

การศึกษาความผิดปกติของการขันสกรูและเทคนิคการวัดค่าแรงบิดของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติด้วยการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า

ไกรวิชญ์ ดาบโสมศรี* และ ชลธิ์ โพธิ์ทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kraiwit.dab@msu.ac.th

วันที่รับบทความ: 11 ธันวาคม 2562; วันที่ทบทวนบทความ: 14 มกราคม 2562; วันที่ตอบรับบทความ: 18 มกราคม 2562

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 21 มีนาคม 2563

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้เสนอการศึกษาความผิดปกติของการขันสกรูด้วยการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้าของขั้วของไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ มาทำการวิเคราะห์เพื่อบอกลักษณะความผิดปกติในการขันสกรู และหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวัดและแสดงค่าแรงบิด ผลการทดลองพบว่า สัญญาณทางไฟฟ้าสามารถบอกได้ว่าการขันสกรูผิดปกติหรือไม่ และสามารถบอกรูปแบบของการขันสกรูผิดปกติได้ การทดลองหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้า พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหาค่าแรงบิดในการขันสกรู และจากการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง (Accuracy) และค่าความเที่ยงตรง (Precision) ระหว่างอุปกรณ์วัดแรงบิดดิจิทัล (Digital Torque Meter) กับ อุปกรณ์วัดแรงบิดโดยใช้อาduino (Arduino) พบว่า อุปกรณ์วัดแรงบิดโดยใช้อาduino มีค่าแม่นยำและค่าความเที่ยงตรงน้อยกว่าอุปกรณ์วัดแรงบิดดิจิทัล แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก และสามารถวัดและแสดงผลค่าแรงบิดในขณะที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูได้

คำสำคัญ: การขันสกรู; การวัดแรงบิด; การวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า; หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ

The Study of Abnormal Screwing and Torque Measurement Technique of Automatic Screw Tightening Robot using Electrical Signal Analysis

Kraiwit Dabsomsri^{*} and Chonlatee Photong

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

^{*} Corresponding author, E-mail: kraiwit.dab@msu.ac.th

Received: 11 December 2019; Revised: 14 January 2019; Accepted: 18 January 2019

Online Published: 21 March 2020

Abstract: This research presents the study of screw fixing errors using electrical signals analysis. By measuring the electrical signals of an electric screwdriver installed in the automatic screw tightening robot. The measured electrical signal values were analyzed in order to determine the signal pattern for each type of screw tightening. In addition, the relationship equation between the torque and the electrical signals by using statistical analysis was examined to find the representative equation, which was then coded in the microcontroller to collect data and display torque values of the automatic screw tightening robot. The experimental results showed that the electrical signal can be classified whether the screw tightening is abnormal or not. And can identify the type of abnormal screw tightening. Additionally, for determining the relationship equation between the torque and the electrical signal, therefore, it is preferable to use electric current for determining the screw tightening torque. When comparing the accuracy and precision of the digital torque meter and the torque measuring device using Arduino. The results show that the Arduino has less accuracy and precision than the digital torque meter. But it has the advantage of being cheap and able to collect data and display torque values while the automatic screw tightening robot performs the screw tightening.

Keywords: Screwing; Torque Measurement; Electrical Signal Analysis; Automatic Screw Tightening Robot



1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทโทรศัพท์มือถือนั้นมีการแข่งขันสูงมาก จึงได้มีการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือมากขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้นได้ ในกระบวนการผลิตจึงได้มีการนำหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ (Automatic Screw Robot) เข้ามาใช้ในการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือด้วย โดยชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตโทรศัพท์มือถือส่วนมากนั้นเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสกรูที่ใช้มีขนาดเล็ก จึงต้องการความแม่นยำสูงในการขันสกรู แต่เนื่องจากชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือและหุ่นยนต์นั้น ต่างก็มีค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) จึงทำให้มีการขันสกรูผิดพลาดหรือการขันสกรูที่ไม่สำเร็จเกิดขึ้น ซึ่งการขันสกรูไม่สำเร็จนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้ดังนี้

ลักษณะที่ 1 Screw Stop Error คือ แรงบิดที่ใช้ขัน สกรูถึงค่าที่กำหนดไว้ ก่อนที่ตำแหน่งแกน Z ของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติจะถึงตำแหน่งการขันสกรูสำเร็จ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. แรงบิดที่ใช้ในการขันน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้
2. สกรูเกิดการติดขัดขณะที่ทำการขัน

ลักษณะที่ 2 Screw Float Error คือ เวลาที่ใช้ในการขันสกรูเกินกว่าเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. ความเร็วรอบของไขควงไฟฟ้าไม่สัมพันธ์กับความเร็วกการเคลื่อนที่ในแกน Z ของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ

2. ตำแหน่งของการขันสกรูคลาดเคลื่อนไม่ตรงกับตำแหน่งที่ตั้งค่าไว้

3. แรงบิดที่ใช้ในการขันเกินค่าที่กำหนดไว้ ทำให้สกรูหักแตก หรือเกลียวหวาน

4. ปลายไขควงที่ใช้ขันสกรูเสื่อมสภาพ

เมื่อเกิดการขันสกรูผิดพลาดขึ้นกับหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ วิศวกรจะเข้าไปทำการวิเคราะห์ปัญหาว่าเกิดจากสาเหตุใดและทำการซ่อมบำรุง ส่งผลให้เกิดเวลาหยุดทำงานขึ้น (Down Time) ส่งผลให้กระบวนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือเกิดความล่าช้า และอาจทำให้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ของโทรศัพท์มือถือเกิดความเสียหาย หรือทำให้เกิดของเสียขึ้นได้ ซึ่งในปัจจุบันนั้นยังไม่มีอุปกรณ์ที่จะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับวิศวกรในการวิเคราะห์ปัญหาการขันสกรูผิดพลาดของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติได้

