วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

บทความวิจัย / บทความวิชาการ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบระดับน้ำ

วิศรุต คงสกุล[1] และ ฤภูวัลย์ จันทรสา[2*]

[1] ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th

วันที่รับบทความ: xxxxxxxxxxxx; วันที่ทบทวนบทความ: xxxxxxxxxxxx; วันที่ตอบรับบทความ: xxxxxxxxxxxx
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: xxxxxxxxxxxx; วันที่ตีพิมพ์: xxxxxxxxxxxx

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบระดับน้ำที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานและใช้ขอรับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการ ISO/IEC 17025 : 2017 ในขอบข่ายการสอบเทียบระดับน้ำได้ งานวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมความต้องการการใช้งานเครื่องมือฯ โดยการสัมภาษณ์และการตอบแบบสอบถามของบุคลากรในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำนวน 30 คน เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ได้ถูกนำมาประยุกต์เพื่อถ่ายทอดความต้องการสู่ข้อกำหนดเชิงเทคนิคของเครื่องมือฯ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือฯ ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างแท้จริง ขั้นตอนต่อมาได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกของเครื่องมือฯ จำนวน 3 แนวคิดและได้คัดเลือกแนวคิดที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการให้คะแนนแนวคิด (Concept Scoring) จากนั้นได้ปรับปรุงแนวคิดสุดท้ายตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสอบเทียบและด้านวิศวกรรม และได้สร้างเป็นเครื่องมือมาตรฐานต้นแบบ(Prototype) มีชื่อเรียกว่า Precision Bar ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องมือมาตรฐานเครื่องเก่ากับเครื่องมือมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นใหม่ ได้ผลดังนี้ 1.เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบลดลงจากเดิม 2 ชั่วโมงเป็น 52 นาที คิดเป็นลดลง 57%, 2. สามารถสอบเทียบระดับน้ำได้ตามมาตรฐาน JIS B 7510 : 1993 เหมือนกัน 3.น้ำหนักของเครื่องมือฯ ลดลงจากเดิม 25 kg เป็น 2 kg 4.เครื่องมือฯ สามารถปรับพื้นเอียงเล็กสุด 1 ช่องสเกล 0.02 mm/m ได้ และ 5.สามารถสร้างกำไรต่อการสอบเทียบระดับน้ำเพิ่มขึ้นจาก 200 บาทเป็น 600 บาท อีกทั้งเครื่องมือมาตรฐานฯ ใหม่ยังมีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อกำหนด ISO/IEC17025 : 2017 สามารถใช้ขอรับการรับรองความสามารถในการสอบเทียบระดับน้ำได้ และเครื่องมือฯ ใหม่ยังมีราคาถูกกว่าเครื่องมือฯ ที่นำเข้าจากต่างประเทศถึง 110,000 บาท หรือคิดเป็นราคาถูกลง 73%

คำสำคัญ: การสอบเทียบ; เครื่องวัดระดับน้ำ; เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

บทความวิจัย / บทความวิชาการ

Design and Development of Horizontal Spirit Level Calibrator

Wissarut Kongsagul[1] and Ruephuwan Chantrasa[2*]

[1] Calibration Center for Industry, Faculty of Engineering, Burapha University

[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

[*] Corresponding author, E-mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th

Received: xxxxxxxxxxxxx; Revised 1 xxxxxxxxxxxxx; Accepted: xxxxxxxxxxxxx
Online Published: xxxxxxxxxxxxx; Published: xxxxxxxxxxxxx

Abstract: The objective of this research is to design and develop a horizontal spirit level calibrator that is efficient in use and can be used to obtain laboratory accreditation ISO/IEC17025 :2017 in the score of spirit level calibration. The research began with collecting needs for using the calibrator of 30 people in the industrial sector by means of face-to-face interviews and questionnaires. QFD was then used to translate these needs into the specifications to guarantee that a design of the calibrator would optimally response to the user needs. Next step was to generate 3 design concepts of the calibrators which were then selected for the most prominent one using concept scoring technique. The selected design concept was revised based on recommendations from calibration and engineering experts before building as the prototype which was called the Precision Bar. A comparative test of performance between the old calibrator that was previously used and the new machine that was developed resulted in the following results. 1. Calibration time has been reduced from 2 hours to 52 minutes, 2. spirit levels can be calibrated according to the same JIS B 7510 : 1993 standard, 3. The weight of the calibrator has been reduced from 25 kg to only 2 kg. , 4. Calibrator can adjust the floor slope as small as 1 square, scale 0.02 mm/m, and 5. Profit for calibration service increased from 200 baht to 600 baht. Moreover, the new calibrator also has the same calibration capability as standard calibrator imported from abroad, but its cost was 110,000 baht lower, or 73% reduction in price.

