

การพัฒนาเครื่องมือวัดความถี่การสั่นสะเทือนแบบคานยื่นด้วย STRAIN-GAGE

DEVELOPMENT OF BEAM-TYPE VIBRATION FREQUENCY MEASURING DEVICE USING STRAIN-GAGE

จารุวัตร เจริญสุข

อิทธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 3 ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร. 7372500-47, 7373000 (ภาคเครื่องกล)

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบคานยื่นด้วย Strain-gage ได้ถูกพัฒนาขึ้น เครื่องมือถูกนำไปใช้วัดความถี่การสั่นของคานยื่นในช่วงความถี่ตั้งแต่ 10-10,000 Hz โดยกำหนดให้แอมพลิจูดที่ปลายคานยื่นเท่ากับ 5 มม. ผลการทดลองพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในช่วง 10-100 Hz, 100-1,000 Hz และ 1,000-10,000 Hz คือ 12.62%, 10.85% และ 11.20 % ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลทำให้ทราบว่า ความไวของเครื่องมือวัดคือ 0.9 และค่าคงตัวปรับเทียบคือ 0.0468 N/mV

Abstract

The experimentation and the solution of calibrate of strain-gage by Beam type vibration measurement. This instrument can be improved for higher accuracy. For this original instrument ,it can measure amplitude not greater than 5 mm. and be able to measure in frequency range between 10-100 Hz with the average of accuracy about 12.62%, in range between 100-1,000 Hz the average of accuracy is about 10.85% and range between 1,000-10,000 Hz the average of accuracy about 11.20%. The sensitivity of the system is 0.9 and calibration is 0.0468 $\frac{N}{mV}$

1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดที่ใช้ Strain-gage มีหลายประเภท แต่แบบที่เราสนใจนี้เป็นเครื่องมือสำหรับวัดการสั่นสะเทือนของคานยื่นด้วย Strain-gage เครื่องมือวัดที่ทำงานคล้ายคลึงกันนี้ได้แก่ เครื่องมือวัดที่ใช้ LVDT เป็นตัววัด และชนิดที่ใช้ Piezoelectric Sensor ซึ่งอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงผลึกและการถ่ายเทของประจุบวกและประจุลบ แต่จะเกิด Output impedance สูงมาก ส่วนแบบ Strain-gage จะอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ซึ่งมีข้อดีคือสะดวกต่อการติดตั้งและมีราคาถูกกว่า โครงการนี้เราใช้ชุดแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นตัววัดค่าการสั่นสะเทือนสปริงปลายอิสระ ส่วนปลายด้านที่มีการจับยึดจะคิดทั้ง

ชุด Strain-gage ไว้สำหรับวัดความถี่และการกระจัดที่เกิดขึ้นกับคานเหล็กสปริง โดยทั่วไปอุปกรณ์หรือเครื่องจักรจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้น มีค่าความถี่ต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติ ฉะนั้นถ้าเราสามารถวัดค่าความถี่ของอุปกรณ์หรือเครื่องจักร ว่ามีความถี่ธรรมชาติเท่าไรเราก็จะสามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายอันเกิดจากการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติได้ โดยการทำให้เครื่องจักรทำงานน้อยกว่าหรือมากกว่าความถี่ธรรมชาติ

