

การตรวจสอบเชิงทดลองของการสั่นอิสระแบบหมุนของแท่งแข็งเกร็งโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง MEMS ราคาประหยัด

Experimental Investigation of Free Rotational Vibration in a Rigid Bar using Low-Cost MEMS Accelerometers

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
1771/1 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กทม

*Corresponding author: pomchai@tni.ac.th

บทคัดย่อ — งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและพัฒนาชุดปฏิบัติการการสั่นสะเทือนอย่างอิสระแบบแท่งแข็งเกร็งโดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งแบบ MEMS รุ่น MMA7361 ในการตรวจวัดความเร่งที่ปลายคาน ชุดปฏิบัติการที่ได้ปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการสั่นระหว่างระบบที่มีตัวหน่วง (Damped System) และไม่มีตัวหน่วง (Undamped System) โดยเชื่อมต่อสัญญาณผ่านระบบเก็บข้อมูลด้วย NI DAQ USB6009 และประมวลผลข้อมูลผ่านโปรแกรม LabVIEW ในกระบวนการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงให้สัญญาณมีค่ากลางที่เหมาะสมก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในโดเมนเวลา (Time-domain) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความถี่ธรรมชาติ ความถี่ธรรมชาติหน่วง การลดลงลอการิทึม อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio) และสัมประสิทธิ์การหน่วง ผลการทดลองพบว่าเซนเซอร์ MMA7361 สามารถตรวจวัดพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของระบบที่ไม่มีตัวหน่วงและมีตัวหน่วงได้โดยมีผลแตกต่างระหว่างผลที่วิเคราะห์ทางทฤษฎีและผลที่วิเคราะห์จากการทดลองไม่เกิน 6 % งานวิจัยนี้พิสูจน์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการอุปกรณ์ราคาประหยัดเข้ากับระบบเก็บข้อมูลมาตรฐาน เพื่อใช้ในการประเมินคุณลักษณะการสั่นสะเทือนในงานทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นแนวทางที่มีความคุ้มค่าและนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการเรียนการสอนของนักศึกษาได้

คำสำคัญ — การสั่นอิสระแบบหมุน, แท่งแข็งเกร็ง, เซนเซอร์วัดความเร่ง MEMS, อัตราส่วนการหน่วง, สัมประสิทธิ์การหน่วง

ABSTRACT — This research aims to improve and develop the free rotational vibration of a rigid bar system by integrating an MMA7361 MEMS accelerometer to measure acceleration at the beam's tip. The experimental apparatus was enhanced to compare vibration behaviors between damped and undamped systems, with signal acquisition facilitated via a National Instruments (NI) USB-6009 DAQ and data processing performed using LabVIEW. During the analysis phase, the signals were pre-processed to ensure an appropriate zero-mean offset before time-domain analysis. This procedure was used to determine key parameters, including natural frequency, damped natural frequency, logarithmic decrement, damping ratio, and the damping coefficient. Experimental results indicate that the MMA7361 sensor can effectively measure the

vibration characteristics of both undamped and damped systems, with a deviation of less than 6% between theoretical data and experimental data. This study demonstrates the efficiency of integrating low-cost sensors with standardized data acquisition systems for vibration assessment in engineering applications, offering a cost-effective approach for student laboratory instruction.

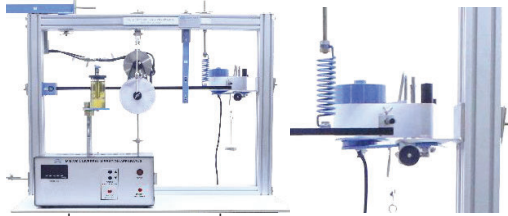
Keywords — Free rotational vibration, Rigid bar, MEMS Acceleration sensor, Damping ratio, Damping coefficient