Keywords: Calibrate; Precision Level; Quality Function Deployment (QFD)

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

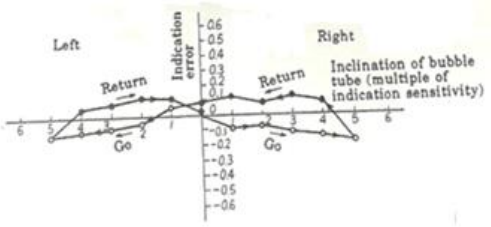
บทความวิจัย / บทความวิชาการ

1. บทนำ

การสอบเทียบเครื่องมือวัด(Calibration) เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยวิธีการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานซึ่งมีความละเอียดถูกต้องสูงมากกว่า เพื่อให้เครื่องมือวัดที่จะนำไปใช้งานมีผลการวัดถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานในระดับสากล [1-4] และสอดคล้องกับหลักการมาตรวิทยาที่ระบุไว้ในพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. 2540 ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องมือวัดจึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตเพราะจะช่วยให้เกิดการตรวจสอบและสร้างความมั่นใจว่าค่าที่ได้จากการวัดนั้นจะมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ เพราะการสอบเทียบเครื่องมือวัดนั้นจะส่งผลต่อทั้ง ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย การบำรุงรักษา ความยั่งยืนของโรงงาน รวมไปถึงคุณภาพของสินค้าและผลิตภัณฑ์โดยตรง [5]

ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา(CIB-BUU) เป็นหน่วยงานภาครัฐที่มีการให้บริการดังนี้ 1.สอบเทียบเครื่องมือวัดทั้งด้านมิติและด้านมวล 2.วัดชิ้นงานตามแบบ GD&T และ 3. จัดฝึกอบรมด้านการวัดและการสอบเทียบ [6] โดยมีลูกค้าหลักได้แก่โรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกและระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ EEC ในปัจจุบัน CIB-BUU เป็นห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 [7] แล้วจำนวนทั้งสิ้น 29 เครื่องมือวัด และมีแผนงานที่จะขยายขีดความสามารถในการสอบเทียบให้เพิ่มขึ้น รวมไปถึงการสอบเทียบระดับน้ำ (Horizontal Spirit Level Calibrator)

โดยเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบระดับน้ำในปัจจุบันมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่อง Angle Generator คือต้องปรับระดับความเอียงของพื้นที่วางระดับน้ำก่อน ทำการอ่านค่าความเอียงของพื้นด้วย Digital Indicator จำนวน 3 เครื่องมีหน่วยวัดเป็น mm แล้วจึงทำการวัดเปรียบเทียบกับค่าความเอียงของพื้นที่ระดับน้ำอ่านได้มีหน่วยเป็น mm/m โดยใช้โปรแกรม MS Excel คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำ อ้างอิงวิธีการสอบเทียบระดับน้ำตามมาตรฐาน JIS B 7510 : 1993 [8] สามารถแสดงกราฟการเคลื่อนที่ของการสอบเทียบระดับน้ำได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการสอบเทียบระดับน้ำตาม JIS B 7510

เครื่องมือมาตรฐานที่ CIB-BUU ใช้สอบเทียบระดับน้ำจะเรียกว่าเครื่อง Level Tester แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องมือมาตรฐาน Level Tester สำหรับใช้สอบเทียบระดับน้ำในปัจจุบัน

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

บทความวิจัย / บทความวิชาการ

เครื่องมือมาตรฐานฯ Level Tester ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานได้แก่ 1. ใช้เวลาในการสอบเทียบระดับน้ำนานส่งผลให้ต้นทุนดำเนินการสูง 2.วิธีปรับระดับความเอียงของพื้นทำได้ยากและมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนมาก, 3.เครื่องมือมาตรฐานมีขนานใหญ่และมีน้ำหนักมากทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก และ 4.ไม่สามารถอ่านค่าความเอียงของพื้นในหน่วยวัด mm/m ขณะสอบเทียบระดับน้ำได้ เป็นต้น ดังนั้นทาง CIB-BUU จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบระดับน้ำขึ้นใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการสอบเทียบสูงขึ้นมาทดแทนและขอการรับรองความสามารถ ISO/IEC17025 : 2017 ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

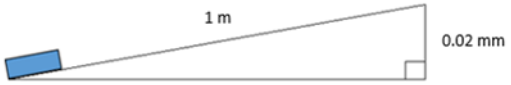
2.1 เครื่องมือวัดระนาบชนิดมีระดับน้ำ

เครื่องมือสำหรับวัดระดับความเอียงของพื้นชนิดมีฟองอากาศหรือที่นิยมเรียกว่าระดับน้ำ เป็นเครื่องมือที่สามารถอ่านค่าความเอียงข้องพื้นได้ในหน่วยวัด mm/m นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะว่าให้ผลการวัดที่มีความถูกต้องสูง มีความละเอียดของผลการวัดมากกว่าระดับน้ำที่ใช้งานทั่วไป ที่แสดงผลการวัดว่าพื้นเอียงไปทางขวาหรือเอียงไปทางซ้ายเท่านั้น โดยเครื่องวัดระดับน้ำชนิดนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องวัดระนาบชนิดมีระดับน้ำ

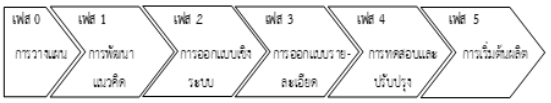
วิธีการอ่านค่าความเอียงของพื้นด้วยระดับน้ำ จะทำการวัดจากจำนวนช่องสเกลที่ฟองอากาศที่อยู่ภายในระดับน้ำลอยผ่าน โดยฟองอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มีพื้นเอียงสูงกว่าอีกด้านเสมอ เช่น ถ้าระดับน้ำมีฟองอากาศลอยไปทางขวามือ 1 ช่องสเกล ถ้า 1 ช่องสเกลมีค่า 0.02 mm/m จะหมายความว่าพื้นทางด้านขวาของระดับน้ำเอียงสูงกว่าด้านซ้าย 0.02 mm ที่ปลายความยาว 1 เมตรแสดงได้ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงพื้นด้านขวาเอียงขึ้น 0.02 mm/m