2 ทฤษฎีและสมการ

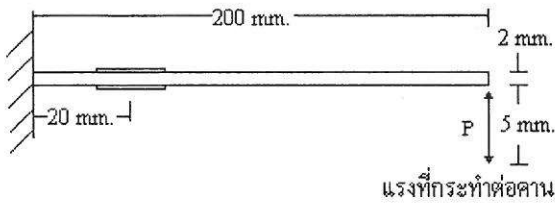
ในปัจจุบันได้มีการใช้ Strain-gage ในเครื่องมือวัดหลายแบบแต่ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องมือวัดความถี่แบบคานยื่น เครื่องวัดนี้จะทำการติดตั้ง Strain-gage ที่ผิวคานด้านบน 2 ตัว และด้านล่างคาน 2 ตัว ในตำแหน่งใกล้กับปลายคานด้านที่ถูกยึดโดย Strain-gage ต่อแบบ Wheatstone Bridge แล้วป้อนไฟแรงจูงที่ V_s แล้วนำ Oscilloscope หรือ Digital Multimeter ไปต่อด้าน V_o ที่กล่องวงจร Wheatstone Bridge ที่ปลายคานด้านที่ไม่ถูกยึดจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนด้วยชุดแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะวัดค่าอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่คานโดยจะแสดงผลออกมาทาง Oscilloscope ในกรณีวัดความถี่และทาง Digital Multimeter ในกรณีวัดแอมพลิจูด

2.1 การสั่นสะเทือนของระบบ

โดยทั่วไปจะแบ่งการสั่นสะเทือนของระบบออกเป็นสองกรณีคือการสั่นสะเทือนเสรี (Free Vibration) และการสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced Vibration) การสั่นสะเทือนเสรีจะเกิดขึ้นในขณะที่ระบบเคลื่อนที่ไปมา โดยที่ไม่มีแรงมากระทำที่ระบบ ความถี่ของการเคลื่อนที่ไปมาหรือการสั่นสะเทือนดังกล่าวจะเรียกว่า “ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)” ซึ่งอาจจะมีค่าเดียว หรือหลายค่าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการสั่นสะเทือน

ในระบบที่เราสนใจจะทำการทดลอง มีการเคลื่อนที่เป็นระยะ 5 มม. ฉะนั้นจึงเป็นการสั่นสะเทือนแบบบังคับ คือการเคลื่อนที่ในขณะที่มีแรงภายนอกกระทำกับระบบ และทำให้ระบบเคลื่อนที่ไปมา เช่นเดียวกับ

แรงที่กระทำหรือมีความถี่เท่ากับความถี่ของแรง และถ้าความถี่ที่กระทำกับระบบมีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ จะทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) คือจะมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และเป็นอันตรายต่อระบบอย่างมาก



รูปที่ 1 แท่งโลหะรับแรงกระทำที่ปลายคาน

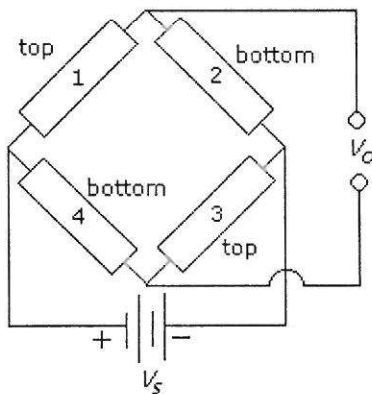
สมการการสั่นสะเทือนคือ [1]

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad (2)$$

2.2 วิธีการจัดเรียง Bridge

แบบที่เราใช้มี Strain-gage 4 ตัวต่อเป็นวงจร Bridge gage 1 และ gage 3 อยู่ที่ผิวด้านบนของ Beam gage 2 และ gage 4 ที่ผิวด้านล่างของคาน [2]



รูปที่ 2 การจัดเรียง gage ในวงจร Wheatstone Bridge

สมการของวงจร Wheatstone Bridge

$$V_s = 2\sqrt{Ap_d R_g} \quad (3)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta R_g}{R_g} V_s \quad (4)$$

$$S_s = \frac{I}{2} S_g \sqrt{p_g R_g} \quad (5)$$

$$p_d = \frac{p_g}{A} \quad (6)$$

$$\epsilon_c = \frac{3hx}{2l^3} \delta = k\delta \quad (7)$$

$$C = \frac{\epsilon_c}{d_c} \quad (8)$$

$$\% \epsilon = \frac{Q_{ai} - Q_i}{Q_{ai}} \times 100 \quad (9)$$

สัญลักษณ์

ω_n ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)

