บทความวิจัย

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในแบบอัตโนมัติ

ธนัท วีบุตร และ ธนสาร อินทรกำธรชัย*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ยิ่งยศ เอื้ออุฬาร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและกระบวนการ บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์สิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1646 5626 อีเมล: thanasan.i@eng.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.009
รับเมื่อ 2 เมษายน 2564 แก้ไขเมื่อ 11 มิถุนายน 2564 ตอบรับเมื่อ 21 มิถุนายน 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 14 กันยายน 2565
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การตรวจสอบชิ้นส่วนที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์มีข้อกำหนดด้านความปลอดภัย โดยจะต้องมีการตรวจสอบแบบทุกชิ้น ในปัจจุบันการตรวจสอบสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในใช้วิธีการตรวจสอบ โดยใช้แท่งตรวจสอบเกลียวร่วมกับพนักงานในการตรวจสอบแบบทุกชิ้น ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวมีเวลามาตรฐานอยู่ที่ 19.48 วินาทีต่อชิ้น การตรวจสอบชิ้นงานจำนวนมากส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งอาจส่งผลต่อเกณฑ์การตัดสินใจที่ผิดพลาดระหว่างการตรวจสอบได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวใน โดยนำวิธีการตรวจสอบแบบการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวมาประยุกต์เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และสามารถควบคุมความแปรปรวนที่เกิดจากมนุษย์ในวิธีการตรวจสอบแบบเดิม ซึ่งก่อให้เกิดเกณฑ์การตัดสินใจที่ผิดพลาด คือ การหมุนชิ้นงานที่เยื้องศูนย์เชิงมุมกำหนดของเกลียว และแรงที่ไม่คงที่ในแต่ละรอบการหมุนตรวจสอบชิ้นงาน ผลลัพธ์จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบมีเวลามาตรฐานอยู่ที่ 5.27 วินาทีต่อชิ้น สามารถสร้างเกณฑ์การตรวจสอบที่คงที่เหมือนกันทุกชิ้นงาน และขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิม โดยเครื่องตรวจสอบสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในมีผลการประเมินการวิเคราะห์ระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ผ่านการยอมรับระบบการวัดของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์

คำสำคัญ: การออกแบบ การตรวจสอบ ระบบการวัด แท่งตรวจสอบเกลียว

การอ้างอิงบทความ: ธนัท วีบุตร, ธนสาร อินทรกำธรชัย และ ยิ่งยศ เอื้ออุฬาร, "การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในแบบอัตโนมัติ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 437–452, เม.ย.–มิ.ย. 2566.

Research Article

Design and Development for Automated Internal Threads Inspection Machine

Thanut Vibutr and Thanasan Intarakumthornchai*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand
Yingyot Alie-u-lan
Department of Mechanical and Process Engineering, The Sirindhon International Thai-German Graduate School of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1646 5626, E–mail: thanasan.i@eng.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.009
Received 2 April 2021; Revised 11 June 2021; Accepted 21 June 2021; Published online: 14 September 2022
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

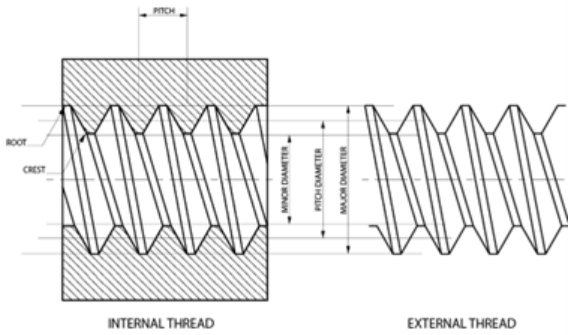
The inspection for automotive parts has safety requirements with the 100 percent inspection. Currently, the internal thread inspection is normally used as the threads plug gauge. This method is lengthy and relies on the feeling of humans. Preliminary inspection indicates that the standard time is approximately 19.48 seconds per piece. A large number of inspections can result in employee fatigue. Thus, it affects the decision during the Inspect. Therefore, this research will adopt the traditional internal threads inspection technique to develop the innovative internal threads inspection machine for better efficiency. The design of this machine is capable of eliminating human-induced variability for the traditional technique, such as angular misalignment of threads. The human feeling during the inspection which makes the force measurement unreliable would be replaced with the more reliable force sensor. Results of this research show that the standard time for inspection is 5.27 seconds per piece. The same constant inspection criteria can be created for all parts, eliminating problems that arise in traditional inspection methods. The last, the internal thread inspection machine has a Measurement System Analysis (MSA) result that meets the acceptance criteria of the Automotive Industry Action Group.

Keywords: Design, Inspection, Measurement System Analysis, Threads Plug Gauge

Please cite this article as: T. Vibutr, T. Intarakumthornchai, and Y. Alie-u-lan, "Design and development for automated internal threads inspection machine," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 437–452, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

การพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ก่อให้เกิดแนวโน้มใหม่ๆ ทางเทคโนโลยีเกิดขึ้นมากมายและมีผลต่ออุตสาหกรรม เช่น ระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ อันเป็นที่มาของอุตสาหกรรม 4.0 เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติในกระบวนการผลิตมีวัตถุประสงค์สองประการคือ เพื่อปรับปรุงความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต [1] ชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบันจำเป็นจะต้องมีคุณภาพ และความแม่นยำสูง เพราะข้อบกพร่องเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ เช่น โบลต์หรือนัทขนาดเล็ก ซึ่งมีชิ้นส่วนมากกว่า 30,000 ชิ้นในรถยนต์หนึ่งคัน และจะยิ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากรถยนต์มีฟังก์ชันการใช้งานมากขึ้น การตรวจสอบชิ้นส่วนเหล่านี้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ทุกชิ้นจึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก [2] โบลต์ สกรู หรือสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวนอกนั้น ปัจจุบันมีเครื่องมือตรวจสอบแบบทุกชิ้น (100% Inspection) เข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแล้ว โดยใช้หลักการการประมวลผลภาพ (Image Processing) ในการประเมินลักษณะของเกลียวที่ทำการผลิต แต่ในกรณีของนัทหรือสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวใน การตรวจสอบโดยใช้กล้องยังไม่แพร่หลายมากนักในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากการตรวจสอบเกลียวในโดยใช้กล้องมีเทคนิคที่ซับซ้อนกว่าการตรวจสอบเกลียวนอก และยังไม่เหมาะแก่การนำไปตรวจสอบเกลียวในในกระบวนการควบคุมการผลิต [3], [4] ปัจจุบันการตรวจสอบในภาคอุตสาหกรรมการผลิตนั้นยังจำเป็นต้องใช้พนักงานตรวจสอบร่วมกับแท่งตรวจสอบเกลียวแบบมาตรฐาน (Threads Plug Gauge) ซึ่งการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวแบบมาตรฐานร่วมกับกระบวนการตรวจสอบแบบทุกชิ้นใช้เวลาตรวจสอบที่นาน พนักงานเกิดความเมื่อยล้า และทำให้เกิดเกณฑ์การตัดสินใจที่ผิดพลาดมากขึ้นในการตรวจสอบ จึงเป็นที่มาของการออกแบบ และพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในแบบอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบลง และคงเกณฑ์การตัดสินการตรวจสอบให้คงที่เหมือนกันทุกชิ้นงาน โดยระบบที่จะพัฒนานั้นจะเป็นระบบอัตโนมัติโดยการประยุกต์ใช้แท่งตรวจสอบเกลียวมาตรฐานร่วมกับเซนเซอร์วัดแรงบิดเพื่อใช้ในการตรวจสอบลักษณะเกลียวที่เหมาะสม และทำการทดสอบระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA) ด้วยเกณฑ์การยอมรับระบบการวัดของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industry Action Group)



