



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคโนโลยีวิชั่นสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

Development of a vibration measurement by vision-based sensors technology for testing laboratory

วรวิทย์ กังหัน¹ ธนากร บุญหรั่ง² ชลธิศ พิธิภูมิสุขสันต์^{3*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10160

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10300

Worawut Kunghun¹ Thanakorn Boonhrong² Chonlathit Pitipoomsuksan^{3*}

¹ Department of Production and Industrial Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

² Mechanical engineering, faculty of engineering, Thonburi University, Bangkok 10160

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10300

* Corresponding author.

E-mail: chonlathit.p@rmutp.ac.th

วันที่รับบทความ 21 สิงหาคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 14 พฤศจิกายน 2566; วันที่ตอบรับบทความ 27 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีทางด้านการวัดการสั่นสะเทือนซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เครื่องมือวัดหรือเซนเซอร์ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวเหมาะสำหรับการวัดการสั่นสะเทือนที่ต้องการได้รับความแม่นยำสูงโดยในทางวิศวกรรมมีงานวัดการสั่นสะเทือนบางประเภทงานไม่มีความจำเป็นต้องความแม่นยำสูง เช่น การวัดการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัยที่สูง และเทคโนโลยีการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคโนโลยีวิชั่นเซนเซอร์ (Vision-Based Sensors) เป็นเทคโนโลยีที่ไม่จำเป็นต้องสร้างเครื่องมือวัดเพื่อลดการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษา เทคโนโลยีการพัฒนากการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคโนโลยีวิชั่นเซนเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่งสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบที่รอบมอเตอร์ $1,010 \pm 15$ RPM สำหรับการสร้างการสั่นสะเทือนแบบบังคับ และใส่ลูกตุ้มถ่วงที่น้ำหนัก (Mass of motor with disc) เท่ากับ 6.735 กก. (0 ก.), 7.135 กก. (400 ก.), 7.535 กก. (800 ก.), 7.935 กก. (1,200 ก.), 8.335 กก. (1,600 ก.) และ 8.735 กก. (2,000 ก.) ผลการทดลอง พบว่า ความถี่ธรรมชาติเปรียบเทียบกับแล้วนั้น จะอยู่ในช่วงระหว่าง 5.12 – 5.27 Hz ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างวิชั่นเซนเซอร์ กับเครื่องวัดความเร่งมีค่าสูงสุด 1.68%, 1.65%, 1.74%, 1.98%, 2.14% และ 1.52% ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่าที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5%

คำสำคัญ

วิชั่นเซนเซอร์ ระบบการสั่นสะเทือน การประมวลผลทางภาพ เครื่องทดสอบวัดการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการ

Abstract

The vibration measurement technology, currently in high demand, utilizes measuring instruments or sensors. This advanced technology provides high accuracy and is well-suited for applications requiring precise vibration

measurements. In engineering, certain types of vibration measurement tasks may not necessarily demand high precision, such as measuring vibrations in structures or other systems with high safety margins. Utilizing sensor fusion technology for vibration measurements is an effective alternative that reduces the need for various resources. In this research, the development of vibration measurement technology using sensor fusion was studied and compared with accelerometer-based measurement devices in laboratory testing and motor testing at $1,010 \pm 15$ revolutions per minute for controlled vibration generation. Various masses were added to the motor with a disc, namely 6.735 kg (0 g), 7.135 kg (400 g), 7.535 kg (800 g), 7.935 kg (1,200 g), 8.335 kg (1,600 g), and 8.735 kg (2,000 g). Each test was conducted 30 times. The experimental results indicated that the natural frequency ranged from 5.12 to 5.27 Hertz. The maximum percentage deviation between sensor fusion and accelerometer-based measurement devices was 1.68%, 1.65%, 1.74%, 1.98%, 2.14%, and 1.52%, respectively. Furthermore, from the vibration measurement test using the sensor fusion system compared with the accelerometer-based measurement device, the maximum acceptable percentage deviation was found to be within 5%.

Keywords

vision sensors; vibration system; image processing; vibration measurement testing laboratory

1. คำนำ

การวัดการสั่นสะเทือนภายในโครงสร้าง เช่น สะพาน อาคาร และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้อาจจะเกิดมาจากการกระทำของสิ่งแวดล้อม เช่น แรงลมที่กระทำต่ออาคารและสะพาน และการสั่นสะเทือนนี้ ส่งผลให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น เกิดเสียงรบกวน หากความถี่ของแรงกระทำใกล้เคียงกับช่วงความถี่ธรรมชาติ จะเกิดการสั่นพ้องทำให้วัสดุ และโครงสร้างเกิดความเสียหาย [1] การควบคุมการสั่นสะเทือนก็สามารถทำได้ โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ เช่น มวล ความแข็งสปริง และค่าความหน่วง เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนจากภายนอกกระทบกับระบบ [2]