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาลักษณะแรงบิดในการยึดสกรูโดยใช้เซ็นเซอร์วัดแรงบิดโดยอ้างอิงค่าความจุซึ่งถูกรวมเข้ากับไขควงไฟฟ้าขนาดเล็ก และใช้สำหรับควบคุมแรงบิดและตรวจสอบกระบวนการแทรกสกรู และได้มีการพัฒนารูปแบบการวิเคราะห์สำหรับการดำเนินการใส่สกรูในอุดมคติ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความลึกของเกลียวสามารถนำมาใช้เพื่อพิสูจน์คุณภาพของการยึด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการขันสกรูยึดชิ้นงานหลายชิ้นและสกรูยึดตัวเอง [1-2] และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องสกรูอัตโนมัติราคาถูกโดยใช้ไขควงไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้มีการออกแบบการวัดแรงบิดและแรงแกน Z ในขณะที่ยึดสกรูโดยใช้ไขควงไฟฟ้าที่ติดอยู่กับโครงสร้างของแกนหมุน โดยใช้ magneto-



resistive sensor ในการวัดค่าแรงบิด และใช้ Potentiometer สำหรับโครงสร้างเพล่าในการวัดแรงแกน Z บอร์ดควบคุมรวบรวมข้อมูลที่ได้รับทั้งหมดและส่งไปยังเครื่องพีซี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับข้อผิดพลาดของการยึดสกรูได้ [3] และได้มีการควบคุมแรงบิดและความเร็วของไขควงไฟฟ้า [4] เช่น การควบคุมแรงบิดของเครื่องขันสกรูอัตโนมัติโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม [5] หรือการควบคุมแรงบิดของเครื่องขันสกรูอัตโนมัติในกระบวนการขันสกรูโดยใช้แบบจำลองอ้างอิงแบบปรับตัวได้ [6] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขันสกรู และการควบคุมแรงกดในการขันสกรูและมุมมองในการเคลื่อนที่ของสกรู เพื่อให้การขันสกรูมีความแม่นยำขึ้น [7-8]

โดยทั่วไประบบตรวจสอบแรงบิดและความเร็วที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมหรือการทดสอบเครื่องจักรไฟฟ้าต้องใช้เซ็นเซอร์แรงบิดและเซ็นเซอร์ความเร็วเฉพาะซึ่งมีราคาแพงและติดตั้งยาก [9] และได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการพัฒนาและนำเสนอระบบตรวจสอบแรงบิดไร้เซ็นเซอร์และความเร็วโดยการตรวจจับแรงดันอินพุตและกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำและใช้เพื่อคำนวณแรงบิดและความเร็วของโปรเซสเซอร์สัญญาณดิจิทัลแทนการใช้เซ็นเซอร์แรงบิดและเซ็นเซอร์ความเร็ว

จากปัญหาและแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้สนใจในการศึกษาความของการขันสกรูด้วยการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า โดยการวัดสัญญาณไฟฟ้าของสกรูไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ มาทำการวิเคราะห์เพื่อบอกลักษณะความผิดปกติในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ และหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้า

เพื่อใช้พัฒนาอุปกรณ์วัดค่าและแสดงค่าแรงบิดในการขันสกรู ซึ่งจะช่วยให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติได้ถูกต้องและรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

2. การทำงานของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ

หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ (JANOME) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการขันสกรูอัตโนมัติ ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนโทรศัพท์ ทำงานร่วมกับ PLC, Screw Driver, Driver Controller, Screw Feeder อีกทั้งยังสามารถสื่อสารและส่งข้อมูลได้ผ่านทาง Serial Port และ Ethernet ได้อีกด้วย ซึ่งเครื่องขันสกรูอัตโนมัตินี้สามารถขันสกรูได้ต่อเนื่องและรวดเร็ว ทำให้การประกอบโทรศัพท์มือถือนั้นทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติรุ่น JANOME JR2200 Mini [10]

การขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ นั้น จะมีการขันสกรูจำนวนทั้งหมด 4 ตำแหน่ง และค่าแรงบิดที่ใช้ในการขันสกรูจะอยู่ที่ 10 ± 1 N.cm โดย

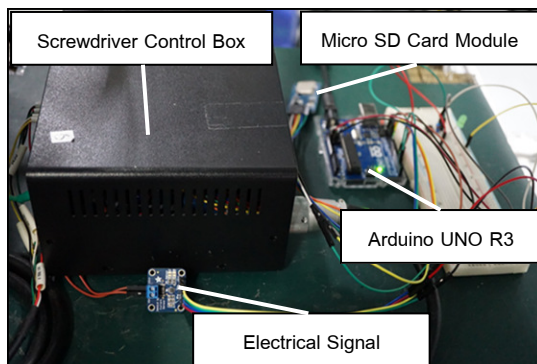


กระบวนการขันสกรูนั้น เริ่มจากการนำโทรศัพท์มือถือใส่ถาดขันสกรู จากนั้นกดปุ่มเริ่มทำงานหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติจะเริ่มทำการขันสกรู โดยการขันสกรูในแต่ละตำแหน่งนั้นจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ไขควงไฟฟ้าไปที่ตำแหน่งการหยิบสกรูเพื่อทำการหยิบสกรู จากนั้นจะเคลื่อนที่มายังตำแหน่งการขันสกรูและเริ่มทำการขันสกรูลงบนโทรศัพท์มือถือ ถ้าหากขันสกรูสำเร็จจะทำการขันสกรูในตำแหน่งถัดไป แต่ถ้าหากเกิดความผิดพลาดในการขันสกรูแขนของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งทิ้งสกรูเพื่อทำการเป่าสกรูออกจากไขควงไฟฟ้า แล้วจะทำการขันสกรูในตำแหน่งถัดไปโดยไม่มีการขันสกรูซ้ำตำแหน่งเดิมครบทั้งหมด 4 ตำแหน่ง