รูปที่ 1 ลักษณะของเกลียวในและเกลียวนอก

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ลักษณะทั่วไปของเกลียว

เกลียว (Threads) คือสลักภัณฑ์ประเภทจับยึดชั่วคราว โดยสามารถแบ่งเกลียวได้เป็น 2 แบบ คือ เกลียวใน (Internal Threads) และเกลียวนอก (External Threads) ดังรูปที่ 1

1) Crest คือ ยอดเกลียวหรือจุดที่สุดของฟันเกลียว

2) Root คือ ฐานเกลียวหรือจุดที่ต่ำสุดของเกลียวบนผิวทรงกระบอก

3) Pitch คือ ระยะห่างระหว่างยอดเกลียวถึงยอดเกลียวถัดไป

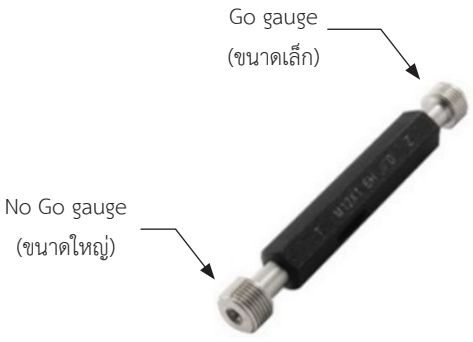
4) Major Diameter คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของเกลียว ไม่ว่าเกลียวนั้นจะเป็นเกลียวนอกหรือเกลียวใน

5) Pitch Diameter คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของฟันเกลียว (พิจารณาจากความสูงเต็มของเกลียวตามทฤษฎี)

6) Minor Diameter คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของเกลียว ไม่ว่าเกลียวนั้นจะเป็นเกลียวนอกหรือเกลียวใน

2.2 แท่งตรวจสอบเกลียว

การผลิตแป้นเกลียว หรือการทำรูเกลียวในจำนวนมากๆ



รูปที่ 2 แท่งตรวจสอบเกลียว

จำเป็นต้องตรวจสอบมาตรฐานของเกลียวที่ผลิตเสร็จแล้วว่ามีมาตรฐานอยู่ในค่าพิกัดความเผื่อหรือไม่ การวัดค่าความถูกต้องของเกลียวนอกจากจะวัดระยะพิตช์ (Pitch) ของเกลียวแล้วนั้น ยังจำเป็นต้องวัดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (Pitch Diameter) ของเกลียวด้วย ซึ่งเป็นวงกลมสมมุติ กรรมวิธีการวัดตรวจสอบทำได้ยุ่งยาก จึงได้มีการผลิตเกจที่ใช้วัดตรวจสอบรูเกลียวในซึ่งเรียกว่า “แท่งตรวจสอบเกลียว” โดยแท่งนี้มีไว้สำหรับตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ และแป้นเกลียวใน [5] โดยหัววัดทั่วไปจะมี 2 ด้าน คือ หัวเกลียวด้าน Go และหัวเกลียวด้าน No Go ดังรูปที่ 2 ซึ่งหัวตรวจสอบด้าน Go นั้น จะเป็นขนาดเกลียวที่มีพิกัดเล็กที่สุดของพิกัดความเผื่อเกลียวชนิดนั้นๆ และหัวตรวจสอบเกลียวด้าน No Go คือพิกัดความเผื่อที่โตสุดที่ยอมรับในขนาดเกลียวชนิดนั้นๆ

การใช้แท่งตรวจสอบเกลียวตรวจสอบรูเกลียวใน เพื่อต้องการทราบว่ารูเกลียวในนั้น มีขนาดของวงกลมพิตช์อยู่ในค่าพิกัดความเผื่อหรือไม่ ทำได้ดังนี้

1) เริ่มจากตรวจสอบโดยด้านที่เป็น Go จะต้องไขผ่านไปได้อย่างราบรื่น

2) จากนั้นตรวจสอบโดยใช้ด้าน No Go ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้คือเกจต้องไม่สามารถไขผ่านรูไปได้ หรือสามารถไขผ่านได้ไม่เกิน 2 รอบ

3) หากตรวจสอบด้วยเกจวัดเกลียวแล้วผ่านตามข้อที่ 1) และ 2) จึงสามารถตัดสินได้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นไปตามเงื่อนไขดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการใช้แท่งตรวจสอบเกลียว [4]

หัวเกลียว ด้าน Go	หัวเกลียว ด้าน No go	ขนาดของ วงกลมพิตช์
ใส่ได้	ใส่ไม่ได้	อยู่ในค่าพิกัดความเผื่อ
ใส่ได้	ใส่ได้	โตกว่าค่าพิกัดความเผื่อ
ใส่ไม่ได้	ใส่ไม่ได้	เล็กกว่าค่าพิกัดความเผื่อ

2.3 คุณลักษณะมอเตอร์และเซนเซอร์วัดกระแส

มอเตอร์และเซนเซอร์วัดกระแสที่ใช้สำหรับเครื่องตรวจสอบสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในงานวิจัยนี้มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้า

Gearbox DC Motor	
Gearbox type	Planetary Gearbox
Gear Ratio	1:7
Motor type	Brushed motor
Rated Torque	0.2 Nm
Rated Voltage	24 VDC
No-load Speed	450 RPM

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของเซนเซอร์วัดกระแส

ACS712 Current Sensor Module	
Supply Voltage	4.5 ถึง 5.5 VDC
Measure Current Range	–5 ถึง 5 A
Sensitivity	180 ถึง 190 mV/A

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดของข้อมูลแบบหน่วยนับ (Measurement System Analysis for Attribute)

การประเมินระบบการวัดที่มีลักษณะการวัดแบบหน่วยนับคือ การวัดเพื่อเอาไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน ในกรณีนี้คือการใช้ Go และ No Go เกจนั้น ไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพ

ของงานที่ตรวจสอบนั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร โดยดัชนีที่ใช้ในการประเมินการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดแบบหน่วยนับมีดังนี้ [6]

1) การวิเคราะห์ความเที่ยง หรือความสามารถในการวัดซ้ำ หรือรีพีททะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน (*% Appraiser Score*) ดังในสมการที่ (1)

$$\% \, Appraiser \, Score = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (1)$$

2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล ความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน (*% Attribute Score*) ดังในสมการที่ (2)

$$\% \, Attribute \, Score = \frac{\text{จำนวนผลเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจ}} \quad (2)$$

3) ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน (Operator Effectiveness Index; O_E) ดังในสมการที่ (3)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}} \quad (3)$$

4) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False Alarm Index; I_{FA}) ดังในสมการที่ (4)

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธอย่างผิดพลาด}} \quad (4)$$

5) ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (Index of a Miss; I_{MISS}) ดังในสมการที่ (5)

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}} \quad (5)$$

แนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัดที่ใช้กับเครื่องตรวจสอบในงานวิจัยนี้เป็นการวัดโดยเปรียบเทียบระหว่างความถูกต้องแม่นยำของเครื่องตรวจสอบกับเกณฑ์การยอมรับในระบบการวัดของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังในตารางที่ 4 และออกแบบให้มีขนาดตัวอย่างของการทดสอบอยู่ที่มากกว่า 24 ชิ้น และทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง อ้างอิงจากตารางที่ 5 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลระบบการวัดโดยโปรแกรม Minitab 19

ตารางที่ 4 เกณฑ์การยอมรับในระบบการวัดของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์

การวิเคราะห์	ดัชนีชี้วัด	เกณฑ์การยอมรับ	ผลการตัดสินใจ
การวิเคราะห์พนักงานตรวจสอบแต่ละคน	% Appraiser score	≥ 80%	ยอมรับการตรวจสอบได้
	% Attribute score	≥ 80%	ยอมรับการตรวจสอบได้
	Operator effectiveness index (O_E)	≥ 90%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≥ 80%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		< 80%	ต้องการการปรับปรุง
	False alarm index (I_{FA})	≤ 5%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≤ 10%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		> 10%	ต้องการการปรับปรุง
	Index of a miss (I_{MISS})	≤ 2%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≤ 5%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		> 5%	ต้องการการปรับปรุง

