

การศึกษาเบื้องต้นในการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก
โดยใช้สเตรนเกจ

Preliminary Study of Displacement Measurement of Harmonic Vibrations
by Using Strain Gauge

สิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

โทร 0-2549-3430 โทรสาร 0-2549-3432 อีเมล : siripong@rit.ac.th

Siripong Eamchaimongkol

Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering , Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Klonghok Thanyaburi Phatumthani 12110

Tel : 0-2549-3430 , Fax : 0-2549-3432 , E-mail : siripong@rit.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เป็นฟังก์ชันฮาร์มอนิกโดยใช้สเตรนเกจ (strain gauge) เป็นตัวรับรู้ (sensor) หลักการของการวัดอาศัยหลักการสั่นสะเทือนเชิงกลเนื่องจากการเคลื่อนที่ของฐานรองรับ (mechanical vibration due to support motion) เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสปริงแผ่นที่ติดตั้งกับจุดยึดเป็นแบบคานทิลเวอร์ (cantilever beam) ทำหน้าที่แทนสปริง และมีมวลเซอสมิกส์ (seismic mass) ติดที่ปลายคาน ความถี่ธรรมชาติของสปริงในโหมดที่หนึ่งเท่ากับ 8.5 Hz ในการวัดการกระจัด (displacement) ใช้สเตรนเกจติดตั้งบนสปริงเพื่อทำการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนจากการศึกษาทดลองเบื้องต้นในการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนด้วยวิธีดังกล่าวที่ความถี่ 12 Hz , 15 Hz และ 19 Hz ตามลำดับ พบว่าขนาดของสัญญาณที่ได้จากวงจรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกระจัดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีอีกทั้งสัญญาณที่ได้ยังมีความชัดเจนอีกด้วย

Abstract

The objective of this paper was to study the feasibility of displacement measurement of harmonic vibrations by using strain gauge. The principle of measurement based on the mechanical vibrations due to support motion. The instrument consisted of a thin leaf spring that was supported as the cantilever beam and a seismic mass that was attached at the end of the beam. The first

mode natural frequency of system was equal to 8.5 Hz. The strain gauge was used as the sensor to measure the displacement. In preliminary study , the instrument was tested at the vibration frequencies of 12 Hz, 15 Hz and 19 Hz ,respectively. The result showed that the voltage signal from the instrument was proportional to the amplitude of vibration displacement . Also, the voltage signal from instrument was clear.

Keywords : strain gauge , vibration measurement.

บทนำ

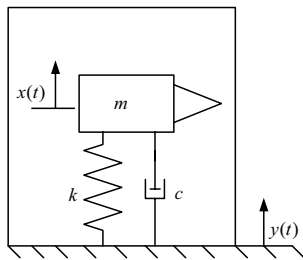
ในการทำงานของเครื่องจักรกลนั้นมักจะมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นอยู่เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ เช่นความไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (rotating unbalance) , การไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน (misalignment) ของตัวต่อ (coupling) หรือการแอ่นของเพลลา เป็นต้น [1] โดยในทางวิศวกรรมแล้วการสั่นสะเทือนอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรกล หรือแม้กระทั่งอาจทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างได้ด้วย เช่นความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของสะพาน Tacoma Narrows Bridge [2] ซึ่งเสียหายจากการสั่นสะเทือนของลมที่ปะทะกับตัวสะพานทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นโดยมีความถี่เดียวกันกับความถี่ธรรมชาติของตัวสะพานจึงเกิดความเสียหายต่อตัวสะพาน นอกจากนี้การวัดการสั่นสะเทือนยังสามารถบอกถึงสภาพการใช้งานของเครื่องจักรกลด้วยโดยเครื่องจักรกลที่อยู่ในสภาพดีจะเกิดการสั่นสะเทือนในขอบเขตที่ยอมรับได้ ในทางตรงกัน

ข้ามเครื่องจักรกลที่อยู่ในสภาพชำรุดจะทำให้ขนาดของการสั่นสะเทือนสูง ดังนั้นในการวัดการสั่นสะเทือนจึงสามารถแสดงความบกพร่องและสภาพการใช้งานของเครื่องจักรกลได้ วิธีวัดการสั่นสะเทือนในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีด้วยกันได้แก่ การวัดการกระจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ (displacement) , การวัดความเร็ว (velocity) และการวัดความเร่ง (acceleration)

