



# ระบบวัดแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานแบบเวลาจริงด้วยตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ

ศราวุธ โพธิ์ศรี<sup>1</sup> และ นิวัตร์ อังควิเศษฐพันธ์<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> หน่วยวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: niwat.a@msu.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 มีนาคม 2563; วันที่ทบทวนบทความ 9 มิถุนายน 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 24 มิถุนายน 2563  
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 25 สิงหาคม 2563

**บทคัดย่อ:** บทความวิจัยนี้นำเสนอระบบการวัดแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานแบบเวลาจริงด้วยตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ ซึ่งเป็นวิธีการวัดแรงกดทางอ้อมด้วยตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ โดยทำการวัดความดันอากาศในกระบอกสูบและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ จากนั้น นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ไปเปลี่ยนเป็นแรงกดด้วยสมการที่ได้จากการทดลอง ข้อดีของการวัดแรงกดด้วยวิธีการดังกล่าวคือ ทำให้ลดเวลาที่สูญเสียในกระบวนการผลิต ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น ผลการทดลองวัดแรงกดเปรียบเทียบกับเครื่องวัดแรงกดอ้างอิงพบว่า เมื่อทำการทดลองวัดแรงกดด้วยอุปกรณ์วัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับโหลดเซลล์ที่เครื่องกดเบดเตอร์ มีความคลาดเคลื่อนจากโหลดเซลล์ต่ำสุดอยู่ที่ 0.010 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.687 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นผลการทดลองที่เครื่องกดจุดเชื่อมต่อ PCB พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากโหลดเซลล์ต่ำสุดอยู่ที่ 0.043 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.768 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการแสดงผลระบบได้แสดงผลการวัดแรงกดผ่านเว็บไซต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยภาษา PHP HTML JavaScript และ Ajax ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงกดได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่ใช้อ้างอิง (โหลดเซลล์) รวมทั้งสามารถวัดและแสดงผลแบบเวลาจริงได้

**คำสำคัญ:** วัดแรงกด; เวลาจริง; เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ; พีเอชพี; เอชทีเอ็มแอล



## Real-time Force Measurement System of the Pressing Machine with a Pressure Sensor in the Cylinder

Sarawut Phosri<sup>1</sup> and Niwat Angkawisittpan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering,  
Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150

<sup>2</sup> Research Unit for Computational Electromagnetics and Optical Systems (CEMOS),  
Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150

\* Corresponding author, E-mail: niwat.a@msu.ac.th

Received: 17 March 2020; Revised 9 June 2020; Accepted: 24 June 2020

Online Published: 25 August 2020

**Abstract:** This paper presents a real-time force measurement system of the pressing machine with a pressure sensor in the cylinder. It is an indirect measurement method of force with a pressure sensor in the cylinder. The air pressure is measured in the cylinder and also the voltage of the pressure sensor is measured. After that, the measured voltage is transformed into force by the equation from the experiments. The advantage of this method is that it can reduce the wasting time in the production process, resulting in increased productivity. The results of the force measurement comparing with the reference device (load cell) showed that performing force measurement experiments using the developed system compared to that of the load cells (reference device) at the battery pressing machine. The minimum error is 0.010% and the maximum error is 0.687%. Moreover, the results from the PCB connection pressing machine found that the minimum error is 0.043% and the maximum error is 1.768%. For the monitoring of the real-time force, the system showed the results of the force measurement in the website developed using PHP, HTML, JavaScript and Ajax. The results showed that the measured forces obtained the developed system were close to the measured force from the reference device (load cell) and it could measure and display the results in real-time.

**Keywords:** Force Measurement; Real-Time; Pressure Sensor; PHP; HTML

## 1. บทนำ

เครื่องกดชิ้นงานถือเป็นเครื่องจักรที่สำคัญอีกหนึ่งชนิดในโรงงานอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ในบริษัทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายแห่ง ในกระบวนการผลิตมีหลายกระบวนการที่ต้องใช้แรงกดชิ้นงานให้ชิ้นส่วนงานสองชิ้นส่วนยึดติดกันโดยใช้เครื่องกดชิ้นงานเข้ามาช่วยในกระบวนการนั้น ๆ หรือในบางอุตสาหกรรมจะใช้เครื่องกดชิ้นงานเพื่อวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไป เช่น ใช้เครื่องกดชิ้นงานเพื่อพับชิ้นงาน หรือเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน เป็นต้น [1] โดยแรงกดจะต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละชิ้นส่วน จากการสังเกตการทำงานของเครื่องจักร ในระหว่างการผลิตพบว่าชิ้นงานที่เกิดความเสียหายจากการกดงานของเครื่องจักร คือ ชิ้นงานที่ถูกกดนั้นเกิดแตกหัก เมื่อพบชิ้นงานที่เสียหายจากการกดชิ้นงานของเครื่องกดชิ้นงาน จะมีการวัดแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้เวลานานในการวัดแรงกด ตัวอย่างเช่น ในผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยศึกษาและเก็บข้อมูลการผลิตนั้น พบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่สถานีกดชิ้นงานโดยจากข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้พบว่าผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายที่สถานีนี้เฉลี่ย 17 ชิ้นต่อสัปดาห์ (ข้อมูลวันที่ 3 เมษายน ถึง 12 มิถุนายน พ.ศ.2562) ปัจจุบันทำการวัดแรงกดเมื่อพบความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในสถานีที่มีเครื่องกดชิ้นงาน และมีการวัดแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานแบบรายสัปดาห์โดยใช้โหลดเซลล์ในการวัดแรงกด ซึ่งยังไม่มียระบบวัดและแสดงแรงกดแบบเวลาจริง (Real-Time) การวัดแรงกดทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตเนื่องจากต้องหยุดการผลิตชั่วคราว จาก

ข้อมูลที่รวบรวมมาจากสายการผลิตเมื่อวันที่ 3 เมษายน ถึง 12 มิถุนายน พ.ศ.2562 พบว่าเครื่องกดชิ้นงานเป็นเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดการสูญเสียเวลาในการผลิตมากเป็นอันดับสอง รองจากเครื่องขึ้นสกรูอัตโนมัติ

จากปัญหาเบื้องต้น หากสามารถวัดแรงกดและแสดงค่าแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานทุกครั้งที่เครื่องทำงาน จะทำให้ลดเวลาในการวัดแรงกดได้และสามารถทราบค่าแรงกดได้ทันทีที่เกิดปัญหาหรือทุกเวลาที่ต้องการทราบค่าแรงกดของเครื่องจักร