1. บทนำ

การสั่นสะเทือนเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นในระบบทางกลต่าง ๆ โดยทั่วไประบบสั่นสะเทือนประกอบด้วยมวล (Mass) ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และการหน่วง (Damping) ซึ่งระบบนี้มีตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของการสั่นสะเทือนหลากหลายประเภท อาทิ เพื่อการขนถ่ายวัสดุในสายการผลิต เช่น น็อต สกรู เป็นต้น เพื่อการลดความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกล เช่น ช่วงล่างรถยนต์ ตัวรองรับเครื่องจักรกล เป็นต้น นอกจากนี้การสั่นสะเทือนยังสามารถเกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักรกลหมุน เช่น บั๊มคอมเพรสเซอร์ เครื่องยนต์ พัดลม แบริ่ง เป็นต้น เครื่องจักรกลหมุนเหล่านี้ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างและการสั่นสะเทือนเนื่องจากการทำงานของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ซึ่งขนาดแอมพลิจูดการสั่นขึ้นอยู่กับขนาดความรุนแรงหรือการสึกหรอของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญที่จำเป็นต้องเรียนรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการสั่นสะเทือน การจำลองระบบสั่นสะเทือนจากระบบจริงที่ซับซ้อนให้เป็นระบบอย่างง่าย การสร้างสมการคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง การตรวจสอบด้วยการทดลองและการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณทางทฤษฎี หัวข้อการทดลองเรื่องการสั่นสะเทือนอิสระแบบหมุนของแท่งแข็งเกร็ง [1] เป็นหัวข้อพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนทางกลที่ใช้ในการเรียนการสอนวิชาทฤษฎีและปฏิบัติการของนักศึกษาที่เรียนในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมยานยนต์ หรือวิศวกรรมสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ในอดีตชุดปฏิบัติการการสั่นสะเทือนแบบหมุนของแท่งแข็งเกร็งจะใช้ชุดบันทึกกราฟที่เป็นกระดาษที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และชุดปากกาตั้งรูปที่ 1 [2] เพื่อบันทึกกราฟการสั่นสะเทือนและนำมาวิเคราะห์ภายหลัง ปัจจุบันเทคโนโลยี

เซนเซอร์ ระบบวัด และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาอย่างก้าวหน้าและมีราคาต่ำลง จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับชุดปฏิบัติการเก่าเพื่อพัฒนาให้ชุดปฏิบัติการทันสมัยยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 ชุดปฏิบัติการสั่นสะเทือนและชุดบันทึกข้อมูล [2]

การศึกษานี้ชุดปฏิบัติการสั่นสะเทือนแบบหมุนอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็งที่ใช้ในการเรียนการสอนจะถูกปรับปรุงและพัฒนาโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง MEMs MMA7361 ระบบวัด และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผลระหว่างทฤษฎีและการทดลอง

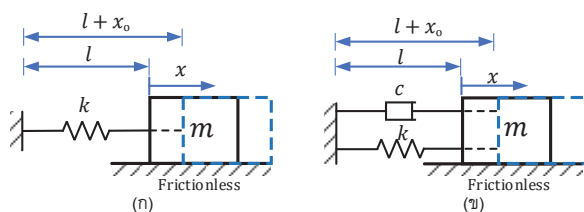
II. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของระบบการสั่นสะเทือนแบบอิสระแบบมีตัวหน่วงและไม่มีตัวหน่วงและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
- 2) เพื่อประยุกต์ใช้เซนเซอร์และระบบวัดกับชุดปฏิบัติการสั่นสะเทือนแบบหมุนอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็ง

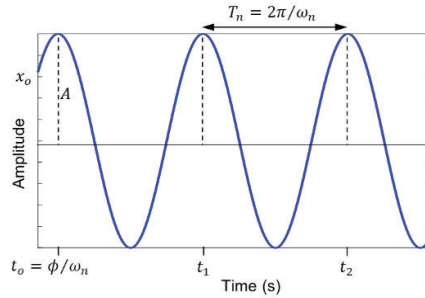
III. วิธีดำเนินการวิจัย

III.1 พื้นฐานการสั่นสะเทือน

ระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระแบบไม่มีตัวหน่วง (Free undamped vibration) ประกอบด้วยมวล (m) และสปริง แสดงดังรูปที่ 2(ก) และระบบสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วง (Free damped vibration) ประกอบด้วยมวล ตัวหน่วง และสปริงแสดงดังรูปที่ 2(ข) โดยสปริงมีค่าคงที่สปริงเท่ากับ k และตัวหน่วงมีค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงเท่ากับ c ระบบจะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นเมื่อระบบถูกรบกวนจากการกระตุ้นภายนอก เช่น มีแรงภายนอกกระตุ้นมวลของระบบเพียงเล็กน้อยเพื่อให้มวลเคลื่อนที่โดยแรงนั้นไม่กระทำค้างอยู่ในระบบ หรือขยับมวลของระบบให้เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อย ผลตอบสนองของระบบที่ไม่มีตัวหน่วงมีลักษณะของกราฟดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นกราฟการเคลื่อนที่ฮาร์มอนิกอย่างง่าย ผลตอบสนองของระบบดังรูปที่ 3 สามารถแทนด้วยสมการในรูปของฟังก์ชันไซน์ $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$ หรือฟังก์ชันโคไซน์ $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ [3,4]



