

การพัฒนาระบบสอบเทียบ Accelerometer โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก Development of Accelerometer Calibration System using Static Earth's Gravity

ชมพูนท หิรัญพฤษย์^{1*} ไพโรจน์ รัตนางกูร¹ และประมาณ จันทรักษา

¹ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 3/4-5 หมู่ 3 ตำบล คลองห้า อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: chompoonoot@nimt.or.th, โทรศัพท์ 02-577-5100, โทรสาร 02-577-5095

บทคัดย่อ

การวัดการสั่นสะเทือนในย่านความถี่ต่ำถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในงานการเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินไหว การเฝ้าระวังที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถูกต้องแม่นยำ โดยความถูกต้องของเครื่องมือวัดนี้สามารถตรวจสอบได้โดยการสอบเทียบ ปัจจุบันสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติสามารถให้บริการสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) ความถี่ต่ำในช่วงความถี่ 0.4 – 160 เฮิรตซ์โดยวิธี Laser Interferometry หากแต่ระบบการสอบเทียบที่สถาบันใช้ในการให้บริการนี้ ไม่สามารถรองรับน้ำหนักของหัววัดการสั่นสะเทือนที่ใช้ในงานเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินไหวได้ เพราะระบบในปัจจุบันสามารถรองรับน้ำหนักของหัววัดการสั่นสะเทือนได้สูงสุดเพียง 900 กรัม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำแบบที่มี DC response โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักของหัววัดการสั่นสะเทือนได้ไม่ต่ำกว่า 5 กิโลกรัม การสอบเทียบอาศัยวิธีตามมาตรฐาน ISO 16063-16:2014 โดยมีหลักการว่า คุณสมบัติของหัววัดการสั่นสะเทือนจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของความเร่งที่กระทำต่อหัววัด ซึ่งความเร่งที่กระทำต่อหัววัดคือ แรงโน้มถ่วงของโลก ขนาดของความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อหัววัดสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนทิศการติดตั้งหัววัดกับระบบสอบเทียบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนแบบ Variable Capacitance โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก และได้เปรียบเทียบผลการสอบเทียบกับวิธี Laser Interferometry ความแตกต่างของผลการสอบเทียบของสองระบบนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือประมาณ 0.97 % อีกทั้งค่าสัดส่วน E_n ที่มากที่สุดนั้นประมาณ 0.44 ซึ่งยอมรับได้

คำหลัก: Accelerometer, การสอบเทียบ, แรงโน้มถ่วงของโลก

Abstract

Low frequency vibration measurements have been used widely in earthquake monitoring systems. The effectiveness of the earthquake monitoring systems depends on the accuracy of the measuring equipment. Currently, the National Institute of Metrology (Thailand) provides the calibration service for low frequency vibration calibration from 0.4 – 160 Hz. However, the calibration system used for this service is not capable of supporting heavy vibration measuring equipment. The maximum weight that this system can support is 900 g approximately.

This research aims to develop low frequency vibration calibration system, which can support the weight of vibration measuring equipment up to 5 kg. The developed system is primary calibration system using Earth's gravity method. This method has the advantage of supporting large mass loading and having low manufacturing cost.

The calibration method in accordance with the international standard ISO 16063-16:2014 was employed. The calibration was performed by changing the acceleration, i.e. Earth's gravity, applied on accelerometer under calibration. The force due to Earth's gravity can be varied by changing the installed position of accelerometer on the calibration system. The change in accelerometer position by 180 degrees causes in the change in acceleration due to Earth's gravity by 2g. The calibration results are presented in terms of sensitivity, which can be calculated from the ratio of output voltage difference to 2g.

The calibration results were compared with those obtained by Laser Interferometry method to verify the developed calibration system. The calibration results show reasonable agreement between the results obtained from developed system and Laser Interferometry system. Although the measured sensitivities were smaller than those from Laser Interferometry, the highest difference was satisfactory, which was about 0.97 %. Also the E_n ratio showed acceptable agreement. The maximum E_n ratio was 0.44 approximately.