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาอุปกรณ์วัดแรงกดในผ้าเท้าอย่างง่าย โดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงกดในแผ่นรองรองเท้า โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับแรงกดที่ใช้หลักการของเพียโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive Sensor) ที่สามารถวัดแรงที่มากกระทำให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าได้ [2] และยังมีงานวิจัยที่ได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับแรงแบบยืดหยุ่นโดยใช้ตัวเก็บประจุ ค่าประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความโค้งของพื้นผิวลดลง และในทางตรงข้ามกันค่าประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจะลดลงเมื่อพื้นผิวมีความโค้งเพิ่มขึ้น [3] นอกจากนี้ยังมีการวัดแรงกดด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น เตียงชั่งน้ำหนักผู้ป่วยที่ใช้โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์วัดน้ำหนักของผู้ป่วย และสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งสัญญาณให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล [4] การหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานแบบไม่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับระยะห่างระหว่างเพลลา โดยใช้ข้อมูลความเครียดของสะพานขณะที่มีรถแล่นผ่าน ซึ่งมีอยู่แล้วมาคำนวณหาน้ำหนักรถ [5] การทดสอบแรงกระแทกแบบ



Drop-Weight เพื่อนำไปใช้หาผลของแรงกระแทกที่มีผลต่อการสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดข้าวเปลือก โดยการทดสอบจะใช้มวลของเครื่องทดสอบตกลงมากระแทกกับข้าวเปลือกที่วางอยู่บนโหลดเซลล์ [6] การวัดการระเหยของน้ำด้วยการชั่งน้ำหนักที่เหลือจากการระเหยด้วยโหลดเซลล์ [7] เป็นต้น จากหลายๆงานวิจัยที่ได้ศึกษาและกล่าวมาเบื้องต้น พบว่าในการวัดแรงกดจะต้องมีการนำอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ไปไว้ได้ตำแหน่งของหัวกดหรือบริเวณที่ต้องการวัดแรงกด หากนำอุปกรณ์ตรวจวัดเหล่านั้นมาไว้ด้านล่างของหัวกดชิ้นงานอาจจะส่งผลเสียต่อชิ้นงานที่กำลังถูกกดอยู่ เช่น เกิดรอยขีดข่วน ชิ้นงานแตกเสียหาย เป็นต้น

บริษัทที่เข้าไปศึกษาใช้เครื่องกดชิ้นงานชนิดนิวเมติกส์ (Pneumatics) อุปกรณ์เบื้องต้นของเครื่องกดชิ้นงานชนิดนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ [8]

- 1) อุปกรณ์ต้นกำลังนิวเมติกส์ ทำหน้าที่สร้างลมอัดเพื่อใช้ในระบบ
- 2) อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพลมอัด ทำหน้าที่กรองเศษปนเปื้อนออกจากลมอัด
- 3) อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่เริ่มและหยุดการทำงานของวงจร
- 4) อุปกรณ์การทำงาน หรือ กระบอกสูบลมชนิดต่าง ๆ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกล
- 5) อุปกรณ์ระบบท่อทาง ใช้เป็นช่องทางไหลของลมอัด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการวัดความดันอากาศภายในกระบอกสูบของเครื่องกดชิ้นงาน เพื่อจะให้เกิดผลกระทบกับชิ้นงาน แล้วหาความสัมพันธ์

ระหว่างความดันอากาศในกระบอกสูบ และแรงกดเพื่อบอกขนาดของแรงกด จากการศึกษาการวัดความดันอากาศในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประยุกต์อุปกรณ์วัดความดันโลหิตมาวัดความดันภายใน Cuff ของท่อช่วยหายใจชนิด High Volume, Low Pressure โดยใช้ข้อต่อ Three Way Stopcock เป็นข้อต่อแยกออกมาเพื่อต่ออุปกรณ์วัดความดันโลหิตกับท่อช่วยหายใจ โดยอุปกรณ์จะวัดค่าความดันแสดงผลการวัดความดันที่เกจวัดความดันโลหิตโดยตรง [9] ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศในกระบอกสูบแล้วเปลี่ยนความดันที่วัดได้ในกระบอกสูบให้เป็นแรงกด นอกจากนี้ยังได้ศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของการใช้งานอุปกรณ์รหัสเบอร์รีไฟ เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ มีงานวิจัยที่นำรหัสเบอร์รีไฟ ประมวลผลข้อมูลนำเข้าที่เก็บได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ภายในฟาร์มไก่แห่งหนึ่งเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในฟาร์มไก่ [10] และยังศึกษาระบบฐานข้อมูล การนำข้อมูลแสดงผลผ่านเว็บไซต์ มีบทความวิจัยที่ทำการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า โดยบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ไว้ในระบบฐานข้อมูล SQL Database จากนั้นดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ [11] และยังมีงานวิจัยที่นำรหัสเบอร์รีไฟ และอาดูโน มาใช้เป็นเซิร์ฟเวอร์ในระบบเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมด้วย โดยระบบจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา HTML และ PHP [12] นอกจากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้รหัสเบอร์รีไฟ เป็น



อุปกรณ์ในการควบคุมอุปกรณ์อื่น ผู้วิจัยยังพบว่ามี การใช้ภาษาไพธอน เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อเขียน โปรแกรมทำงานร่วมรหัสเบอร์รี่ ไพ เช่น ในงานวิจัย ที่สร้างระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่งใช้รหัส เบอร์รี่ ไพ เป็นอุปกรณ์ประมวลผล และใช้ภาษาไพ ธอนเป็นสคริปต์ที่ทำงานอยู่เบื้องหลัง [13] และยังมี การใช้งานอุปกรณ์ รหัสเบอร์รี่ ไพ เป็นอุปกรณ์ ควบคุมระบบ Smart Home ซึ่งใช้ร่วมกับ แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือระบบแอนดรอยด์ ส่วนโปรแกรมที่ทำงานบนรหัสเบอร์รี่ ไพ ถูก พัฒนาขึ้นด้วยภาษาไพธอน [14] และยังมีงานวิจัยที่ ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลการระเหยน้ำจากถาด วัดการระเหย ซึ่งในการเก็บข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ ตรวจวัดจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะลิ ออกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจวัดและ ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกันได้ [15]