รูปที่ 2 ระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระบนพื้นลื่น



รูปที่ 3 ผลตอบสนองของระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระไม่มีตัวหน่วง

ระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระแบบไม่มีตัวหน่วงดังรูปที่ 1(ก) มีสมการเคลื่อนที่แสดงดังสมการที่ (1) และผลการตอบสนองของระบบนี้แสดงดังรูปที่ 3

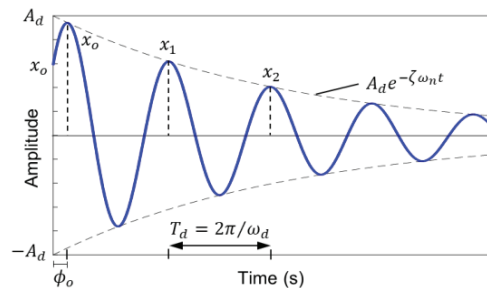
$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) ของระบบสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วง พบว่ารูปแบบการสั่นของระบบจะสั่นที่ความถี่ที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency, f_n) ในหน่วย Hz หรือ ความถี่ธรรมชาติเชิงมุม (Angular Natural frequency, ω_n) ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที โดยความถี่ธรรมชาติและค่าความถี่ธรรมชาติเชิงมุม และคาบการสั่น (T_n) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\omega_n = 2\pi f_n; \quad \omega_n = \frac{2\pi}{T_n}; \quad f_n = \frac{1}{T_n} \quad (2)$$

ระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระแบบมีตัวหน่วงดังรูปที่ 1(ข) มีสมการการเคลื่อนที่ดังสมการที่ (3) และผลการตอบสนองของระบบและพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงด้วยกราฟดังรูปที่ 4

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (3)$$



รูปที่ 4 ผลตอบสนองของระบบสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วง

ถ้าระบบสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วงเกิดการสั่นอย่างอิสระ รูปแบบการสั่นของระบบจะสั่นรอบตำแหน่งสมดุลและพลังงานในการเคลื่อนที่จะถูกดูดซับโดยตัวหน่วงทำให้ขนาดแอมพลิจูดลงจนหายไปเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและระบบจะหยุดสั่นในที่สุด การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ด้วยความถี่หนึ่งค่าหนึ่ง เรียกว่าความถี่ธรรมชาติหน่วง (Damped Natural frequency, f_d) ในหน่วย Hz หรือ ความถี่ธรรมชาติเชิงมุมหน่วง (Damped Angular Natural frequency, ω_d) ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที โดยความถี่ธรรมชาติหน่วงและความถี่ธรรมชาติเชิงมุมหน่วง และคาบการสั่นของระบบที่มีตัวหน่วง (T_d) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\omega_d = 2\pi f_d; \quad \omega_d = \frac{2\pi}{T_d}; \quad f_d = \frac{1}{T_d} \quad (4)$$

ระบบสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วงจะใช้ค่าอัตราส่วนการหน่วง (Damping ratio, ζ) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติเพื่อแยกเงื่อนไขการสั่นสะเทือนของระบบที่สามารถเกิดขึ้นได้ 3 กรณีดังนี้ กรณีหน่วงต่ำ (Underdamped case, $\zeta < 1$) กรณีหน่วงวิกฤต (Critically damped case, $\zeta = 1$) และกรณี หน่วงเกิน (Overdamped case, $\zeta > 1$) แต่ชุดปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีหน่วงต่ำเท่านั้น ผลตอบสนองของระบบจะมีรูปแบบดังกราฟรูปที่ 3 และสามารถแทนด้วยสมการดังนี้ $x(t) = A_d e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi)$ โดยความถี่ธรรมชาติหน่วง (ω_d) คำนวณได้จากสมการ