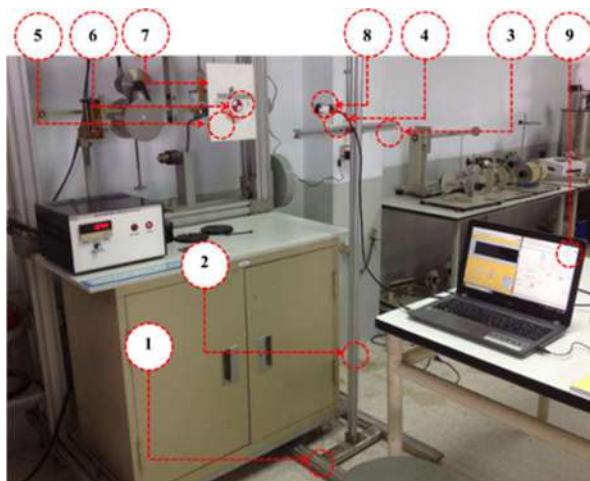
ปัจจุบันเทคโนโลยีการวัด มีความก้าวหน้ามากขึ้น มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเทคโนโลยีการประมวลผลด้วยภาพ โดยมีงานวิจัยมากมายในปัจจุบัน และมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น การทำแผนที่สวนยางโดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพ [3] การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนภายในโครงสร้าง [4], [5] การตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือ [6] และการเคลื่อนไหวของมนุษย์ [7] เป็นต้น Martini A., et al. [8] ได้นำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้คอมพิวเตอร์วิชั่นเพื่อให้ได้ข้อมูลการเคลื่อนที่ขึ้นลง และพร้อมทั้งตำแหน่งการเคลื่อนไหวของสะพาน โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิชั่นเพื่อประมาณค่าเคลื่อนที่ที่จุดเป้าหมายและตำแหน่งของภาระที่เคลื่อนที่ได้ วิธีการที่อธิบายในบทความนี้

ได้รับการทดสอบและการยืนยันความถูกต้องด้วยโมเดลสะพานที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ โดยการติดตั้งระบบตรวจวัดที่ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ แรงเร่งเคลื่อนที่ และกล้อง เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเป้าหมาย Huo L., et al. [9] การตรวจวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหมุ่นด้วยการใช้ภาพ บทความนี้นำเสนอชุดข้อมูลทดสอบที่ใหญ่สำหรับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างหมุ่น เพื่อช่วยสำหรับการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเปรียบเทียบ โดยใช้โมเดล Match Template (MT) และ Support Vector Machines (SVMs), deep-learning CenterNet, faster region-convolutional neural networks (Faster R-CNNs), RetinaNet, Single Shot Multi-Box Detector (SSD) และ you only look once (YOLO) เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดการสั่นสะเทือนดังกล่าว Wang M., et al. [10] ระบบวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างโดยไม่ต้องสัมผัสโครงสร้างและส่งผลลัพธ์ได้ทันที โดยการสร้างระบบวัดการเคลื่อนที่แบบรายเวลาภาพทำได้โดยใช้ Raspberry Pi ร่วมกับกล้อง ระบบที่สร้างขึ้นสามารถวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างจุดหลายจุดบนสะพานแขวนระยะไกลในเวลาที่เป็นเรียลไทม์ได้ และ Han Y., et al. [11] ได้นำเสนอการวัดการเคลื่อนที่ของจุดหลายจุดและการระบุโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานโดยใช้กล้องพกพาหลายตัวและตัวส่งเลเซอร์ราคาถูก ในการวัดการเคลื่อนที่และการระบุโครงสร้างถูกประเมินด้วยการทดสอบความแม่นยำในการวัด

และการวิเคราะห์ข้อผิดพลาด รวมถึงการทดลองบนโมเดลสะพานที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อเสียของวิธีการวัดแบบเดิมโดยใช้เซ็นเซอร์ทั้งทางด้านราคาเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กล้องซึ่งค่าใช้จ่ายที่ถูกลง มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเพื่อสามารถตรวจวัดได้แบบคล่องตัวที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และสามารถประมวลผลในทันทีเพื่อทำการวิเคราะห์รวมทั้งการประมวลผลด้วยภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมอื่น ๆ ได้หลากหลายที่ช่วยสำหรับการวัดการเสียรูปหรือ การเคลื่อนที่ของเป้าหมายที่ไม่ต้องสัมผัสวัตถุนั้น

ในบทความนี้นำเสนอการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคโนโลยีวีชันสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการศึกษาการสั่นสะเทือนแบบบังคับโดยไม่มีตัวหน่วง (Force Vibration Undamped) และนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometers) โดยใช้เซ็นเซอร์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของความถี่ธรรมชาติ แทนที่วิธีการใช้เซ็นเซอร์การวัดการสั่นสะเทือนที่มีราคาค่าใช้จ่ายที่สูง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบการวัดการสั่นสะเทือน

จากรูปที่ 1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน มีดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 คือ ฐานเสาตั้งกล้อง

หมายเลข 2 คือ เสาตั้งกล้อง

หมายเลข 3 คือ แขนตั้งกล้อง

หมายเลข 4 คือ แคลมป์ยึดกล้อง

หมายเลข 5 คือ ฉากหลังสีขาว

หมายเลข 6 คือ เป้าเทียมวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. วัสดุเป็นเหล็กแผ่น 1.2 มม.