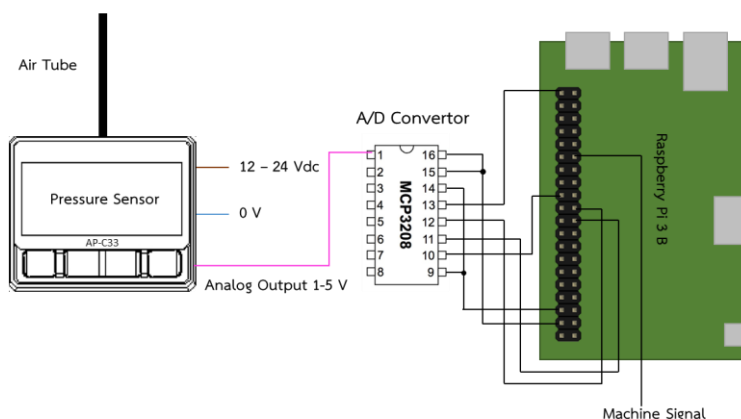
## 2. วิธีดำเนินการ

ในหัวข้อนี้จะเสนอโครงสร้าง อุปกรณ์ ฟังก์ชัน การทำงานและการออกแบบการทดลองของระบบวัดแรง กดระบบการวัดแรงกดของเครื่องกดขึ้นงานแบบเวลา จริงด้วยตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ

### 2.1 โครงสร้างเครื่องวัดแรงกดด้วยตัวตรวจจับ ความดันอากาศในกระบอกสูบ

ระบบการวัดแรงกดของเครื่องกดขึ้นงานแบบเวลา จริงด้วยตัวตรวจจับแรงดันในกระบอกสูบ มีอุปกรณ์ใน การพัฒนาระบบดังนี้

- 1) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศ (Pressure sensor) ยี่ห้อ Keyence รุ่น AP-C33
- 2) ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณ ดิจิทัล เบอร์ MCP3208
- 3) เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กรหัสเบอร์รี่ ไพ



รูปที่ 1 โครงสร้างเครื่องวัดแรงกดด้วยตัวตรวจจับความดันอากาศในกระบอกสูบ

จากรูปที่ 1 อธิบายถึงการเชื่อมต่อกันระหว่าง อุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศ Keyence รุ่น AP-C33 อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณ

ดิจิทัล MCP3208 และคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก รหัส เบอร์รี่ ไพ สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์ ตรวจวัดความดันอากาศจะเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่ง

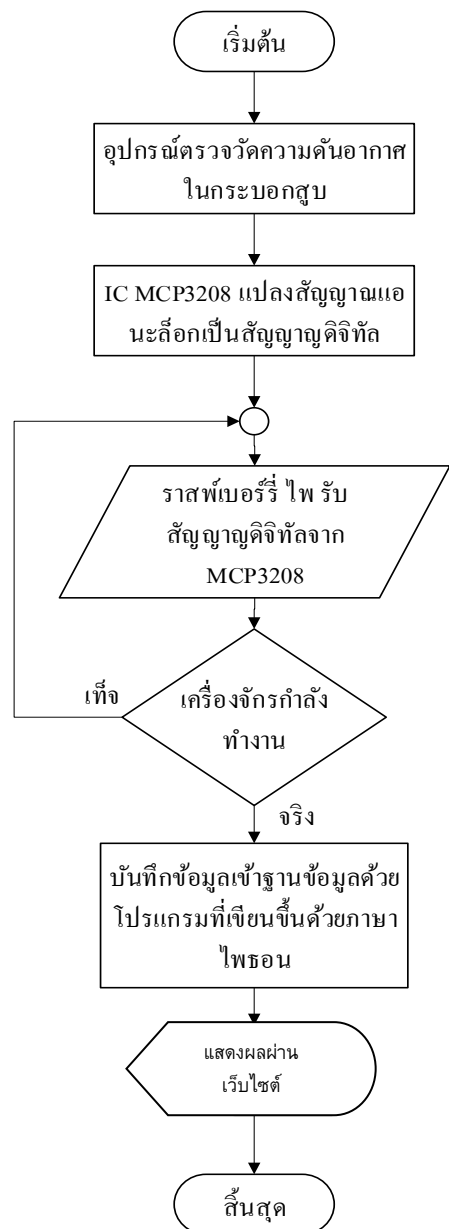


ราสพ์เบอร์รี่ ไพ สามารถรับได้แค่สัญญาณดิจิทัล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศสามารถสื่อสารกับราสพ์เบอร์รี่ ไพ ได้

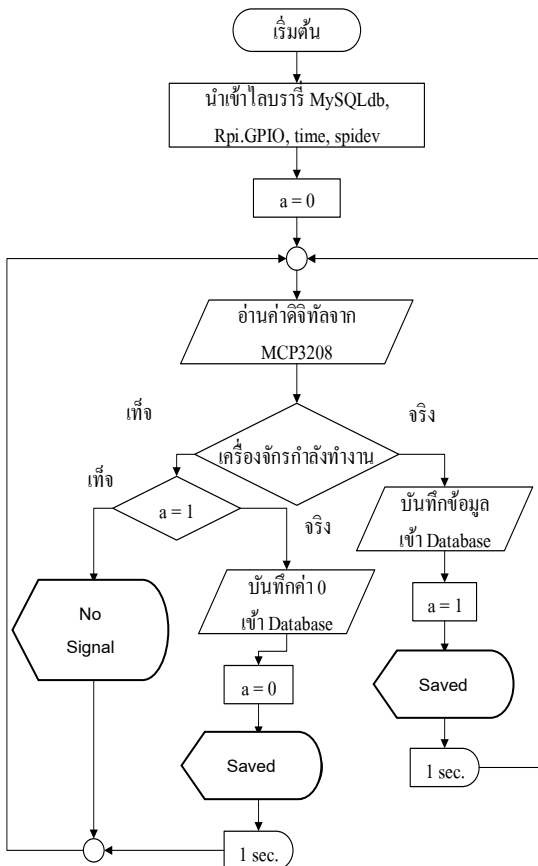
## 2.2 ผังการทำงาน

จากผังการทำงานดังรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นจากเครื่องกวดชิ้นงานทำงาน หัวกดของเครื่องกวดชิ้นงานกดลงบนชิ้นงาน อุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศภายในกระบอกสูบของหัวกดแต่ละหัวและส่งค่าผ่านไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยไอซีเบอร์ MCP3208 จากนั้นเมื่อแปลงสัญญาณของข้อมูลแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปที่ราสพ์เบอร์รี่ ไพ ที่ขา GPIO ของราสพ์เบอร์รี่ ไพ โดยเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะอ่านสัญญาณดิจิทัลที่ส่งมาด้วยภาษาไพธอน และใช้โปรแกรมเดียวกันในการบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล ในส่วนของการแสดงผลการวัดแรงกดจะแสดงผลด้วยเว็บไซต์ที่ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา HTML PHP Ajax และ JavaScript