3. การดำเนินงานวิจัย

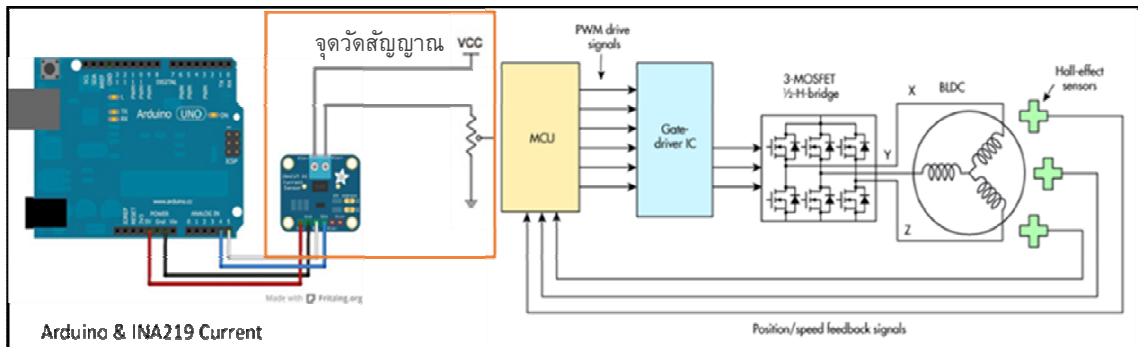
จากโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2 จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์วัดสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการศึกษาความผิดปกติในการขันสกรูและการวัดค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าในขณะที่หุ่นยนต์ทำการขันสกรู จากรูปที่ 2 จะแสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์วัดสัญญาณทางไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบไปด้วย

1. กล่องควบคุมไขควงไฟฟ้าชนิดไร้แปรงถ่าน (Screwdriver Control Box)
2. Arduino UNO R3
3. Micro SD Card Module
4. เซนเซอร์วัดสัญญาณไฟฟ้า รุ่น INA219 (Electrical Signal Sensor)



รูปที่ 2 กล่องควบคุมไขควงไฟฟ้าและอุปกรณ์การวัดสัญญาณไฟฟ้า

การวัดสัญญาณทางไฟฟ้าในขณะที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัตินั้นจะทำการวัดสัญญาณไฟฟ้าที่ตำแหน่ง VCC ของบอร์ดควบคุมไขควงไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่บอกถึงการใช้พลังงานทั้งหมดของกล่องควบคุมไขควงไฟฟ้า และเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งง่ายต่อการวัดและการติดตามแนวโน้มของสัญญาณไฟฟ้า [11] โดยจะใช้เซนเซอร์วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น INA219 ในการวัดสัญญาณ ซึ่งเซนเซอร์นี้สามารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 32 V กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 2 A และกำลังไฟฟ้า แล้วใช้บอร์ดอาดุยโน (Arduino) ในการอ่านค่าสัญญาณไฟฟ้าจากเซนเซอร์และเก็บบันทึกค่าสัญญาณไฟฟ้าจากกล่องควบคุมไขควงไฟฟ้าในแบบไฟล์ CSV ไว้ใน Micro SD Card ซึ่งไดอะแกรมตำแหน่งการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากกล่องควบคุมไขควงไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โดอะแกรมการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากกล่องควบคุมไขควงไฟฟ้าชนิดไร้แปรงถ่าน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการศึกษาความผิดปกติของการขันสกรูโดยใช้สัญญาณทางไฟฟ้า

วิธีการทดลองเริ่มจากการจำลองให้หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูในลักษณะต่างๆ โดยใช้โทรศัพท์มือถือตัวอย่างในการทดลองโดยจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1. การขันสกรูปกติ (Normal Tightening)
2. การขันสกรูที่ผิดปกติแบบขันไม่ตรงตำแหน่ง (Screw Missing)
3. การขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย (Screw Loose)

จากนั้นจะใช้อุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3 ในการวัดและบันทึกข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าของการขันสกรูในลักษณะต่างๆ ไว้ใน Micro SD Card ในรูปแบบไฟล์ CSV ซึ่งข้อมูลที่จะทำการเก็บบันทึกนั้น ประกอบไปด้วย

1. Sampling คือ จำนวนการสุ่มเก็บข้อมูล
2. Voltage (V) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์

3. Current (mA) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้า มีหน่วยเป็น มิลลิแอมป์

4. Power (W) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ แล้วจะนำข้อมูลที่ได้อัปโหลดกราฟโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หารูปแบบสัญญาณไฟฟ้าของการขันสกรูในแต่ละลักษณะ ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 สัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ มีลักษณะสัญญาณเริ่มจากไขควงไฟฟ้าหยุดทำงาน แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.24 V และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน (Start Screwdriver) แรงดันไฟฟ้าจะลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 30.18 V ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรู (Pickup Screw) เพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรู (Start Tightening) แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงประมาณ 30.05 V ซึ่งเป็นจุดแรงบิดของไขควงไฟฟ้าถึงค่าที่ตั้งไว้ สัญญาณในจุดนี้ เรียกว่า สัญญาณ