ตารางที่ 5 ขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

2.5 วิธีการออกแบบเครื่องวัดเกลียวในแบบอัตโนมัติ

แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องแบ่งเป็นสองส่วนหลัก คือ การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความเร็ว และการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านคุณภาพของการตรวจสอบ และรวมแนวคิดทั้งสองด้านมาเป็นการออกแบบเครื่องตรวจสอบคุณภาพสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวใน จากนั้นจึงทำการสร้างเครื่องและทดสอบเพื่อประเมินผลการออกแบบ

2.5.1 การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลา

ในเบื้องต้นได้ทำการกำหนดขั้นตอนการวัดที่เป็นมาตรฐาน โดยใช้แท่งตรวจสอบเกลียว มาใช้กับพนักงาน 3 คน โดยพนักงานแต่ละท่านทำการวัดชิ้นงาน 100 ชิ้น เพื่อหาเวลามาตรฐานในการวัดที่คำนวณจากสมการที่ (6) ผลการจับเวลาการวัดและเวลามาตรฐานแสดงดังตารางที่ 6 พบว่ามีเวลามาตรฐานในการวัดเกลียวอยู่ที่ 19.48 วินาทีต่อชิ้น เวลาดังกล่าวนี้จะใช้เพื่ออ้างอิงในการออกแบบและวัดผลประสิทธิภาพด้านความเร็วของเครื่องตรวจสอบ

ตารางที่ 6 เวลาการตรวจสอบโดยใช้แท่งตรวจสอบเกลียว

พนักงาน / เครื่องมือ	เวลาต่อชิ้นงาน 100 ชิ้น (วินาที)				เวลาปกติ (วินาที/ชิ้น)	เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)
	พนักงาน 1	พนักงาน 2	พนักงาน 3	เวลาเฉลี่ย		
แท่งตรวจสอบเกลียวใน	1,595	1,804	1,961	1,786.7	17.87	19.48

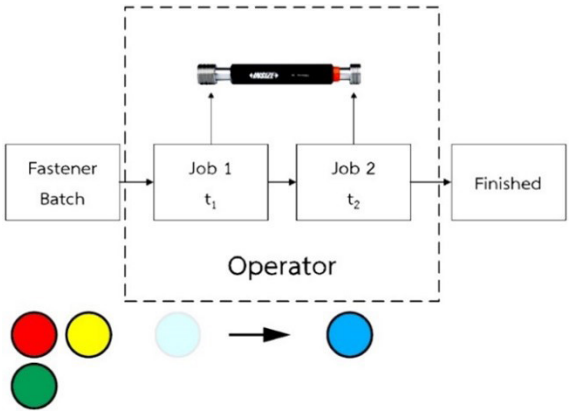
$$STD\,Time = NT \times \left(1 + \frac{\%\,AF}{100}\right) \qquad (6)$$

โดยที่

$STD\ Time$ = เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)

NT = เวลาปกติ (วินาที/ชิ้น)

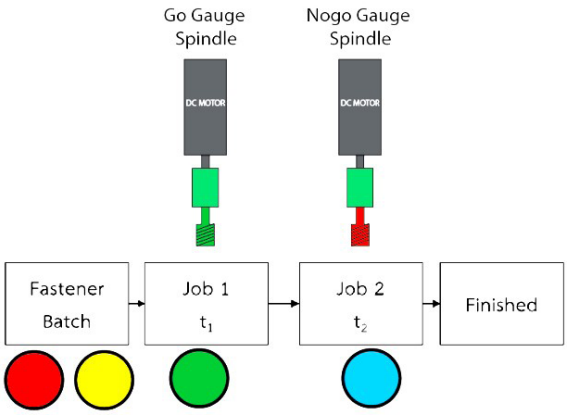
$\%\,AF$ = % เวลาเผื่อสำหรับบุคคล (5%) + % เวลาเผื่อสำหรับความเครียด (4%)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการวัดเกลียวในด้วยพนักงานคนเดียววัดทั้งหัว Go และ No Go

สาเหตุที่แท่งตรวจสอบเกลียวใช้เวลาในการตรวจสอบสูงเนื่องจากแท่งตรวจสอบเกลียวนั้นประกอบไปด้วยหัวตรวจสอบเกลียวด้าน Go และหัวตรวจสอบเกลียวด้าน No Go ภายในแท่งเดียว กระบวนการวัดของพนักงานสามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1) ให้พนักงาน 1 คน วัดทั้งหัว Go และ No Go และ 2) ใช้พนักงาน 2 คน โดยคนแรกวัดหัว Go และ No Go ดังรูปที่ 3 ในรูปแบบนี้จะใช้เพื่อแยกงานย่อยออกจากกันเพื่อส่งผลในการปรับปรุง

ในการปรับปรุงกระบวนการวัดแบบเดิมสามารถรวบงาน (Combination) ย่อยของการวัดหัว Go กับ No Go พร้อมกันได้ โดยทำการออกแบบให้เครื่องติดตั้งหัวตรวจสอบเกลียวแต่ละด้านแยกกัน และติดตั้งมอเตอร์เข้ากับหัวตรวจสอบเกลียวเพื่อใช้สำหรับหมุนตรวจสอบชิ้นงาน ทำให้มีการทำงานที่แยกส่วนการทำงานกันอย่างอิสระต่อกัน และเกิดเป็นกระบวนการไหลของชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ชิ้นงานที่เข้ามารอตรวจสอบนั้นไม่จำเป็นต้องรอให้ชิ้นงานก่อนหน้าเสร็จทุกกระบวนการวัดหรือหนึ่งรอบเวลาการทำงานเหมือนดังวิธีเดิม ทำให้สามารถลดรอบเวลาของกระบวนการวัดได้ และเวลารอคอยของชิ้นงานได้ ดังตัวอย่างการเคลื่อนที่ชิ้นงานรูปที่ 4 และรอบเวลาในการตรวจสอบ (Cycle Time) ของเครื่องตรวจสอบเป็นไปดังสมการที่ (7)



รูปที่ 4 การไหลของชิ้นงานภายในรางเคลื่อนที่ชิ้นงานภายในเครื่องวัดเกลียวใน

$$CycleTime = \frac{(N-1)t_{max} + \sum_{i=1}^{n} t_i}{N} \quad (7)$$

โดยที่ $Cycle\ Time$ = รอบเวลาผลิต (วินาทีต่อชิ้น)

N = จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)

t_{max} = เวลางานที่ใช้เวลามากที่สุด (วินาที)

t_i = เวลาที่ใช้ในงาน i (วินาที)

และ $t_i = \{t_1, t_2, t_3, ..., t_n\}$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกระบวนการวัดแบบเดิมและวิธีที่จะทำการปรับปรุง โดยยกตัวอย่างให้เวลาในแต่ละขั้นตอนการตรวจสอบทั้งวิธีการไหลของชิ้นงานแบบเก่าและใหม่เท่ากันคือ 1) หัวตรวจสอบเกลียวด้าน Go ใช้เวลา 2 หน่วยเวลา 2) หัวตรวจสอบเกลียวด้าน No Go ใช้เวลา 1 หน่วยเวลา 3) ตรวจชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นเท่ากัน เปรียบเทียบดังตารางที่ 7 และ 8 พบว่า วิธีการวัดแบบเดิมใช้รอบเวลาการตรวจสอบอยู่ที่ 3 หน่วยเวลาต่อชิ้น ถ้าชิ้นงานมี 5 ชิ้น จะใช้เวลา 15 หน่วย และเมื่อทำการแยกหัววัดให้มีอิสระต่อกัน วิธีการวัดแบบใหม่มีรอบเวลาการวัดทั้งหมดอยู่ที่ 11 หน่วย หรืออยู่ที่ 2.2 หน่วยเวลาต่อชิ้น ตามสมการที่ (7) ชิ้นงานจะเกิดเวลารอคอยที่สั้นลง และส่งผลให้เวลารวมในการตรวจสอบชิ้นงานลดลง และหากยิ่งจำนวนชิ้นงาน (N) มากขึ้นเท่าใด เวลารวมในการตรวจสอบ และรอบเวลาการทำงานต่อชิ้นลดลง