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่นิยมใช้ประกอบด้วยหัวทรานสดิวเซอร์ (transducer) ซึ่งทรานสดิวเซอร์ที่นิยมใช้ได้แก่พิโซอิเล็กทริก (piezoelectric) และเครื่องประมวลผลโดยเครื่องวัดเหล่านี้มักจะมีราคาสูง และหากเครื่องมือดังกล่าวสามารถประมวลผลทางดิจิทัลเพื่อหาสเปกตรัม (spectrum) ของความถี่โดยใช้หลักการแปลงแบบฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) ได้ก็จะทำให้มีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะทดลองศึกษาการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนอย่างง่ายโดยใช้สเตรนเกจเป็นตัวรับรู้ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่สุดของการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือน ในการศึกษาเบื้องต้นนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของเซ็นเซอร์ในการวัดการสั่นสะเทือนเป็นแบบฮาร์มอนิกเพื่อศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของวิธีการวัดดังกล่าวก่อนที่จะทำการศึกษาศักยภาพของการสั่นสะเทือนที่เป็นฟังก์ชันคาบ (periodic function) ซึ่งหลักการทำงานของการวัดดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

หลักการทำงานของเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือน

เครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนนั้นประกอบด้วยมวลเชอสมิก (seismic mass), สปริง และตัวหน่วงประกอบกันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

โดยที่ m หมายถึงมวลเชอสมิก , k หมายถึง ค่าคงตัวของสปริง , c หมายถึงค่าคงตัวของตัวหน่วง , ζ หมายถึงอัตราส่วนความหน่วง , $x(t)$ หมายถึงการกระจัดของมวลเชอสมิก , $y(t)$ หมายถึงการกระจัดของฐานรองรับซึ่งเป็นฟังก์ชันฮาร์มอนิกมีความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 1 [3]

$$y(t) = Y \sin(\omega t) \quad (1)$$

โดยที่ ω หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน การกระจัดสัมพัทธ์ของมวลเชอสมิกกับฐานรองรับ $z(t)$ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2 [3]

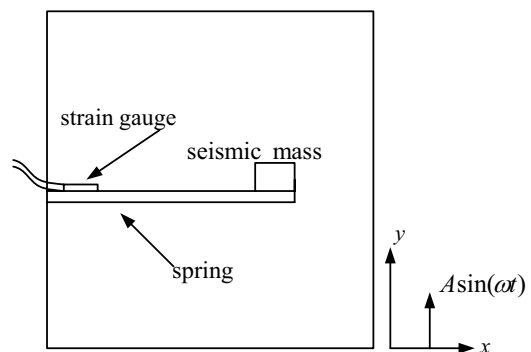
$$z(t) = x(t) - y(t) \quad (2)$$

หากพิจารณาให้เป็นการตอบสนองอย่างคงตัวจะได้ผลการตอบสนองแบบฮาร์มอนิกโดยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการกระจัดสัมพัทธ์สูงสุดของมวลเชอสมิกกับฐานรองรับ Z และขนาดของการกระจัดสูงสุดของฐานรองรับ Y สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3 [3]

$$Z = \frac{r^2 Y}{\left[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

โดยที่ r หมายถึงอัตราส่วนความถี่ที่ต้องการวัดกับความถี่ธรรมชาติของระบบ หรือเท่ากับ $\left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)$ โดยที่ ω_n หมายถึงความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ของระบบมวลติดสปริง

จากสมการที่ 3 จะเห็นได้ว่าหากค่า r มีค่ามาก ๆ แล้วจะทำให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด Z มีค่าเข้าใกล้กับ Y ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการวัด ดังนั้นหากสามารถวัดค่า Z ได้ก็จะสามารถหาค่า Y ได้เช่นกันในการทดลองนี้ใช้สปริงแผ่นโดยปลายข้างหนึ่งถูกยึดติดส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นแบบอิสระหรืออาจพิจารณาได้เป็นคานแบบคานทิลเลเวอร์ (cantilever beam) ปลายด้านอิสระนั้นจะติดมวลเชอสมิกส่วนการกระจัดใช้สเตรนเกจติดบนสปริงแผ่นดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแผนภาพเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งในการทดลองดังกล่าวจะต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ ดังนี้คือ

