การพัฒนาเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกสำหรับใช้ในการศึกษา
Development of a Gauge Block Surface Conditioning Machine for Educational Use

ณัฐพล บุญอธึก[1], สิริวรรณ บริพัตรโกศล[2], นพชัย สายแวว[3*], พิพัฒน์ ไพศาลภานุมาศ[4,] ธรรมรัตน์ สมทอง[5] และ กิตติสัณห์ มงคลสุทธิรัตน์[6]

Natthaphon Bun-Athuek[1], Siriwan Boripatkosol[2], Noppachai Saivaew[3*], Pipat Phaisalpanumas[4], Thammarat Somthong[5] and Kittisun Mongkolsuttirat[6]

[1,2,3]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพฯ 10800*

[4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพฯ 10800

[5,6]กลุ่มงานมาตรฐานปฐมภูมิความยาว ฝ่ายมาตรวิทยามิติ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จังหวัดปทุมธานี 12120

[1,2,3]Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800*

[4]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

[5,6]Primary Length Standard Group, Dimensional Metrology Department, National Institute of Metrology (Thailand), Pathumthani, 12120

Received : 2025-12-22 Revised : 2026-02-23 Accepted : 2026-02-25

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกเพื่อใช้ในกระบวนการลบรอยเยินที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานบริเวณผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกชนิดที่ทำจากเหล็กสำหรับใช้ในการศึกษาขั้นตอนการประกอบเกจบล็อกเท่านั้น โดยเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่ ชุดหัวขัด ส่วนโครงเครื่อง และชุดควบคุมการทำงาน ซึ่งเครื่องที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะถูกทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการนำไปขัดผิวเกจบล็อกที่มีรอยเยินหรือเกิดการสึกหรอจำนวน 5 ชิ้น แล้วจึงทำการตรวจสอบแถบแสง (Fringe) ที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าสัมผัสของแท่งแก้วทดสอบความราบ (Optical flat) กับหน้าสัมผัสของเกจบล็อกแต่ละชิ้น จากนั้นจึงทำการประเมินความคิดเห็นของผู้ทดสอบใช้งานโดยใช้แบบสอบถามเป็นแบบประเมินค่า 5 ระดับ เพื่อเก็บผลและแปลผลสำรวจระดับความพึงพอใจ จากผลการวิจัย พบว่า เครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถลดรอยเยินที่เกิดขึ้นบนผิวของเกจบล็อกได้อย่างชัดเจน โดยสามารถลดรอยเยินได้จำนวน 1-2 แถบ ในเวลา 30 วินาที และไม่พบแถบแสงบนผิวเกจบล็อกทุกชิ้นที่ทำการทดสอบปรับปรุงผิวแล้วนอกจากนี้ยัง พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์พึงพอใจมากที่สุด

คำสำคัญ : การปรับปรุงผิว, เกจบล็อก, แถบแสง

Abstract

This research has created gauge block surface conditioning machine, to be used in the process of removing defects that occur when using the surface of gauge blocks made of steel for educational use only, specifically for the assembly procedure of gauge blocks. The gauge block surface conditioning machine consists of three main parts: polishing head, machine frame and controller. This machine was tested by polishing five gauge blocks with surface damage.

*นพชัย สายแวว
E-mail address: noppachai.s@cit.kmutnb.ac.th

Fringe inspection will be performed at the interface between the optical flat and the gauge block. User feedback will be assessed through a five-level questionnaire to collect statistical results and interpret user satisfaction. The results obtained from the experiments indicated that the gauge block surface conditioning machine significantly reduced surface defects on the gauge block. We found that the defects were reduced by 1–2 fringes within 30 seconds, and no defects were observed on the tested gauge block. User satisfaction with the machine was considered high.

Keywords : Surface Conditioning, Gauge block, Fringe

1.บทนำ

เกจสี่เหลี่ยมหรือเกจบล็อก (Gauge Block) เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบมาตรวิทยา โดยใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างระยะทางอ้างอิงแบบเชิงเส้น [1], [2] เพื่อใช้ในกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียดทางด้านมิติ เช่น เวอร์เนียคาลิปเปอร์และไมโครมิเตอร์วัดนอก เป็นต้น [3] เนื่องจากเกจบล็อกเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นที่สำคัญ คือ มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง (High accuracy and high precision) มีผิวสัมผัสที่มีคุณภาพความราบเรียบสูงและทนทานต่อการสึกหรอได้ดี [4] ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เกจบล็อกเป็นหนึ่งในเครื่องมือทางด้านมาตรวิทยามิติที่มีราคาแพง อย่างไรก็ตามเกจบล็อกยังมีข้อจำกัดในการใช้งานที่สำคัญประการหนึ่งคือจำนวนชิ้นและความหลากหลายของขนาดความยาวเกจบล็อกแต่ละชิ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ผลิตจะทำการกำหนดมาในเกจบล็อกแต่ละชุด ซึ่งทำให้ในการสร้างระยะทางอ้างอิงเชิงเส้นเพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือนั้น จำเป็นต้องมีการประกอบ (Wringing) เกจบล็อกจำนวนตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ขนาดความยาวสุทธิตามที่ต้องการ โดยในการประกอบเกจบล็อกเข้าด้วยกันจะต้องอาศัยคุณสมบัติของผิวหน้าสัมผัสที่ต้องมีความราบเรียบสูงเพื่อทำให้เกิดการประกอบเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์ รวมไปถึงผู้ใช้งานเกจบล็อกที่เป็นผู้ทำการประกอบจะต้องมีทักษะและความชำนาญในการใช้งานในระดับหนึ่ง ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมา จึงทำให้หลายสถาบันการศึกษาทั้งในระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษาที่มีการเรียนการสอนรายวิชามาตรวิทยาด้านมิติ มีการฝึกให้นักศึกษาประกอบและใช้งานเกจบล็อกกันอยู่โดยทั่วไป ซึ่งการประกอบเกจบล็อกเพื่อการฝึกทักษะการปฏิบัติดังกล่าวเป็นระยะเวลานานและมีจำนวนครั้ง (ความถี่) ในการประกอบที่สูงมากนั้นก็จะเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการทำให้ผิวสัมผัสของเกจบล็อกเกิดรอยเยินหรือการสึกหรอขึ้น [5] ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการประกอบได้ยากมากขึ้นหรือในบางกรณีอาจไม่สามารถทำการประกอบได้อีก ส่งผลให้อายุการใช้งานของเกจบล็อกลดน้อยลง ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายในส่วนของการซ่อมบำรุงและการจัดหาเครื่องมือสำหรับใช้ในการฝึกนักศึกษาภายในสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ที่ต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก

ดังนั้นเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของเกจบล็อกให้ยาวนานขึ้นและเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น จึงมีการนำเกจบล็อกที่เกิดรอยเยินหรือการสึกหรอมาทำการลบรอยเยินเพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวให้ดีขึ้นซึ่งสามารถทำได้หลัก ๆ สองวิธี โดยวิธีแรกสามารถทำได้โดยการนำเอาแท่งหินขัดละเอียด (CERASTON/Arkansas) ซึ่งมีลักษณะของหน้าสัมผัสเป็นเม็ดเกรนที่มีขนาดเล็กมากมาใช้ในการลบรอยเยิน และวิธีที่สอง สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการขัด (Lapping) ผิวของเกจ บล็อกโดยการใช้ผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบพาราฟินที่ผสมกับผงไอเอิร์น (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) มาขัดถูบริเวณหน้าสัมผัสเพื่อให้อนุภาคไอเอิร์น (III) ออกไซด์เป็นตัวขัด (Abrasive) ซึ่งด้วยขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้การตัดเฉือนรอยเยินที่เกิดขึ้นทำได้ทีละน้อย ๆ ส่งผลให้การปรับปรุงคุณภาพผิวด้วยวิธีนี้สามารถทำให้เกจบล็อกมีผิวสัมผัสที่ดีขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดในระดับน้อยมากเช่นเดียวกันกับการใช้แท่งหินขัดละเอียด

ถึงแม้ว่าจะเป็นการขัดผิวเพื่อซ่อมแซมไว้สำหรับใช้ในการฝึกทักษะการประกอบเกจบล็อกของนักศึกษาในสถาบันการศึกษาเท่านั้น ทำให้ยังไม่ต้องคำนึงถึงผลของการขัดผิวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเกจบล็อกก็ตาม แต่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพผิวที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปรับปรุงด้วยวิธีการที่สองนั้น มักจะต้องดำเนินการโดยบริษัทผู้ผลิตเกจบล็อก [6] ยังคงต้องใช้แรงงานคนที่มีทักษะฝีมือและความชำนาญสูง รวมทั้งยังต้องใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานเป็นเวลานานเพื่อทำการลบรอยเยิน ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว

ไม่ซับซ้อนและไม่จำเป็นต้องใช้ทักษะฝีมือสูง เพื่อลดระยะเวลาและการใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงานให้น้อยลง รวมไปถึงเพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพของผิวหน้าสัมผัสใช้งานของเกจบล็อกหลังกระบวนการปรับปรุงให้สูงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของเกจ บล็อกได้ อันจะเป็นการทำให้สามารถใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสถานศึกษาที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการจัดซื้อครุภัณฑ์ในการฝึกทักษะฝีมือเพื่อประกอบเกจบล็อกได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเสริมสร้างทักษะและยกระดับความสามารถในด้านการบำรุงรักษาเครื่องมือทางด้านงานวัดละเอียดได้อีกด้วยเช่นกัน

2.วัตถุประสงค์การวิจัย

*2.1*เพื่อสร้างเครื่องปรับปรุงผิวของเกจบล็อกที่ใช้ในการศึกษาการประกอบเกจบล็อก

*2.2*หาประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงผิวของเกจบล็อกที่ใช้ในการศึกษาการประกอบเกจบล็อก

*2.3*เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวของเกจบล็อก

3.ขอบเขตงานวิจัย

*3.1*เครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นนี้ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพผิวของเกจบล็อกเกรด 2 (Grade 2) ที่ทำจากเหล็ก (Steel) เท่านั้น

*3.2*เครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกใช้ได้กับเกจบล็อกที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) ขนาดความกว้าง 9 มิลลิเมตร ความยาว 30 หรือ 35 มิลลิเมตรและมีขนาดใช้งานกำหนด (Nominal size) ตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร

*3.3*เกจบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกจบล็อกที่ถูกใช้สำหรับการฝึกประกอบเกจบล็อกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในรายวิชาวิศวกรรมมาตรวิทยา (Metrology Engineering) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*3.4*ประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อกที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นนี้ ถูกพิจารณาและชี้วัดจากคุณภาพผิวของเกจบล็อกก่อนและหลังทำการปรับปรุงโดยใช้แท่งแก้วทดสอบความราบ (Optical flat) เท่านั้น

*3.5*ผู้ทดสอบการใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกในงานวิจัยนี้เป็นบุคคลที่เคยใช้งานและผ่านการฝึกประกอบเกจบล็อกมาแล้ว ประกอบด้วยนักศึกษา, วิศวกร, อาจารย์ ทั้งเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 20-50 ปี จำนวน 10 คน และมีระดับการศึกษาตั้งแต่มัธยมศึกษาตอนปลายขึ้นไป