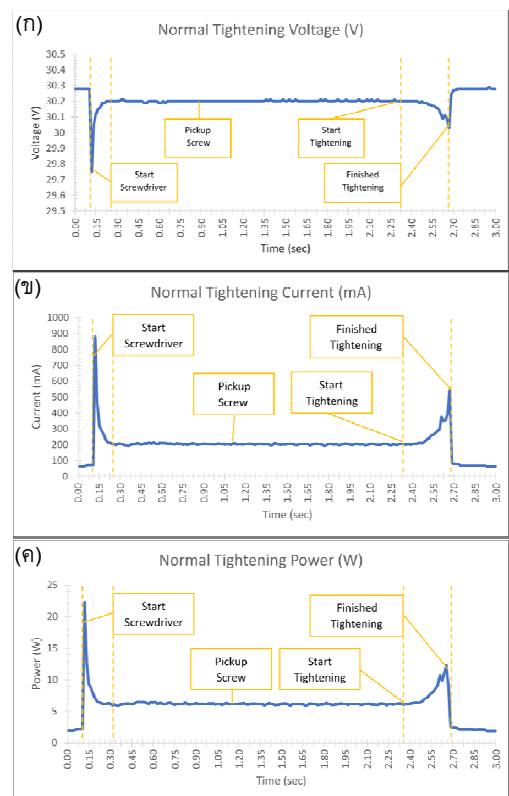
การขันสกรูสำเร็จ (Finished Tightening) จากนั้นไขควงไฟฟ้าจะหยุดทำงาน ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.24 V อีกครั้ง

สัญญาณกระแสไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ จะมีลักษณะสัญญาณคล้ายกับสัญญาณกำลังไฟฟ้า โดยมีลักษณะสัญญาณเริ่มจาก ในช่วงไขควงไฟฟ้าหยุดทำงานกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W ตามลำดับ และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 200 mA และ 6.0 W ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรู เพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรูสัญญาณไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งกระแสไฟฟ้ามีค่าประมาณ 400 mA หรือ กำลังไฟฟ้ามีค่าประมาณ 12.0 W ซึ่งเป็นจุดที่แรงบิดของไขควงไฟฟ้าถึงค่าที่ตั้งไว้ สัญญาณในจุดนี้เรียกว่า สัญญาณการขันสกรูสำเร็จ จากนั้นไขควงไฟฟ้าจะหยุดทำงาน ทำให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W อีกครั้ง ซึ่งลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูปกตินั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

4.1.2 สัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบขั้นไม่ตรงตำแหน่ง

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบขั้นไม่ตรงตำแหน่ง มีลักษณะสัญญาณเริ่มจากไขควงไฟฟ้าหยุดทำงาน แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.24 V และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว

ต่อจากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 30.18 V ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรู เพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรู ค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเล็กน้อยและมีค่าคงที่ประมาณ 30.16 V เนื่องจากแรงบิดของไขควงไฟฟ้าไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ ภายในระยะเวลาของการขันสกรูทำให้หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติตัดการทำงานของไขควงไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณในจุดนี้ เรียกว่า สัญญาณการขันสกรูไม่สำเร็จ ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.24 V อีกครั้ง



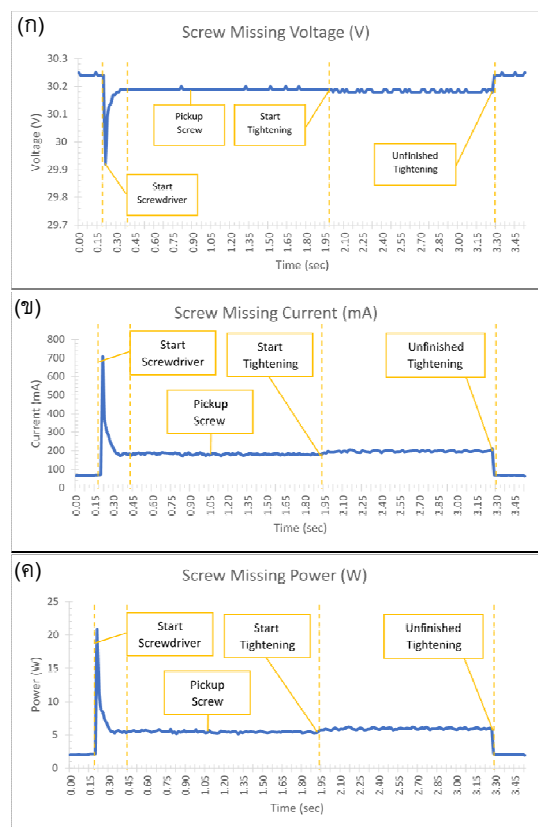
รูปที่ 4 (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า และ (ค) กำลังไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ

สัญญาณกระแสไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบขนานไม่ตรงตำแหน่ง จะมีลักษณะสัญญาณคล้ายกับสัญญาณกำลังไฟฟ้า โดยมีลักษณะสัญญาณเริ่มจากในช่วงที่ไขควงไฟฟ้าหยุดทำงาน กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W ตามลำดับ และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 200 mA และ 6.0 W ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรู เพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรู ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าคงที่ประมาณ 210 mA และ 6.3 W ตามลำดับ เนื่องจากค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ ภายในระยะเวลาของการขันสกรูทำให้หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติตัดการทำงานของไขควงไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณในจุดนี้ เรียกว่า สัญญาณการขันสกรูไม่สำเร็จ ทำให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W อีกครั้ง ซึ่งลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบขนานไม่ตรงตำแหน่งนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5

4.1.3 สัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย

สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย มีลักษณะสัญญาณเริ่มจากในช่วงไขควงไฟฟ้าหยุดทำงาน แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.27 V และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน แรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 30.20 V

ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรู เพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรูค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเล็กน้อยและมีค่าคงที่ประมาณ 30.15 V เนื่องจากแรงบิดของไขควงไฟฟ้าไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ ภายในระยะเวลาของการขันสกรูทำให้หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติตัดการทำงานของไขควงไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณในจุดนี้ เรียกว่า สัญญาณการขันสกรูไม่สำเร็จ ทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 30.27 V อีกครั้ง