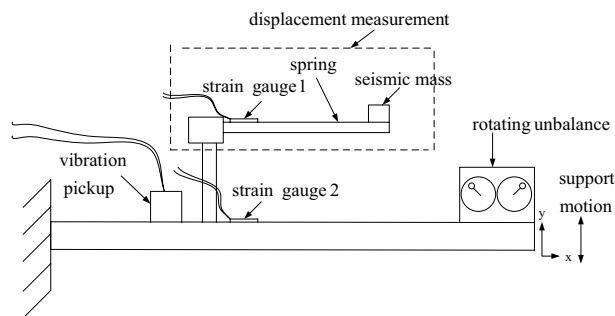
- สมมติให้การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นเฉพาะในแนวแกน y เท่านั้น
- สมมติให้ระบบมวลติดสปริงเป็นการสั่นสะเทือนแบบระดับชั้นความเสรีขึ้นเดียว (one degree of freedom) และไม่มี ความหน่วง
- สมมติให้การกระจัดของสปริงอยู่ในช่วงที่เป็นขีดจำกัดสัดส่วน (proportional limit) และเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's law) ซึ่งสมมติฐานเหล่านี้จะใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในการทดลองนี้

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องวัดสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นที่ฐานรองรับ มวลเชอสมิกจะเคลื่อนที่ขึ้นลงสปริงเกิดการสั่นและเกิดการกระจัดขึ้นส่งผลทำให้เกิดความเครียด ความเครียดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกระจัด และโดยการ

วัดสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากสเตรนเกจจะทำให้ทราบค่าการกระจัดที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน

การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง

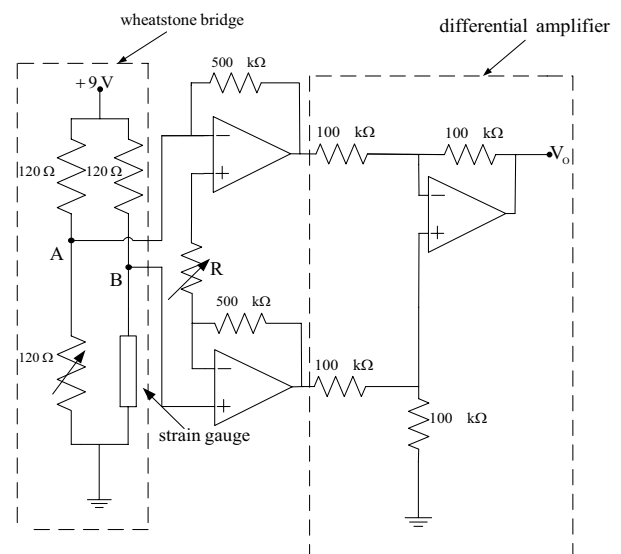
ในการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนหนึ่งคือการออกแบบส่วนของเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือน (displacement measurement) ซึ่งประกอบด้วยสปริงแผ่นมีความหนา 0.2 mm ยาว 70 mm ทั้งนี้เนื่องจากในการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนควรที่จะออกแบบระบบมวลติดสปริงให้มีความถี่ธรรมชาติ [3] ดังนั้นจึงต้องให้สปริงมีความยาวและติดมวลเชือกสีกัสไวที่ปลายสปริงด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสปริงจะถูกยึดติดกับเครื่องมือวัดและพิจารณาให้เหมือนคานแบบคานทิลเลเวอร์ จากนั้นทำการติดสเตรนเกจตัวที่หนึ่ง (strain gauge 1) ไว้บนสปริงสำหรับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงมีค่าเท่ากับ 8.5 Hz เครื่องวัดดังกล่าวจะถูกติดตั้งอยู่บนแผ่นหลักที่มีมอเตอร์ติดมวลที่ไม่สมดุลอยู่ที่ปลายคานเพื่อให้เกิดการหมุนที่ไม่สมดุล (rotating unbalance) และเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นซึ่งเปรียบเสมือนการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับ (support motion) สำหรับการกระจัดจริงของการสั่นสะเทือนนั้นจะถูกวัดโดยใช้เครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือน (vibration pickup) ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณเดียวกันกับเครื่องวัดการกระจัดที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นมวลเชือกสีกัสจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามความถี่ของการสั่นสะเทือน สปริงจะเกิด



รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ความเครียดทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าจากสเตรนเกจตัวที่หนึ่ง (strain gauge 1) และโดยการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรและทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือน (vibration pickup) จะทำให้ทราบค่าการกระจัดที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังได้ทำการติดสเตรนเกจตัวที่สอง (strain gauge 2) ไว้ที่ฐานรองรับ (support) ทั้งนี้เพื่อต้องการศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (strain gauge 1) และสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ของฐานรองรับ (strain gauge 2) อีกด้วย

สำหรับส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการออกแบบวงจรเพื่อประมวลผลสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ ซึ่งทำได้โดยใช้วงจรวีรสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สเตรนเกจที่มีความยาวเกจ (gauge length) เท่ากับ 5 mm เกจแฟกเตอร์ (gauge factor) เท่ากับ 2.1 ความต้านทานของเกจเท่ากับ 120 Ω ติดตั้งในวงจรวีรสโตนบริดจ์ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเกิดการกระจัดขึ้นจะทำให้สเตรนเกจเกิดความเครียดและมีความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป บริดจ์จะอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลเกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างจุด A กับจุด B ความต่างศักย์ของสัญญาณนี้จะถูกนำมาขยายโดยวงจรขยายสัญญาณ (differential amplifier) ดังนั้นเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นความต้านทานของสเตรนเกจจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของการกระจัดของการสั่นสะเทือนทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่จุด Vo และโดยการวัดขนาดและความถี่ของสัญญาณที่จุด Vo จะทำให้ทราบขนาดและความถี่ของการกระจัดของการสั่นสะเทือนตามไปด้วย ในการทดลองนี้ได้ใช้วงจรในรูปที่ 4 ในการประมวลผลสัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจตัวที่หนึ่ง (strain gauge 1) และตัวที่สอง (strain gauge 2) ที่ติดตั้งบนชุดทดลอง สำหรับความถี่ของการสั่นสะเทือนในการทดลองนี้อยู่ในช่วงระหว่าง 8 Hz ถึง 20 Hz และเนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรเป็นสัญญาณความถี่ ดังนั้นในการวัดขนาดของ

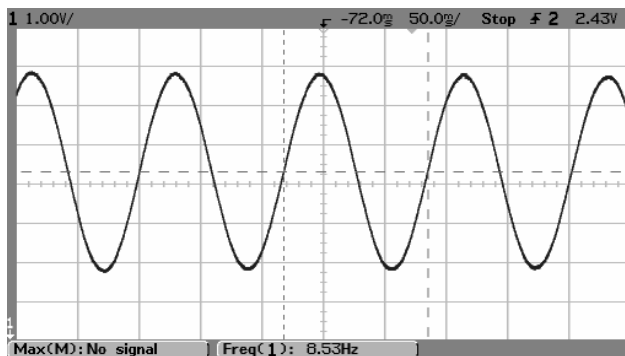


รูปที่ 4 แสดงแผนภาพวงจรประมวลผลสัญญาณ

สัญญาณจะใช้การวัดค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (root mean square) ของสัญญาณที่ได้ที่จุด Vo หรือเป็นการวัดค่า V_{rms} นั้นเอง

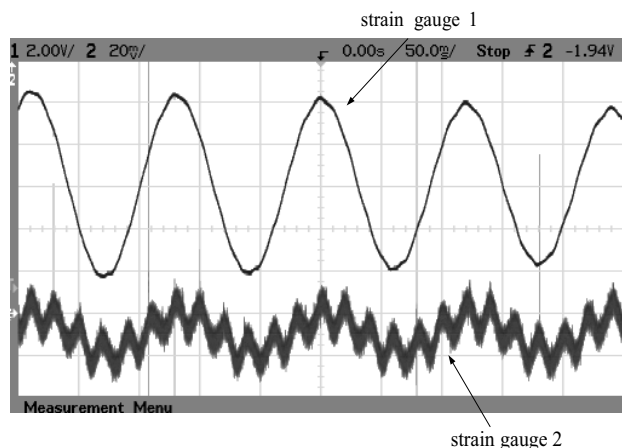
ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองจะเริ่มต้นด้วยการหาความถี่ธรรมชาติในโหมดที่หนึ่งของสปริงที่ใช้เป็นเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนซึ่งทำได้โดยการให้เงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) กับสปริงดังกล่าวโดยในการทดลองนี้จะให้เงื่อนไขเริ่มต้นเป็นการกระจัด และวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนโดยใช้ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ซึ่งแสดงได้ดี