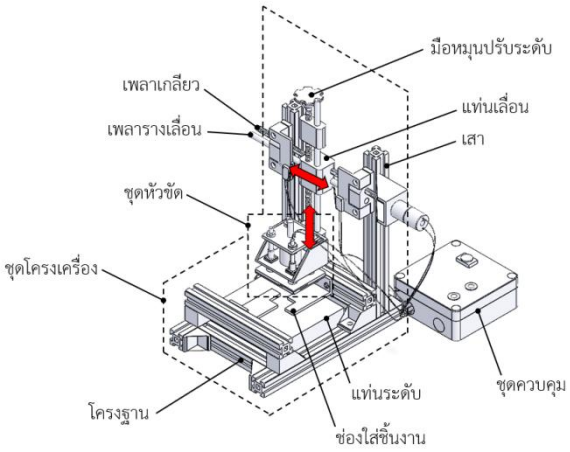
4.วิธีดำเนินการวิจัย

4.1การสร้างเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการออกแบบขั้นตอนการประกอบเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก และขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของชุดหัวขัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

*4.1.1*การออกแบบเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

ในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบใน CAD เพื่อให้ได้ชุดทดสอบที่มีความสามารถในการทำงานตามที่ต้องการ โดยต้องสามารถรองรับการขัดผิวของเกจบล็อกที่มีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดผิวหน้าสัมผัสกว้าง 9 มิลลิเมตร ยาว 30 หรือ 35 มิลลิเมตร ขนาดกำหนดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ถึง 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งทำให้ให้เห็นถึงลักษณะเครื่องปรับปรุงผิวของเกจบล็อกต้นแบบที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าวข้างต้นได้ โดยหลักการในการออกแบบการทำงานของชุดหัวขัด (Polishing head) คือจะต้องทำให้หัวขัดสามารถเคลื่อนที่และสัมผัสไปได้ทั่วทั้งบริเวณผิวใช้งานของเกจบล็อกเสมือนการใช้มือของมนุษย์ในการขัดถู ดังนั้นจึงได้ออกแบบให้แท่นเลื่อนสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวดิ่งเพื่อปรับระยะความสูงของชุดหัวขัดให้เหมาะสมกับขนาดความยาวของเกจบล็อก พร้อมทั้งสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวราบเพื่อใช้ในการขัดผิวไปตามหน้าสัมผัสของเกจบล็อกด้วยเช่นกัน โดยจะมีขนาดของเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกประมาณ 300 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร x 500 มิลลิเมตร

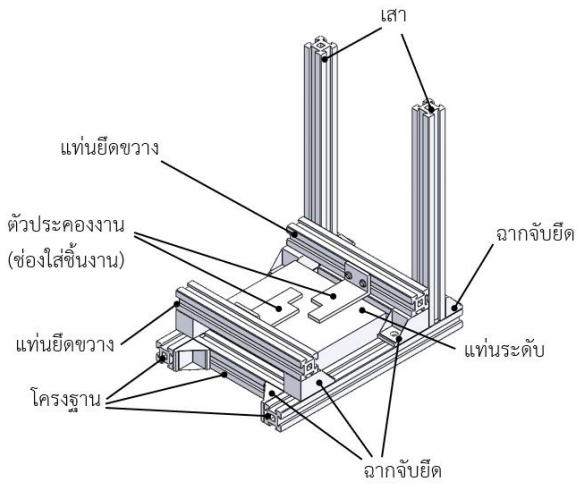


รูปที่ 1 ต้นแบบเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อก

ซึ่งจะแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ โดยส่วนแรกนั้นคือชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นต้นกำลังของเครื่อง ส่วนที่สองคือชุดหัวขัด เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการขัดผิวได้อย่างทั่วบริเวณหน้าสัมผัสของชิ้นงาน ส่วนที่สามคือส่วนโครงเครื่องเป็นส่วนที่ใช้ในการจับยึดอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของชุดหัวขัดและเป็นส่วนที่ใช้ในการรองรับและจับยึดชิ้นงาน

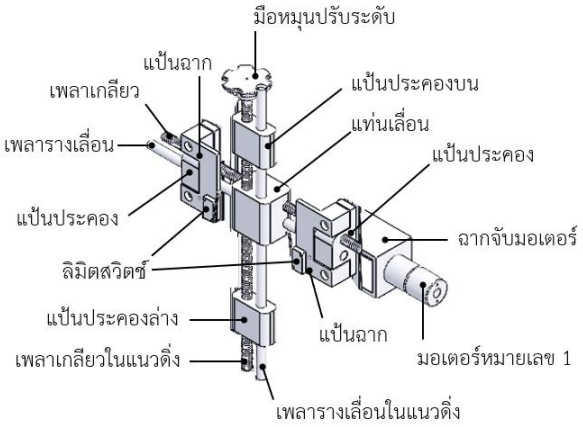
4.1.2การสร้างเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อก

เป็นขั้นตอนการสร้างเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อก หลังจากได้ออกแบบและพัฒนาแก้ไขแบบขั้นต้นจนสมบูรณ์แล้ว โดยจะเป็นการจัดสร้างและเตรียมชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของเครื่องเพื่อนำมาประกอบขึ้นรูปรวมเข้าด้วยกัน รวมไปถึงการติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานให้สมบูรณ์ โดยเริ่มจากการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอะลูมิเนียมโปรไฟล์ที่เป็นโครงเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการประกอบส่วนโครงฐานจากแท่งอะลูมิเนียมโปร์ไฟล์ ด้วยการใช้ฉากจับยึด จากนั้นติดตั้งแท่นยึดขวางบนฐานรองเพื่อเสริมความแข็งแรงของโครงเครื่องและทำหน้าที่เป็นจุดสำหรับจับยึดตัวประคองชิ้นงาน เพื่อใช้เป็นช่องใส่ชิ้นงาน ที่ปลายของแท่งอะลูมิเนียมโปร์ไฟล์สำหรับทำฐานด้านยาวนั้น มีการประกอบฉากจับเพื่อใช้ในการติดตั้งเสาเครื่อง โดยชุดโครงเครื่องนี้ถูกติดตั้งครอบอยู่บนแท่นระดับซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรองรับเกจบล็อกในขณะทำการขัดผิว