Keywords: accelerometer, calibration, Earth's gravity

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยให้ความสนใจกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมากขึ้น โดยเฉพาะการเกิดแผ่นดินไหว ประเทศไทยประสบกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดประมาณ 6.3 ริคเตอร์ ทางตอนเหนือของประเทศไทย ในปี 2558 ซึ่งส่งผลให้มีประชาชนบาดเจ็บและโครงสร้างอาคารต่างๆเกิดความเสียหายจากแรงสั่นสะเทือนนี้ แม้ว่าแผ่นดินไหวครั้งนี้จะเป็นการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ แต่ก็ไม่มีใครสามารถให้ความมั่นใจว่าประเทศไทยจะไม่ประสบกับการเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่มากกว่านี้ในอนาคต

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย เพื่อลดการสูญเสียชีวิตและความเสียหายต่อทรัพย์สินของประชาชนจากการเกิดแผ่นดินไหว

ในการเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินไหวนั้น อาศัยการวัดความสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำ โดยประสิทธิภาพจากการเฝ้าระวังขึ้นอยู่กับความถูกต้องของเครื่องมือวัด ปัจจุบัน มว. ให้บริการสอบเทียบเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ ในช่วงพิสัย 0.4 เฮิรตซ์ ถึง 160 เฮิรตซ์ โดยใช้วิธี Laser Interferometry หากแต่การสอบเทียบโดยวิธี Laser Interferometry นั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรกคือ ระบบการสอบเทียบนี้ไม่สามารถรองรับหัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) ที่มีน้ำหนักมากได้ ซึ่งหัววัดการสั่นสะเทือน ประเภทที่ใช้ในงานเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินไหวเป็นส่วนใหญ่ ประการที่สอง ระบบการสอบเทียบโดยวิธี Laser Interferometry นั้น จะมีราคาแพงและไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปสอบเทียบนอกสถานที่ได้ ส่งผลให้เป็นปัญหาในการให้บริการสอบเทียบ

นอกสถานที่แก่ลูกค้าที่มีความจำเป็น เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดทั้งสองประการ มว. ได้พัฒนาระบบสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือน โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งระบบนี้มีข้อดีตรงที่สามารถรองรับหัววัดการสั่นสะเทือนที่มีน้ำหนักมากได้ และมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบ Laser Interferometry โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถรองรับน้ำหนักของหัววัดการสั่นสะเทือน ได้ไม่ต่ำกว่า 5 กิโลกรัม

งานวิจัยนี้ ใช้วิธีการสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO16063-16:2014 [1] ซึ่งการสอบเทียบกระทำโดยเปลี่ยนความเร่ง ในที่นี้คือแรงโน้มถ่วงของโลก ที่กระทำต่อหัววัดการสั่นสะเทือน แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจะเปลี่ยนไปตามทิศทางการติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือน กับระบบการสอบเทียบ การเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดการสั่นสะเทือน ไป 180 องศา ทำให้แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ที่กระทำต่อหัววัดการสั่นสะเทือนเปลี่ยนแปลงไป 2g

ระบบสอบเทียบที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งการทดลองสอบเทียบแสดงในหัวข้อที่ 2 ในหัวข้อที่ 3 นำเสนอการประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ ส่วนผลการสอบเทียบแสดงในหัวข้อที่ 4 และสรุปผลการวิจัยนำเสนอในหัวข้อที่ 5

2. การทดลอง

การทดลองจัดทำขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสอบเทียบโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกที่พัฒนาขึ้น โดยทดลองสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ KISTLER รุ่น 83932 แต่หัววัดการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทดลองนี้มีน้ำหนักเพียง 60 กรัมโดยประมาณ หากแต่ระบบสอบเทียบถูกออกแบบให้รองรับน้ำหนักของหัววัดได้ถึง 5 กิโลกรัม ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของระบบสอบเทียบ ก้อนน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัมจะถูกยึดติดกับหัววัดการสั่นสะเทือนตลอดการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) ต่อกับก้อนน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม

ระบบสอบเทียบโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ถูกติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2 โดยติดตั้งหัววัดการสั่นสะเทือนที่ต้องการสอบเทียบกับระบบสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการสอบเทียบนั้นจะวัดค่า Voltage Output ที่ออกจากหัววัดการสั่นสะเทือน ในขณะที่หัววัดการสั่นสะเทือนอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศาและที่ตำแหน่ง 180 องศา ซึ่งตำแหน่งเหล่านี้แสดงดังรูปที่ 3-5 การปรับตำแหน่งของหัววัดการสั่นสะเทือนไปยังตำแหน่งดังกล่าว สามารถทำได้โดยให้คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณผ่านทาง Power supply รุ่น NES-200-24 และ Controller รุ่น LSD-CD ไปขับให้มอเตอร์ รุ่น DG200R-ARAD-3 ให้เคลื่อนที่ เมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไปจนหัววัดการสั่นสะเทือนอยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการ คือตำแหน่ง 0 องศาแล้ว ค่า Output Voltage ที่ตำแหน่ง 0 องศา (V_0) จะถูกวัดและส่งผลการวัดไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Data Acquisition System รุ่น DEWE 43 V จากนั้นขับให้มอเตอร์หมุนจนหัววัดการสั่นสะเทือนอยู่ที่ตำแหน่ง 180 องศา แล้วทำการวัดค่า Voltage Output ของหัววัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งนี้ (V_{180})

หลังจากวัด Voltage Output ของหัววัดการสั่นสะเทือนที่สองตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง 0 องศา และตำแหน่ง 180 องศาแล้ว จะคำนวณผลการสอบเทียบ คือ Sensitivity ของหัววัดการสั่นสะเทือน ได้จาก [1]

$$S = \frac{v_0 - v_{180}}{2g} \quad (1)$$

โดย S, v_0, v_{180} และ g คือ ค่า Sensitivity มีหน่วยเป็น V/ms^{-2} ค่า Output Voltage ที่ตำแหน่ง 0 องศา มีหน่วยเป็น V ค่า Output Voltage ที่ตำแหน่ง 180 องศา และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น m/s^2 ตามลำดับ

โดย Sensitivity ที่คำนวณได้นั้นจะถูกเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบโดยวิธี Laser Interferometry แต่ก่อนน้ำหนักขนาด 5 กิโลกรัม ไม่ถูกติดตั้งกับหัววัดการสั่นสะเทือน ในการวัดโดยวิธี Laser Interferometry

เนื่องจากหัววัดการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 8393B2 ที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นหัววัดแบบ 3 แกน คือ แกน X Y และ Z ดังนั้นในการทดลองจะสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน ในการสอบเทียบหัววัดแต่ละแกนนั้น ทิศทางการติดตั้งหัววัด ณ ตำแหน่ง 0 องศา และ 180 องศาจะแตกต่างกัน โดยการติดตั้งหัววัดการ

ตารางที่ 1 แหล่งของความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือน โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก

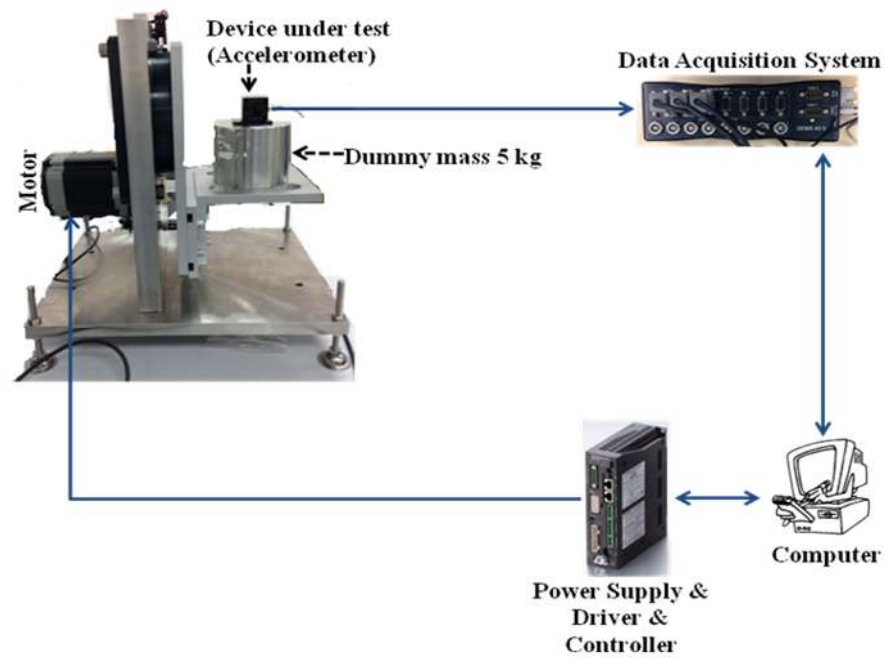
สั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง 0 องศา และ 180 องศาของแกน Z แกน X และ แกน Y แสดงได้ดังรูปที่ 3 - 5 ตามลำดับ