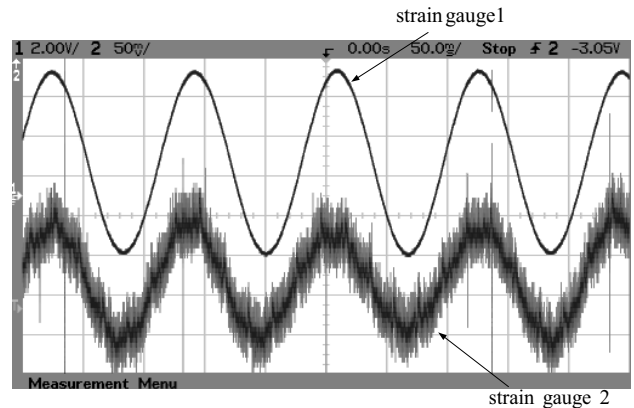
รูปที่ 5 แสดงสัญญาณความถี่ธรรมชาติในโหมดที่หนึ่งของระบบมวลติดสปริงที่ได้จากออสซิลโลสโคป

รูปที่ 5 สัญญาณความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงดังแสดงในรูปที่ 5 ที่ได้จากออสซิลโลสโคป (แต่ละช่องของเวลาของออสซิลโลสโคปมีค่าเท่ากับ 50 ms) มีค่าเท่ากับ 8.5 Hz ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองให้ฐานรองรับเคลื่อนที่ขึ้นลงเริ่มตั้งแต่ที่ความถี่ประมาณ 8.0 Hz (ต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงเล็กน้อย) พบว่าสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) และสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ของฐานรองรับ (strain gauge 2) มีรูปสัญญาณเป็นแบบฮาร์มอนิกดังแสดงในรูปที่ 6 (แต่ละช่องของเวลาของออสซิลโลสโคปมีค่าเท่ากับ 50 ms) โดยมีมุมเฟสเท่ากัน และเมื่อเพิ่ม



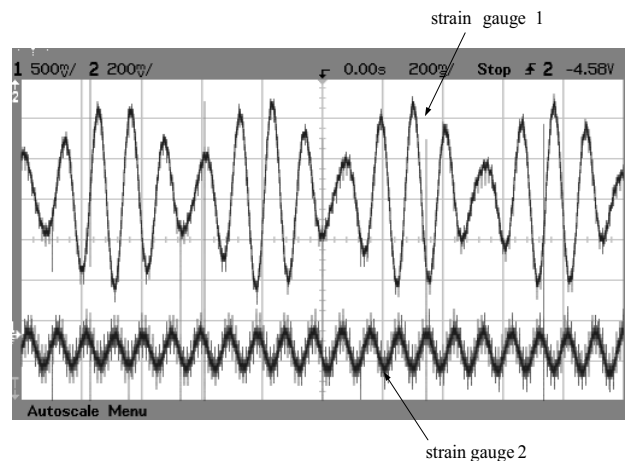
รูปที่ 6 แสดงสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) กับสัญญาณที่ได้จากฐานรองรับ (strain gauge 2) ที่ความถี่ประมาณ 8 Hz

ความถี่ของการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับให้อยู่ที่ประมาณ 8.5 Hz (เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริง) พบว่าขนาดของสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) มีความชัดเจนโดยมีรูปสัญญาณเป็นฮาร์มอนิกเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 7 (แต่ละช่องของเวลาของออสซิลโลสโคปมีค่าเท่ากับ 50 ms) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ของฐานรองรับ (strain gauge 2) จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองมีความถี่และมีมุมเฟสเท่ากัน