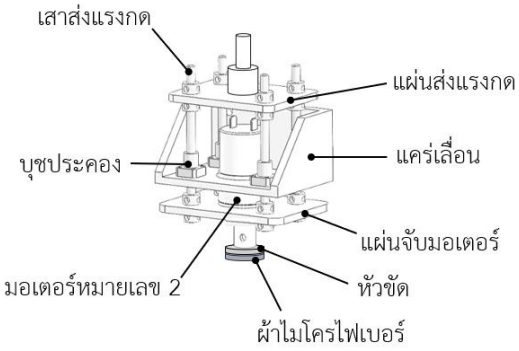
รูปที่ 2 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ในการประกอบโครงเครื่อง

จากนั้นจึงทำการติดตั้งแท่นเลื่อนเข้ากับเสาเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนที่ใช้ในการติดตั้ง ซึ่งจะต้องเริ่มจากการประกอบแป้นประคองที่บริเวณด้านหน้าของเสาเครื่องที่ระดับความสูงใกล้เคียงกับหัวเสาทั้งสองต้น แล้วจึงประกอบเพลาเกลียวและเพลารางเลื่อนเข้ากับแท่นเลื่อนที่ทำจากพลาสติก จากนั้นทำการประกอบฉากจับมอเตอร์เข้ากับเสาเครื่อง โดยให้ปลายด้านหนึ่งของมอเตอร์หมายเลข 1 ประกอบอยู่กับเพลาเกลียว จากนั้นทำการติดตั้งเพลานำและเพลาเกลียวในแนวดิ่งเข้ากับแท่นเลื่อน โดยที่ปลายด้านบนและล่างของเพลานำและเพลาเกลียวในแนวดิ่ง มีการประกอบแป้นประคองด้านบนและล่างที่ทำจากพลาสติก เพื่อให้เพลาทั้งสองมีความขนานกัน แล้วจึงติดตั้งมือหมุนปรับระดับบนเพลาเกลียวในแนวดิ่ง ถัดมาจึงทำการประกอบชุดหัวขัดเข้ากับแป้นประคองล่าง แล้วจึงทำการติดตั้งแป้นฉากเข้ากับแป้นประคอง โดยแป้นฉากนี้ มีการเจาะรูเกลียวจำนวนสองรู เว้นระยะห่างกันไว้ 5 มิลลิเมตร เพื่อใช้เลือกสำหรับการติดตั้งลิมิตสวิตช์ในการทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของชุดหัวขัดในแนวราบเพื่อขัดผิวเกจบล็อกตามต้องการ



รูปที่ 3 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ในการติดตั้งแท่นเลื่อนเข้ากับโครงเครื่อง

ถัดมาจึงทำการประกอบชุดหัวขัดเข้ากับแป้นประคองล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชุดหัวขัด เริ่มจากประกอบแคร่เลื่อนที่ทำจากพลาสติกเข้ากับแป้นประคองล่าง เพื่อให้แคร่เลื่อนทำหน้าที่เป็นตัวยกหรือเลื่อนตำแหน่งของชุดหัวขัดในแนวดิ่ง แล้วจึงประกอบมอเตอร์ไฟฟ้าหมายเลข 2 และเสาส่งแรงกดเข้ากับแผ่นจับมอเตอร์ แล้วจึงประกอบเข้ากับแคร่เลื่อน โดยมอเตอร์ไฟฟ้าหมายเลข 2 จะถูกสวมผ่านรูคว้านตรงกลางแคร่เลื่อนและปลายเสาส่งแรงกดจะถูกร้อยผ่านบุชประคองที่อยู่บริเวณมุมทั้งสี่ด้านของแคร่เลื่อน โดยที่ปลายของเสาส่งแรงนี้จะประกอบเข้ากับแผ่นส่งแรงกด แล้วจึงทำการติดตั้งหัวขัดด้วยการสวมประกอบเข้ากับแกนหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าหมายเลข 2 โดยที่อีกด้านหนึ่งจะใช้ทำการติดตั้งผ้าไมโครไฟเบอร์ด้วยการใช้เทปกาว เพื่อนำไปใช้ในการขัดผิวชิ้นงานและสามารถถอดออกได้เมื่อใช้งานเสร็จ การประกอบในลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้สามารถส่งแรงกดจากน้ำหนักของมอเตอร์ไปยังชิ้นงานได้โดยตรงผ่านเสาส่งแรงกด โดยไม่ทำให้เกิดผลจากแรงกดของเพลาเกลียวในแนวดิ่งหรือจากการหมุนมือหมุนปรับระดับ ซึ่งการออกแบบในลักษณะนี้ยังทำให้สามารถทำการปรับเพิ่มขนาดแรงในการกดขัดผิวของเกจบล็อกได้อีกด้วย

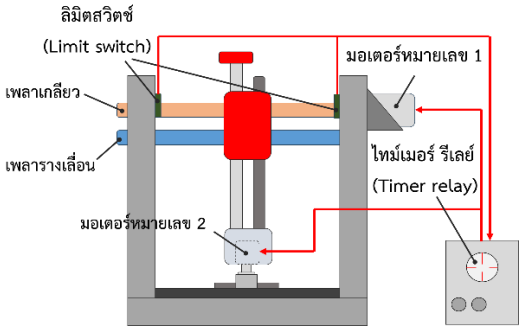


รูปที่ 4 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของชุดหัวขัด

จากนั้นทำการติดตั้งกล่องควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยภายในกล่องควบคุมจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC), รีเลย์, ไทม์เมอร์ ดีเลย์ (Timer delay) และแผงปุ่มกดควบคุม