3. ความไม่แน่นอนจากการวัด

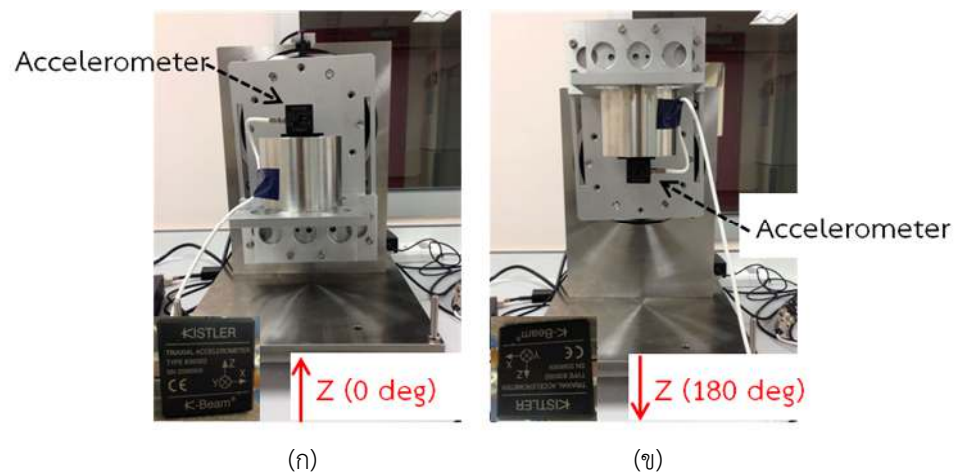
การวัดค่าสิ่งต่างๆด้วยเครื่องมือวัดนั้น จะต้องมีความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) เกิดขึ้น ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด จำเป็นต้องรายงานผลการสอบเทียบร่วมกับความไม่แน่นอนของการวัดเสมอ เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการวัดนั้นมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ดังนั้นการประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาระบบการสอบเทียบขึ้นมา

ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ประเมินได้จาก 10 แหล่งความไม่แน่นอน แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งความไม่แน่นอนรวมจากการสอบเทียบจะถูกคำนวณจากแหล่งความไม่แน่นอนเหล่านี้ และถูกใช้ในการคำนวณค่าสัดส่วน E_n ดังแสดงในหัวข้อที่ 4

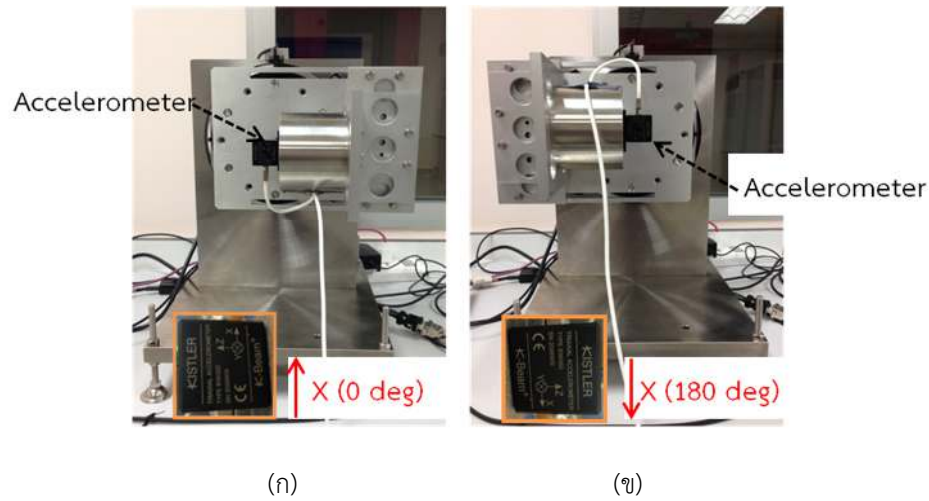
Type	Source of Uncertainty
B	Acceleration Magnitude due to Gravitation
B	Accuracy of Data Acquisition System for Voltage Measurement at 0°
B	Accuracy of Data Acquisition System for Voltage Measurement at 180°
B	Resolution of Data Acquisition System for Voltage Measurement at 0°
B	Resolution of Data Acquisition System for Voltage Measurement at 180°
B	Transverse Sensitivity
B	Position Misalignment at 0°
B	Position Misalignment at 180°
A	Repeatability of Voltage Measurement at 0°
A	Repeatability of Voltage Measurement at 180°