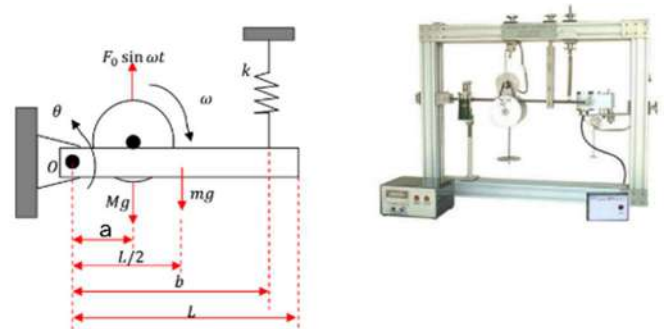
หมายเลข 7 คือ เครื่องวัดความเร่ง NI myRIO-1900 ซึ่งมี Accelerometer On – board

หมายเลข 8 คือ กล้องวิดีโออุตสาหกรรม 220 เฟรมต่อวินาที ยี่ห้อ IDS UI x 314CP-C

หมายเลข 9 คือ คอมพิวเตอร์

2.1 การสั่นสะเทือน (Vibration)

การทดสอบการสั่นสะเทือนที่ใช้สำหรับการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Force vibration) โดยทำการทดสอบการสั่นสะเทือนกับเครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนแบบบังคับแบบไม่มีตัวหน่วงในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบการสั่นสะเทือนแบบบังคับ

ทฤษฎีการสั่นสะเทือนแบบบังคับกรณีที่ไม่มีตัวหน่วง สมการที่ใช้ควบคุมการสั่นสะเทือนจะมีรูปเป็น

$$I_0 \ddot{\theta} + kb^2 \theta - aF_0 \sin(\omega t) = 0 \quad (1)$$

$$\text{นั่นก็คือ } \ddot{\theta} + b\theta - A \sin(\omega t) = 0 \quad (2)$$

$$\text{ในกรณีนี้จะได้ว่า } \theta = \left(\frac{A}{B - \omega^2} \right) \sin(\omega t)$$

$$\text{เมื่อ } I_0 = Ma^2 + \frac{mL^2}{3}, \quad B = \frac{kb^2}{I_0}$$

$$\text{และ } \theta_{\max} \text{ หรือแอมพลิจูด (Amplitude) } \frac{A}{B - \omega^2}$$

ดังนั้นขนาดของการสั่นสะเทือนก็จะมีขนาดใหญ่โตมาก เมื่อที่เงื่อนไขดังกล่าว ระบบก็จะอยู่ภายใต้ Resonance Condition และความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับสร้างการสั่นสะเทือนก็จะเป็นความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) ซึ่งจะมีค่าเป็น

$$\omega_n = \sqrt{B} \quad (3)$$

เนื่องจากธรรมชาติของระบบจะมีคุณสมบัติการหน่วง การสั่นสะเทือนอยู่บ้างเพียงเล็กน้อย ดังนั้นขนาดของการสั่นสะเทือนจึงมีค่าไม่เท่ากับอนันต์ตามค่าที่ได้จากทฤษฎี โดยกำหนดพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

Mass of beam (m_{beam}) เท่ากับ 1.89 กก.

Mass of motor with disc (M) เท่ากับ 6.735, 7.135, 7.535, 7.935, 8.335 และ 8.735 กก.

Motor distance (a) เท่ากับ 0.38 ม.

Motor distance (b) เท่ากับ 0.64 ม.

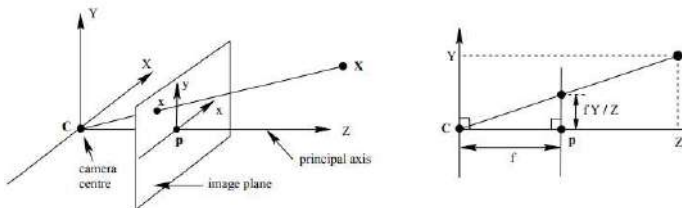
Beam length (L) เท่ากับ 0.745 ม.

Weight at motor เท่ากับ 2 กก.