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Development) เป็นกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ เริ่มต้นด้วยการกำหนดโอกาสของโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์และสิ้นสุดลงที่การผลิตและการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เฟส 0: การวางแผน เป็นขั้นตอนเริ่มต้นก่อนที่โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะถูกอนุมัติและเริ่ม

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

ดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดโอกาส การประเมินสถานการณ์ด้านเทคโนโลยีและการตลาด

เฟส 1: การพัฒนาแนวคิด เป็นขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการ การกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์ การสร้างแนวคิดและคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสม

เฟส 2: การออกแบบเชิงระบบ เป็นขั้นตอนในการกำหนดสถาปัตยกรรมผลิตภัณฑ์ การออกแบบระบบย่อย โดยแสดงในลักษณะของรูปทรงเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์

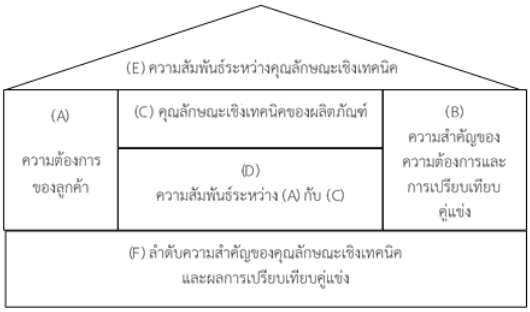
เฟส 3: การออกแบบรายละเอียด เป็นการออกแบบในรายละเอียดทางเทคนิคของชิ้นส่วนต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ นิยมแสดงในรูปของพิมพ์เขียวเพื่อใช้ในการผลิตและการจัดซื้อชิ้นส่วน

เฟส 4: การทดสอบและการปรับปรุง เป็นขั้นตอนในการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) เพื่อทดสอบ รูปลักษณ์ และการใช้งานของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่

เฟส 5: การเริ่มต้นผลิต เป็นขั้นตอนในการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการผลิตที่กำหนดขึ้น และการฝึกพนักงานก่อนที่จะทำการผลิตจริงในปริมาณมาก [9]

2.3 เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาความต้องการของลูกค้าและสามารถถ่ายทอดความต้องการให้เป็นคุณลักษณะเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์และงานบริการได้ QFD ดำเนินการด้วยการสร้างเป็นบ้านคุณภาพ (house of quality) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 6 ส่วน แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บ้านคุณภาพ

การสร้างบ้านคุณภาพจะเริ่มต้นจากส่วน A ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมและกำหนดความต้องการของลูกค้า ส่วน B เป็นการประเมินความสำคัญและความพึงพอใจของลูกค้า ตลอดจนความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์คู่แข่งขัน เพื่อคำนวณค่าคะแนนดิบ ในส่วน C จะกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความต้องการลูกค้าแต่ละข้อ ในส่วน D เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างส่วน A และ C ด้วยสเกล 0,1,3,9 ในส่วน E เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงเทคนิค ว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือเชิงลบต่อกัน ในส่วน F เป็นการคำนวณค่าคะแนนความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค(ค่าอิทธิพล) โดยคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีค่าอิทธิพลสูง หมายถึงมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของลูกค้ามาก ซึ่งในการออกแบบผลิตภัณฑ์ควรให้ความสำคัญต่อคุณลักษณะเชิงเทคนิคเหล่านี้ [10]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

1. รวบรวมข้อมูลความต้องการของเครื่องมือมาตรฐานฯ

2. ประยุกต์ QFD เพื่อกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของเครื่องมือมาตรฐานฯ

3. การออกแบบและคัดเลือกแนวคิดของเครื่องมือมาตรฐานฯ

4. การสร้างต้นแบบเครื่องมือมาตรฐานฯ

5. การทดสอบและการเปรียบเทียบผลการวัด

6. การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือมาตรฐานตามข้อกำหนด ISO/IEC17025 : 2017

3.1 รวบรวมข้อมูลความต้องการเกี่ยวกับเครื่องมือมาตรฐานฯ

ขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการเกี่ยวกับเครื่องมือมาตรฐานในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับสอบเทียบระดับน้ำด้วยการสนทนากลุ่มย่อย (Focus Group) ระดมสมองร่วมกันของบุคลากรที่เกี่ยวข้องในการสอบเทียบระดับน้ำ โดยข้อมูลความต้องการที่ได้จะนำมาจัดกลุ่มเป็นความต้องการหลักด้วย Affinity Diagram ทำให้ได้เป็นความต้องการหลักของเครื่องมือมาตรฐานจำนวน 13 ข้อ

ความต้องการทั้ง 13 ข้อนี้ได้นำมาสร้างเป็นข้อคำถามในแบบสอบถามปลายปิดเพื่อสำรวจระดับความสำคัญและระดับความพึงพอใจ ด้วยระดับคะแนน 1-5 ตาม Likert สเกล โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคลากรผู้ปฏิบัติงานและมีประสบการณ์ในการสอบเทียบระดับน้ำจำนวน 30 คน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างในการสำรวจระดับความสำคัญของความต้องการ

หน่วยงาน	จำนวน (คน)
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	5
ห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้การรับรอง 17025	10
ห้องปฏิบัติการสอบเทียบไม่ได้การรับรอง 17025	10
บริษัทขายเครื่องมือวัด	5
รวม	30

โดยการสำรวจนี้ได้ใช้รูปแบบเป็นแบบสอบถาม online ด้วย Google Form พร้อมทั้งมีการสัมภาษณ์เพิ่มเติมประกอบด้วย ผลการสำรวจระดับความสำคัญของความต้องการเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการสำรวจความต้องการของเครื่องมือมาตรฐานฯ