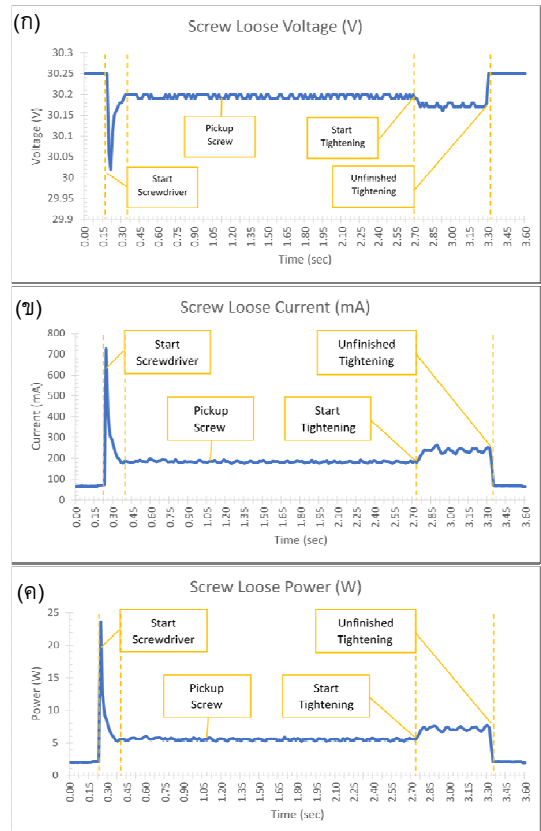


รูปที่ 5 (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า และ (ค) กำลังไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบขนานไม่ตรงตำแหน่ง

สัญญาณกระแสไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย จะมีลักษณะสัญญาณคล้ายกับสัญญาณกำลังไฟฟ้า โดยมีลักษณะสัญญาณเริ่มจากในช่วงไขควงไฟฟ้าหยุดทำงาน กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W ตามลำดับ และเมื่อไขควงไฟฟ้าเริ่มทำงาน กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 200 mA และ 6.0 W ซึ่งเป็นช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการหยิบสกรูเพื่อมาทำการขันสกรู เมื่อเริ่มต้นขันสกรูค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าคงที่ประมาณ 240 mA และ 7.2 W ตามลำดับ เนื่องจากแรงบิดของไขควงไฟฟ้าไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้ ภายในระยะเวลาของการขันสกรูทำให้หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติตัดการทำงานของไขควงไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณในจุดนี้ เรียกว่า สัญญาณการขันสกรูไม่สำเร็จ ทำให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีค่าอยู่ที่ประมาณ 65 mA และ 2.0 W อีกครั้ง ซึ่งลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหายนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6

4.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองวัดสัญญาณทางไฟฟ้าในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ

จากผลการทดลองวัดสัญญาณทางไฟฟ้าในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทั้ง 3 การทดลองพบว่า การวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้าในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติสามารถบอกลักษณะของการขันสกรูได้ ว่าการขันสกรูผิดปกติหรือไม่ และสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นการขันสกรูผิดปกติ



รูปที่ 6 (ก) แรงดันไฟฟ้า (ข) กระแสไฟฟ้า และ (ค) กำลังไฟฟ้าของการขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย

ปกติในรูปแบบใดโดยใช้ลักษณะและขนาดของสัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูเสร็จสิ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การขันสกรูปกติ สัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูเสร็จสิ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่า 400 mA ส่วนแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่า 30.05 V และ



กำลังไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่า 12 W เนื่องจากแรงบิดในการขันสกรูนั้นถึงค่าที่กำหนดไว้

2. การขันสกรูที่ผิดปกติแบบขันไม่ตรงตำแหน่ง สัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูเสร็จสิ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 210 mA ส่วนแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 30.16 V และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 6.3 W จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูที่ผิดปกติแบบขันไม่ตรงตำแหน่ง จะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ เนื่องจากแรงบิดในการขันสกรูนั้นไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้

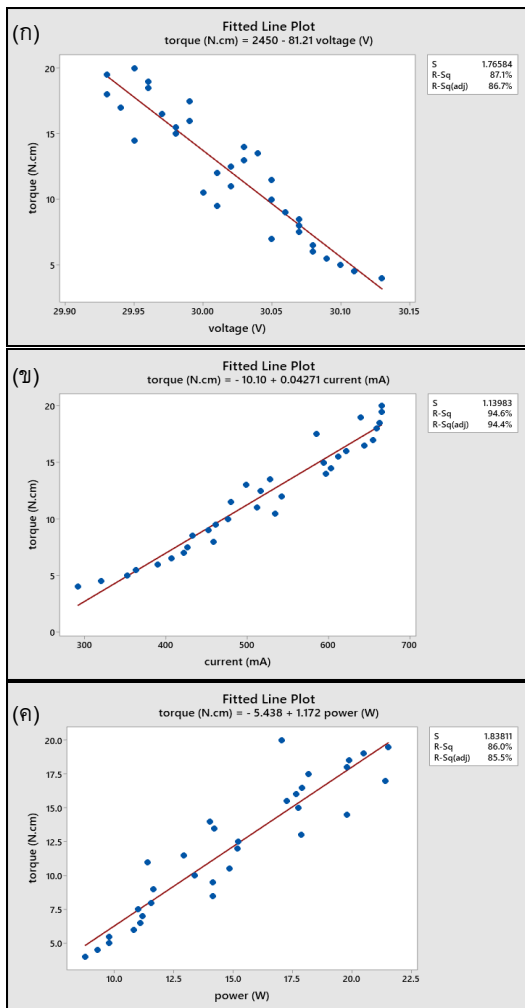
3. การขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย สัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงที่หุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูเสร็จสิ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 240 mA ส่วนแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 30.15 V และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 7.2 W จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูที่ผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย จะเปลี่ยนแปลงมากกว่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูที่ผิดปกติแบบขันไม่ตรงตำแหน่ง แต่น้อยกว่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูปกติ เนื่องจากหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติมีการขันสกรูที่ตรงตำแหน่ง ทำให้เกิดแรงบิดในการขันมากกว่าการขันสกรูแบบไม่ตรงตำแหน่ง แต่เกลียวของสกรูเกิดความเสียหาย ทำให้แรงบิดในการขันสกรูนั้นไม่ถึงค่าที่กำหนดไว้