k ค่าสปริงสมมูล

m มวลของวัตถุสปริง

ϵ_c ค่าความเครียดปรับเทียบ

δ ระยะยืด

C ค่าคงตัวปรับเทียบ

d_c ระยะระหว่างแรงดัน Output จากปรีดจ์สมมูล

S_s ค่าความไวของระบบ

F แรงกระทำภายนอก

p_g กำลังที่ gage สามารถขับออกมา

p_d ความหนาแน่นของกำลังที่ gage ขับออกมา

R_g ค่าความต้านทานของ gage

l ความยาวคาน

x ระยะจากปลายคานถึงกึ่งกลาง gage

$\% \epsilon$ เปอร์เซนต์ความผิดพลาด

Q_{ai} ค่าถูกต้อง

Q_i ค่าที่วัดได้

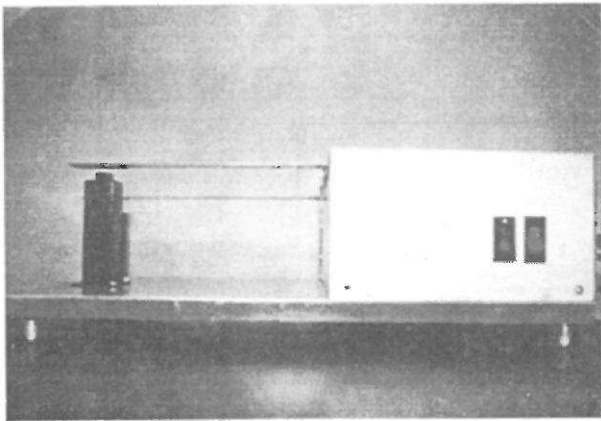
V_s กระแสไฟที่ให้กับวงจร Bridge

V_o กระแสไฟที่ออกจากวงจร Bridge

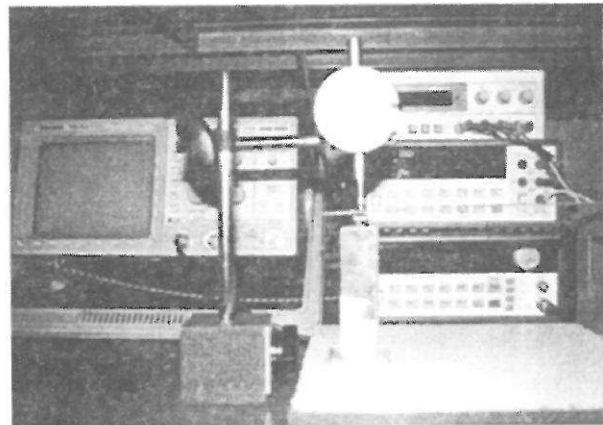
ΔV_o ความแตกต่างของกระแสไฟที่ออกจากวงจร Bridge

3. การทดลอง

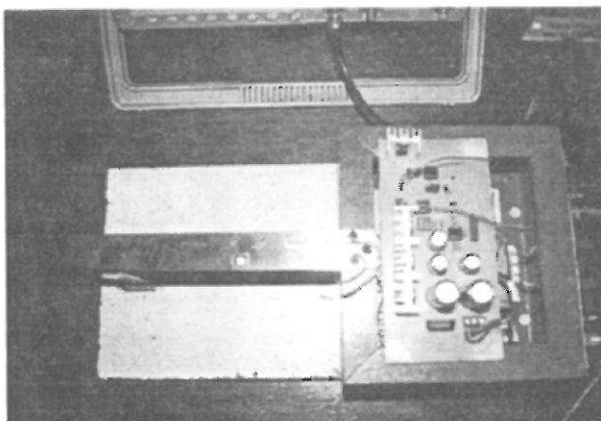
ในการทดลองวัสดุที่ใช้ทำคานเป็นเหล็กสปริง มีความยาว 200 มม. มีความกว้าง 30 มม. หนา 2 มม. และจุดที่ติดตั้ง Strain gage อยู่ห่างจากจุดยึดคาน 20 มม. การทดสอบความถี่และระยะการกระจัด เพื่อหาค่าคงตัวปรับเทียบของเครื่องมือวัดและ Strain-gage โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงความถี่ คือช่วงระหว่าง 10-100 Hz, 100-1,000 Hz และ 1,000-10,000 Hz เมื่อเราให้ความถี่แก่เครื่องมือ ผลการวัดความถี่จะแสดงผลที่ Digital Oscilloscope และสำหรับการกระจัดจะสามารถวัดได้จาก Digital Multimeter การวัดความถี่ของเครื่องมือวัดนี้ เพื่อนำไปหาช่วงใช้งานและความผิดพลาด ที่เกิดขึ้นและหาค่าคงตัวปรับเทียบ