ลำดับ	ความต้องการ	ความสำคัญ
1	สอบเทียบระดับน้ำได้ทั้ง 2 ฝั่ง มาตรฐาน JIS B 7510 : 1993	4.95
2	สามารถปรับความละเอียดเล็กสุด 1 ช่องสเกล 0.02 mm/m ได้	4.80
3	ใช้เวลาในการสอบเทียบระดับน้ำไม่นาน	4.76
4	เครื่องมือมาตรฐานฯมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก	4.75
5	ค่าใช้จ่ายในการนำเครื่องมือมาตรฐานฯไปสอบเทียบไม่สูง	4.60
6	เครื่องมือมาตรฐานฯมีราคาถูก	4.51

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

ตารางที่ 2 ผลการสำรวจความต้องการของเครื่องมือมาตรฐานฯ (ต่อ)

ลำดับ	ความต้องการ	ความสำคัญ
7	มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดต่ำ	4.40
8	แยกเฉพาะเครื่องมือวัดความสูงไปสอบเทียบ ไม่ต้องส่งทั้งเครื่อง	4.25
9	สามารถแสดงหน่วยวัด mm/m ขณะสอบเทียบได้	4.22
10	ทำจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน บำรุงรักษาง่าย	4.20
11	ปรับพื้นเอียงง่าย ไม่เกิดความเมื่อยล้าขณะสอบเทียบ	4.15
12	มีไฟส่องสว่างช่วยในการอ่านขีดสเกล	3.90
13	ลดข้อผิดพลาดในการถ่ายโอนข้อมูลเพื่อนำไปออกใบ Certificate	3.85

3.2 ประยุกต์ QFD เพื่อกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของเครื่องมือมาตรฐานฯ

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์เทคนิค QFD เพื่อกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค เพื่อจะนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือมาตรฐานการสอบเทียบระดับน้ำต่อไป การประยุกต์ QFD จะแสดงในรูปของบ้านคุณภาพ (House of Quality) ดังรูปที่ 7 ในส่วน A ของบ้านคุณภาพแสดงความต้องการ 13 ข้อ ส่วน B ประกอบด้วย B1 และ B2 เป็นคะแนนความสำคัญและความพึงพอใจซึ่งได้มาจากการสำรวจความต้องการ B3 เป็นคะแนนจุดมุ่งหมาย กำหนดโดย CIB-BUU ซึ่งจะมีค่าอย่างน้อยเท่ากับความพึงพอใจหรือสูงกว่าเพื่อเป็นแรงบันดาลใจที่จะให้บรรลุค่าเป้าหมายนี้ B4 เป็นอัตราส่วนการปรับปรุง ซึ่งเกิดจากการคำนวณสัดส่วนของ B3:B2 สำหรับ B5 เป็นค่าจุดขายซึ่งกำหนดโดย BIE-BUU B6 เป็นการคำนวณคะแนนดิบ มีการคำนวณแสดงดังสมการที่ (1)

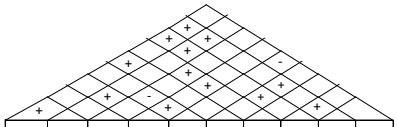
$$B6 = B1 \times B4 \times B5 \quad (1)$$

ผลจากบ้านคุณภาพพบว่าคุณลักษณะเชิงเทคนิคและค่าน้ำหนักปกติ สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 7 ซึ่งได้กำหนดเป็นค่าเป้าหมายของคุณลักษณะเชิงเทคนิคได้ 10 ข้อ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะเชิงเทคนิคและค้าเป้าหมายที่สำคัญในการออกแบบเครื่องมือมาตรฐานฯ

ลำดับ	คุณลักษณะเชิงเทคนิค	ค่าเป้าหมาย
1	เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ	ไม่เกิน 60 นาที
2	สอบเทียบได้ตาม JIS B 7510	ทำได้ (Yes)
3	น้ำหนักของเครื่องมือมาตรฐาน	ไม่เกิน 5 kg
4	ความสามารถในการปรับพื้นเอียงละเอียดสุด	0.02 mm/m
5	กำไรต่อการสอบเทียบระดับน้ำ 1 เครื่อง	มากกว่า 500 บาท
6	ราคาเครื่องมือมาตรฐาน	น้อยกว่า 50,000 บาท
7	เครื่องมือมาตรฐานต้องรับน้ำหนักของระดับน้ำได้ ไม่แอ่นตัว	ทำจากวัสดุแข็งแรง
8	ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐาน	น้อยกว่า 0.003 mm/m
9	ส่งเครื่องมือมาตรฐานไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรอง ISO/IEC17025 : 2017	มีห้องปฏิบัติการสอบเทียบได้ ISO/IEC17025
10	แสดงหน่วยวัด mm/m ระหว่างการสอบเทียบ	ทำได้ (Yes)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering