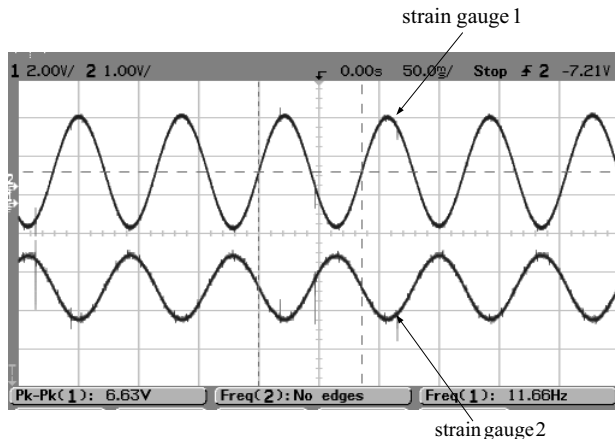
รูปที่ 7 แสดงสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) กับสัญญาณที่ได้จากฐานรองรับ (strain gauge 2) ที่ความถี่ประมาณ 8.5 Hz

เมื่อเพิ่มความถี่ของการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับให้มากขึ้นเล็กน้อยก็มีความถี่อยู่ที่ประมาณ 10 Hz พบว่าสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) เกิดปรากฏการณ์บีทขึ้น (beating phenomena) ดังแสดงในรูปที่ 8 (แต่ละช่องของเวลาของออสซิลโลสโคปมีค่าเท่ากับ 200 ms) ในขณะที่สัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับ (strain gauge 2) ไม่มีความถี่บีทเกิดขึ้น ความถี่บีทที่เกิดขึ้นที่สเตรนเกจตัวที่หนึ่ง (strain gauge 1) นั้นเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของฐานรองรับที่มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์บีทขึ้น [3]



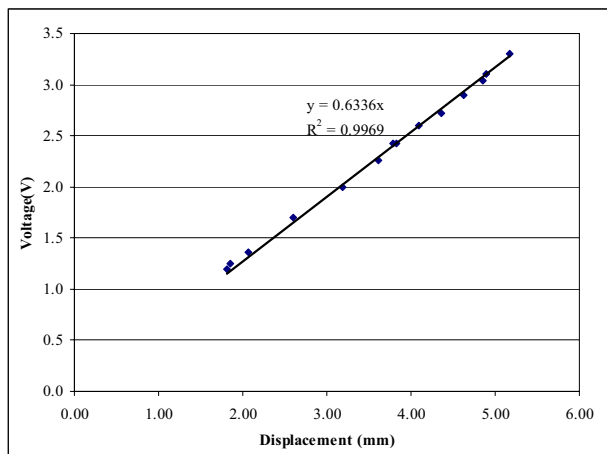
รูปที่ 8 แสดงสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) กับสัญญาณที่ได้จากฐานรองรับ (strain gauge 2) ที่ความถี่ประมาณ 10 Hz

เมื่อเพิ่มความถี่ของการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับให้อยู่ที่ประมาณ 12 Hz สัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) และสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ของฐานรองรับ (strain gauge 2) จะมีความถี่เดียวกัน แต่มีมุมเฟสต่างกันประมาณ 180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 9 (แต่ละช่องของเวลาของออสซิลโลสโคปมีค่าเท่ากับ 50 ms) และเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างค่ารากกำลังสองเฉลี่ย V_{rms} ที่จุด V_o ของวงจรในรูปที่ 4 กับการกระตุ้นที่ได้จากเครื่องวัดการกระตุ้นของการ

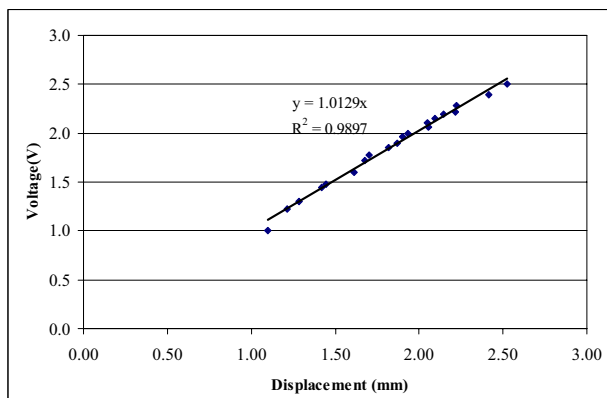


รูปที่ 9 แสดงสัญญาณที่ได้จากระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) กับสัญญาณที่ได้จากฐานรองรับ (strain gauge 2) ที่ความถี่ประมาณ 12 Hz