จากรูปที่ 3 เป็นการแสดงผังการทำงานของโปรแกรมบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาไพธอน โดยราสพ์เบอร์รี่ ไพ จะทำการอ่านข้อมูลจากไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เบอร์ MCP3208 จากนั้นหากโปรแกรมจับสัญญาณได้ว่าเครื่องจักรกำลังทำงาน โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จาก MCP3208 เข้าสู่ระบบฐานข้อมูลเมื่อเครื่องจักรหยุดทำงานจะบันทึกค่า 0 เข้าสู่ระบบฐานข้อมูล 1 ค่า



รูปที่ 2 ผังการทำงานของระบบวัดแรงกด



รูปที่ 3 ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมภาษาไพธอน

### 2.3 ออกแบบการทดลอง

- 1) ออกแบบฮาร์ดแวร์เพื่อที่จะวัดและรับข้อมูลจากการวัด
- 2) เขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน เพื่อรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่อ่านค่าความดันอากาศจากกระบอกสูบและบันทึกข้อมูลที่อ่านเข้าระบบฐานข้อมูล โดยโปรแกรมจะทำงานในรหัสเบอร์รี่ ไพ
- 3) ทดลองวัดค่าความดันอากาศภายในห้องวัดของเครื่องกดชิ้นงาน ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน

อากาศ จากนั้นบันทึกแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศ และค่าแรงกดของหัวกดด้วยเครื่องวัดแรงกด ไว้ในตารางบันทึกผล

4) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในข้อ 3) มาหาความสัมพันธ์และสมการเพื่อเปลี่ยนค่าความดันอากาศภายในกระบอกสูบให้เป็นแรงกด

5) เก็บข้อมูลการวัดแรงกดเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงกับเครื่องวัดแรงกดที่ใช้ใน บริษัทผลิอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง (โหลดเซลล์ รุ่น MARK-10 Series 3 หัววัด MARK-10 Series R02) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าโหลดเซลล์ โดยเก็บค่ามาเปรียบเทียบกับที่แรงกดเท่ากัน และทำการวัดทั้งหมด 1,000 ครั้ง เนื่องจากใน 1 วัน สายการผลิต 1 สายการผลิตทำการผลิตผลิตภัณฑ์เฉลี่ยอยู่ที่ 1,000 ชิ้นต่อวัน ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าระบบวัดแรงกดสามารถทำงานได้โดยไม่ผิดพลาดหรือผิดพลาดน้อยที่สุด จึงทำการทดลองที่ 1,000 ครั้ง

6) เก็บข้อมูลการวัดแรงกดเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงกับโหลดเซลล์ โดยการเพิ่มความดันอากาศขึ้นทีละ 0.02 MPa เนื่องจากหากทำการปรับความดันอากาศที่ช่วงละเอียดกว่านี้จะปรับยากเพราะอุปกรณ์ควบคุมในการปรับความดันไม่ได้มีความละเอียดมากพอและหากปรับที่ช่วงมากกว่านี้จะทำให้เก็บข้อมูลได้น้อยครั้งเนื่องจากเกินค่าความดันอากาศสูงสุดที่ต้นกำลังผลิตความดันอากาศผลิตออกมา และจากนั้นบันทึกผลการวัดแรงที่อ่านได้จากโหลดเซลล์

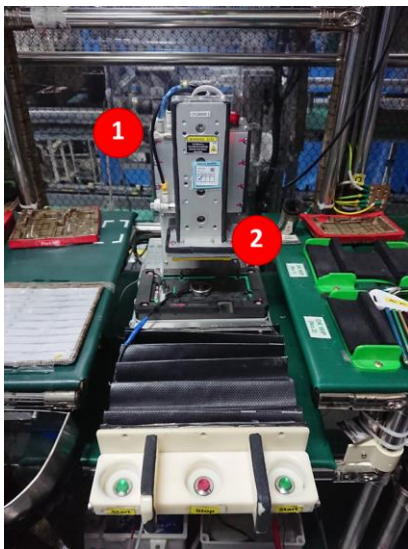
7) ทำการเก็บข้อมูลในข้อ 5) และข้อ 6) ซ้ำโดยทำการทดลองที่เครื่องกดชิ้นงานเครื่องอื่น



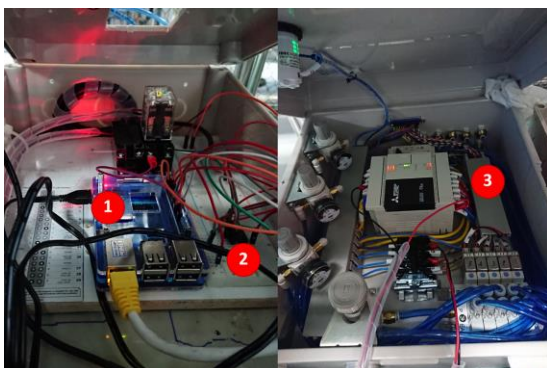
8) ทดลองการบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลด้วย โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาด้วยภาษาไพธอน และใช้ระบบฐานข้อมูล MySQL

9) ออกแบบเว็บไซต์สำหรับการแสดงผลวัดแรงกด

10) นำเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นไปติดตั้งทดลองใช้งานจริง



รูปที่ 4 เครื่องกดชิ้นงาน



รูปที่ 5 กล่องควบคุมระบบวัดแรงกดและชุด PLC

จากรูปที่ 4 เป็นรูปเครื่องกดชิ้นงานที่ทำการศึกษาในวงกลมหมายเลข 1 คือจุดต่อท่อลมจากกระบอกลูกสูบเพื่อต่อเข้ากับระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้น และหมายเลข 2 คือ หัวกดของเครื่องกดชิ้นงาน