ตารางที่ 7 จังหวะเคลื่อนที่ของชิ้นงานโดยใช้แท่งตรวจสอบเกลียวในต่อหน่วยเวลา

เวลา (หน่วย)	แบบใช้แท่งตรวจสอบเกลียวกับพนักงาน (แบบเก่า)			
	ชิ้นงานที่รอรับการตรวจสอบ	Go Gauge	No Go Gauge	ชิ้นงานที่ตรวจสอบเสร็จสิ้น
0	E D C B A			
1	E D C B	A		
2	E D C B	A		
3	E D C B		A	
4	E D C	B		A
5	E D C	B		A
6	E D C		B	A
7	E D	C		B A
8	E D	C		B A
9	E D		C	B A
10	E	D		C B A
11	E	D		C B A
12	E		D	C B A
13		E		D C B A
14		E		D C B A
15			E	D C B A
16				E D C B A

ตารางที่ 8 จังหวะเคลื่อนที่ของชิ้นงานโดยเครื่องตรวจสอบเกลียวในต่อหน่วยเวลา

เวลา (หน่วย)	รางเคลื่อนที่ชิ้นงานแบบต่อเนื่อง (แบบใหม่)			
	ชิ้นงานที่รอรับการตรวจสอบ	Go Gauge	No Go Gauge	ชิ้นงานที่ตรวจสอบเสร็จสิ้น
0	E D C B A			
1	E D C B	A		
2	E D C B	A		
3	E D C	B	A	
4	E D C	B		A
5	E D	C	B	A
6	E D	C		B A
7	E	D	C	B A
8	E	D		C B A
9		E	D	C B A
10		E		D C B A
11			E	D C B A
12				E D C B A

อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการลดระยะเวลาในการวัดลงได้นั้น คือ การเลือกความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับความยาวเกลียวชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบ โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (8) และ (9) ซึ่งเกลียวชิ้นงานที่นำมาวิจัยในงานนี้มีระยะพิตช์ 1.25 มิลลิเมตร ความยาวเกลียวรวม 14 มิลลิเมตร รอบการหมุนเกลียวนี้จุดสุดชิ้นงานจึงเท่ากับ 11.2 รอบ และเวลาเป้าหมายของการหมุนเกลียวตรวจสอบชิ้นงานคือ 3 วินาที รอบของมอเตอร์ที่ทำการคำนวณออกมาจึงมีค่าเท่ากับ 448 รอบต่อนาที ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้มอเตอร์ที่มาความเร็วรอบใกล้เคียงมากที่สุดคือ 450 รอบต่อนาที เพื่อใช้สำหรับการหมุนตรวจสอบเกลียวชิ้นงาน

$$n = \frac{L}{P} \tag{8}$$

โดยที่

n = รอบการหมุนเกลียว (รอบ)

L = ระยะความยาวเกลียวทั้งหมด (มิลลิเมตร)

P = ระยะพิตช์เกลียว (มิลลิเมตร)

$$\text{ความเร็วรอบมอเตอร์ (RPM)} = \frac{2n}{T} \times 60 \tag{9}$$

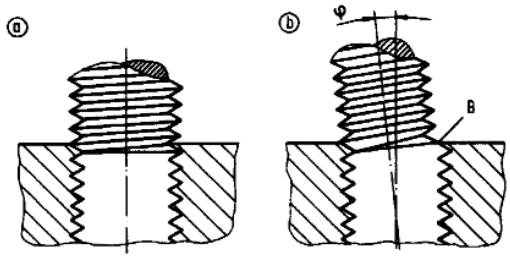
โดยที่

T = เวลาเป้าหมาย (วินาที)

* รอบการหมุนเกลียวเป็น $2n$ เนื่องจากมีการหมุนเข้าและหมุนออก

2.5.2 การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านคุณภาพการวัดเกลียว

การใช้แท่งตรวจสอบเกลียวแบบดั้งเดิมนั้นต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจสอบในการตัดสินใจถึงองศาที่ผิดพลาดระหว่างการขันเกลียว และแรงที่ใช้ในระหว่างขันเกลียว สองปัจจัยนี้จำเป็นที่จะต้องถูกแปลงมาเป็นข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องตรวจสอบเกลียวใน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการควบคุมคุณภาพในการตรวจสอบชิ้นงานทุกชิ้นจะมีเกณฑ์การตรวจสอบที่เหมือนกัน



รูปที่ 5 อิทธิพลของระยะช่องว่างความเผื่อเกลียวที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงมุม [7]

2.5.2.1 องศามุมองศาผิดพลาดที่อนุญาตได้ (Allowed Angle Error) ระหว่างขันเกลียวนั้นขึ้นอยู่กับสองจุดเริ่มต้นที่เกลียวนอกและเกลียวในสัมผัสกัน และมีช่องว่างตามแนวแกนที่เกิดจากระยะความเผื่อเกลียว [7] ดังรูปที่ 5 และการหาขนาดของมุมองศาผิดพลาดที่อนุญาตสูงสุดจากสมการที่ (10) ซึ่งถ้ามากเกินไปจะทำให้ต้องใช้แรงในการขันที่มาก และส่งผลทำให้ชิ้นงานและตัวเกจเสียหายได้

$$\phi_{max} = \tan^{-1}\frac{S_g}{d_n} \tag{10}$$

โดยที่

S_g = ระยะช่องว่างระหว่างเกลียวตามแนวแกน (มิลลิเมตร) หาจากสมการที่ (13)

d_n = Nominal Diameter (มิลลิเมตร)

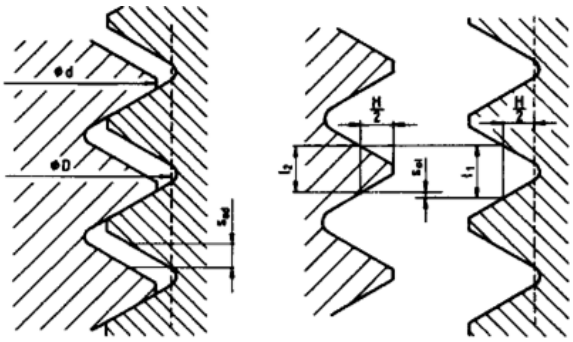
ระยะห่างช่องว่างตามแนวแกนเกลียว ประกอบไปด้วยสองปัจจัย คือ ระยะความห่างระหว่างพิกัดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวดังรูปที่ 6 (ก) และระยะห่างระหว่างความหนาฟันเกลียวใน และฟันเกลียวนอกที่ระยะวงกลมพิตช์ดังรูปที่ 6 (ข) และ 6 (ค) ตามลำดับ

ระยะความห่างระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวนอกและเกลียวใน (S_{ad}) สามารถหาได้จากสมการที่ (11)

$$S_{ad} = (D - d) \times 2 \times \tan 30^\circ \tag{11}$$

โดยที่ D = Major Diameter$_{max}$ (มิลลิเมตร)

d = Major Diameter$_{min}$ (มิลลิเมตร)



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 6 (ก) ระยะความห่างระหว่างพิกัดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (ข) ระยะห่างระหว่างความหนาฟันเกลียวนอกที่ระยะวงกลมพิตช์ (ค) ระยะห่างระหว่างความหนาฟันเกลียวในที่ระยะวงกลมพิตช์ [7]