4.1.3การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของชุดหัวขัด

รูปที่ 5 แสดงถึงหลักการและขั้นตอนการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่อยู่ภายในเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกได้ว่า เมื่อผู้ควบคุมทำการกำหนดระยะเวลาที่ต้องการทำการขัดผ่านไทม์เมอร์ รีเลย์ (Timer relay) และได้ทำการเปิดสวิตช์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองตัวจะเริ่มทำงาน โดยที่มอเตอร์หมายเลข 1 จะทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนชุดรางเลื่อนพร้อมมือหมุนที่มีการติดตั้งชุดหัวขัดไว้ที่บริเวณปลายสุดด้านล่างให้เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของเพลารางเลื่อนและเพลาเกลียวเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมอเตอร์หมายเลข 2 ที่กำลังทำการขัดไปทั่วบริเวณผิวสัมผัสของเกจบล็อก จนเมื่อตัวรางเลื่อนเคลื่อนที่ไปจนสุดระยะและสัมผัสเข้ากับลิมิตสวิตช์ (Limit switch) จะทำให้เกิดการสลับกระแสของวงจรด้วยกลไกของรีเลย์ และส่งผลให้มอเตอร์หมายเลข 1 ทำงานในทิศทางตรงกันข้ามและรางเลื่อนเกิดการเคลื่อนที่ย้อนกลับจนกระทั่งมาสัมผัสกับลิมิตสวิตช์ในอีกด้านหนึ่ง เป็นวัฏจักรในลักษณะเดียวกันนี้จนกระทั่งครบกำหนดเวลาที่กำหนดไว้ในไทม์เมอร์รีเลย์ และเกิดการตัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า ทำให้เครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกหยุดการทำงาน



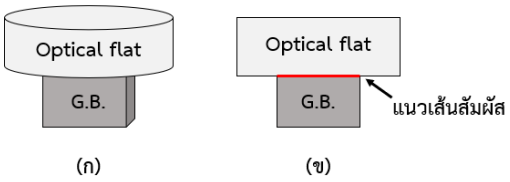
รูปที่ 5 หลักการควบคุมเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

4.2การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

มีขั้นตอนดังแสดงในรายละเอียดต่อไปนี้

*4.2.1*เลือกเกจบล็อกที่มีหน้าสัมผัสที่ไม่สามารถทำการประกอบเข้าด้วยกันได้ หรือประกอบได้ยากมาใช้เป็นชิ้นทดสอบ จำนวน 5 ชิ้น ซึ่งเป็นจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอในการศึกษาแนวโน้มของประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องขั้นต้นและวิเคราะห์สถิติพื้นฐานได้

*4.2.2*ทำการตรวจสอบผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกโดยการประกอบเข้ากับแท่งแก้วตรวจสอบความราบผิว (Optical flat) แล้วจึงสังเกตแถบแสง (Fringe) ที่เกิดขึ้น แล้วทำการจดบันทึกจำนวนแถบแสงที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกแต่ละชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การตรวจสอบผิวของเกจบล็อกด้วย Optical flat ในลักษณะมุมมอง (ก) 3 มิติ (ข) 2 มิติ

*4.2.3*ทำการติดตั้งผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบพาราฟินที่ผสมอนุภาคไอเอิร์น(III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) บนหัวขัด และวางเกจบล็อกลงในช่องใส่เกจบล็อก

*4.2.4*เลื่อนตำแหน่งของหัวขัดให้ลงมาสัมผัสกับผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อก

*4.2.5*ทำการปรับตั้งเวลาในการขัดผิวของเกจบล็อกโดยกำหนดเวลาขัดครั้งละ 30 วินาที

*4.2.6*เริ่มการทำงานของเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อก ด้วยการเปิดสวิตช์ควบคุมไฟฟ้า เพื่อให้ชุดหัวขัดเริ่มการทำงาน

*4.2.7*นำเกจบล็อกที่ขัดเสร็จเรียบร้อยแล้วไปล้างออกด้วยแอลกอฮอล์ และใช้ผ้าหนังชามัวร์เช็ดซ้ำให้สะอาด

*4.2.8*ทำการตรวจสอบผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกภายหลังการขัดผิว โดยการประกอบเข้ากับแท่งแก้วตรวจสอบความราบผิว (Optical flat) แล้วจึงสังเกตแถบแสง (Fringe) ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกแต่ละชิ้น

4.3การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวของเกจบล็อก

เป็นขั้นตอนการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก สามารถทำได้โดยการประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งาน จำนวน 10 คน ที่มีประสบการณ์ในการใช้งานและฝึกฝนการประกอบเกจบล็อกมาแล้วและไม่เคยใช้งานเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อกมาก่อน โดยใช้แบบสอบถามเป็นแบบประเมินค่า 5 ระดับ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการใช้งานได้จริงในด้านต่าง ๆ โดยใช้แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ เพื่อเก็บผลทางสถิติและแปรผลสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบ ซึ่งเป็นแบบประเมินที่ให้ผู้ใช้งานลงคะแนนความคิดเห็นว่ารายการประเมินแต่ละข้อมีประสิทธิภาพเท่าใด โดยแบบประเมินที่ใช้ในงานนี้สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1 ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความคิดเห็นไว้ดังนี้