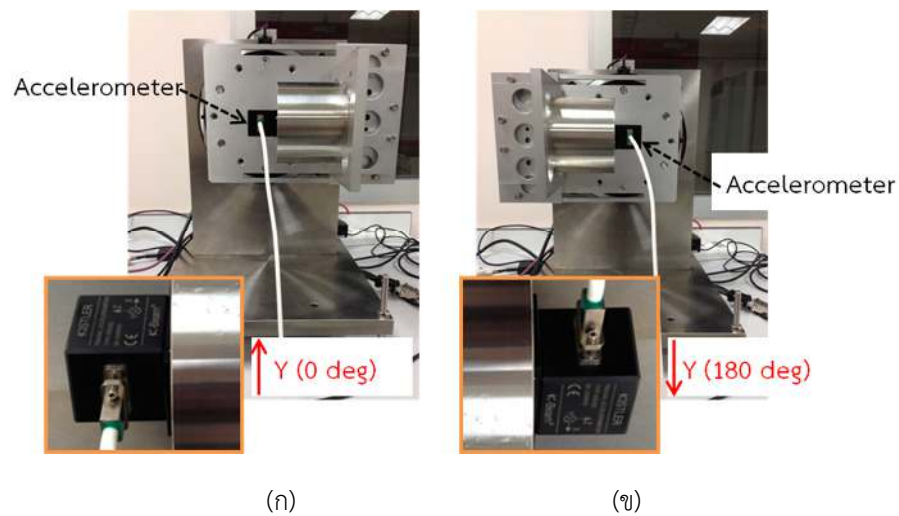
รูปที่ 2 การติดตั้งระบบสอบเทียบ Accelerometer โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก



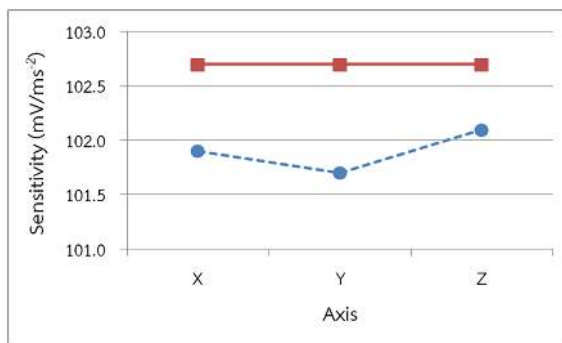
รูปที่ 3 หัววัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน Z ณ ตำแหน่ง (ก) 0 องศา และ (ข) 180 องศา



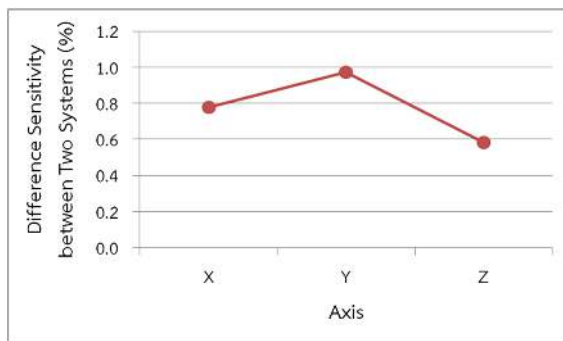
รูปที่ 4 หัววัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน X ณ ตำแหน่ง (ก) 0 องศา และ (ข) 180 องศา