			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10								
ทิศทางการพัฒนา			O	↓	↓	↑	↓	↓	O	O	O	O								
ค่าเป้าหมาย			ได้ (yes)	≤ 60 นาที	≤ 5 กิโลกรัม	≥ 500 บาท	≤ 50,000 บาท	< 0.0030 mm/m	ได้ (yes)	ได้ (yes)	ได้ (yes)	ได้ (yes)								
ลำดับ	ความต้องการ	Imp.	สอบเทียบได้ตามมาตรฐาน JIS B 7510 : 1993	เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบระดับน้ำ	น้ำหนักของเครื่องมือมาตรฐาน	กำไรต่อการสอบเทียบระดับน้ำ 1 เครื่อง	ราคาเครื่องมือมาตรฐาน	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด	แยกเฉพาะตัวสร้างความสูงไปสอบเทียบได้	แสดงหน่วยวัด mm/m ขณะสอบเทียบได้	ปรับพื้นเอียงเล็กสุด 1 ช่องสเกลได้	ใช้วัสดุที่แข็งแรง ไม่เกิดสนิม	คะแนนความสำคัญ	คะแนนความพึงพอใจ	จุดมุ่งหมาย	อัตราส่วนการปรับปรุง	จุดขาย	คะแนนดิบ	คะแนนดิบปกติ	ลำดับที่
1	สอบเทียบระดับน้ำได้ทั้ง 2 ฝั่ง ตาม JIS B 7510 : 1993	4.95	9										4.95	4.5	4.9	1.09	1.5	8.09	9.43	3
2	สามารถปรับความละเอียดเล็กสุด 1 ช่องสเกล 0.02 mm/m ได้	4.80	3	3							3		4.80	4.5	4.8	1.07	1.5	7.68	8.96	6
3	ใช้เวลาในการสอบเทียบระดับน้ำไม่นาน	4.76		9									4.78	4.1	4.8	1.17	1.5	8.39	9.79	2
4	เครื่องมือมาตรฐานฯมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก	4.75			9				3			3	4.75	3.5	4.6	1.31	1.5	9.36	10.93	1
5	ค่าใช้จ่ายในการนำเครื่องมือมาตรฐานฯไปสอบเทียบไม่สูง	4.60				9							4.60	4.0	4.6	1.15	1.5	7.94	9.26	4
6	เครื่องมือมาตรฐานฯมีราคาถูก	4.51					9						4.51	3.5	4	1.14	1.5	7.73	9.02	5
7	มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดต่ำ	4.40						9					4.40	4.5	4.5	1.00	1.2	5.28	6.16	8
8	แยกเฉพาะเครื่องมือวัดความสูงไปสอบเทียบ ไม่ต้องส่งทั้งเครื่อง	4.25				3			9				4.25	4.2	4.3	1.02	1.2	5.22	6.09	9
9	สามารถแสดงหน่วยวัด mm/m ขณะสอบเทียบได้	4.22								9			4.22	4.5	4.5	1.00	1.2	5.06	5.91	12
10	ทำจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน บำรุงรักษาง่าย	4.20										9	4.20	4.5	4.5	1.00	1.5	6.30	7.35	7
11	ปรับพื้นเอียงง่าย ไม่เกิดความเมื่อยล้าขณะสอบเทียบ	4.15			3						9		4.15	4.0	4.1	1.03	1.2	5.10	5.96	11
12	มีไฟส่องสว่างช่วยในการอ่านขีดสเกล	3.90		3			3						3.90	3.8	4.0	1.05	1.2	4.93	6.08	10
13	ลดข้อผิดพลาดในการถ่ายโอนข้อมูลเพื่อนำไปออกใบ Certificate	3.85	3					3		3			3.85	4.0	4.0	1.00	1.2	4.62	5.39	13
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิค			127.95	133.26	116.20	101.60	99.41	71.62	87.61	69.35	80.48	98.93								
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิคปกติ			13.0	13.5	11.8	10.3	10.1	7.3	8.9	7.0	8.2	10.0								
ลำดับความสำคัญ			2	1	3	4	5	9	7	10	8	6								

รูปที่ 7 บ้านคุณภาพของเครื่องมือมาตรฐานฯ

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

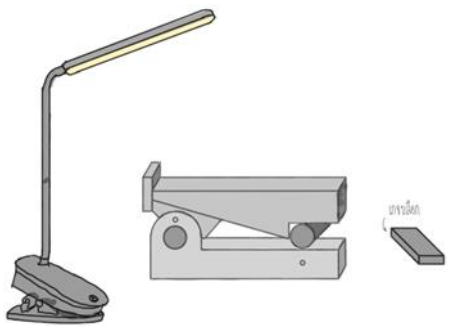
3.3 การออกแบบและคัดเลือกแนวคิดของเครื่องมือมาตรฐานฯ

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบแนวคิดทางเลือก (Concept Design) ของเครื่องมือมาตรฐานฯ โดยการพิจารณาจัดกลุ่มคุณลักษณะเชิงเทคนิคและค่าเป้าหมายที่สำคัญ 10 ข้อ ให้เป็นองค์ประกอบหลักทางกายภาพของเครื่องมือมาตรฐานฯ และวิธีการทำจะนำมาใช้ในแต่ละองค์ประกอบ

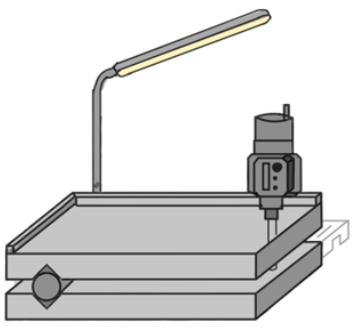
ในกำหนดแนวคิดทางเลือกของเครื่องมือมาตรฐานฯ ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Concept Combination Table โดยการจับคู่ระหว่างวิธีการของแต่ละองค์ประกอบหลักให้เกิดเป็นแนวคิดโดยพิจารณาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในทางปฏิบัติ งานวิจัยได้แนวคิดทางเลือกของเครื่องมือมาตรฐานฯ จำนวน 3 แบบ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 ภาพร่างแนวคิดทั้ง 3 แบบแสดงดังรูปที่ 8-10