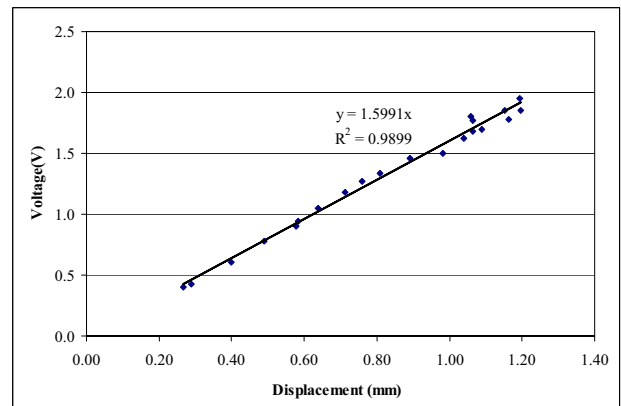
สั่นสะเทือน (vibration pickup) โดยการวัดแบบขนาดรวม (overall) มาแสดงพบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) กับการกระตุ้นที่ความถี่ประมาณ 12 Hz



รูปที่ 11 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) กับการกระตุ้นที่ความถี่ประมาณ 15 Hz



รูปที่ 12 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) กับการกระตุ้นที่ความถี่ประมาณ 19 Hz

สำหรับการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณที่ได้จากวงจรกับการกระตุ้นที่ได้จากเครื่องวัดการกระตุ้นของการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 15 Hz และ 19 Hz สามารถแสดงได้ดังเส้นกราฟในรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) ที่ได้จากวงจรกับการกระตุ้นของการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องวัดการกระตุ้นของการสั่นสะเทือนที่ความถี่ 12 Hz , 15 Hz และ 19 Hz ดังแสดงในเส้นกราฟรูปที่ 10 , 11 และ 12 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) ที่ได้จากวงจรนั้นจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกระตุ้นของการสั่นสะเทือนในแต่ละความถี่ หากแต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละความถี่ดังแสดงได้จากความชันของเส้นกราฟในแต่ละเส้นที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าที่ใช้ในการวัดด้วย นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่าสัญญาณที่ได้จากการวัดที่ความถี่ 12Hz , 15 Hz และ 19 Hz ของระบบมวลติดสปริง (strain gauge 1) กับสัญญาณที่ได้จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของฐานรองรับ (strain gauge 2) นั้นมีลักษณะเหมือนกันคือมีความถี่เท่ากันแต่แอมพลิจูดต่างกันประมาณ 180 องศาโดยมีรูปสัญญาณคล้ายคลึงกับสัญญาณในรูปที่ 9 ซึ่งแตกต่างจากสัญญาณที่ได้จากการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงซึ่งมีความถี่เท่ากันและแอมพลิจูดเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งนี้เนื่องจากสมมติฐานที่ว่า การสั่นสะเทือนของระบบมวลติดสปริงเป็นแบบระดับขึ้นความถี่ขึ้นเดียว และไม่มีโหมดหน่วง [3] อย่างไรก็ตามการทดลองที่ได้กล่าวมานั้นขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่เป็นการสั่นสะเทือนของระบบมวลติดสปริงเป็นแบบระดับขึ้นความถี่ขึ้นเดียวทำให้มีความถี่ธรรมชาติเพียงค่าเดียว และรูปร่างฐานนิยม (mode shape) ของการสั่นมีเพียงโหมดเดียวเช่นกัน แต่ในความเป็นจริงแล้วตัวของสปริงแผ่นที่ใช้สามารถที่จะพิจารณาให้เป็นเสมือนการสั่นของคานซึ่งเป็นระบบที่มีความต่อเนื่อง (continuous system) ทำให้มีความถี่ธรรมชาติหลายค่า และมีรูปร่างฐานนิยมหลายโหมด [4] และอาจส่งผลต่อการวัดได้เช่นกัน