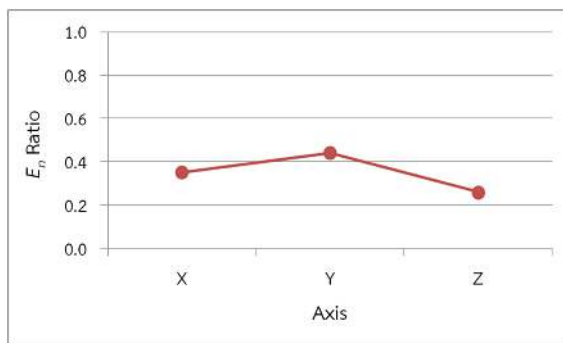
รูปที่ 5 หัววัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน Y ณ ตำแหน่ง (ก) 0 องศา และ (ข) 180 องศา



รูปที่ 6 ผลการสอบเทียบ Accelerometer -●- วัดจากระบบที่พัฒนาขึ้น และ -■- วัดจากระบบวิธี Laser Interferometry



รูปที่ 7 ความแตกต่างระหว่างผลการทดลองที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นและจากระบบ Laser Interferometry



รูปที่ 8 สัดส่วน E_n ระหว่างผลการทดลองที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นและจากระบบ Laser Interferometry

4. ผลการวิจัย

ผลการสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 8393B2 s/n 2066909 โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ได้ถูกเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบโดยใช้วิธี Laser Interferometry ดังแสดงในรูปที่ 6 ผลการสอบเทียบจากทั้งสองวิธีมีความต่างกันมากที่สุดประมาณ 0.97% ดังแสดงในรูปที่ 7

การเปรียบเทียบผลการวัดระหว่าง 2 ระบบนั้นสามารถประเมินผลการเปรียบเทียบได้จากการคำนวณค่าสัดส่วน E_n (E_n ratio) ดังแสดงในสมการด้านล่าง [2]

$$E_n = \frac{S_g - S_L}{\sqrt{U_g^2 + U_L^2}} \quad (2)$$

โดยที่ S_g, S_L, U_g และ U_L คือผลการวัด (Sensitivity) ที่ได้จากระบบสอบเทียบโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ค่า Sensitivity ที่ได้จากวิธี Laser Interferometry ค่าความไม่แน่นอนของการวัดของระบบสอบเทียบโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 mV/ms^{-2} และ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดของระบบ Laser Interferometry ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 mV/ms^{-2} ตามลำดับ

ค่าสัดส่วน E_n ที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความหมายคือ เมื่อขนาดของสัดส่วน E_n มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1 หมายความว่าผลการวัดจากสองระบบการวัดมีความสอดคล้องกัน แต่ถ้าขนาดของสัดส่วน E_n มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าผลการวัดของทั้งสองระบบไม่สอดคล้องกัน [3]

รูปที่ 8 แสดงสัดส่วน E_n ระหว่างผลการวัดจากสองวิธี จากรูปพบว่าสัดส่วน E_n มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่าผลการวัดจากระบบสอบเทียบโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกสอดคล้องกับผลการวัดโดยวิธี Laser Interferometry

5. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอระบบสอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก วิธีการสอบเทียบเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 16063-16:2014 ผลการสอบเทียบถูกแสดงเป็นค่า Sensitivity ของหัววัดการสั่นสะเทือน และความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบถูกพิจารณาจาก 10 แหล่งความไม่แน่นอน

ระบบสอบเทียบที่พัฒนาขึ้นถูกทดสอบโดยใช้สอบเทียบหัววัดการสั่นสะเทือน ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 83932 ผลการสอบเทียบรวมทั้งค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบถูกคำนวณ และเปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบด้วยวิธี Laser Interferometry ผลการสอบเทียบโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกจะต่ำกว่าผลการสอบเทียบโดยวิธี Laser Interferometry แต่ความแตกต่างของผลการสอบเทียบนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือประมาณ

0.97 % อีกทั้งค่าสัดส่วน E_n ที่มากที่สุดนั้นประมาณ
0.44 ซึ่งยอมรับได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์ประสานงาน
นักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ สำนักงาน
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ISO (2014). *ISO 16063-16:2014 Methods for the calibration of vibration and shock transducers—Part 16: Calibration by Earth's gravitation.*
- [2] ISO (2010). *ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment – General requirements for proficiency testing.*
- [3] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (2010). *การเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ (Inter-Laboratory Comparison)*, Metrology info Vol. 12, No. 58, หน้า 12-16.