5 หมายถึง จุดประเมินอยู่ ในระดับพึงพอใจมากที่สุด

4 หมายถึง จุดประเมินอยู่ ในระดับพึงพอใจมาก

3 หมายถึง จุดประเมินอยู่ ในระดับพึงพอใจปานกลาง

2 หมายถึง จุดประเมินอยู่ ในระดับพึงพอใจน้อย

1 หมายถึง จุดประเมินอยู่ ในระดับพึงพอใจน้อยที่สุด

จากนั้นจึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) [7] ในส่วนของการแปลความหมายของผลการสำรวจนั้นสามารถทำได้โดยใช้การกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าคะแนนเฉลี่ยในระดับต่าง ๆ [8] ซึ่งการพิจารณาระดับความพึงพอใจ (ภาพรวม) คำนวณได้จากสมการ

$$\text{ค่าความต่างระดับ} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด-คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนระดับ}} \quad (1)$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะคำนวณได้ว่า

$$\text{ค่าความต่างระดับ} = \frac{5-1}{5}$$
$$= 0.80$$

ดังนั้น จึงสามารถกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าคะแนนเฉลี่ยในระดับต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.21 – 5.00 หมายถึง อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด
3.41 - 4.20 หมายถึง อยู่ในระดับพึงพอใจมาก
2.61 - 3.40 หมายถึง อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง
1.81 - 2.60 หมายถึง อยู่ในระดับพึงพอใจน้อย
1.00 - 1.80 หมายถึง อยู่ในระดับพึงพอใจน้อยที่สุด

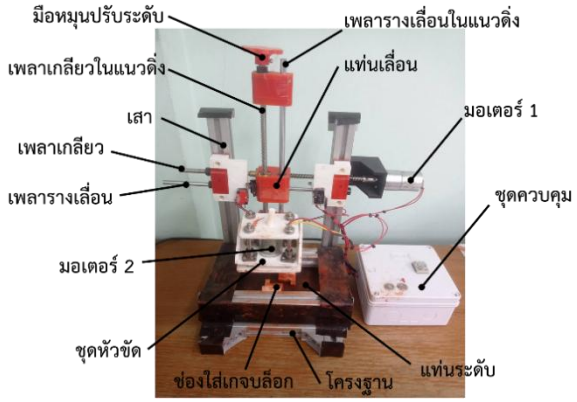
ตารางที่ 1 แบบประเมินเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

รายการที่ประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	1	2	3	4	5
1. ความแข็งแรงของเครื่อง					
2. การออกแบบมีความเหมาะสม					
3. ความสะดวกในการใช้งาน					
4. สามารถใช้ปรับปรุงผิวเกจบล็อกได้อย่างเหมาะสม					
5. ง่ายต่อการบำรุงรักษา					
6. ขนาดมีความเหมาะสม					
7. มีความเหมาะสมกับต้นทุน					
8. สามารถเคลื่อนย้ายสะดวก					
9. มีความปลอดภัยในการใช้งาน					
10. เครื่องสามารถใช้งานได้จริง					

5.ผลการวิจัยและการอภิปราย

5.1 ผลการสร้างเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ได้รับการออกแบบและจัดสร้างขึ้น โดยมีลักษณะเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ และพบว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ถูกสร้างขึ้นนี้สามารถปรับระยะในการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งตามขนาดของชิ้นงาน รวมทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในแนวราบขณะทำการขัดเพื่อให้สามารถขัดชิ้นงานได้ทั่วทั้งพื้นผิวสัมผัส ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามที่ได้มีการออกแบบไว้ นอกจากนี้ เครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อกที่ถูกสร้างขึ้นยังสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ทั้งสองตัวได้ด้วยวงจรการควบคุมตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานได้ใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่หนึ่งเป็นการทำการขัดผิวเกจบล็อกโดยไม่มีการกำหนดเวลาในการทำงานด้วยรูปแบบนี้ ชุดหัวขัดที่อยู่บนเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกจะทำงานต่อเนื่องไปจนกว่าผู้ควบคุมจะกดปุ่มเพื่อหยุดการทำงาน ในขณะที่การทำงานรูปแบบที่สอง ผู้ควบคุมสามารถทำการกำหนดระยะเวลาในการทำงานของชุดหัวขัดได้โดยการใช้ ไทม์เมอร์ รีเลย์ ซึ่งวงจรการควบคุมการทำงานของชุดหัวขัดทั้งสองแบบเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

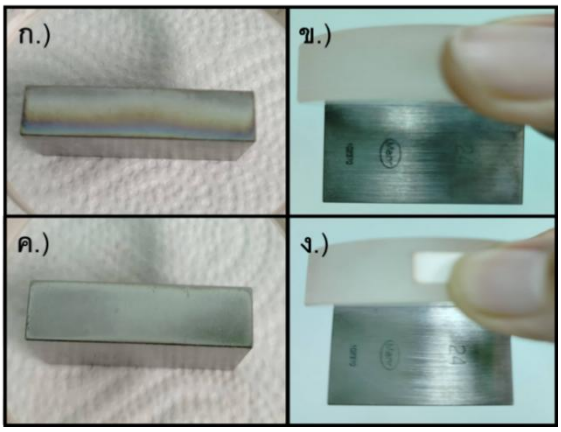


รูปที่ 7 เครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ประกอบเสร็จแล้ว

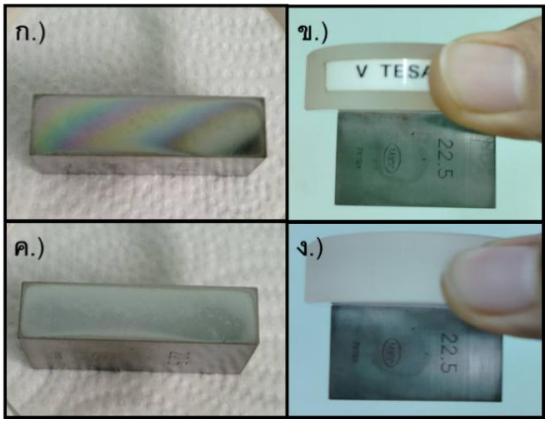
5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