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (5)$$

III.II การสั่นสะเทือนแบบหน่วงอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็ง

การสั่นสะเทือนแบบหน่วงอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็งที่ยึดด้วยสปริงที่มีค่าคงที่เท่ากับ k และตัวหน่วงที่มีสัมประสิทธิ์การหน่วงเท่ากับ c แสดงดังรูปที่ 5 เมื่อ a คือระยะห่างระหว่างจุดหมุนและตัวหน่วง ส่วน b คือระยะห่างระหว่างจุดหมุนและจุดยึดสปริง และ I_o คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงมวล (Mass moment of inertia) ของแท่งแข็งเกร็งรอบจุดหมุน O สมการการเคลื่อนที่ของระบบสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$I_o \ddot{\theta} + ca^2 \dot{\theta} + kb^2 \theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{ca^2}{I_o} \dot{\theta} + \frac{kb^2}{I_o} \theta = 0 \quad (6)$$

หรือ เขียนในรูปสมการมาตรฐาน ดังนี้

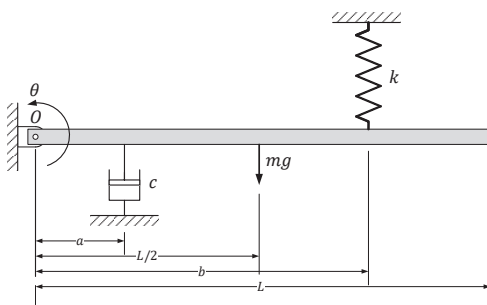
$$\ddot{\theta} + 2\zeta \omega_n \dot{\theta} + \omega_n^2 \theta = 0 \quad (7)$$

จากสมการที่ (5) และ (6) เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์หน้าความเร่งเชิงมุม ความเร็วเชิงมุม และการกระจัดเชิงมุมจะสามารถหาความถี่ธรรมชาติเชิงมุม (ω_n) และสัมประสิทธิ์การหน่วง (c) ซึ่งมีหน่วย N.s/m ได้ดังนี้

$$\omega_n = \sqrt{kb^2/I_o} \quad (8)$$

$$c = 2\zeta \omega_n I_o / a^2 \quad (9)$$

$$I_o = mL^2/3 \quad (10)$$



รูปที่ 5 ระบบสั่นสะเทือนของแท่งแข็งแบบหน่วงอิสระ

จากสมการที่ (8) – (9) ในทางทฤษฎีสามารถคำนวณค่าของความถี่ธรรมชาติและสัมประสิทธิ์การหน่วงได้ ผลตอบสนองของระบบนี้ขึ้นอยู่กับค่าของอัตราส่วนการหน่วงดังที่กล่าวข้างต้น ผลตอบสนองของกรณีหน่วงต่ำสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\theta(t) = A_d e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi) \quad (11)$$

โดยค่าคงที่ A_d และ ϕ สามารถหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

III.III การลดลงแบบลอการิทึม

ในทางทฤษฎีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงมวลและค่าความแข็งเกร็งของสปริงสามารถคำนวณได้และสามารถนำมาคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติและค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบตามสมการที่ (8) และ (9) กรณีการสั่นสะเทือนแบบหน่วงต่ำ อัตราส่วนการหน่วงมีค่า $\zeta < 1$ และสามารถหาได้จากการทดลองโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เรียกว่า การลดลงแบบลอการิทึม (Logarithmic decrement, δ) ซึ่งเป็นลอการิทึมฐานธรรมชาติของอัตราส่วนของการลดลงของแอมพลิจูดการสั่นใน 1 รอบการสั่น ดังรูปที่ 3 และมีสมการดังนี้

$$\delta = \ln \left(\frac{x_o}{x_1} \right) = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (12)$$