ตารางที่ 4 แนวคิดของเครื่องมือมาตรฐานสอบเทียบระดับน้ำ

แนวคิดที่	วิธีการสร้างพื้นเอียง	เครื่องมือมาตรฐานที่ส่งไปสอบเทียบ	วัสดุที่ใช้ทำตัวเครื่องฯ	การอ่านค่าหน่วยวัด mm/m
1	ใช้ Gauge Block	Gauge Block	ทองเหลือง	มีค่าคงที่ตามขนาดของ Gauge Block
2	ใช้ Digital Micrometer Head	Digital Micrometer Head	สแตนเลส สตีล	อ่านค่าจาก Excel โดยใช้สูตรคำนวณ
3	ใช้ เกลียวละเอียดปรับระดับ	Electronic inclinometer	อลูมิเนียม	อ่านค่าจากเครื่องมือมาตรฐาน

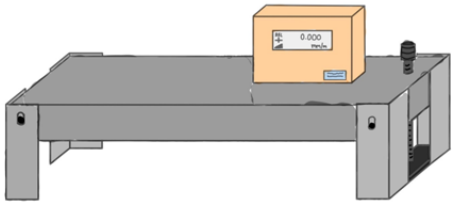


รูปที่ 8 ภาพร่างแนวคิดเครื่องมือฯ แบบที่ 1



รูปที่ 9 ภาพร่างแนวคิดเครื่องมือฯ แบบที่ 2

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering



รูปที่ 10 ภาพร่างแนวคิดเครื่องมือฯ แบบที่ 3

ขั้นตอนต่อจากนี้เป็นการประเมินคัดเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด 1 แนวคิดจากแนวคิดทางเลือกทั้ง 3 โดยใช้วิธีการให้คะแนนแนวคิด (Concept Scoring) ด้วยการกำหนดปัจจัยในการคัดเลือกจากความต้องการเครื่องมือฯ ทั้ง 13 ข้อ และใช้ค่าน้ำหนัก (weight) จากคะแนนดิบปกติตามผลที่คำนวณได้จากบ้านคุณภาพ ประเมินโดยบุคลากรของ CIB-BUU ใช้ระดับคะแนน 1-5 Likert สเกล

การประเมินคัดเลือกแนวคิดได้ผลว่า แนวคิดที่ 2 ได้คะแนนสูงสุดคือ 437.11 คะแนน ลำดับที่ 2 ได้แก่ แนวคิดที่ 1 ได้ 429.07 คะแนน และแนวคิดลำดับที่ 3 ได้แก่แนวคิดที่ 3 ได้ 425.04 คะแนน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกแนวคิดที่ 2 เป็นแนวคิดสำหรับเครื่องมือมาตรฐานฯ ซึ่งคุณสมบัติและความสามารถที่สำคัญของแนวคิดที่ 2 แสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติและความสามารถของเครื่องมือมาตรฐานฯแนวคิดที่ 2

คุณสมบัติ	ความสามารถ
สอบเทียบได้ตาม JIS B 7510 : 1993	ทำได้
วิธีปรับความเอียงของพื้น	ใช้ Digital Micrometer Head
เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้อ่านค่าความสูง/ส่งไปสอบเทียบ	Digital Micrometer Head / 0.001 mm
วัสดุที่ใช้	สแตนเลส สตีล
วิธีอ่านค่าหน่วย mm/m	บันทึกผลการวัดและใช้ Excel คำนวน
ขนาด	300 mm x 150 mm
ราคาประเมิน	50,000 บาท
วิธีสอบเทียบระดับน้ำ	อ่านค่าจากระดับน้ำและจดบันทึกค่าความเอียงของพื้นจากเครื่องมือมาตรฐาน

แนวคิดที่ 2 นี้ได้รับคำแนะนำปรับปรุงเพิ่มเติมในรายละเอียดโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอบเทียบและผู้ด้านวิศวกรรมก่อน โดยแนะนำให้ปรับปรุงลักษณะของเครื่องมือมาตรฐานฯ ให้คล้ายกับ Sine Bar โดยการเซตค่าเริ่มต้น (Reference Line) ที่โต๊ะระดับ Surface Plate ซึ่งจะสามารถทำให้เครื่องมือมาตรฐานไม่ต้องมีฐานรอง และแนะนำให้ฐานวางมีขนาดไม่เกิน 80 x 350 x 30 mm และแนะนำให้ใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียม เกรด 1100 เพราะตัดขึ้นรูปได้ง่ายและจะสามารถรับน้ำหนักของระดับน้ำได้โดยที่ฐานวางไม่เกิดการแอ่นตัว

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

4. ผลการวิจัย

4.1 การสร้างต้นแบบเครื่องมือมาตรฐานฯ

4.1.1 การออกแบบและสร้าง

ทำการออกแบบเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบระดับน้ำ เครื่องใหม่เรียกว่า Precision Bar ประกอบด้วย

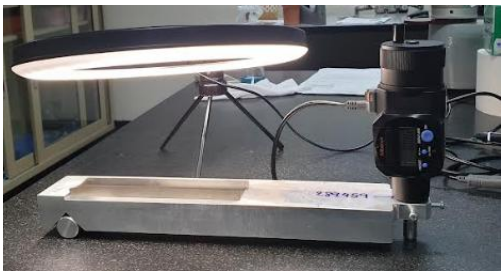
1.Precision Bar

2.Digital Micrometer Head

3.สายส่งสัญญานผลการวัดไปคอมพิวเตอร์

4.ไฟส่งสว่าง

ประกอบรวมกันแสดงได้ตามรูปที่ 11 โดยการปฏิบัติงานต้องวางบนโต๊ะหิน



รูปที่ 11 เครื่องมือมาตรฐาน Precision Bar

4.1.2 การทดสอบขนาดและการแอ่นตัว

ทำการวัดขนาด Precision Bar ด้วยเครื่อง CMM เพื่อตรวจสอบขนาดของเครื่องมือมาตรฐานตามแบบตาม Specification ที่กำหนด สามารถแสดงลักษณะการวัดชิ้นงาน Precision Bar ได้ดังรูปที่ 12



