (60 mA), 24 V: สูงสุด 960 mW (40 mA)	
ความละเอียดในการแสดงผล	โหมดปกติ: 0.001 MPa, โหมดไฟกัส: 0.1 kPa		
ความผันแปรของอุณหภูมิในการแสดงผล	สูงสุด $\pm 1\%$ ของ F.S.		
Hysteresis	ปรับได้ (มาตรฐาน: 0.5% ของ F.S.) ¹		
เวลาตอบสนอง (ฟังก์ชันป้องกันการกระแทก)	2.5, 5, 100, หรือ 500 ms (เลือกได้)		
I/O	เอาต์พุตควบคุม	1 ถึง 5 V โดยมีควมต้านทานโหลดสูงสุด 1 k Ω (หรือเลือกอินพุตการปรับค่าให้เป็นศูนย์ได้)	
	เอาต์พุตแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อก	เวลาอินพุต: 2 ms หรือมากกว่า (หรือเลือกเอาต์พุตแบบอนาล็อกได้)	
	เอาต์พุตควบคุม	NPN open collector สูงสุด 100 mA (40 V) โดยมีแรงดันตกค้างสูงสุด 1 V, 2 เอาต์พุต (เลือก N.O./N.C. ได้)	
พอร์ตแรงดัน	Rc (PT) 1/8 หมุนได้ 180°		
อัตรา	แรงดันแหล่งจ่ายไฟ	12 ถึง 24 VDC $\pm 10\%$, การกระเพื่อม (P-P) 10% หรือน้อยกว่า	
	การสิ้นเปลืองกำลังไฟ	โหมดประหยัดไฟ	12 V: สูงสุด 480 mW (40 mA), 24 V: สูงสุด 720 mW (30 mA)
ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม	ความทนทานต่อแรงดัน	1.5 MPa	
	อุณหภูมิแวดล้อมในการทำงาน	0 ถึง +50 °C (ไม่เปียกน้ำแข็ง)	
	ความชื้นแวดล้อมในการทำงาน	35 ถึง 85% RH (ไม่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ)	
	การสั่นสะเทือน	10 ถึง 55 Hz, แอมพลิจูดสองเท่า 1.5 มม., 2 ชั่วโมง ในแต่ละทิศทาง X, Y และ Z	
วัสดุ	โครงสร้างด้านหน้า: Polysulfone, โครงสร้างด้านหลัง: PBT, เมงด้านหน้า: Polycarbonate, จุดต่อแรงดัน: สังกะสีหล่อแบบ		
อุปกรณ์เสริม	สายไฟ (สายเคเบิลยาว 2 ม., พร้อมคอนเนคเตอร์), คู่มือชี้		
น้ำหนัก	ประมาณ 30 กรัม (ไม่มีสายเคเบิล) / ประมาณ 85 กรัม (รวมสายเคเบิลยาว 2 ม.)		
¹ ใช้ค่ามาตรฐาน 0.2% ของ FS เมื่ออยู่ในโหมดไฟกัส			

ข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ KEYENCE AP-C33W

พูนัน ปณ ทิโต ชิว



โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ KEYENCE AP-C33W



วงจร I/O ของเซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ KEYENCE AP-C33W

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเอกรัตน์ โคตะบุตร
วันเกิด	วันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ.2536
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	102 หมู่ 2 ตำบลแห่ใต้ อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44140
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเชียงยืนพิทยาคม อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนการศึกษาจากโครงการ WIL (Work-Integrated Learning) โดยสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ร่วมกับภาคอุตสาหกรรม

พูนุ่ ปณุ่ ทิโต ชีเว