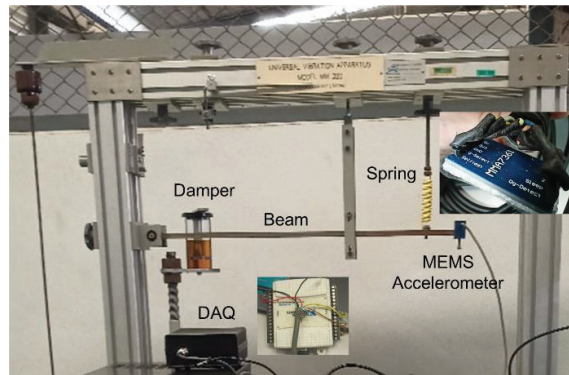
ถ้าจัดรูปสมการที่ (12) จะสามารถคำนวณค่าอัตราส่วนการหน่วงได้ดังนี้

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (13)$$

การวิเคราะห์ด้วยการลดลงแบบลอการิทึมจะใช้ได้ในเรื่องการสั่นอย่างอิสระแบบมีตัวหน่วงในกรณีหน่วงต่ำเท่านั้น เนื่องจากพฤติกรรมการสั่นกลับไปมา ส่วนกรณีหน่วงวิกฤต ($\zeta = 1$) และหน่วงเกิน ($\zeta > 1$) จะไม่เกิดการสั่นกลับ

III.IV การทดลอง

ชุดปฏิบัติการการทดลองการสั่นสะเทือนแบบหน่วงอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็งที่จะปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 6 ประกอบด้วย ชุดแท่งแข็งเกร็ง สปริง ตัวหน่วง เซนเซอร์วัดความเร่ง ชุดเก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม LabVIEW เซนเซอร์วัดความเร่ง MEMS ที่ใช้เป็นรุ่น MMA7361 เป็นเซนเซอร์ราคาประหยัดที่ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นโวลต์ และมีค่าความไวเท่ากับ 800 mV/g ค่าความถี่ตอบสนองจะมีค่าประมาณ 400 Hz ในแกน X และ Y ส่วนค่าความถี่ตอบสนองในแกน Z มีค่าประมาณ 300 Hz ชุดปฏิบัติการนี้จะวัดการสั่นสะเทือนในแนวแกน Z เท่านั้นซึ่งตัวเซนเซอร์สามารถวัดค่าความถี่ของระบบคานหมุนนี้ได้ ส่วนชุดเก็บข้อมูลจะใช้ NI USB6009 เป็นชุดเก็บข้อมูลเกรดอุตสาหกรรมราคาประหยัดที่สามารถวัดสัญญาณได้ 8 ช่องสัญญาณ อัตราที่สูงสุดถึง 48 kHz แต่ในการทดลองนี้จะใช้อัตราที่ 1000 Hz และจำนวนข้อมูลที่อ่านแต่ละครั้งที่ 1000 จุด ส่วนโปรแกรม LabVIEW จะใช้สำหรับบันทึกสัญญาณจากชุดปฏิบัติการซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ระหว่างการทดลองหรือบันทึกเป็นไฟล์เพื่อวิเคราะห์ภายหลัง



รูปที่ 6 ชุดปฏิบัติการการสั่นสะเทือนที่ปรับปรุง

ขั้นตอนการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะทดลองเพื่อหาความถี่ธรรมชาติของระบบคานที่ติดตั้งสปริงกับชุดคานซึ่งสปริงจะถูกติดตั้งที่ระยะห่างจากจุดหมุน b เท่ากับ 0.64 m และสปริงที่ใช้ทดลองมี 3 สีคือ น้ำเงิน เหลือง และแดงซึ่งมีค่าคงที่สปริงเท่ากับ 3850, 5256, และ 15255 N/m ตามลำดับ ส่วนที่สองจะทดลองเพื่อหาค่าอัตราส่วนการหน่วง และค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบที่สปริงติดตั้งตำแหน่งเดิมที่ระยะ b และตัวหน่วงติดตั้งที่ระยะห่างจากจุดหมุนเท่ากับ a การทดลองจะกดปลายแท่งเหล็กแล้วปล่อยแท่งเหล็กจะเกิดการสั่นขึ้น สัญญาณการสั่นสะเทือนที่อ่านได้จากเซนเซอร์จะถูกบันทึกด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นโดยรายละเอียดของโปรแกรมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