4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้า

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้านั้น ผู้วิจัยจะทำการปรับค่าแรงบิดของ

ไขควงไฟฟ้า ตั้งแต่ 4 - 20 N.cm โดยปรับค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 N.cm แล้วทำการวัดค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงบิดแบบดิจิตอล HIOS รุ่น HM-10 (Torque Meter) ซึ่งตั้งค่าวิธีการวัดไว้ที่โหมดการวัดแรงบิดสูงสุด (Torque Peak) และทำการเก็บบันทึกข้อมูลสัญญาณไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงบิดสูงสุด จำนวนทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละการปรับค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้า จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟฟ้า แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ Linear Regression แล้วนำสมการที่ได้ไปใช้ในการเขียนโปรแกรมลงในบอร์ดอาดุยโน เพื่อแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นค่าแรงบิด ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 จะสังเกตได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับค่ากระแสไฟฟ้ามามีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 94.6% ซึ่งมีความมากที่สุด เมื่อเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ เท่ากับ 87.1% และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับค่ากำลังไฟฟ้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ เท่ากับ 86.0% ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจนั้น แสดงถึงความมากหรือน้อยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในโมเดล ซึ่งหากมีค่ามากแสดงว่าโมเดลนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรที่ส่งผลต่อกันได้ดี ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้าจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทำนายค่าแรงบิดขณะทำการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการที่ (1) [12-13]



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับ
(ก) แรงดัน (ข) กระแส และ (ค) กำลังไฟฟ้า

$$T = K\phi I \quad (1)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของมอเตอร์

K คือ ค่าคงที่ของแรงบิด

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

I คือ กระแสไฟฟ้า

กล่าวคือ เมื่อไขควงไฟฟ้ามีความต้านทานทางกลเพิ่มขึ้นไขควงไฟฟ้าจะเริ่มใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อเอาชนะความต้านทานนี้และความเร็วจะลดลง หรือค่ากระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับแรงบิด $T \propto I$ นั้นเอง [14]

ซึ่งสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับค่ากระแสไฟฟ้าในการขันสกรูของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ คือ

$$T_c = -10.10 + 0.04271 \times I_m \quad (2)$$

โดยที่ T_c คือ ค่าแรงบิดที่ได้จากการคำนวณ มีหน่วยเป็น (N.cm)

I_m คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (mA)

4.3 ผลการทดสอบอุปกรณ์วัดแรงบิดจากการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นค่าแรงบิดโดยใช้บอร์ดอาดุยโน (Arduino)

ในการทดสอบอุปกรณ์วัดแรงบิดโดยใช้บอร์ดอาดุยโน ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นค่าแรงบิดนั้น ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ (Accuracy) และค่าความเที่ยงตรง (Precision) ของอุปกรณ์วัดแรงบิดที่ใช้บอร์ดอาดุยโน กับ อุปกรณ์วัดแรงบิดแบบดิจิทัล HIOS รุ่น HM-10 ซึ่งค่าความแม่นยำ หรือ ความถูกต้อง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง [15] โดยค่าความแม่นยำ/ความถูกต้องนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\% \text{Accuracy} = 100 - \% \text{Error} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } \%Error = \left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right| \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure Value)

x_t คือ ค่าจริง (True Value)

ความเที่ยงตรง เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการแสดงค่าเดิมเมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง หรือความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดิม [15] โดยค่าความเที่ยงตรงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\text{Precision} = \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right| \quad (5)$$

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

โดยที่ x_m คือ ค่าเฉลี่ยของการวัด

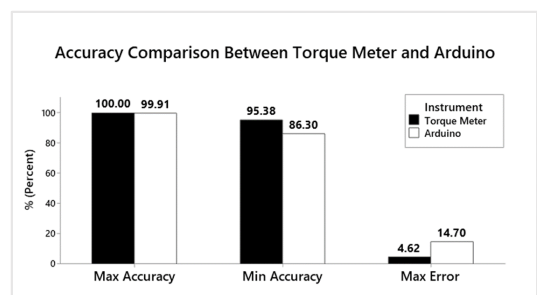
x_i คือ ค่าการวัดแต่ละครั้ง

n คือ จำนวนครั้งของการวัด

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ

ในการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ นั้นผู้วิจัยจะทำการปรับค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้า ตั้งแต่ 4.0 ถึง 20 N.cm และทำการวัดค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงบิดที่ใช้บอร์ดอาดูยโน ซึ่งใช้สมการที่ (2) ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นค่าแรงบิด เทียบกับ อุปกรณ์วัดแรงบิดแบบดิจิตอล HIOS รุ่น HM-10 และใช้สมการที่ (3) ในการหาค่าความแม่นยำ จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความ

แม่นยำสูงสุดของ Torque Meter อยู่ที่ร้อยละ 100 และค่าความแม่นยำต่ำสุดที่ร้อยละ 95.38 โดยมีค่าความผิดพลาด (Error) คิดเป็นร้อยละ 4.62 ซึ่ง Arduino มีค่าความแม่นยำสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 99.91 และค่าความแม่นยำต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 86.30 โดยมีค่าความผิดพลาด คิดเป็นร้อยละ 14.70 ดังนั้น ค่าความแม่นยำ ของ Torque Meter สูงกว่าค่าความแม่นยำของอาดูยโนคิดเป็นร้อยละ 0.09 และ Torque Meter มีความความผิดพลาดน้อยกว่าอาดูยโน คิดเป็นร้อยละ 10.08 ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่าง Torque Meter กับ Arduino สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่าง Torque Meter กับ Arduino