รูปที่ 3 ภาพเครื่องวัดการสั่นสะเทือนต้นแบบ



รูปที่ 5 แสดงการใช้ dial gage และการต่อสายไฟเพื่อวัดการกระจัด



รูปที่ 4 ภาพวิธีการต่อ Strain-gage เข้ากับวงจรไฟฟ้า

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การทดลองวัดความถี่

- 1.ต่อสายไฟจากเครื่องกำเนิดความถี่ เข้ากับ Input ของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนต้นแบบ
- 2.ต่อสายไฟจาก Digital Oscilloscope เข้ากับ Output ของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนต้นแบบ
- 3.ปรับค่าความถี่และกระแสไฟที่เครื่องกำเนิดความถี่ ไปยังค่าที่ต้องการวัดและปรับ % Duty ที่ 50 % Duty
- 4.ปรับค่าที่ Digital Oscilloscope โดยเลือกช่วงที่ต้องการวัด
- 5.เปิดเครื่องมือวัด และเปิดชุด Magnetic Coil
- 6.อ่านค่าความถี่ที่ Digital Oscilloscope แล้วทำการจดบันทึกเพื่อนำไปลงในกราฟ

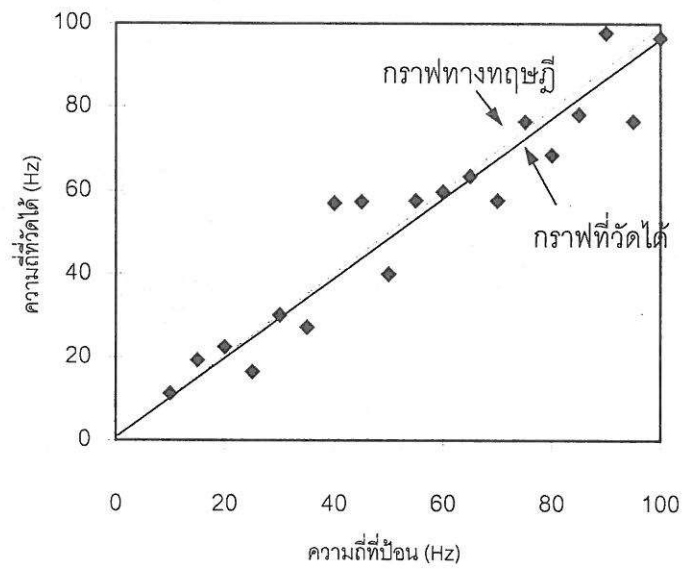
3.1.2 วิธีการทดลองวัดการกระจัด

- 1.ต่อสายไฟจาก Digital Multimeter เข้ากับ Output ของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนต้นแบบ
- 2.ปรับค่า Digital Multimeter ไปที่การวัดแบบ DC
- 3.ติดตั้ง Dial gage โดยจัดให้คานาอยู่ในตำแหน่งปกติ
- 4.เปิดเครื่องมือวัด โดยจะปิด Magnetic Coil
- 5.ทำการกดคานาลงด้วยการหมุนปุ่มปรับ Dial gage ลงครั้งละ 0.1 mm
- 6.อ่านผลจาก Digital Multimeter แล้วทำการจดบันทึก