III.IV โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมภาษาเชิงกราฟฟิกที่ออกแบบมาเพื่อให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรใช้งานโดยเฉพาะ [5] LabVIEW ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วน Front panel ซึ่งใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น ปุ่มควบคุม ตัวแสดงผล กราฟ เป็นต้น และส่วนของ Block diagram จะเป็นที่ใช้เขียนโปรแกรมโดยใช้ไอคอนที่เป็นฟังก์ชันและเชื่อมต่อแต่ละไอคอนด้วยเส้นเชื่อมสีต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล การศึกษาจะนำ LabVIEW มาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับใช้ร่วมกับชุดปฏิบัติการการสั่นสะเทือนแบบหมุนอิสระของแท่งแข็งเกร็ง โดยนำชุดปฏิบัติการเดิมที่มีส่วนบันทึกผลเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้ปากกาและกระดาษนำมาพัฒนาโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งแบบ MEMS และระบบเก็บข้อมูล โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะใช้เนื้อหาประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนเก็บข้อมูล และส่วนวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมส่วนเก็บข้อมูลประกอบด้วยรูปที่ 7 ประกอบด้วยส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของชุดทดลอง ส่วนอ่านไฟล์ข้อมูล ส่วนเก็บข้อมูลจากระบบวัด และส่วนบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ ส่วนเก็บข้อมูลจะมีการกำหนดค่าอัตราส่วนข้อมูลต่อวินาทีและจำนวนข้อมูลที่บันทึก เมื่อกดปุ่มบันทึกสัญญาณ โปรแกรมจะทำการบันทึกสัญญาณที่เกิดขึ้นจนกว่าจะกดปุ่มหยุดเก็บสัญญาณ

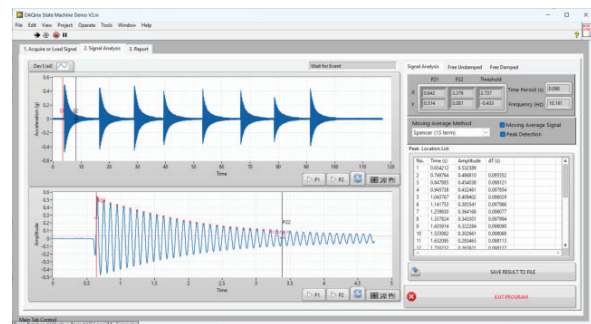


รูปที่ 7 หน้าต่างส่วนเก็บข้อมูลและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

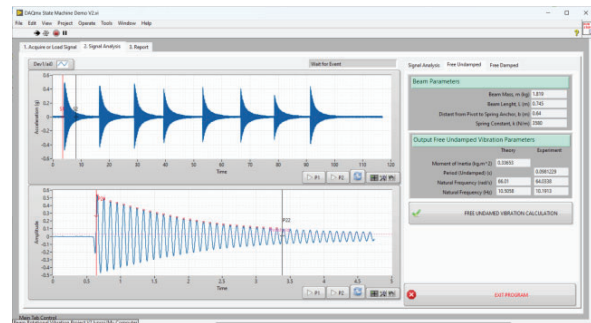
โปรแกรมส่วนวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยส่วนที่วิเคราะห์ค่าการลดลงแบบลอการิทึมซึ่งโปรแกรมจะตรวจวัดตำแหน่งยอดคลื่นของสัญญาณที่บันทึกได้ การหาตำแหน่งยอดคลื่นสามารถกำหนดขอบเขตที่ต้องการหาด้วยการเลื่อนเคอร์เซอร์ซ้ายและขวา และค่าขีดจำกัดที่

กำหนดแสดงดังรูปที่ 8 ข้อมูลของยอดคลื่นนี้จะใช้เป็นข้อมูลเพื่อให้นักศึกษาใช้วิเคราะห์การลดลงแบบลอการิทึมเพื่อหาค่าอัตราส่วนการหน่วง ส่วนที่วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบสั่นสะเทือนแบบหมุนอิสระของแท่งแข็งเกร็งที่ไม่มีตัวหน่วงและมีตัวหน่วงจะวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างค่าทางทฤษฎีและค่าจากการทดลองดังสมการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ III.I – III.III หน้าต่างส่วนวิเคราะห์ของระบบสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วงแสดงดังรูปที่ 9 และส่วนวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และผลการเปรียบเทียบของระบบสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วงแสดงดังรูปที่ 10