ระยะห่างระหว่างความหนาฟันเกลียวในและฟันเกลียวนอกที่ระยะวงกลมพิตช์ (S_{al}) สามารถหาได้จากสมการที่ (12)

$$S_{al} = L_1 - L_2 \tag{12}$$

โดยที่

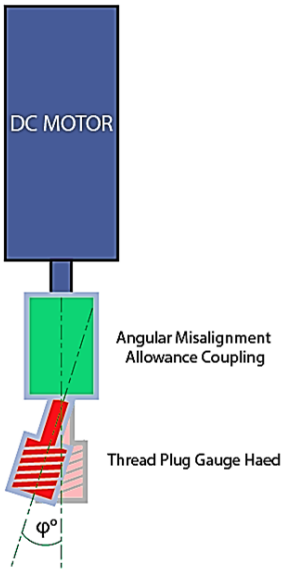
L_1 = ความหนาฟันเกลียวนอกที่วงกลมพิตช์ (มิลลิเมตร)

L_2 = ความหนาฟันเกลียวในที่วงกลมพิตช์ (มิลลิเมตร)

ระยะห่างช่องว่างตามแนวแกนรวม (S_g) ดังสมการที่ (13)

$$S_g = S_{ad} + S_{al} \tag{13}$$

เมื่อทำการคำนวณหามุมองศาผิดพลาดที่ยอมรับได้ในระหว่างการขันเกลียวเพื่อวัดได้แล้ว จากนั้นทำการออกแบบติดตั้งหัววัดเกลียวเข้ากับการมอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกจากหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งได้ใช้ยอยแบบมีพิกัดอนุญาตเยื้องศูนย์เชิงมุม (Angular Misalignment Allowance Coupling) ซึ่งมีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 7 เป็นตัวกำหนดระยะองศาสูงสุดที่หัวตรวจสอบเกลียวจะทำมุมเอียงรับกับชิ้นงานที่มีความเอียงของรูเกลียวมากสุดตามระยะของมุมองศาผิดพลาดที่อนุญาตได้ หากรูเกลียวของชิ้นงานที่ทำการผลิตขึ้นมามีความเอียง



รูปที่ 7 ลักษณะการออกแบบติดตั้งหัวเกลียวตรวจสอบเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้า

เยื้องแนวแกนเกินกำหนดหัวตรวจสอบเกลียวจะไม่สามารถหมุนเข้าไปตรงสอบยังชิ้นงานได้

2.5.2.2 การวัดแรงบิดเมื่อขณะขันเกลียวด้วยการวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า สามารถบอกลักษณะความผิดปกติในการขันเกลียวได้ และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับสัญญาณทางไฟฟ้าได้ การวัดกระแสไฟฟ้า (Current) เทียบกับค่าแรงบิด (Torque) เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณทางไฟฟ้ากับการหาค่าแรงบิดที่แม่นยำและเหมาะสมที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ที่ 94.6 เปอร์เซ็นต์ [8] โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (14)

$$T = K\phi I \tag{14}$$

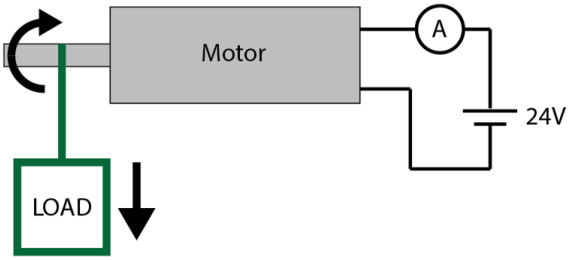
โดยที่ T = แรงบิดมอเตอร์ (N.m)

K = ค่าคงที่ของแรงบิด

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

และ I = กระแสไฟฟ้า (A)

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกระแสไฟฟ้าจากสมการที่ (14) ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยน



รูปที่ 8 กระแสไฟฟ้าเมื่อตรวจสอบชิ้นงานเกลียวปกติ

ไปจากการถ่วงโหลดน้ำหนักที่มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0.25 ถึง 2.5 กิโลกรัม หรือ 2.45 ถึง 24.5 นิวตัน แขวนที่เพลามอเตอร์ดังรูปที่ 8 ซึ่งสามารถคิดเป็นแรงบิดที่มอเตอร์ไฟฟ้าต้องใช้ได้จากสมการที่ (15)

$$T = F \times R \tag{15}$$

โดยที่ T = แรงบิดมอเตอร์ (N.m)

F = โหลดน้ำหนัก (N)

R = เส้นรัศมีเพลามอเตอร์ (m)

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากโหลดน้ำหนักแต่ละช่วงทำการวัดจำนวนช่วงละ 5 ครั้ง และทำการหาความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงบิดในรูปแบบของการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ดังรูปที่ 9 และจากกราฟความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงบิดจากมอเตอร์ไฟฟ้าในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าแรงบิดมอเตอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมุนหัวตรวจสอบเกลียวได้โดยสมการที่ (16)

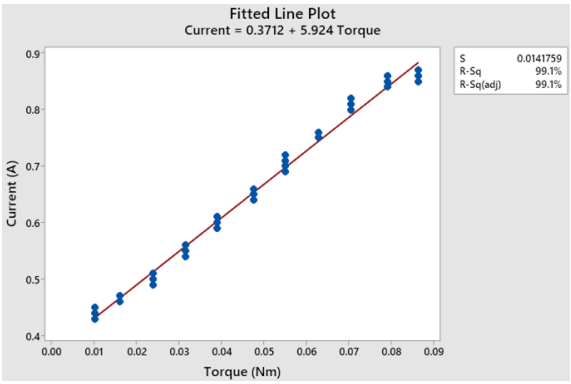
$$I = 0.3712 + 5.924T \tag{16}$$

โดยที่ I = กระแสไฟฟ้า (A)

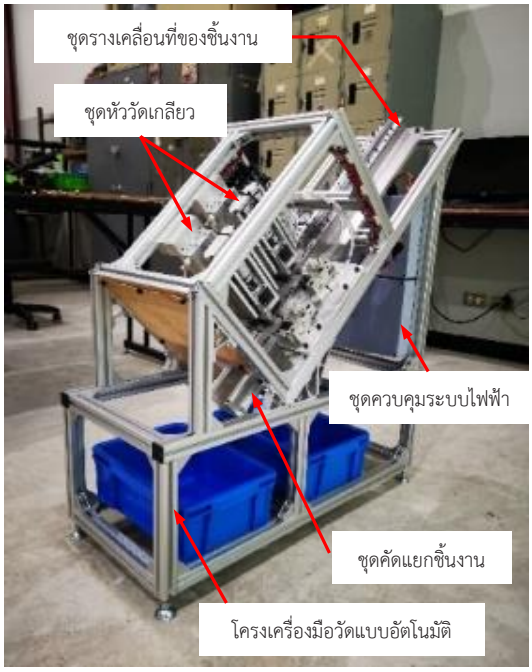
T = แรงบิดมอเตอร์ (Nm)

2.5.3 การพัฒนาเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องมือวัดสลักภัณฑ์ประเภทเกลียวในผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ โดยแยกการออกแบบเป็น 5 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่ 1) ชุดหัววัดเกลียว 2) ชุดคัดแยกชิ้นงาน 3) ชุดรางเคลื่อนที่ของชิ้นงาน 4) โครงเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ และ 5) ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงบิด

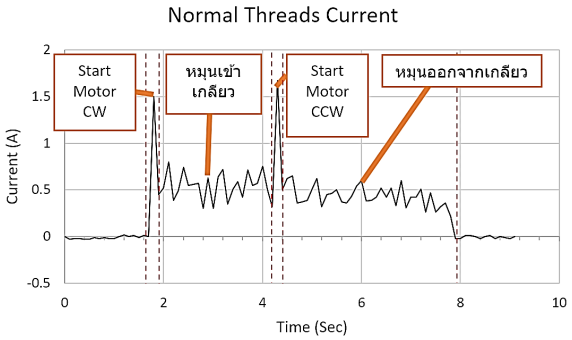


รูปที่ 10 เครื่องตรวจสอบเกลียวเมื่อประกอบเสร็จสิ้น

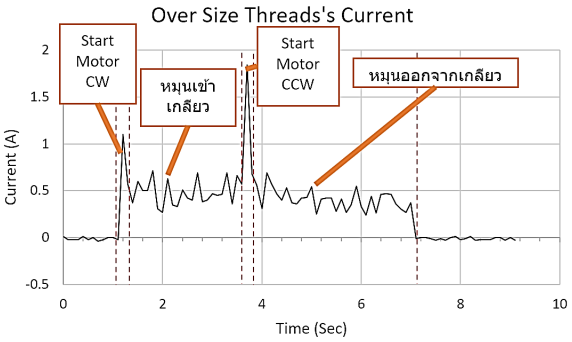
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้า

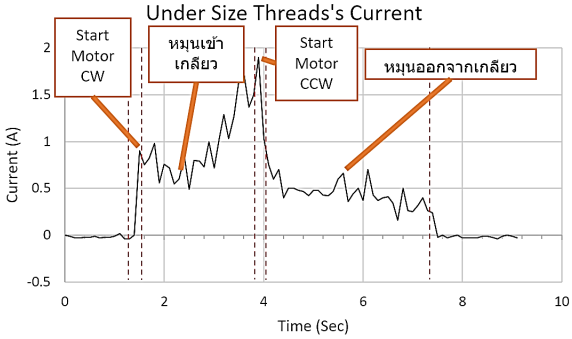
ผู้วิจัยได้เลือกใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบมอดูล (Current Sensors Module) นำมาวัดกระแสไฟฟ้าขณะที่ชุดหัวตรวจสอบเกลียวด้าน Go ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ความแตกต่างของสัญญาณกระแสไฟฟ้าขณะที่ขันตรวจสอบเกลียวที่มีลักษณะแตกต่างกันไปดังรูปที่ 11 ถึง 14



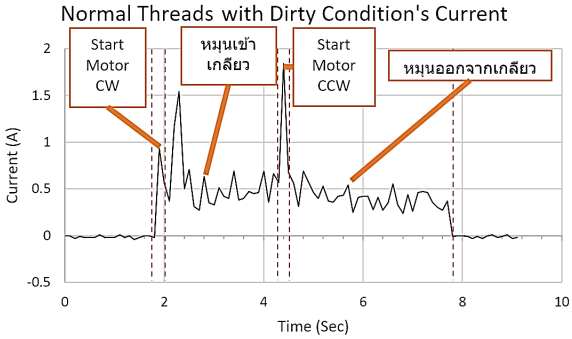
รูปที่ 11 กระแสไฟฟ้าชิ้นงานรูเกลียวปกติฝั่ง Go



รูปที่ 12 กระแสไฟฟ้าชิ้นงานรูเกลียวใหญ่กว่าปกติฝั่ง Go



รูปที่ 13 กระแสไฟฟ้าชิ้นงานรูเกลียวเล็กกว่าปกติฝั่ง Go



รูปที่ 14 กระแสไฟฟ้าชิ้นงานรูเกลียวขนาดปกติที่มีเศษครีบในชิ้นงาน

ผลการวัดกระแสไฟฟ้าด้านหัววัดฝั่ง Go พบว่า ชิ้นงานที่มีขนาดเกลียวปกติ และใหญ่กว่าปกติจะมีค่ากระแสไฟฟ้าขณะหมุนเข้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.5 แอมป์ ซึ่งใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อนำชิ้นงานที่มีขนาดเล็กกว่าปกติมาทำการทดสอบพบว่า กระแสไฟฟ้าขณะหมุนเข้าจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนเกือบถึง 2 แอมป์ ดังรูปที่ 13 เนื่องจากเกลียวที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดระยะห่างระหว่างรูเกลียว และชิ้นงานที่น้อยกว่าปกติ มอเตอร์จึงต้องใช้กระแสที่สูงขึ้นเพื่อพยายามขันเกลียวเข้าไปอัดกับชิ้นงาน ซึ่งในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องนำชิ้นงานไปวัดด้วยหัววัดฝั่ง No Go เพราะถือว่าเป็นชิ้นงานเสียที่ขนาดเกลียวเล็กกว่าปกติ

ส่วนกรณีชิ้นงานเกลียวขนาดปกติที่มีเศษผง หรือครีบในชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิตเกลียวนั้น ก่อให้เกิดการใช้แรงบิดที่มากขึ้นทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในบางครั้งอาจสูงเทียบเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชิ้นงานที่เล็กกว่าปกติ แสดงดังรูปที่ 14 ทำให้เครื่องตรวจสอบตัดสินว่าชิ้นงานลักษณะนี้เป็นชิ้นงานเสียประเภทเล็กกว่าปกติ จึงถือว่าเป็นข้อจำกัดของเครื่องนี้ (ต้องทำความสะอาดชิ้นงานก่อนวัด)

การหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจคัดเลือกชิ้นงานที่มีรูเกลียวปกติกับชิ้นงานที่มีรูเกลียวเล็กกว่าปกติ ผู้วิจัยได้จัดหาตัวอย่างชิ้นงานที่มีขนาดรูเกลียวปกติ และชิ้นงานที่มีรูเกลียวเล็กกว่าปกติจากการใช้ความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวมาอย่างละ 5 ชิ้น โดยให้เครื่องวัดแบบอัตโนมัติวัดซ้ำชิ้นละ 10 ครั้ง แล้วหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงหมุนเกลียวเข้าแสดงในตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ค่ากระแสเฉลี่ยจากการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างแบบปกติ

ชิ้นงาน / ครั้งที่	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)				
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5
#1	0.45	0.41	0.35	0.42	0.41
#2	0.43	0.42	0.35	0.49	0.46
#3	0.45	0.41	0.36	0.52	0.48
#4	0.45	0.39	0.39	0.42	0.43
#5	0.43	0.41	0.35	0.43	0.43
#6	0.46	0.46	0.34	0.44	0.46
#7	0.40	0.41	0.35	0.43	0.43
#8	0.43	0.43	0.3	0.42	0.42
#9	0.44	0.43	0.32	0.46	0.42
#10	0.43	0.41	0.35	0.45	0.42
AVG	0.417 A				
Torque	0.0077 Nm				

ตารางที่ 10 ค่ากระแสเฉลี่ยจากตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างที่เริ่มมีขนาดรูเกลียวเล็กกว่าปกติ

ชิ้นงาน / ครั้งที่	ค่ากระแสไฟฟ้า (A)				
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5
#1	0.56	0.7	0.59	0.59	0.53
#2	0.6	0.71	0.58	0.61	0.53
#3	0.7	0.68	0.59	0.6	0.59
#4	0.54	0.68	0.63	0.58	0.57
#5	0.6	0.71	0.55	0.56	0.57
#6	0.5	0.72	0.58	0.58	0.55
#7	0.61	0.69	0.59	0.59	0.53
#8	0.58	0.71	0.54	0.61	0.54
#9	0.54	0.75	0.56	0.65	0.56
#10	0.57	0.71	0.57	0.56	0.57
AVG	0.602 A				
Torque	0.039 Nm				