รูปที่ 8-12 แสดงให้เห็นถึงลักษณะผิวของเกจบล็อกที่ถูกสังเกตโดยการใช้แท่งแก้วตรวจสอบความราบผิวก่อนและหลังทำการขัดด้วยเครื่องปรับปรุงคุณภาพผิวเกจบล็อกที่ถูกสร้างขึ้น ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เกจบล็อกทุกชิ้นก่อนทำการขัดผิวนั้นจะมีแถบแสงหรือ Fringe ปรากฏอยู่บนหน้าสัมผัส ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงสภาพของพื้นผิวเกจบล็อกที่เกิดการสึกหรอและมีรอยเยินเกิดขึ้นทำให้ผิวอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์และเป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถนำไปประกอบเข้ากับเกจบล็อกชิ้นอื่นได้ และภายหลังจากทำการขัดผิวด้วยเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกแล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแถบแสงบนผิวหน้าของเกจบล็อกแต่ละชิ้นนั้นได้หายไป ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าเนื้อเหล็กส่วนที่เป็นรอยเยินบนผิวของเกจบล็อกซึ่ง

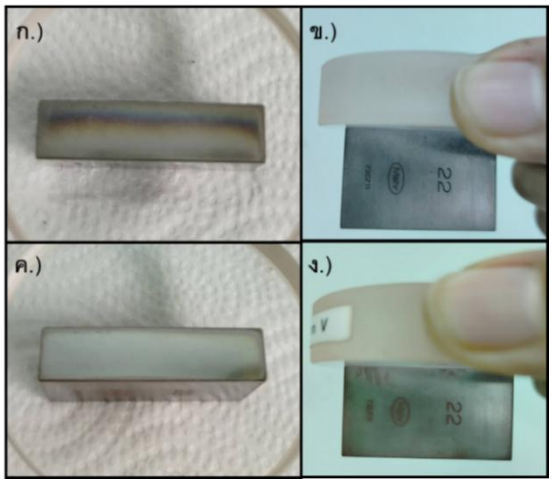
มีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 800 Vickers Hardness (HV) [9] ได้ถูกอนุภาคไอเอิร์น (III) ออกไซด์ที่มีค่าความแข็งประมาณ 1,030 HV [10] ค่อย ๆ ทำการตัดเฉือน (ขัด) ออกไปทีละน้อย ส่งผลทำให้สภาพผิวสัมผัสของเกจ บล็อกมีคุณภาพดีขึ้นและสามารถนำไปใช้ในการประกอบเข้ากับเกจบล็อกชิ้นอื่นได้ ทั้งนี้ จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกสามารถทำการกำจัดแถบ Fringe จำนวน 1-2 แถบ ได้ในระยะเวลา 30 วินาที จึงเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ถูกสร้างขึ้นมาในงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพจริง



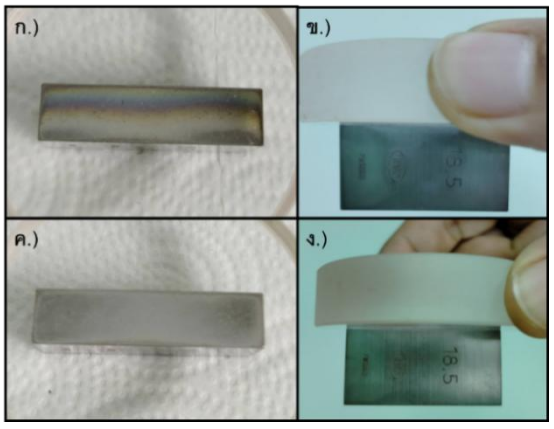
รูปที่ 8 ลักษณะแถบแสงของเกจบล็อกขนาด 24 มิลลิเมตร ก่อนขัด (ก.) ในมุมมองด้านบน (ข.) แนวเส้นสัมผัส และหลังการขัด (ค.) ในมุมมองด้านบน (ง.) แนวเส้นสัมผัส



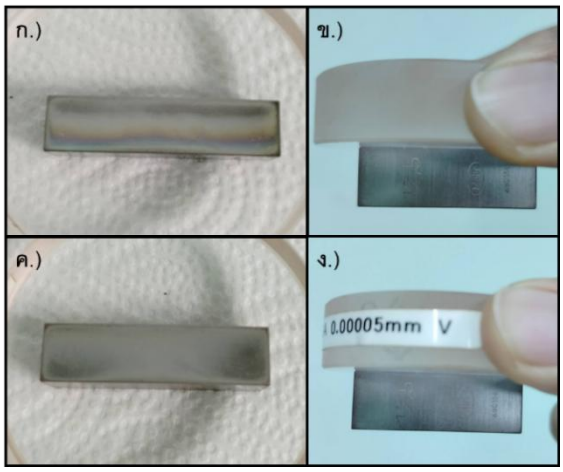
รูปที่ 9 ลักษณะแถบแสงของเกจบล็อกขนาด 22.5 มิลลิเมตร ก่อนขัด (ก.) ในมุมมองด้านบน (ข.) แนวเส้นสัมผัส และหลังการขัด (ค.) ในมุมมองด้านบน (ง.) แนวเส้นสัมผัส



รูปที่ 10 ลักษณะแถบแสงของเกจบล็อกขนาด 22 มิลลิเมตร ก่อนขัด (ก.) ในมุมมองด้านบน (ข.) แนวเส้นสัมผัส และหลังการขัด (ค.) ในมุมมองด้านบน (ง.) แนวเส้นสัมผัส



รูปที่ 11 ลักษณะแถบแสงของเกจบล็อกขนาด 18.5 มิลลิเมตร ก่อนขัด (ก.) ในมุมมองด้านบน (ข.) แนวเส้นสัมผัส และหลังการขัด (ค.) ในมุมมองด้านบน (ง.) แนวเส้นสัมผัส



รูปที่ 12 ลักษณะแถบแสงของเกจบล็อกขนาด 12.5 มิลลิเมตร ก่อนขัด (ก.) ในมุมมองด้านบน (ข.) แนวเส้นสัมผัสและหลังการขัด (ค.) ในมุมมองด้านบน (ง.) แนวเส้นสัมผัส