สำหรับข้อดีของวิธีการวัดดังกล่าวจากการทดลองพบว่าวิธีการวัดดังกล่าวมีข้อดีคือได้สัญญาณที่มีความชัดเจน ไม่มีสัญญาณรบกวนมากนักทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้วงจรขยายสัญญาณที่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวน (noise) ได้มาก มีความเป็นเชิงเส้นสูงโดยพิจารณาจากกราฟรูปที่ 10 , 11 และ 12 ตามลำดับ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เป็นแบบฮาร์มอนิก นอกจากนี้วิธีการวัดดังกล่าวยังมีค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในอุตสาหกรรม สำหรับข้อเสียของวิธีการดังกล่าวคือระบบมวลติดสปริงนั้นมักจะต้องถูกออกแบบให้มีความถี่ธรรมชาติน้อย ๆ ทำให้ต้องใช้มวลมาก และใช้สปริงที่มีค่าคงตัวของสปริงน้อยสปริงดังกล่าวจึงค่อนข้างจะอ่อน ขำรูดได้ง่าย และไวต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณการสั่นสะเทือนภายนอก อย่างไรก็ตามการศึกษาทดลองที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนั้นเป็นเพียงการศึกษาทดลองในเบื้องต้นเท่านั้น โดยให้การสั่นสะเทือนเป็นแบบฮาร์มอนิก ซึ่งในการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในสภาพการใช้งานจริงนั้นมักจะเป็นฟังก์ชันคาบ (periodic function) ที่เกิดจากการรวมกันของการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิกหลาย ๆ ค่า จึงต้องมีการพัฒนาวิธีการวัดดังกล่าวต่อไปเพื่อให้สามารถใช้งานจริงในทางปฏิบัติ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นพบว่าวิธีการวัดดังกล่าวมีข้อดีในแง่ของความชัดเจนของสัญญาณที่ได้ซึ่งพบว่ามีค่าชัดเจนและมีสัญญาณรบกวนน้อยให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าสูงในระดับโวลต์ ทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการสั่นสะเทือนแบบแอกทีฟ (active vibration control) มีค่าใช้จ่ายน้อยง่ายต่อการสร้าง และมีความเป็นเชิงเส้นสูง ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนที่เป็นแบบฮาร์มอนิก โดยอาจจำเป็นที่จะต้องเลือกความถี่ธรรมชาติของระบบมวลติดสปริงให้มีความเหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการวัดทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสัญญาณไฟฟ้า (Vrms) ที่ได้จากเครื่องวัดกับการกระจัดของการสั่นสะเทือนนั้นถึงแม้จะเป็นเชิงเส้น แต่ความสัมพันธ์เชิงเส้นดังกล่าวไม่ได้เหมือนกันในทุก ๆ ความถี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำความถี่ที่ได้จากการวัดมาพิจารณาเพื่อทำการเปรียบเทียบการกระจัดของการสั่นสะเทือนด้วยหรืออาจใช้วิธีการค้นหาจากตาราง (look up table) ในการเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลในทางปฏิบัติซึ่งมักจะไม่ใช่การสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิก แต่มักจะเป็นฟังก์ชันคาบ ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาวิธีดังกล่าวเพื่อประยุกต์ใช้กับการวัดการกระจัดของการสั่นสะเทือนนั้นจะต้องมุ่งเน้นในการศึกษาทดลองกับการสั่นสะเทือนที่เป็นแบบฟังก์ชันคาบโดยการประยุกต์เอาหลักการซ้อนทับ (superposition) มาใช้ในการวัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ก่อเกียรติ บุญชูกุล , สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ , ชัยโรจน์ คุณพานิชกิจ . 2539. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน . สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) , กรุงเทพฯ ฯ , หน้า 53-54.

- [2] Singiresu S. Rao .1995. Mechanical Vibrations . Addison-Wesley ,U.S.A. ,pp. 10-11.
- [3] กนต์ธร ชานีประศาสน์ . 2545 .การสั่นทางกล . เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด , กรุงเทพฯ ฯ , หน้า 30 – 451.
- [4] Balakumar Balachandran , Edward B. Magrab .2004 . Vibrations . Thomson Learning , U.S.A. ,pp. 507-523.