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรง

ในการเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรง ผู้วิจัยได้ทำการปรับค่าแรงบิดไขควงไฟฟ้าไว้ที่แรงบิด 4, 8, 12, 16 และ 20 N.cm แล้วทำการวัดค่าแรงบิดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงบิดแบบดิจิตอล HIOS รุ่น HM-10 และค่าแรงบิดที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณทางไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ จำนวน 30 ครั้งต่อช่วง



แรงบิดที่ทำการทดสอบ แล้วทำการหาค่าความเที่ยงตรง ของอุปกรณ์ทั้งสองโดยใช้สมการที่ (5) และสรุปผลการทดสอบในแต่ละช่วงแรงบิดออกมา พบว่าในช่วงแรงบิด 4 – 20 N.cm นั้น Torque Meter มีค่าความเที่ยงตรงที่ 0.00 – 0.19 และ Arduino มีค่าความเที่ยงตรงที่ 0.00 - 0.27 โดยที่ค่าความเที่ยงตรงบ่งชี้ถึงความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ ของเครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดแบบเดิม ถ้ามีช่วงที่แคบและมีค่าน้อยจะมีความเที่ยงตรงมาก แต่ถ้ามีช่วงที่กว้างและค่ามากจะมีความเที่ยงตรงน้อย ดังนั้นการวัดค่าแรงบิดด้วย Torque Meter จึงมีความเที่ยงตรงมากกว่าการวัดด้วยอาดยุโน ซึ่งผลการทดลองในช่วงแรงบิดต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงระหว่าง Torque Meter กับ Arduino ในช่วงแรงบิดต่างๆ

Torque (N.cm)	Torque Meter			Arduino		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
4.0	0.19	0.00	0.09	0.27	0.01	0.12
8.0	0.11	0.00	0.05	0.16	0.00	0.06
12.0	0.07	0.00	0.05	0.13	0.00	0.06
16.0	0.06	0.00	0.03	0.09	0.00	0.04
20.0	0.05	0.00	0.02	0.08	0.00	0.03

4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และค่าความเที่ยงตรงระหว่างอาดยุโน (Arduino) กับ Torque Meter

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และค่าความเที่ยงตรงระหว่างอาดยุโนกับ Torque Meter พบว่า อาดยุโนมีค่าความแม่นยำ และค่าความ

เที่ยงตรง น้อยกว่า Torque Meter เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้านำมาแปลงเป็นค่าแรงบิดนั้น เป็นสัญญาณไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาที่แรงบิดของไขควงไฟฟ้าถึงค่าสูงสุดที่ทำการตั้งค่าไว้ เป็นเหตุให้สัญญาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อาดยุโนไม่สามารถตรวจจับค่าสัญญาณไฟฟ้าได้ครบถ้วน เนื่องจากในการวัดและบันทึกค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของอาดยุโน นั้นมีความถี่ในการเก็บข้อมูล (Sampling Frequency) ซึ่งการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) คือ การแปลงสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องทางเวลา (Continuous Signal) ให้อยู่ในรูปไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Signal) ด้วยการสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sample) ของสัญญาณนั้นๆ ในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวก็คือช่วงเวลากการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Period) นั้นเอง โดยความถี่ในการเก็บข้อมูล [16] ได้จากสมการที่ (7)

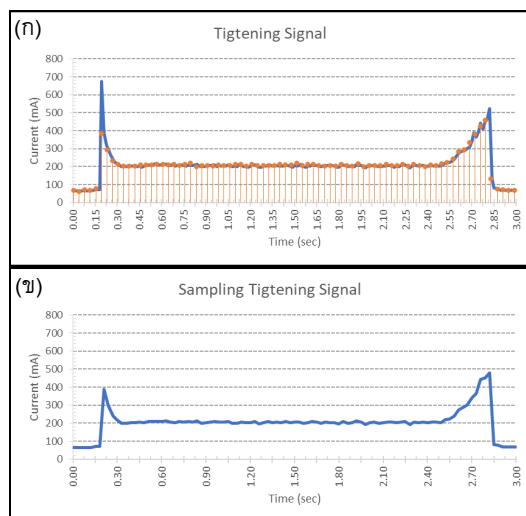
$$F_s = 1 / T \quad (7)$$

โดยที่ F_s คือ ความถี่ในการเก็บข้อมูล มีหน่วยเป็น Hz และ T คือ ช่วงเวลากการสุ่มตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างการเก็บข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าของอาดยุโนนั้นแสดงดังรูปที่ 9 จะสังเกตได้ว่าสัญญาณทางไฟฟ้าของการขันสกรูก่อนการ Sampling ในช่วงเริ่มหมุนของไขควงไฟฟ้า ค่าสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 680 mA และสัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงของการเกิดแรงบิดสูงสุด ค่าสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 520 mA หลังจากที้อาดยุโนทำการ Sampling เพื่อเก็บข้อมูล สัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงเริ่มหมุนของไขควงไฟฟ้าจะเหลือประมาณ 400 mA



และสัญญาณทางไฟฟ้าในช่วงของการเกิดแรงบิดสูงสุด (Torque Peak) จะเหลือประมาณ 480 mA ซึ่งการที่มีความถี่ในการเก็บข้อมูลที่น้อยนั้น จะทำให้การเก็บข้อมูลไม่ละเอียด [17]



รูปที่ 9 (ก) สัญญาณทางไฟฟ้าการขันสกรู ก่อนการ Sampling และ (ข) สัญญาณทางไฟฟ้าการขันสกรูหลังการ Sampling

ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ อาจไม่ใช่ค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่เกิดแรงบิดสูงสุดจริง ทำให้การคำนวณค่าแรงบิดของอาดุยโนเกิดความคลาดเคลื่อนได้ มากกว่า Torque Meter ส่งผลทำให้อาดุยโนมีความแม่นยำ และมีความเที่ยงตรง น้อยกว่า Torque Meter แต่อุปกรณ์วัดแรงบิดที่ผู้วิจัยทำการออกแบบมีข้อดีกว่าคือ สามารถวัดและเก็บบันทึกค่าแรงบิดอัตโนมัติในขณะที่ยุ่่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรูได้และราคาถูก ซึ่งสามารถประหยัดเวลาในการวัดค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าได้ และวิธีการทำ

อุปกรณ์วัดแรงบิดมีความแม่นยำมากขึ้นและมีความเที่ยงตรงมากขึ้น อาจทำได้โดยการเปลี่ยนจากการวัดแรงบิดเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในตำแหน่งที่ขันสกรูสำเร็จ เป็นการวัดค่าแรงบิดเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่หุ่นยนต์อัตโนมัติทำการขันสกรู ซึ่งเป็นช่วงที่สัญญาณมีความเสถียรมากกว่า หรือ การเปลี่ยนเซนเซอร์วัดสัญญาณหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลและรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น เพื่อให้สามารถวัดสัญญาณทางไฟฟ้าได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

สัญญาณทางไฟฟ้าของไขควงไฟฟ้าในช่วงที่ยุ่่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติทำการขันสกรู สามารถบอกลักษณะการขันสกรูปกติได้ โดยมีค่ากระแสไฟฟ้ามากกว่า 400 mA ค่าแรงดันไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 30.05 V และค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่า 12 W ในส่วนของการขันสกรูที่ผิดปกติแบบขันไม่ตรงตำแหน่ง กระแสไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 210 mA แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 30.16 V และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 6.3 W การขันสกรูผิดปกติแบบเกลียวสกรูเสียหาย กระแสไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 240 mA แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 30.15 V และกำลังไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 7.2 W

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ของค่าแรงบิดกับค่ากระแสไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 94.6% ซึ่งมีค่ามากที่สุด จึงมีความเหมาะที่จะนำไปใช้ในการหาค่าแรงบิดในการขันสกรูในแต่ละครั้งของหุ่นยนต์ขันสกรูอัตโนมัติ

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และค่าความเที่ยงตรง ระหว่าง อาดุยโน กับ Torque



Meter พบว่า อาศัยโน้มน้ำค่าความแม่นยำ และค่าความเที่ยงตรงน้อยกว่า Torque Meter แต่อาศัยโน้มน้ำข้อดีก็คือ สามารถวัดและเก็บบันทึกค่าแรงบิดอัตโนมัติ ในขณะที่หุ่นยนต์ขั้นสูงรู้อัตโนมัติทำการขันสกรูได้และราคาถูก ซึ่งสามารถประหยัดเวลาในการวัดค่าแรงบิดของไขควงไฟฟ้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ รวมถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Klingajay, L.D. Seneviratne and K. Althoefer, Parameter Estimation During Automated Screw Insertions, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology (IEEE ICIT '02), Proceedings, 2002, 1019 – 1024.
- [2] L. Seneviratne, On The Use of Mechatronics for Intelligent Screw Insertions, 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA '96), Proceedings, 1996, 193 – 198.
- [3] J. Hwang, D. Jung, Y. Roh, K. Nam, and D. Hwang, Low-Cost Automatic Screw Machine Using a Commercial Electric Screwdriver, The 12th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2012), Proceedings, 2012, 1055 – 1060.
- [4] C. H. Chen and W. Der Chong, Fastening Torque Control for Robotic Screw Driver under Uncertain Environment, The 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014), Proceedings, 814 – 818.
- [5] K. Phaim, Torque Control of Auto-Screwdriver Machine by Neural Network, Master Thesis, Mechanical Engineering, Kasetsart University, Thailand. 2013.
- [6] C. Piwmaikum, Torque Controller of Automatic Screw Machine in Screw Fastening Process Using Model Reference Adaptive System, Master Thesis, Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. 2015.
- [7] C. Nadee, Fuzzy Control System for Controlling Position and Angle of Moving Screw, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand. 2010.
- [8] S. Ogawa, T. Shimono, A. Kawamura, and T. Nozaki, Position Control in Normal Direction for The Fast Screw-Tightening, The 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2015), Proceedings, 2015, 3429 – 3433.



- [9] K. Waiyasusri and S. Sangwongwanich, A Sensorless Torque and Speed Monitoring System for Electrical Machines, 2002 IEEE International Conference on Industrial Technology, (IEEE ICIT '02), Proceedings, 113 – 118.
- [10] www.indiamart.com/7mproddetail/automatic-screw-tightening-machine-18202077848 (Accessed on 9 January 2020)
- [11] A.F. Noor Azam, A. Jidin, M.A. Said, H. Jopri, and M. Manap, High Performance Torque Control of BLDC Motor, 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2013), Proceedings, 2013, 1093 – 1098.
- [12] T. Boonsai, Torque and Force Control for Small D.C. Motor Drives, Master Thesis, Electrical Engineering Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. 2016.
- [13] C. Kunchok and N. Longon, PWM Technique Control Induction Motor Drive”, Electrical Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand. 2013.
- [14] P. Hayamin, Design and Development of Electrical Machines Identification Program for Practical Teaching, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand. 2019.
- [15] P. Pornchalermpong and N. Noonaak, Measurement and Measuring Equipment Applied in the food industry, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. 2012.
- [16] M. Weik, Communications Standard Dictionary. Springer US, 1995.
- [17] C.E. Shannon, Communication in The Presence of Noise, Proceedings of the IRE, 1949, 37(1), 10 – 21.