จากรูปที่ 5 วงกลมหมายเลข 1 คือ ทรานส์มิเตอร์ไฟ ที่เชื่อมต่อกับไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่วงกลมหมายเลข 2 และเชื่อมต่อกับ PLC ที่วงกลมหมายเลข 3 เพื่อรับสัญญาณการทำงานของเครื่องกดชิ้นงาน

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ การทดลองในหัวข้อ 2.3 ข้อที่ 3) จะใช้สมการเชิงเส้นอย่างง่ายวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับแรงดันไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า (V) ที่อ่านได้เป็นแรงกด (N) โดยจะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป เมื่อมีการเพิ่มความดันอากาศและแรงกด

สมการทั่วไปของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง คือ  $F = aV + b$  เมื่อ  $a$  และ  $b$  คือ ค่าคงที่ จะพบว่า มีตัวแปร  $V$  เป็นตัวแปรอิสระ  $F$  เป็นตัวแปรตาม

สมการทั่วไป

$$F = aV + b \quad (1)$$

สมการปกติ

$$\sum F = a \sum V + nb \quad (2)$$

$$\sum VF = a \sum V^2 + b \sum V \quad (3)$$



จากสมการทั้งสอง อาศัยคุณสมบัติของค่าเฉลี่ยเลขคณิต จะได้  $a$  และ  $b$  ดังนี้

$$a = \frac{\sum VF - n\bar{V}\bar{F}}{\sum V^2 - n\bar{V}^2} \quad (4)$$

$$b = \bar{F} - a\bar{V} \quad (5)$$

เมื่อ  $\bar{V}$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $V$

$\bar{F}$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $F$

$V$  คือแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$F$  คือแรงกดมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

จากสมการอธิบายได้ว่า เป็นการประมาณค่าของตัวแปรตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ในสมการแทนด้วยสัญลักษณ์  $F$  โดยอาศัยความรู้จากตัวแปรอื่น ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในสมการแทนด้วยสัญลักษณ์  $V$  หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า เราใช้ความรู้หรือสารสนเทศจาก  $V$  เป็นเกณฑ์ในการประมาณ  $F$  ถ้าใช้ตัวแปร  $V$  เพียงตัวแปรเดียวในการประมาณ  $F$  และความสัมพันธ์ของ  $F$  และ  $V$  เป็นเชิงเส้นตรง เราเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย [16]

การหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ เป็นการคำนวณหาตัวชี้วัดว่าสมการที่ได้นี้สมควรจะได้รับการยอมรับมากน้อยเพียงใด หลักการคือหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนแปลงค่า  $V$  ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เราสนใจ กับค่าความคลาดเคลื่อนรวมทั้งหมด ถ้าค่าที่ได้ใกล้เคียงกันก็ถือว่ายอมรับได้ ถ้าน้อยก็แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่ไม่รู้ที่ไปที่มีมีปนอยู่มากถึงระดับหนึ่งอาจจะไม่สามารถยอมรับสมการ นี้ได้เลย เรียกตัวชี้วัดนี้ว่า  $R^2$  โดย

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ดังสมการต่อไปนี้ [17]

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} \times 100\% \quad (6)$$

เมื่อ

$$SS_R = \sum (F(i) - \bar{F})^2 - \sum (F(i) - \hat{F})^2 \quad (7)$$

$$SS_T = \sum (F(i) - \bar{F})^2 \quad (8)$$

$\hat{F}$  คือค่าที่ได้จากการนำสมการที่ได้มาใส่ค่า  $V$  แล้วหาค่า  $F$  และ  $\bar{F}$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $F$

การคำนวณได้ค่า  $R^2$  ที่สูงนั้น อาจเกิดเพราะความบังเอิญ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่า ค่า  $R^2$  ที่คำนวณได้นั้นสามารถเชื่อถือได้ ด้วยการลด  $n$  ลงหนึ่งตัวแล้วทำการคำนวณ  $R^2$  ด้วยวิธีเดิมอีกหนึ่งรอบ หากยังสูงอยู่ก็ถือว่าไม่ได้เป็นเรื่องบังเอิญ แต่ถ้า  $R^2$  ใหม่นี้มีค่าต่ำกว่าค่าเดิมมาก แสดงว่าค่า  $R^2$  มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง  $n$  มาก จำเป็นต้องทำการแก้ไขด้วยการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

#### 4. ผลการทดลอง

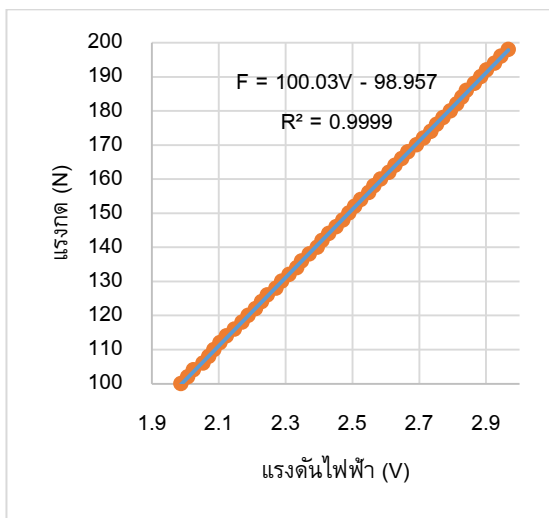
ในหัวข้อนี้จะอธิบายการทดลองและสรุปการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวไว้ในกรอบการทดลอง

##### 4.1 ผลการทดลองที่เครื่องกดแบตเตอรี่

จากรูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของเครื่องกดแบตเตอรี่ โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 50 รอบ เมื่อนำค่าแรงกด (แกนแนวตั้ง) และค่าเฉลี่ย



แรงดันไฟฟ้า (แกนแนวนอน) มาสร้างกราฟ จะได้ดังรูปที่ 6 จากกราฟจะให้หาค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ออกของอุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศ และต้องการให้ได้เอาต์พุตเป็นแรงกด (Force)



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของเครื่องกดแบบเตอรี

จากรูปที่ 6 สมการที่ใช้ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงกดคือ

$$F = 100.03V - 98.957 \quad (9)$$

เมื่อ  $F$  คือ แรงกดมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

ผลการทดลองวัดแรงกดเปรียบเทียบระหว่างโหลดเซลล์ (เครื่องวัดแรงกดที่ใช้ในการอ้างอิง) กับระบบวัดแรงกดที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ที่เครื่องกดแบบเตอรี มีดังนี้