จากตารางที่ 9 พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มีรูเกลียวปกติมีค่าอยู่ที่ 0.417 แอมป์ และจากตารางที่ 10 พบว่าชิ้นงานที่มีรูเกลียวเล็กกว่าปกติมีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.602 แอมป์ เมื่อเทียบเป็นแรงบิดจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด และกระแสจากสมการที่ (16) แรงบิดเฉลี่ยที่ใช้วัดชิ้นงานที่มีรูเกลียวปกติมีค่า 0.077 นิวตันเมตร และแรงบิดเฉลี่ยที่ใช้วัดชิ้นงานที่มีรูเกลียวเล็กกว่าปกติมีค่า 0.039 นิวตันเมตร

ในกรณีวัดฝั่ง No Go จะใช้เกณฑ์ในการตรวจสอบด้วยเงื่อนไขที่ว่าถ้าหัววัดฝั่ง No Go เข้าไปในชิ้นงานได้มากกว่าระยะ 2 เกลียวจะถือว่าไม่ผ่าน ในการตรวจสอบจึงกำหนดเป็นระยะพิตช์เป็นข้อกำหนด

3.2 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

หลังจากได้เกณฑ์และข้อกำหนดของหัววัดทั้งฝั่ง Go และ No Go มาใช้กับเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ จึงนำเครื่องมาทำการทดสอบ MSA ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) เตรียมตัวอย่างชิ้นงาน 100 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบด้วยการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวโดยผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยชิ้นงานดี (Go) 80 ชิ้น ชิ้นงานเสียเกลียวเล็กกว่าพิกัด (N1) 10 ชิ้น และชิ้นงานเสียเกลียวใหญ่กว่าพิกัด (N2) 10 ชิ้น

2) ทำการตอกหมายเลขชิ้นงานแต่ละชิ้นตามการสุ่มของโปรแกรม Minitab

3) กำหนดให้เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องตรวจสอบเกลียวในและเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับในระบบการวัดของ Automotive Industry Action Group

4) กำหนดให้มีการทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

5) สุ่มชิ้นงานเข้าไปวัดภายในเครื่องตรวจสอบทีละชิ้นโดยเมื่อครบ 100 ชิ้น ที่ไม่ซ้ำชิ้นงานเดิมนับเป็นหนึ่งรอบการทดสอบ

6) เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแต่ละครั้งจะทำความสะอาดรูเกลียวก่อนทดสอบครั้งต่อไป

7) บันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 11 และใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ผลโดยใช้ Attribute Agreement Analysis เพื่อวิเคราะห์ผลความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่อง และความสามารถในการวัดซ้ำเมื่อเทียบผลกับความถูกต้องดังรูปที่ 15 จากทำการปรับผลค่า N1 และ N2 ให้เป็นค่า NG เนื่องจากเป็นผลของเสียเหมือนกันและใช้ Measurement System Analysis (MSA) เพื่อวิเคราะห์ผลดัชนีความมีประสิทธิผล ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด และดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับของเสียอย่างผิดพลาดดังรูปที่ 16

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบเครื่องตรวจสอบเกลียวใน

Sample	Actual	#1	#2	#3	#4	#5	Sample	Actual	#1	#2	#3	#4	#5	Sample	Actual	#1	#2	#3	#4	#5
1	Go	Go	Go	Go	Go	Go	49	Go	Go	Go	Go	Go	Go	97	Go	Go	Go	Go	Go	Go
2	Go	Go	Go	Go	Go	Go	50	Go	Go	Go	Go	Go	Go	98	N1	N1	N1	N1	Go	Go
3	Go	Go	Go	Go	Go	Go	51	Go	Go	Go	Go	Go	Go	99	Go	Go	Go	Go	Go	Go
4	Go	Go	Go	Go	Go	Go	52	N2	N2	N2	N2	N2	N2	100	Go	Go	Go	Go	Go	Go
5	N1	N1	N1	N1	N1	N1	53	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
6	Go	Go	Go	Go	Go	Go	54	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
7	Go	Go	Go	Go	Go	Go	55	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
8	Go	Go	Go	Go	Go	Go	56	N1	N1	N1	N1	N1	N1							
9	N2	N2	N2	N2	N2	N2	57	Go	Go	Go	N1	Go	Go							
10	Go	Go	Go	Go	Go	Go	58	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
11	Go	Go	Go	Go	Go	Go	59	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
12	Go	Go	Go	Go	Go	Go	60	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
13	N1	N1	N1	N1	N1	N1	61	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
14	Go	Go	Go	Go	Go	Go	62	Go	Go	N1	Go	Go	Go							
15	Go	Go	Go	Go	Go	Go	63	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
16	N1	N1	N1	N1	N1	N1	64	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
17	N2	N2	N2	N2	N2	N2	65	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
18	Go	Go	Go	Go	Go	Go	66	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
19	N2	N2	N2	N2	N2	N2	67	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
20	Go	Go	Go	Go	Go	Go	68	Go	Go	Go	N1	Go	Go							
21	Go	Go	Go	Go	N1	Go	69	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
22	Go	Go	Go	N1	Go	N1	70	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
23	Go	Go	Go	Go	Go	Go	71	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
24	Go	Go	Go	Go	Go	Go	72	N2	N2	N2	N2	N2	N2							
25	Go	Go	Go	Go	Go	Go	73	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
26	Go	Go	Go	Go	Go	Go	74	Go	Go	Go	Go	N1	N1							
27	Go	Go	Go	Go	Go	Go	75	N1	N1	N1	N1	N1	N1							
28	N2	N2	N2	N2	N2	N2	76	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
29	Go	Go	Go	Go	Go	Go	77	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
30	N1	N1	N1	N1	N1	Go	78	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
31	Go	Go	Go	Go	Go	Go	79	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
32	Go	Go	Go	Go	Go	Go	80	Go	Go	Go	N1	N1	N1							
33	Go	Go	N1	Go	Go	N1	81	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
34	Go	Go	Go	Go	Go	Go	82	N2	N2	N2	N2	N2	N2							
35	N2	N2	N2	N2	N2	N2	83	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
36	Go	Go	Go	Go	Go	Go	84	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
37	Go	Go	Go	Go	Go	Go	85	Go	N1	Go	Go	Go	Go							
38	Go	Go	Go	Go	Go	Go	86	N1	N1	N1	N1	N1	Go							
39	N1	N1	N1	N1	N1	N1	87	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
40	Go	Go	Go	N1	N1	Go	88	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
41	Go	Go	Go	Go	Go	Go	89	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
42	Go	Go	Go	Go	Go	N1	90	N2	N2	N2	N2	N2	N2							
43	Go	Go	Go	Go	Go	N1	91	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
44	Go	Go	Go	Go	Go	Go	92	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
45	N2	N2	N2	N2	N2	N2	93	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
46	Go	Go	Go	Go	Go	Go	94	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
47	N1	N1	N1	N1	N1	N1	95	Go	Go	Go	Go	Go	Go							
48	Go	Go	Go	Go	Go	Go	96	Go	Go	Go	Go	Go	Go							

หมายเหตุ: Go คือ ชิ้นงานดี
N1 คือ ชิ้นงานเสียด้าน Go
N2 คือ ชิ้นงานเสียด้าน No Go

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	100	85	85.00	(76.47, 91.35)

 # Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

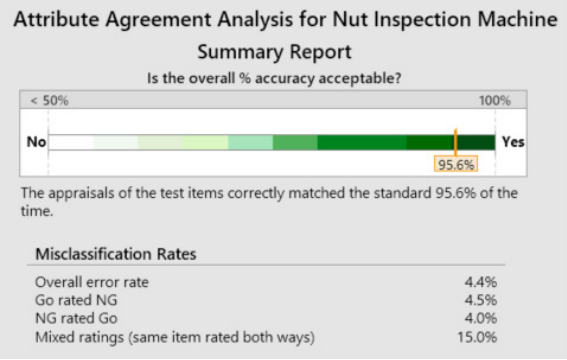
Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	100	85	85.00	(76.47, 91.35)

 # Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

รูปที่ 15 ผลการวิเคราะห์จาก Attribute Agreement Analysis ใน Minitab



รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์จาก Measurement System Analysis (MSA) ใน Minitab