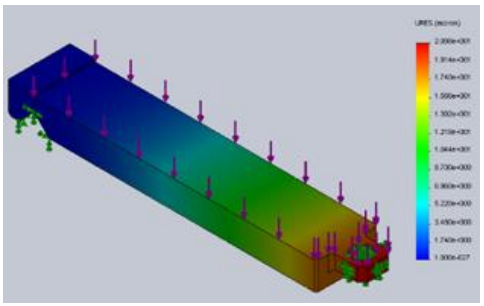
รูปที่ 12 การวัด Precision Bar ด้วยเครื่อง CMM

แสดงผลการวัดและค่าพิกัดเผื่อของ Precision Bar ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวัด Precision Bar

ตำแหน่งการวัด	พิกัดเผื่อ	ผลการวัด
ความเรียบของฐาน	0.02 ± 0.005 mm	0.016 mm
ความยาวของฐาน	290 ± 10 mm	284.459 mm

ทำการตรวจสอบการแอ่นตัวของ Precision Bar โดยวิธีการ Simulation ด้วยโปรแกรม Solidworks ได้ผลการทดสอบการแอ่นตัวเมื่อโหลดน้ำหนักขนาด 5 kg บน Precision Bar จะเกิดการแอ่นตัวสูงสุด 0.0014 mm สามารถแสดงการ Simulation ได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงผลการจำลองการแอ่นตัว

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

ส่งเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการสร้างความสูง Digital Micrometer Head ไปสอบเทียบได้ผลการสอบเทียบตามใบ Certificate No. CIB23-DC-43005 เมื่อประกอบ Precision Bar เข้ากับ Digital Micrometer Head สามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐานที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่ได้ประมาณ 0.0027 mm/m

4.2 เปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ

นำเครื่องมือมาตรฐานที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่ประกอบเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการสอบเทียบระดับน้ำตามวิธีการสอบเทียบ WI-CAL-DC-47 โดยอ้างอิงวิธีการมาตรฐาน JIS B 7510 : 1993 สามารถแสดงภาพการสอบเทียบระดับน้ำด้วย Precision Bar ได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ใช้ Precision Bar สอบเทียบระดับน้ำ

เพื่อเป็นการยืนยันถึงความถูกต้องของผลการสอบเทียบระดับน้ำ ด้วยเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า EN ratio โดยค่า EN ratio จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 จึงสามารถยอมรับผลการสอบเทียบได้ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO/IEC17043 : 2010 [11] พบว่าค่า EN ration ที่ได้จากการสอบเทียบระดับน้ำมีค่า EN มีค่าสูงสุด 0.69 ซึ่งน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลการสอบเทียบระดับน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถคำนวณค่า EN ratio ได้ตามสมการที่ 2

$$EN\ ratio = \frac{X\ lab - X\ ref}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \qquad (2)$$

เมื่อ X lab คือ ผลจาก Precision Bar
X ref คือ ผลจากห้องปฏิบัติการมาตรฐาน
U lab คือ ค่าความไม่แน่นอนจาก Precision Bar
U ref คือ ค่าความไม่แน่นอนจากห้องปฏิบัติการ

ทำการขึ้นทะเบียนเครื่องมือมาตรฐาน Precision Bar ในเอกสารระบบคุณภาพ FR-EQM-01 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบระดับน้ำภายในศูนย์สอบเทียบฯ และใช้ขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC17025 : 2017 ในขอบข่ายการสอบเทียบระดับน้ำ

4.3 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือมาตรฐานตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 : 2017

ทำการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่ Precision Bar ว่ามีความสามารถดีกว่าเครื่องมือมาตรฐานเครื่องเก่าสามารถแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพได้ตามตารางที่ 7

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

ตารางที่ 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่ Precision Bar

ลำดับ	หัวข้อ	เครื่องมือเครื่องเก่า	เครื่องมือพัฒนาใหม่
1	เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ	120 นาที	52 นาที
2	สอบเทียบได้ตาม JIS B 7510	ทำได้	ทำได้
3	น้ำหนักของเครื่องมือมาตรฐาน	25 kg	2 kg
4	ความสามารถในการปรับพื้นเอียงละเอียดสุด 0.02 mm/m	ทำไม่ได้	ทำได้
5	กำไรต่อการสอบเทียบระดับน้ำ 1 เครื่อง	200 บาท	600 บาท
6	ราคาเครื่องมือมาตรฐาน	90,000 บาท	40,000 บาท
7	เครื่องมือมาตรฐานต้องรับน้ำหนักของระดับน้ำได้ ไม่แอ่นตัว	ทำจากเหล็กทาสี	ทำจากอลูมิเนียม
8	ค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐาน	0.0041 mm/m	0.0027 mm/m
9	ส่งเครื่องมือมาตรฐานไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรอง ISO/IEC17025	มหาวิทยาลัยบูรพาสอบเทียบเองไม่ได้	มหาวิทยาลัยบูรพาสอบเทียบเองได้
10	แสดงหน่วยวัด mm/m ระหว่างการสอบเทียบ	ทำไม่ได้	ทำได้