การทดลองที่ 1 วัดแรงกดที่แรงกดค่าหนึ่ง โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของเครื่องกดแบบเตอรี ทำการวัดพร้อมกันระหว่างโหลดเซลล์กับระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นทั้งหมด 1,000 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับโหลดเซลล์ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.007 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.805 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.234 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองวัดแรงกดด้วยวิธีเพิ่มความดันอากาศขึ้นทีละ 0.02 MPa จากนั้นบันทึกค่าแรงกดจากโหลดเซลล์และเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการวัดแรงกดระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาและโหลดเซลล์ที่เครื่องกดแบบเตอรี

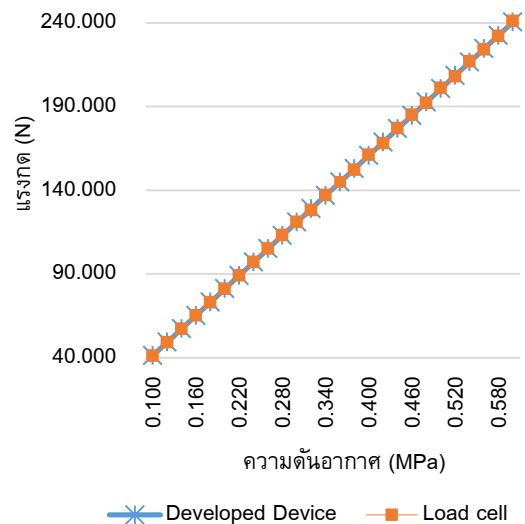
| Pressure (MPa) | Developed Device (N) | Load cell (N) | Error (%) |
|----------------|----------------------|---------------|-----------|
| 0.100          | 41.230               | 41.000        | 0.561     |
| 0.120          | 49.190               | 49.000        | 0.388     |
| 0.140          | 57.160               | 57.000        | 0.281     |
| 0.160          | 65.130               | 65.000        | 0.200     |
| 0.180          | 73.100               | 73.000        | 0.137     |
| 0.200          | 81.070               | 81.000        | 0.086     |
| 0.220          | 89.040               | 89.000        | 0.045     |
| 0.240          | 97.010               | 97.000        | 0.010     |
| 0.260          | 104.980              | 105.000       | 0.019     |
| 0.280          | 112.950              | 113.000       | 0.044     |

ตารางที่ 1 (ต่อ)

| Pressure<br>(MPa) | Developed<br>Device (N) | Load cell<br>(N) | Error<br>(%) |
|-------------------|-------------------------|------------------|--------------|
| 0.300             | 120.910                 | 121.000          | 0.074        |
| 0.320             | 128.880                 | 128.000          | 0.687        |
| 0.340             | 136.850                 | 137.000          | 0.109        |
| 0.360             | 144.820                 | 145.000          | 0.124        |
| 0.380             | 152.790                 | 152.000          | 0.520        |
| 0.400             | 160.760                 | 161.000          | 0.149        |
| 0.420             | 168.730                 | 168.000          | 0.435        |
| 0.440             | 176.690                 | 177.000          | 0.175        |
| 0.460             | 184.670                 | 185.000          | 0.178        |
| 0.480             | 192.630                 | 192.000          | 0.328        |
| 0.500             | 200.600                 | 201.000          | 0.199        |
| 0.520             | 208.570                 | 208.000          | 0.274        |
| 0.540             | 216.540                 | 217.000          | 0.212        |
| 0.560             | 224.510                 | 224.000          | 0.228        |
| 0.580             | 232.470                 | 232.000          | 0.203        |
| 0.600             | 240.450                 | 241.000          | 0.228        |
| Min               |                         |                  | 0.010        |
| Max               |                         |                  | 0.687        |

ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.010 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.687 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำค่าในตารางมาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 7 โดยแกน X คือค่าความดันอากาศที่เปลี่ยนไป และแกน Y คือค่าแรงกดที่อ่านได้จากระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้น และโหลดเซลล์ ที่ค่าความดันอากาศต่าง ๆ

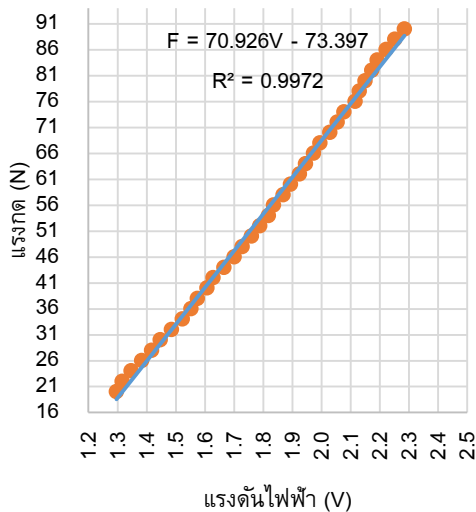
จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าจุดสี่เหลี่ยมซ้อนทับกับจุดหกแฉกได้ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความดันอากาศที่เปลี่ยนไป ระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงได้ใกล้เคียงกับโหลดเซลล์เป็นอย่างมาก



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการวัดแรงกดระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาและโหลดเซลล์ที่เครื่องกดแบบเตอรี

#### 4.2 ผลการทดลองที่เครื่องกดจุดเชื่อมต่อ PCB

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของเครื่องกดจุดเชื่อมต่อ PCB โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 30 รอบ เมื่อนำค่าแรงกด (แกนแนวนอน) และค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (แกนแนวตั้ง) มาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 8 โดยจากกราฟจะเห็นว่าให้อินพุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าออกของอุปกรณ์ตรวจวัดความดันอากาศ (Voltage) และต้องการให้อินพุตเป็นแรงกด (Force)



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของเครื่องกดจุดเชื่อมต้อ PCB

จากรูปที่ 8 สมการที่ใช้ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงกดคือ

$$F = 70.926V - 73.397 \quad (10)$$

เมื่อ  $F$  คือ แรงกดมีหน่วยเป็น (N)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