ค่านิจของสปริง (Spring rate) เท่ากับ กิโลนิวตัน/เมตร

2.2 ระบบวิชั่น (Vision system)

ทฤษฎีรูเข็มเป็นการพิจารณาการฉายภาพศูนย์กลางของจุดบนพื้นที่ของระนาบ ให้ศูนย์กลางของการฉายภาพเป็นแหล่งกำเนิดของระบบพิกัด Euclidean และพิจารณาระนาบซึ่งเรียกว่าระนาบภาพหรือระนาบโฟกัส (Focal) โมเดลกล้องรูเข็มเป็นจุดบนระนาบที่มีพิกัด ซึ่งถูกจับคู่กับจุดบนระนาบภาพ ซึ่งมีเส้นเชื่อมจุดกับศูนย์กลางของการฉายภาพ ตรงกับระนาบภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3



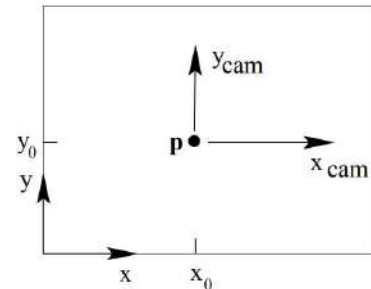
รูปที่ 3 Pinhole camera geometry. C is the camera center and p the principal point. The camera center is here placed at the coordinate origin. Note the image plane is placed in front of the camera center [12, 13]

จากรูปสามเหลี่ยมที่คล้ายกัน คำนวณจุด $X=(X,Y,Z)^T$ ถูกจับคู่กับจุด $(fX/Z, fY/Z, f)^T$ บนระนาบของภาพ ซึ่งจะได้ดังสมการที่ 4

$$(X,Y,Z)^T \rightarrow (fX/Z, fY/Z)^T \quad (4)$$

Central projection โดยการใช้ Homogeneous coordinate การฉายภาพส่วนกลางโดยใช้พิกัดที่เป็น Homogeneous coordinates หากพิกัดโลก และจุดภาพแสดงด้วยเวกเตอร์ที่เป็นแบบ Homogeneous การฉายภาพส่วนกลางจะแสดงอย่างง่าย ๆ เป็นการหาแผนที่เชิงเส้นระหว่างพิกัดที่เป็น Homogeneous โดยเฉพาะสมการที่ 4 เขียนในรูปของ Homogeneous camera projection matrix ได้ดังสมการที่ 5

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$



รูปที่ 4 Image (x, y) and camera (x_{cam}, y_{cam}) coordinate systems [12]

โดยที่ $(p_x, p_y)^T$ คือพิกัดของจุดหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4 เขียนในรูปของ Homogeneous camera projection matrix ได้ดังสมการที่ 6

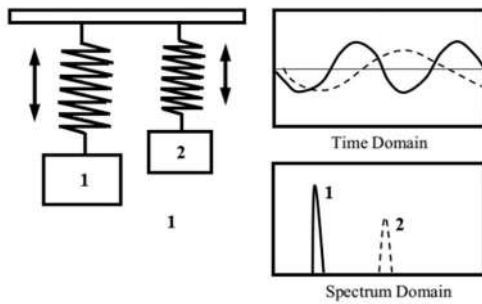
$$(X,Y,Z)^T \rightarrow (fX/Z + p_x, fY/Z + p_y)^T \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & p_x & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

2.3 Fast Fourier Transform (FFT)

เป็นขั้นตอนการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณทางคณิตศาสตร์นี้จะใช้รูปแบบของสมการ FFT ดังสมการที่ 8

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos(\omega_k t) + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin(\omega_k t) \quad (8)$$