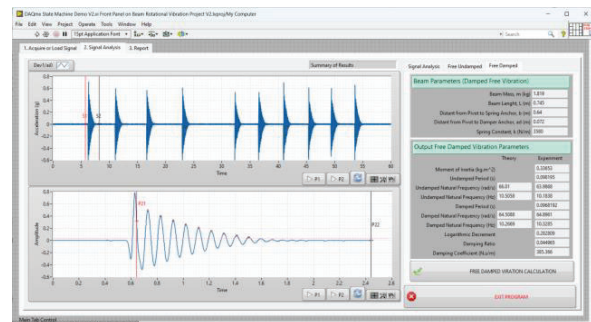
โปรแกรมนี้จะช่วยวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลตามสมการที่กล่าวถึงในหัวข้อ II.I และ II.II ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะใช้เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้วิธีวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้ระหว่างทฤษฎีและการทดลอง



รูปที่ 8 หน้าต่างส่วนวิเคราะห์ตำแหน่งยอดคลื่นของสัญญาณ



รูปที่ 9 หน้าต่างส่วนของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบไม่มีตัวหน่วง



รูปที่ 10 หน้าต่างส่วนของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบมีตัวหน่วง

IV. ผลการวิจัย

โปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นมาใช้งานร่วมกับเซนเซอร์วัดความเร่ง MEMS MMA7361 และ NI DAQ USB6009 ที่กำหนดอัตราสุ่มที่ 1000 Hz และจำนวนข้อมูลที่บันทึก 1000 ข้อมูล เมื่อกดปุ่มบันทึกข้อมูลโปรแกรมจะเริ่มต้นทำงาน การทดลองและสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากชุดปฏิบัติการดังรูปที่ 5 จะถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะกดปุ่มหยุดบันทึกสัญญาณ ตัวอย่างสัญญาณที่บันทึกแสดงดังรูปที่ 6 การวิเคราะห์ตำแหน่งยอดคลื่นเพื่อหาค่าแอมพลิจูดและคาบการสั่นแสดงดังรูปที่ 7 การหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบสั่นสะเทือนที่ไม่มีตัวหน่วงแสดงดังรูปที่ 8 และการหาค่าความถี่ธรรมชาติหน่วง การลดลงแบบลอการิทึม อัตราส่วนการหน่วงและสัมประสิทธิ์การหน่วงแสดงดังรูปที่ 9 โดยแต่ละขั้นตอนที่วิเคราะห์จะใช้สมการที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ III.I – III.III

ผลการทดลองของระบบสั่นสะเทือนแบบอิสระของแท่งแข็งเกร็งที่มีตัวหน่วงและไม่มีตัวหน่วงแสดงดังตารางที่ 1 โดยได้ทดลองกับสปริง 3 ชนิดสีน้ำเงิน เหลือง และแดง ซึ่งมีค่าคงที่สปริงเท่ากับ 3850, 5256, และ 15255 N/m ตามลำดับ พบว่า ความถี่ธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามค่าคงที่สปริงโดยสปริงสีแดงจะมีความถี่ธรรมชาติมากที่สุด และความถี่ธรรมชาติหน่วงก็ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบเดียวกันคือสปริงสีแดงจะมีความถี่ธรรมชาติหน่วงมากที่สุด ผลการทดลองของความถี่ธรรมชาติและความถี่ธรรมชาติหน่วงจะสอดคล้องกับสมการที่ 8 และ 5 ตามลำดับ ผลต่างค่าถี่ธรรมชาติทั้งสองชนิดระหว่างค่าทางทฤษฎีที่คำนวณจากสมการและการทดลองที่วิเคราะห์จากสัญญาณที่บันทึกได้มีค่าแตกต่างไม่เกิน 6%