การทดลองที่เครื่องกดจุดเชื่อมต้อ PCB ได้ทำการทดลอง 2 การทดลองเช่นเดียวกับเครื่องกดแบตเตอรี่ ผลการทดลองที่ 1 วัดแรงกดที่แรงกดค่าหนึ่ง โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของเครื่องกด ผลการทดลองพบว่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.036 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.964 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.723 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองวัดแรงกดด้วยวิธีเพิ่มความดันอากาศขึ้นทีละ 0.02 MPa เช่นเดียวกับเครื่องกดแบตเตอรี่ จากนั้นบันทึกค่าแรงกดจากโหลดเซลล์และเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการวัดแรงกดระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาและโหลดเซลล์ที่เครื่องกดจุดเชื่อมต้อ PCB

| Pressure (MPa) | Developed Device (N) | Load cell (N) | Error (%) |
|----------------|----------------------|---------------|-----------|
| 0.100          | 26.070               | 26.000        | 0.269     |
| 0.120          | 30.950               | 31.000        | 0.162     |
| 0.140          | 35.840               | 36.000        | 0.446     |
| 0.160          | 40.720               | 40.000        | 1.768     |
| 0.180          | 45.610               | 45.000        | 1.337     |
| 0.200          | 50.490               | 50.000        | 0.970     |
| 0.220          | 55.370               | 55.000        | 0.668     |
| 0.240          | 60.260               | 60.000        | 0.431     |
| 0.260          | 65.140               | 65.000        | 0.215     |
| 0.280          | 70.030               | 70.000        | 0.043     |
| 0.300          | 74.910               | 75.000        | 0.120     |
| 0.320          | 79.790               | 79.000        | 0.990     |
| 0.340          | 84.680               | 85.000        | 0.378     |
| 0.360          | 89.560               | 89.000        | 0.625     |
| 0.380          | 94.450               | 94.000        | 0.476     |
| 0.400          | 99.330               | 99.000        | 0.476     |
| 0.420          | 104.210              | 104.000       | 0.332     |
| 0.440          | 109.100              | 109.000       | 0.202     |



ตารางที่ 2 (ต่อ)

| Pressure<br>(MPa) | Developed<br>Device (N) | Load cell<br>(N) | Error<br>(%) |
|-------------------|-------------------------|------------------|--------------|
| 0.460             | 113.980                 | 113.000          | 0.092        |
| 0.480             | 118.870                 | 118.000          | 0.860        |
| 0.500             | 123.750                 | 124.000          | 0.732        |
| 0.520             | 128.630                 | 128.000          | 0.202        |
| 0.540             | 133.520                 | 133.000          | 0.490        |
| 0.560             | 138.400                 | 138.000          | 0.389        |
| 0.580             | 143.290                 | 143.000          | 0.289        |
| 0.600             | 148.170                 | 148.000          | 0.202        |
| Min               |                         |                  | 0.043        |
| Max               |                         |                  | 1.768        |

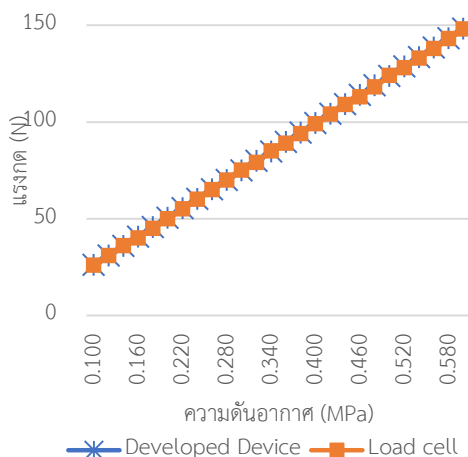
ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.043 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.768 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำค่าในตารางมาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 9 โดยแกน X คือค่าความดันอากาศที่เปลี่ยนไป และแกน Y คือค่าแรงกดที่อ่านได้จากระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นและโหลดเซลล์ ที่ค่าความดันอากาศต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 จุดสี่เหลี่ยมซ้อนทับกับจุดหกแฉกได้ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความดันอากาศที่เปลี่ยนไป ระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงได้ใกล้เคียงกับโหลดเซลล์เป็นอย่างมาก

#### 4.3 การแสดงผลแบบ Real-time

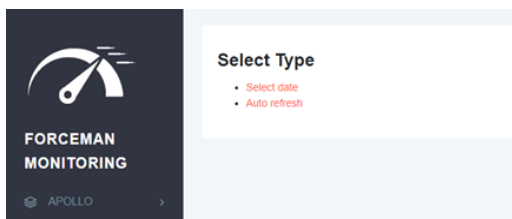
สำหรับการแสดงผลการวัดแรงกดจะทำการแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานคู่กับระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นมา รูปแบบการ

แสดงผลจะมีสองรูปแบบให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้งาน ดังรูปที่ 10 รูปแบบที่หนึ่งเป็นรูปแบบการเลือกวันที่ และเวลาที่ต้องการให้แสดงผล โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกดูแรงกดของเครื่องกดชิ้นงานย้อนหลังได้โดยการเลือกช่วงวันที่ และเวลาที่ต้องการทราบข้อมูล นอกจากนี้ยังสามารถเลื่อน Scroll bar ด้านบนของกราฟเพื่อเลื่อนขยายเฉพาะส่วนได้ ดังรูปที่ 11 และรูปแบบที่สองเป็นการแสดงผลค่าแรงกดในเวลาปัจจุบันจะทำการโหลดข้อมูลใหม่มาแสดงผลทุก 10 วินาที ดังรูปที่ 12

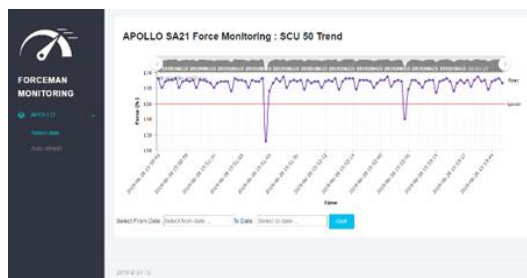


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบการวัดแรงกดระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาและโหลดเซลล์ที่เครื่องกดจุดเชื่อมต่อ PCB

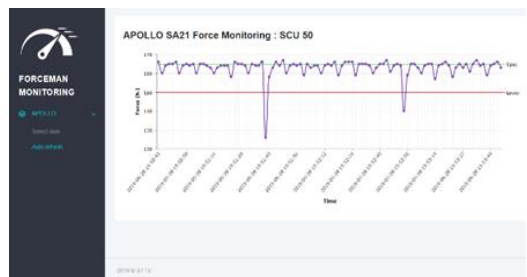
สำหรับเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแสดงผลแรงกด ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาคอมพิวเตอร์คือ PHP HTML JavaScript และ Ajax โดยหน้าเว็บไซต์จะทำการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่โปรแกรมที่ถูกเขียนด้วยภาษาไพธอนได้บันทึกข้อมูลไว้ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้กันคือ MySQL