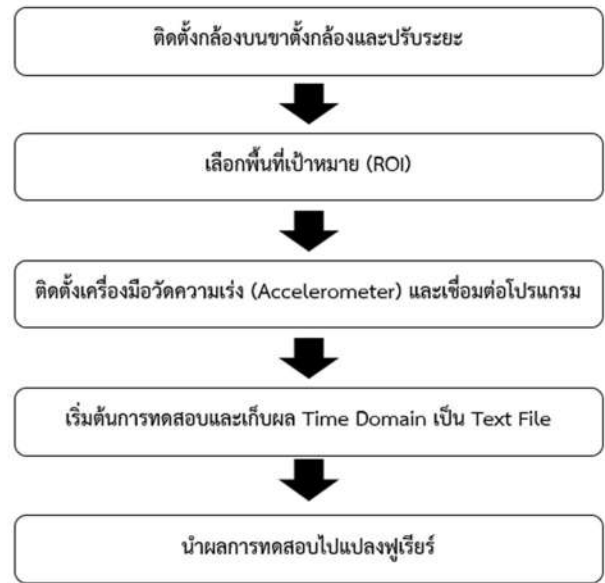


รูปที่ 5 สัญญาณการสั่นสะเทือนในกราฟโดเมนความถี่

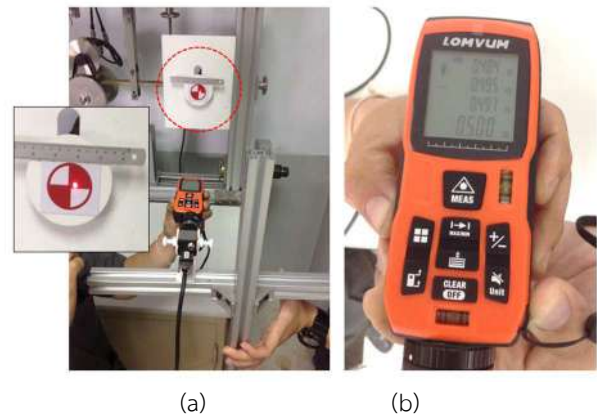
2.4 ขั้นตอนการทดลองการวัดการสั่นสะเทือน

ในการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้ข้อมูลวิชชันเซนเซอร์ได้ทำการทดสอบที่รอบมอเตอร์ $1,010 \pm 15$ รอบต่อวินาที สำหรับการสร้างการสั่นสะเทือนแบบบังคับ และใส่ลูกตุ้มถ่วงที่น้ำหนัก (Mass of motor with disc) เท่ากับ 6.735 กก. (0 กก.), 7.135 กก. (400 กก.), 7.535 กก. (800 กก.), 7.935 กก. (1,200 กก.), 8.335 กก. (1,600 กก.) และ 8.735 กก. (2,000 กก.) ทดสอบจำนวน 30 ครั้งต่อหนึ่งการทดสอบ เพื่อศึกษาทดสอบความแม่นยำของวิชชันเซนเซอร์ (Vision Sensor) เปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) โดยขั้นตอนของการทำสอบ ดังแสดงในรูปที่ 6

2.4.1) ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งกล้องวิดีโอ อุปกรณ์ Fixed - Focus Lens เชื่อมต่อระหว่างกล้องวิดีโอ และ Real - Time Image - Processing Software โดยระบบ USB 3.0 และติดตั้งเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัด National Instruments ที่ติดตั้งบน NI myRIO-1900 (Range ± 8 g, Resolution 12 bits, Sample rate 800 S/s และ Noise 3.9 mg_{rms} typical at 25°C) ไว้บนคานไถลกับตำแหน่งเป้า ดังแสดงในรูปที่ 7

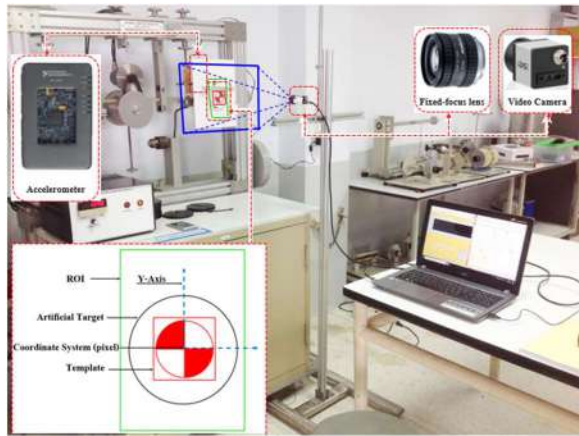


รูปที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลภาพเปลี่ยนเป็นการสั่นสะเทือน

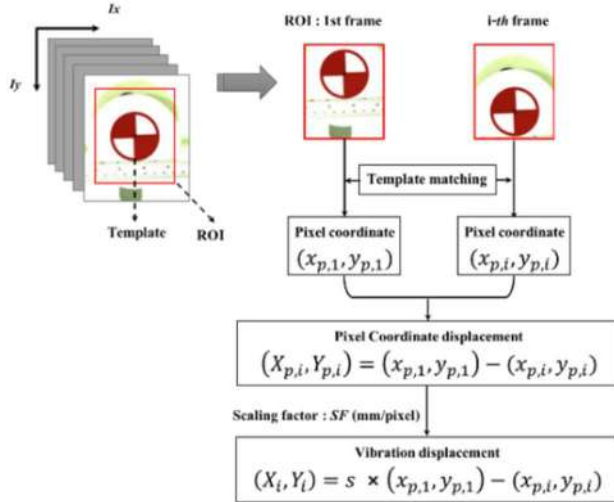


รูปที่ 7 การติดตั้งเซนเซอร์ความเร่งพร้อมตำแหน่งเป้า (a) ปรับระยะห่างจากหน้าเลนส์ของกล้องไปยังตำแหน่งเป้า (b) เป้าที่ระยะทาง 500 มม.