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสั่นสะเทือนของแท่งแข็งเกร็ง

Spring	Blue	Yellow	Red
ระยะแขวนตัวหน่วง a (m)	0.187	0.165	0.214
ระยะแขวนสปริง b (m)	0.640	0.640	0.640
ความยาวแท่งแข็งเกร็ง L (m)	0.745	0.745	0.745
มวลแท่งแข็งเกร็ง m (kg)	1.886	1.886	1.886
Mass moment of inertia, I_O (kg.m ²)	0.349	0.349	0.349
ค่าคงที่สปริง k (N/m)	3580	5256	15255
คาบการสั่นของระบบที่ไม่มีตัวหน่วง T_S (s)	0.098	0.084	0.045
ความถี่ธรรมชาติ $\omega_{n,ex}$ (Hz)	10.182	11.943	22.365
ความถี่ธรรมชาติเชิงมุม $\omega_{n,ex}$ (rad/s)	63.978	75.040	140.525
ความถี่ธรรมชาติ $\omega_{n,th}$ (Hz)	10.318	12.501	21.298
ความถี่ธรรมชาติเชิงมุม $\omega_{n,th}$ (rad/s)	64.827	78.549	133.820
เปอร์เซ็นต์ผลต่าง Error (%), ω_n	1.309	4.468	-5.011
คาบการสั่นของระบบที่มีตัวหน่วง T_d (s)	0.093	0.085	0.045
ความถี่ธรรมชาติหน่วง $\omega_{d,ex}$ (Hz)	10.740	11.739	22.039
ความถี่ธรรมชาติหน่วง $\omega_{d,ex}$ (rad/s)	67.482	73.758	138.475
ความถี่ธรรมชาติหน่วง $\omega_{d,th}$ (Hz)	10.250	12.477	21.273
ความถี่ธรรมชาติหน่วง $\omega_{d,th}$ (rad/s)	64.401	78.394	133.661
เปอร์เซ็นต์ผลต่าง Error (%), ω_d	-4.786	5.914	-3.601
การลดลงลอการิทึม Log Decrement, δ	0.724	0.395	0.306
อัตราส่วนการหน่วง (Damping ratio), ζ	0.114	0.063	0.049
ส.ป.ส. การหน่วง (Damping Coefficient), C (ex)	146.185	120.813	104.121
ส.ป.ส. การหน่วง (Damping Coefficient), C (th)	147.150	126.214	99.035
เปอร์เซ็นต์ผลต่าง Error (%), C	0.655	4.279	-5.135

จากการทดลองค่าการลดลงลอการิทึมขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณที่บันทึกได้ การลดลงจะทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนการหน่วงซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากการทดลองเท่านั้น ค่าอัตราส่วนการหน่วงจะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณลดลงตามผลตอบสนองดังสมการที่ 11 ค่าอัตราส่วนการหน่วงมีค่าต่ำสุดเกิดขึ้นที่ระบบสั่นสะเทือนที่มีตัวหน่วงและติดตั้งร่วมกับสปริงสีแดง เมื่อนำค่าอัตราส่วนการหน่วงที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงตามสมการที่ 9 โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าทางทฤษฎีและการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์การหน่วงมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 6% ทั้งสามระบบ

V. สรุปและอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง MEMS MMA7361 ระบบวัดที่ใช้ NI DAQ USB6009 ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้สำหรับการบันทึกและวิเคราะห์สัญญาณจากการทดลองเรื่องการสั่นสะเทือนแบบหมุนอย่างอิสระของแท่งแข็งเกร็ง โปรแกรมที่พัฒนาสามารถบันทึกสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตอบสนองจากระบบที่ทดสอบ พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อาทิ ค่าความถี่ธรรมชาติ ค่าความถี่ธรรมชาติหน่วง ค่าการลดลงลอการิทึม อัตราส่วนการหน่วง สัมประสิทธิ์การหน่วง และเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ระหว่างทฤษฎีและการทดลองได้ โดยมีผลแตกต่างไม่เกิน 6 % นอกจากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะทำให้ให้นักศึกษาได้เรียนรู้วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสมการของทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ III นอกจากนี้ระบบวัดและโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนามาขึ้นนี้จะนำมาใช้ในการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลของหลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นในปีการศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] Instruction Manual: MM320 Universal Vibration Apparatus, Essom Co., Ltd., Bangkok, Thailand.
- [2] Essom Co. Ltd., "MM 320 Universal Vibration Apparatus," Essom, Bangkok, Thailand. [Online]. Available: <https://essom.com/mm-320-universal-vibration-apparatus/>. [Accessed: Mar. 15, 2026].
- [3] S. S. Rao, Mechanical Vibrations, 6th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2018.
- [4] S. G. Kelly, Mechanical Vibrations: Theory and Applications, 1st ed. Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2012
- [5] LabVIEW User Manual, National Instruments, Austin, TX, USA, 2026. [Online]. Available: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/user-manual-welcome.html> (Accessed Feb. 24, 2026).