ตารางที่ 2 ผลทดสอบประสิทธิภาพเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

ชิ้นที่	ขนาด (มม.)	ระยะเวลาในการขัด (วินาที)	จำนวน Fringe ก่อนขัด	จำนวน Fringe หลังขัด
1	24	30	1	0
2	22.5		2	0
3	22		1	0
4	18.5		1	0
5	12.5		2	0

5.3ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อก

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งานในแต่ละจุดประเมิน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวม ($\bar{X}$=4.46, S.D.= 0.58) อยู่ในเกณฑ์การแปลผลค่าคะแนนเฉลี่ยในช่วง $\bar{X}$= 4.21-5.00 ซึ่งแปลความหมายได้ว่าผู้ทดสอบการใช้งานได้มีความเห็นสอดคล้องตรงกันว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่สร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพและสมรรถนะในการทำงานได้ในระดับพึงพอใจมากที่สุดและพบว่าค่าเฉลี่ยในจุดประเมินที่ 1 (ความแข็งแรงของเครื่อง) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุด ($\bar{X}$=3.90 , S.D.= 0.74) อยู่ในเกณฑ์การแปลผลค่าคะแนนเฉลี่ยในช่วง ($\bar{X}$= 3.41-4.20) ซึ่งแปลความหมายได้ว่าผู้ทดสอบการใช้งานได้มีความเห็นตรงกันว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่สร้างขึ้นนั้น มีความแข็งแรงในระดับพึงพอใจมาก

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกในด้านต่าง ๆ

รายการประเมิน	ผู้ประเมินลำดับที่										ผลรวม	$\bar{X}$	S.D.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	4	5	3	4	3	4	4	5	3	4	39	3.9	0.74
2	5	5	3	5	3	4	4	5	4	4	42	4.2	0.79
3	4	4	4	4	3	5	5	5	5	3	42	4.2	0.79
4	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	47	4.7	0.48
5	4	5	3	4	4	4	5	5	4	5	43	4.3	0.67
6	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	49	4.9	0.32
7	5	5	3	5	5	4	4	5	5	4	45	4.5	0.71
8	4	4	4	4	5	4	5	5	5	4	44	4.4	0.52
9	5	4	5	4	4	5	4	5	5	5	46	4.6	0.52
10	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	49	4.9	0.32
เฉลี่ยรวมทุกจุดประเมิน												4.46	0.58

6.สรุปผลการวิจัย

*6.1*จากผลการออกแบบและสร้างเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกนี้ สามารถทำการปรับปรุงผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อกได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคนหรือบุคลากรที่มีทักษะสูง

*6.2*ผลของการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องดังกล่าวนี้ พบว่าเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกที่ได้ถูกสร้างขึ้น สามารถทำการลดรอยเยิน (จำนวนแถบแสงหรือแถบ Fringe) ของเกจบล็อกได้จำนวน 1-2 แถบ ในระยะเวลา 30 วินาที

*6.3*ผลของการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเครื่องปรับปรุงผิวเกจบล็อกได้รับการประเมินความพึงพอใจในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยมีค่าความพึงพอใจ เฉลี่ยรวมทุกจุดประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.46, S.D.= 0.58)

7.ข้อเสนอแนะ

*7.1*ควรมีการเพิ่มขั้นตอนการนำเกจบล็อกไปสอบเทียบเพื่อยืนยันขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการปรับปรุงผิวเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องให้สามารถใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมและพาณิชย์ต่อไป

*7.2*ควรมีการเพิ่มฟังก์ชั่นในการทำงานให้สามารถปรับความเร็วรอบของชุดหัวขัดรวมถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ไปตามเพลารางเลื่อนได้

*7.3*ควรปรับปรุงให้ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถจับยึดได้อย่างมั่นคงแข็งแรงมากขึ้น

*7.4*ควรมีการศึกษาผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของชุดหัวขัด, แรงกด และระยะเวลาในการขัดผิว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ Res-CIT0613/2021

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Doiron, “Gauge Blocks – A Zombie Technology”, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 113(3), 2008, p175-184.

[2] A. Mínguez, J. Moreno, and J. de Vicente, “Long-term stability analysis and its relationship with the steel structure of gauge blocks from several manufacturers,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1193(1), 2021, p.012077, doi: 10.1088/1757-899X/1193/1/012077.

[3] K. Oumkul, O. Supangwiput, and T. Oumkul, “The Study of the Measurement result by Using Gauge Block to Calibrate Digital Outside Micrometer in the Different Temperature”, *Proceedings of IE Network Conferencen 2012*, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 17-19 October 2012. (in Thai)

[4] S. Chansuk, “Gauge Block, the standard of Basic Measurement tools”, *The Journal of Industrial Technology*, 2(1), 2006, p99-102. (in Thai)

[5] J. Wongsaroj, and S. Peangbangyang, “Study on the effects of Wringing Gauge Block”, *The Journal of Metrology Info*, 16(82), 2016, p16-21. (in Thai)

[6] S. Bailey and et al., “Care and Use of Gauge Blocks”, *Good Practice Guide No. 149*, Teddington,U.K.: National Physical Laboratory (NPL), 2017.

[7] B. Srisa-ard, Marketing Research, 4th ed. Bangkok, Suweeriyasarn Press, 2017, pp.66-74. (in Thai)

[8] K. Wethchasarn, Educational Research Techniques, 5th ed. Bangkok, Chulalongkorn University Press, 2003. (in Thai)

[9] P. Baqué and P. Fernier, Les Notes Techniques du CETIM, no. 12, 1975.

[10] Mitutoyo Corporation, “Small Tool Instruments and Reference Gages”. [Online]. Available: https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/E_section.pdf