4.4 พิจารณาคุณสมบัติของเครื่องมือมาตรฐานตามข้อกำหนด ISO/IEC17025 : 2017

เครื่องมือมาตรฐานที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่สำหรับสอบเทียบระดับน้ำเพื่อใช้ขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อกำหนดดังนี้

ข้อที่ 6.4 เครื่องมือ (Equipment) เครื่องมือมาตรฐานต้องมีความสามารถดีกว่าระดับน้ำอย่างน้อย 3 เท่า พบว่าเครื่องมือมาตรฐาน Precision Bar มีความสามารถดีกว่าระดับน้ำถึง 4.4 เท่า

ข้อที่ 6.5 การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (Metrological Traceability) เครื่องมือมาตรฐานต้องสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานการวัดแห่งชาติหรือ SI unit ตามหลักฐานใบรายงานผลการสอบเทียบของ Digital Micrometer Head สอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรอง ISO/EIC17025 : 2017 จากศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ข้อที่ 7.2 การเลือก การทวนสอบ และการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Selection, verification and validation of methods) เครื่องมือมาตรฐาน Precision Bar สามารถสอบเทียบระดับน้ำได้ตามวิธีการมาตรฐาน JIS B 7510 : 1993 โดยการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

ข้อที่ 7.3 ความมั่นใจในความใช้ได้ของผล (Ensuring the validity of results) สามารถแสดงได้จากค่า EN ratio จากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการได้ค่า EN มากสุด 0.69 ซึ่งน้อยกว่า 1 แสดงว่าเครื่องมือมาตรฐาน Precision Bar สามารถสอบเทียบระดับน้ำได้

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

4.5 ประเมินต้นทุนเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่

โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการสอบเทียบทำให้ Precision Bar สามารถลดเวลาสอบเทียบลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานเครื่องเก่าถึง 68 นาที คิดเป็น 57% และเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่ Precision Bar ยังมีความสามารถในการสอบเทียบระดับน้ำได้ทัดเทียมกับเครื่องมือมาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาประมาณ 150,000 บาท โดยเครื่องมือมาตรฐานเครื่องใหม่มีราคาถูกกว่าถึง 110,000 บาท คิดเป็น 73%

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบระดับน้ำขึ้นใหม่ โดยมีพื้นฐานมาจากความต้องการของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการสอบเทียบระดับน้ำโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นเครื่องมือในการแปลงความต้องการให้เป็นคุณลักษณะเชิงเทคนิค และกำหนดเป็นค่าเป้าหมายในการออกแบบ โดยบทสรุปของงานวิจัยสามารถดำเนินการได้ตรงตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. สามารถออกแบบและพัฒนาเครื่องมือมาตรฐานรูปแบบใหม่ในการใช้สอบเทียบระดับน้ำเรียกว่า Precision Bar ที่มีความสามารถในการสอบเทียบระดับน้ำได้ผลทัดเทียมกับเครื่องมือมาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศแต่ใช้เวลาในการสอบเทียบน้อยกว่าและเครื่องมือมาตรฐานยังมีราคาถูกกว่าด้วย

2. เครื่องมือมาตรฐานที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นใหม่ Precision Bar ยังมีคุณสมบัติของเครื่องมือมาตรฐานสอดคล้องตามข้อกำหนด ISO/IEC17025 : 2017 ได้ทั้ง 4 ข้อ จึงสามาถใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบระดับน้ำ และใช้ขอการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการสอบเทียบในขอบข่ายการสอบเทียบระดับน้ำต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยบูรพาที่ได้มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยสำหรับบุคลากร นำไปพัฒนากระบวนการปฏิบัติงานประจำสู่งานวิจัย (Routine to Research : R2R) จากแหล่งเงิน กองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ R2R05/2565

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Chareansuk, and S. Sawatarree, Introduction of metrology by NationalInstitute of Metrology (Thailand), 1st Ed., National Institute of Metrology (Thailand), Pathumthani, Thailand, 2005.

[2] W. Kongsagul, Design and development of fixture for calibration of torque screwdriver in accordance with ISO 6789 : 2003 (E) using quality function deployment technique, Thai Industrial Engineering Network Journal, 2018, 4(1), 24-33.

[3] W. Kongsakul, C. Sukmak, and M. Charoenkun, Design and development of smart dial gauge tester, The conference of industrial Engineering Network IE Network

ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: Registering

2019 (Thailand 2019), Proceeding, 2019, 562-566.

[4] W. Kongsakul, Design and development of standard instrument for calibration steel ruler with according to reference method JIS B 7516: 2005, The conference of industrial Engineering Network IE Network 2024 (Thailand 2024), Proceeding, 2024, 8-13.

[5] https://www.cal-laboratoty.com/Article/Why calibrate instrument- How important / (Accessed on 7 January 2025)

[6] https://www.cib-buu.com/17454134 /About us (Accessed on 16 March 2024)

[7] TISI 17025 – 2561, Laboratory Accreditation, 2017. (in Thai).

[8] Japanese Standard Association, JIS Handbook Mechanical Instrumentation JIS B 7510 : 1993, 2012.

[9] K.T. Ulrich, and S.D. Eppinger, Product design and development, 5th Ed., McGraw-Hill, New York, USA 2012.

[10] L. Cohen, Quality function deployment how to make QFD work for you, Addison-Wesley, Massachusetts, USA 1995.

[11] International Organization for Standardization, ISO/IEC 17043 : 2010, General Requirement for Proficiency Testing, 2010.