2.4.2) ขั้นตอนที่ 2 เลือกพื้นที่เป้าหมายสำหรับเป็นพื้นที่ในการตรวจสอบการเคลื่อนไหว ตามขั้นตอนของระบบวิชชันเซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 8 คือเป้าที่กล้องอุตสาหกรรมรุ่น UI-3140 CP-C (1.3mp 1/2", Cmos, Color, USB3.0, 224fps) ใช้ในการบันทึกวิดีโอแบบเรียลไทม์และทำการเก็บภาพที่มีความละเอียด Resolutions $1,240 \times 1,024$ พิกเซล ภาพสี 32 บิต

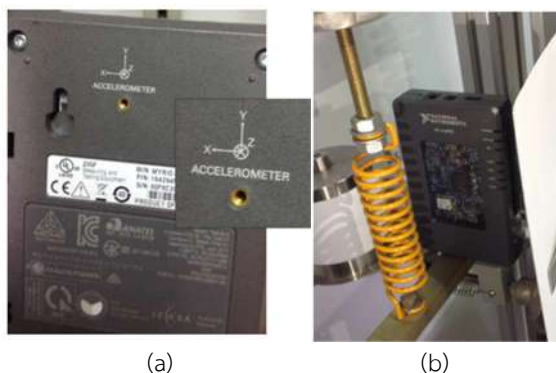


รูปที่ 8 ROI image Target of Vibration Measurement



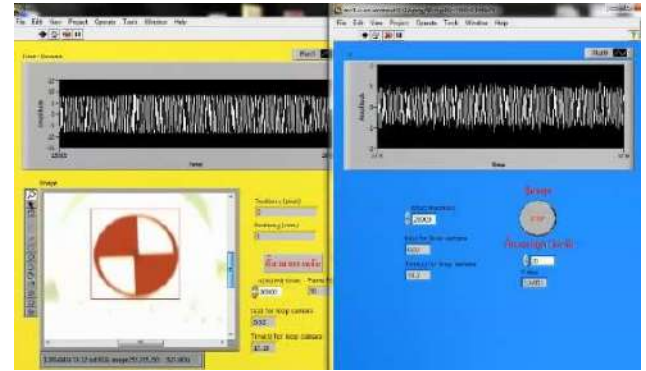
รูปที่ 9 Vision Sensor Measurement for oscillation of target

2.4.3) ขั้นตอนที่ 3 ใช้เครื่องมือวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นข้อมูลอ้างอิง ติดตั้งเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดการสั่นสะเทือน เพื่อหาความถี่ธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 Acceleration sensor (a) Accelerometer On-Board direction for Vibration Measurement (b) Acceleration setup

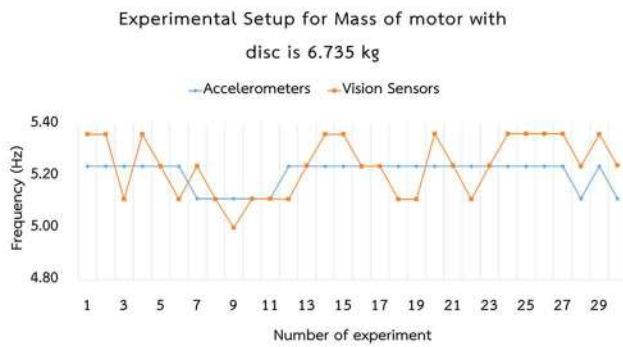
2.4.4) ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบการวัดการสั่นสะเทือน โดยใช้ข้อมูลวิชันเซนเซอร์ เปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) และการบันทึกลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยประมวลผลผ่านโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 11



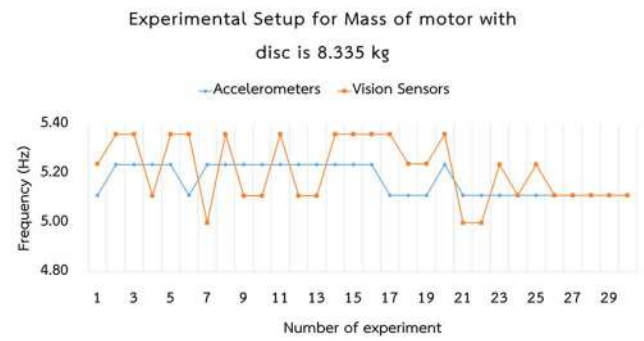
รูปที่ 11 Vision Sensor and Acceleration program (a) Vision Sensor program (b) Acceleration program