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องตรวจสอบกับเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับในระบบการวัดของ Automotive Industry Action Group ดังตารางที่ 12 พบว่า ผลความสามารถในการวัดซ้ำของเครื่อง และความสามารถในการวัดซ้ำเมื่อเทียบผลกับความถูกต้องมีค่าอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองค่าและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ผลดัชนีความมีประสิทธิผลของเครื่องตรวจสอบมีค่าอยู่ที่ 95.6 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งสองค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสุดท้ายดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับของเสียอย่างผิดพลาดมีค่าอยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์การยอมรับแบบก้ำกึ่ง

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบระบบการวัด (MSA)

ดัชนีชี้วัด	ผลการวัดจากเครื่องตรวจสอบเกลียวใน	เกณฑ์ที่ยอมรับ	ผลการตัดสินใจ
% Appraiser	85 %	≥ 80%	ยอมรับการตรวจสอบได้
% Attribute	85 %	≥ 80%	ยอมรับการตรวจสอบได้
O_E	95.6 %	≥ 90%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≥ 80%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		< 80%	ต้องการการปรับปรุง
I_{FA}	4.5 %	≤ 5%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≤ 10%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		> 10%	ต้องการการปรับปรุง
I_{MISS}	4 %	≤ 2%	ยอมรับการตรวจสอบได้
		≤ 5%	ยอมรับแบบก้ำกึ่ง
		> 5%	ต้องการการปรับปรุง

3.3 ผลการทดสอบเวลาการทำงานเครื่องตรวจสอบเกลียวใน

ทดสอบโดยการจับเวลาการทำงานของเครื่องเมื่อตรวจสอบชิ้นงานครบ 100 ชิ้น เช่นเดียวกับที่ทดสอบกับพนักงานที่ใช้แท่งตรวจสอบเกลียว โดยทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ผลการจับเวลาเป็นไปดังตารางที่ 13 โดยที่เวลาเฉลี่ยต่อการตรวจสอบชิ้นงานหนึ่งชิ้นของเครื่องตรวจสอบเกลียวในจะถือว่าเป็นเวลามาตรฐานเพราะว่าไม่จำเป็นที่ต้องคำนวณเวลาเผื่อเหมือนกับการทำงานของพนักงานร่วมกับแท่งตรวจสอบเกลียวใน

ตารางที่ 13 ผลการจับเวลาการทำงานของเครื่องตรวจสอบเกลียวใน

วิธีการตรวจสอบ	ชิ้นงาน 100 ชิ้น (วินาที)				เวลาเฉลี่ยต่อหนึ่งชิ้น (วินาที)
	#1	#2	#3	เฉลี่ย	
เครื่องตรวจสอบเกลียวใน	527	528	526	527	5.27

การเปรียบเทียบเวลาการทำงานระหว่างการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวใน และเครื่องตรวจสอบเกลียวในแบบอัตโนมัติ แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า เครื่องตรวจสอบเกลียวในแบบอัตโนมัติมีเวลามาตรฐานอยู่ที่ 5.27 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งมีเวลาที่เร็วกว่าวิธีการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวในที่มีเวลามาตรฐานอยู่ที่ 19.48 วินาทีต่อชิ้น

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการตรวจสอบ

วิธีการตรวจสอบ	เวลามาตรฐาน (วินาทีต่อชิ้น)
แท่งตรวจสอบเกลียวใน	19.48
เครื่องตรวจสอบเกลียวใน	5.27

4. อภิปรายผลและสรุป

ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการวัดตัวอย่างชิ้นงานที่เริ่มมีขนาดรูเกลียวเล็กกว่าปกติมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.602 แอมป์ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจของเครื่องตรวจสอบเกลียวใน หากชิ้นงานที่มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าหรือเท่ากับค่านี้จะถูกตัดสินว่าเป็นชิ้นงานเสีย และหากชิ้นงานที่ตรวจสอบมีครีบหรือเศษผงเล็กน้อยภายในรูเกลียวเครื่องตรวจสอบจะให้ผลเกณฑ์การตัดสินใจเป็นชิ้นงานที่เสียเนื่องจากไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ จึงแนะนำว่าควรควบคุมความสะอาดภายในรูเกลียวใน เพื่อป้องกันการเกิดเกณฑ์การตัดสินใจที่ผิดพลาด และเป็นการรักษาหัวตรวจสอบเกลียวให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น การวัดค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อเทียบกับแรงบิดโดยใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบมอดูล รุ่น ACS712 มีช่วงการวัดกระแสอยู่ที่ –5 ถึง 5 แอมป์ ซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นจากการวัดชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วงการวัดของเซนเซอร์ชนิดนี้ เมื่อเทียบค่ากระแสที่เกิดขึ้นเป็นค่าแรงบิดที่มอเตอร์จะต้องใช้ในการหมุนตรวจสอบเกลียวที่มีขนาดรูเกลียวเล็กกว่าปกติมีค่าอยู่ที่ 0.039 นิวตันเมตร ซึ่งค่าแรงบิดที่จะต้องใช้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่มอเตอร์สามารถทำงานได้

การออกแบบให้วิธีการทำงานของเครื่องตรวจสอบมีกระบวนการเป็นแบบการไหลต่อเนื่อง และเลือกใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับระยะพิตช์เกลียวเพื่อให้ได้มาซึ่งช่วงเวลาเป้าหมายการทำงานของขั้นตอนตรวจสอบที่ต้องการสามารถทำให้เวลาในการตรวจสอบลดลงจากวิธีการที่ใช้แท่งตรวจสอบเกลียวในแบบดั้งเดิม โดยเครื่องตรวจสอบเกลียวในมีเวลามาตรฐานอยู่ที่ 5.27 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการใช้แท่งตรวจสอบเกลียวคิดเป็น 72.95 เปอร์เซ็นต์

สุดท้ายเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติเครื่องนี้สามารถคงคุณภาพเกณฑ์การตัดสินใจได้ทำให้มีผลของการประเมินการวิเคราะห์ระบบการวัด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกลุ่มปฏิบัติการอุตสาหกรรมยานยนต์ และได้ความเร็วมากกว่าเดิมถึง 14.21 วินาทีต่อชิ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ไทยมงคลสลักภัณฑ์ จำกัด และโปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณของงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบคุณชุมนุมส่งเสริมกิจกรรมหุ่นยนต์ (iRAP) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Sathitbun-anan, “Trends and disruptive direction in mega factors affecting Thailand taking off to the new heights in the industry 4.0,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp. 175–183, 2020 (in Thai).

[2] Keyence. (2021). *Automotive/Transportation*. [Online]. Available: https://www.keyence.co.th/ss/products/auto_id/handheld-terminals/exam ple /automobile.jsp

[3] D.-B. Perng, S.-H. Chen, and Y.-S. Chang, “A novel internal thread defect auto-inspection system,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 47, no. 5, pp. 731–743, 2010.

[4] C. Lin, “Real-time pitch diameter measurement of internal thread for nut using laser triangulation,”

2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), presented at the IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Turin, Italy, 22–25 May 2017.

[5] A. Mathawin, *Fine Measurements*. Bangkok: Se-Ed Book Center. 2012 (in Thai).

[6] N. Thawesaengskulthai. *Quality Engineering and Management Guide to Continual Improvement and Innovation Creation*. Bangkok: CUpress, 2019 (in Thai).

[7] J. Milberg and C. Maier, "Contribution to the automation of screwdriving with the aid of industrial robots," *Annals of the CIRP*, vol. 34, no. 1, pp. 49–52, 1985.

[8] K. Dabsomsri and C. Photong, "The study of abnormal screwing and torque measurement technique of automatic screw tightening robot using electrical signal analysis," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 62–77, 2020 (in Thai).