รูปที่ 10 เว็บไซต์แสดงผลการวัดแรงกด



รูปที่ 11 หน้าเว็บไซต์แสดงผลการวัดแรงกดที่สามารถเลือกวันและเวลาได้



รูปที่ 12 หน้าเว็บไซต์แสดงผลการวัดแรงกดแบบเวลาปัจจุบัน

## 5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองวัดแรงกดโดยไม่เปลี่ยนค่าความดันอากาศจำนวน 1,000 ครั้ง เปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นกับโหลดเซลล์ ผลการทดลองที่เครื่องกดแบบเตอร์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.234 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองที่เครื่องกด

จุดเชื่อมต่อ PCB มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.723 เปอร์เซ็นต์

การทดลองวัดแรงกดเปรียบเทียบผลการวัดแรงกดระหว่างเครื่องวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นและโหลดเซลล์ที่ใช้ในการวัดอ้างอิง ด้วยวิธีการปรับความดันอากาศขึ้นครั้งละ 0.02 MPa ที่เครื่องกดแบบเตอร์ ผลปรากฏว่า เครื่องวัดแรงกดทั้งสองเครื่องสามารถวัดแรงกดได้ค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.010 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 0.687 เปอร์เซ็นต์ และที่เครื่องกดจุดเชื่อมต่อ PCB มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.043 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.768 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าการวัดแรงกดที่ช่วงความดันอากาศต่ำจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าช่วงความดันอากาศสูงเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากค่าแรงเสียดทานของกระบอกสูบที่ทำให้กระบอกสูบกดลงมาได้ไม่เต็มที่ในช่วงความดันอากาศที่ต่ำ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าช่วงความดันอากาศสูงเล็กน้อย

การทดลองติดตั้งใช้งานจริงที่เครื่องกดแบบเตอร์และแสดงผลด้วยเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแสดงผลวัดแรงกด ผลการทดลองปรากฏว่า เว็บไซต์สามารถแสดงผลวัดแรงกดได้ โดยแสดงผลได้ทั้งแบบเลือกวันและเวลาที่ต้องการทราบข้อมูลและแสดงค่าแรงกดปัจจุบัน

## 6. ข้อเสนอแนะและการพัฒนาต่อยอด

ระบบวัดแรงกดที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือ สามารถวัดแรงกดได้แบบเวลาจริง และไม่สูญเสียเวลาการผลิตเนื่องจากไม่ต้องหยุดสายการผลิตเพื่อวัดแรงกด แต่



ระบบวัดแรงกดที่พัฒนาขึ้นก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ ในการติดตั้งระบบวัดแรงกดครั้งแรกจะใช้เวลาเนื่องจากต้องทำการทดลองเพื่อหาสมการในการเปลี่ยนค่าความดันอากาศเป็นแรงกด ดังนั้นหากสามารถพัฒนาต่อระบบนี้ให้สามารถเรียนรู้เองได้เพื่อสร้างสมการจะทำให้การติดตั้งใช้เวลาเฉลียวและข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งานระบบวัดแรงกดนี้ไม่ควรใช้กับกระบอกสูบที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดน้อย เพราะจะทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนสูง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ให้คำแนะนำในการทำวิจัยมาโดยตลอด รวมไปถึงบริษัทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ที่อนุญาต อนุญาตและอำนวยความสะดวกในการศึกษาค้นคว้าการทำวิจัยในครั้งนี้ และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณโครงการโรงเรียนในโรงงาน (WiL) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://mall.factomart.com/press-machine>. (Accessed on 15 October 2019)
- [2] N. Thimabut, Development of a Simple Device for Plantar Pressure Measurement, Master Thesis, Biomedical Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, 2011.
- [3] G. Liang, Y. Wang, D. Mei, K. Xi, and Z. Chen, Flexible Capacitive Tactile Sensor Array with Truncated Pyramids as Dielectric Layer for Three-Axis Force Measurement, Journal of Microelectromechanical Systems, 2015, 24, 1510–1519.
- [4] C. Phongcharoensuk, Bed Scale Monitor, Medical Instrumentation, Thesis, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. 2008.
- [5] P. Sangchuwong, Determination of Vehicle Weight from Bridge Bending Moment without Axle Detection, Thesis, Civil Engineering, Chulalongkorn University, Thailand. 2007.
- [6] A. Srinuan, Design and Construction of a Paddy Impact Testing Machine, Thesis, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand. 2011.
- [7] P. Kingsungwal, Simple Applied Apparatus for High Volume, Low Pressure Endotracheal Tube Cuff Pressure Measurement with Acceptance of Nurse at Srinagarind Hospital, Srinagarind Medical Journal, 1998, 13, 191–197. (in Thai)
- [8] <https://www.factomart.com/th/factomartblof/principle-of-pneumatics-control/>. (Accessed on 12 October 2019)



- [9] D. Onnom, Environment Surveillance System and Monitor the Growth of Chickens in the Chicken House Via Internet, Bachelor Thesis, Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. 2014. (in Thai)
- [10] P. Jitsamran, The Development of a Laying Hen Smart Farm Based on Fuzzy Logic and Raspberry Pi, Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning, 2017, 8, 356-367. (in Thai)
- [11] C. Keatsewee, Power Quality Data Analysis and Presentation, Thesis, Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Thailand. 2008.
- [12] D. Sunehra and J. Nikhila, Web based Environmental Monitoring System using Raspberry Pi, The 2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC 2017), Proceedings, 2018, 1074–1080.
- [13] G.S.R. Satyanarayana, D. Chakraborty, and S. K. Das, Application Oriented Sensor Database System, The 2017 International Conference on Networking and Network Applications (NaNA2017), Proceedings, 2018, 141–146.
- [14] B. Vaidya, A. Patel, A. Panchal, R. Mehta, K. Mehta, and P. Vaghasiya, Smart home automation with a unique door monitoring system for old age people using Python, OpenCV, Android and Raspberry pi, The 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2017), Proceedings, 2018, 82–86.
- [15] I. Nanthakij, Use of micro-computer for automatic evaporation data collection from class A evaporation pan, The 33<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference, Proceedings, 2010, 91–96.
- [16] <http://www.stvc.ac.th/elearning/stat/csu14.html>. (Accessed on 03 September 2019)
- [17] <https://sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-step>. (Accessed on 10 October 2019)