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

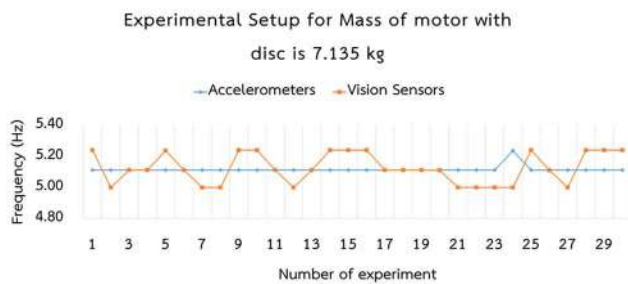
ผลการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้วิชันเซนเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่ง การสร้างการสั่นสะเทือนแบบบังคับ และใส่ลูกตุ้มถ่วงที่น้ำหนัก (Mass of motor with disc) เท่ากับ 6.735 กก. (0 กก.), 7.135 กก. (400 กก.), 7.535 กก. (800 กก.), 7.935 กก. (1,200 กก.), 8.335 กก. (1,600 กก.) และ 8.735 กก. (2,000 กก.) พบว่า การทดลองชุดที่ 1 ถึงการทดลองชุดที่ 6 ดังแสดงในรูปที่ 12 ถึงรูปที่ 17 จากการทดลองซ้ำ 30 ครั้งในแต่ละการทดลอง และทำการแปลงเพื่อหาความถี่ธรรมชาติโดยใช้กระบวนการ Fast Fourier Transform (FFT) โดยนำค่าความถี่ธรรมชาติมาเปรียบเทียบผลการทดลองกับเครื่องวัดความเร่งอยู่ในช่วงระหว่างความถี่ธรรมชาติ 5.12 – 5.27 เฮิรตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 18



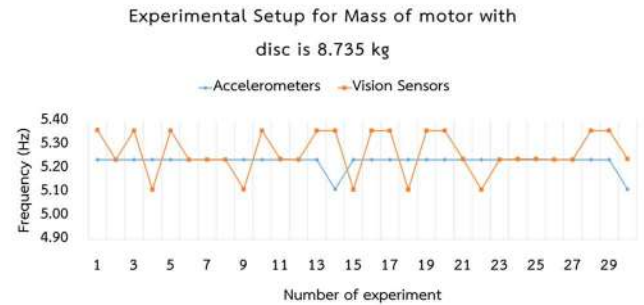
รูปที่ 12 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 6.735 kg



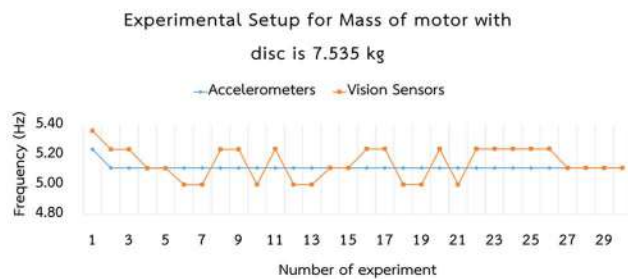
รูปที่ 16 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 8.335 kg



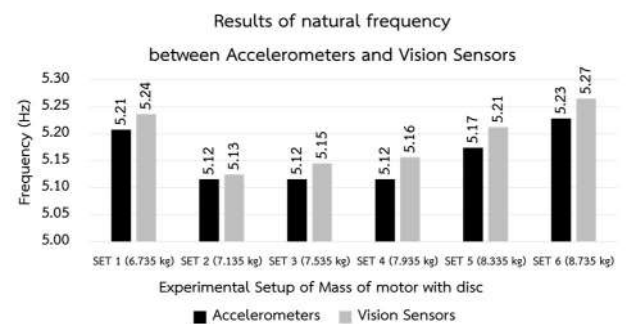
รูปที่ 13 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 7.135 kg



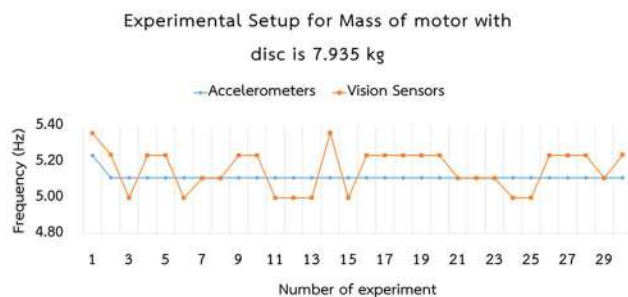
รูปที่ 17 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 8.735 kg



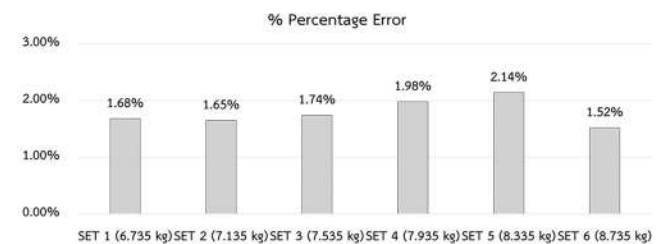
รูปที่ 14 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 7.535 kg



รูปที่ 18 Results of natural frequency between Accelerometers and Vision Sensors



รูปที่ 15 Experimental Setup for Mass of motor with disc is 7.935 kg



รูปที่ 19 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้วิธีเซ็นเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่ง

จากรูปที่ 19 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนแสดงผลการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เซ็นเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่ง โดยเปรียบเทียบผล จากนั้นสามารถระบุความถี่ธรรมชาติที่เป็นแนวโน้มของการวัดการสั่นสะเทือนมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 2.14% และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยสุด 1.52% ซึ่งการทดลองเปรียบเทียบผลดังกล่าวถือว่าเป็นค่าความผิดพลาดที่น้อยซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนได้

4. บทสรุป

การศึกษานี้ได้เสนอกระบวนการการวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้เซ็นเซอร์เปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่งมาตรฐานของ National Instruments ความแม่นยำของการวัดโดยใช้เซ็นเซอร์ในการวัดความถี่ได้รับการยืนยันในเบื้องต้นจากการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเร่งผ่านการทดสอบ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างเซ็นเซอร์กับเครื่องวัดความเร่งมีค่าสูงสุด 1.68%, 1.65%, 1.74%, 1.98%, 2.14% และ 1.52% ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 19 ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้าของ Feng D. et al. [14] ได้ทำการศึกษาการประมาณแรงตึงบนสายเคเบิลมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 5.60% ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้นำไปวัดการสั่นบนโครงสร้างจริงที่มีความหนาเชื่อถือทางวิศวกรรมและเมื่อเปรียบเทียบจากการทดสอบการวัดสั่นสะเทือนโดยระบบเซ็นเซอร์ของงานวิจัยนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 2.14% จากควบคุมสถานะแสง โดยการวัดการสั่นสะเทือนหรือการวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนเพื่อทดแทนการใช้เซ็นเซอร์ซึ่งโดยข้อดีของการวัดโดยใช้กล้อง ช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลการเคลื่อนที่ของโครงสร้างในสนามที่มีราคาถูก สะดวก และมีความแม่นยำสูงที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเซ็นเซอร์แบบดั้งเดิมได้ และไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี ที่สนับสนุนทางด้านห้องปฏิบัติการระบบการสั่นสะเทือน และขอขอบคุณด้าน

สถานที่สำหรับสร้างเครื่องมือทดลองและเครื่องมือวัด ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hu H, Wei J, Wang H, Xiao P, Zeng Y, Liu K. Analysis of the notch filter insertion position for natural frequency vibration suppression in a magnetic suspended flywheel energy storage system. *Actuators*. 2023; 12(1):22.
- [2] Zhang C, Kordestani H, Shadabfar M. A combined review of vibration control strategies for high-speed trains and railway infrastructures: Challenges and solutions. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*. 2023; 42(1): 272-291.
- [3] Kunghun W, Tantrapiwat A. Development of a vision based mapping in rubber tree Orchard. In: *Proceedings of The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST) (IEEE)*: Thailand; 2018. p. 206-209.
- [4] Son KS, Jeon HS, Park JH, Park JW. Vibration displacement measurement technology for cylindrical structures using camera images. *Nuclear Engineering and Technology*. 2015; 47(4): 488-499.
- [5] Lydon D, Lydon M, Rincon JMD, Taylor SE, Robinson D, O'Brien E, Catbas FN. *Development and field testing of a time-synchronized system for multi-point displacement calculation using low-cost wireless vision-based sensors*. *IEEE Sensors Journal*. 2018; 18(23):9744-9754.
- [6] Bagga PJ, Patel KM, Makhesana MA, Şirin Ş, Khanna N, Krolczyk GM, et al. *Machine vision-based gradient-boosted tree and support vector regression for tool life prediction in turning*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023; 126(1-2):471-485.

- [7] Ravipati A, Kondamuri RK, & Posonia M. Vision based detection and analysis of human activities. In: *International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI) (IEEE)*: India; 2023, p. 1542-1547.
- [8] Martini A, Tronci EM, Feng MQ, Leung RY. A computer vision-based method for bridge model updating using displacement influence lines. *Engineering Structures*. 2022; 259: p.114129.
- [9] Huo L, Mao J, San H, Wang S, Li, R. A new benchmark for vibration displacement detection of rotor. In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. : Malaysia; 2023. p. 3515711.
- [10] Wang M, Koo KY, Liu C, Xu F. Development of a low-cost vision-based real-time displacement system using Raspberry Pi. *Engineering Structures*. 2023; 278(2023): p.115493.
- [11] Han Y, Wu G, Feng D. Structural modal identification using a portable laser-and-camera measurement system. *Measurement*. 2023; 214(2023): 112768.
- [12] Hartley R, Zisserman A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press; 2003.
- [13] Trucco E, Verri A. *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Second Edition: Prentice Hall; 1998.
- [14] Feng D, Scarangelo T, Feng MQ, Ye Q. Cable tension force estimate using novel noncontact vision-based sensor. *Measurement*. 2016; 99(2017):44-52.