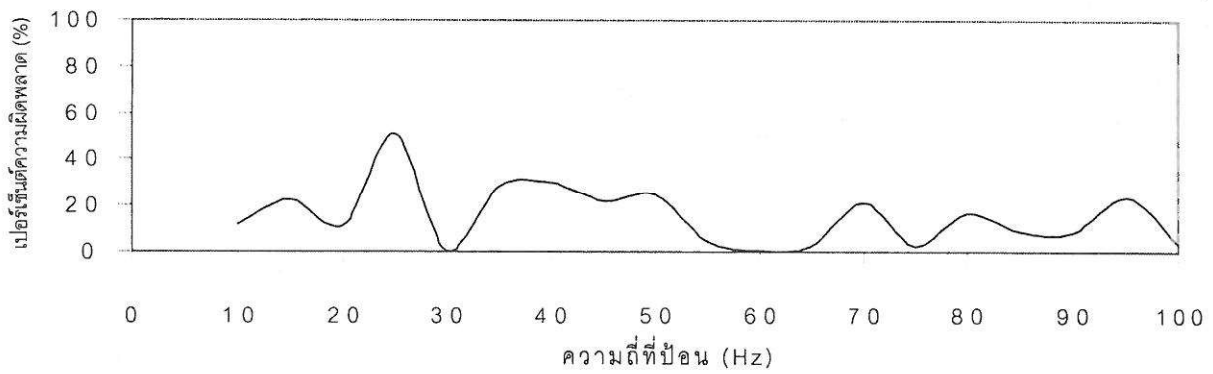
4. ผลการทดลอง

จากการทดลองความถี่ธรรมชาติ (ω_n) เท่ากับ 17.02 Hz ความไวของระบบ (จากสมการ 5) เท่ากับ 0.9 ที่ระยะ $\delta = 5$ mm. ได้ Amplitude เท่ากับ 19 mV. จากการทดลองวัดความถี่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดช่วง 10-100 Hz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 12.62 % ในช่วง 100-1,000 Hz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 10.85 % ในช่วง 1,000-10,000 Hz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ 11.20 % และ วัด Amplitude เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย 6% มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดที่ช่วงความถี่ 10-20 Hz เพราะเป็นความถี่ที่อยู่ในช่วงของความถี่ธรรมชาติของระบบเรียกว่า สภาพการสั่นพ้อง (Resonance) มีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และมีค่าคงตัวปรับเทียบ (C) เท่ากับ

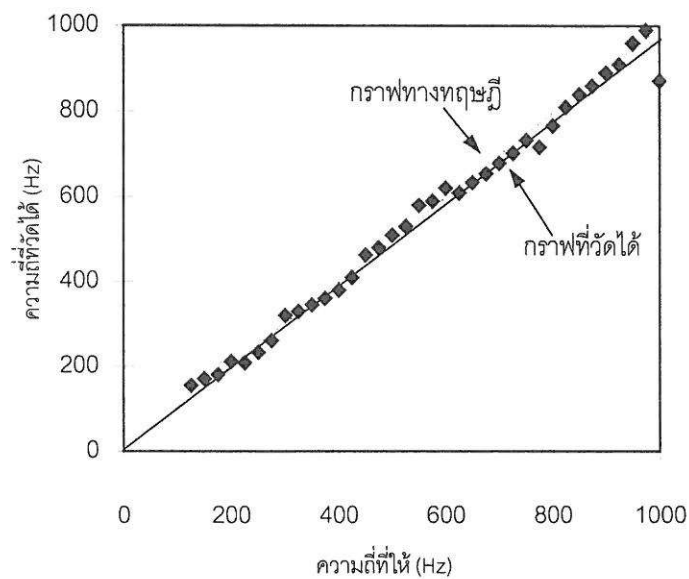
$$0.0468 \frac{N}{mV}$$



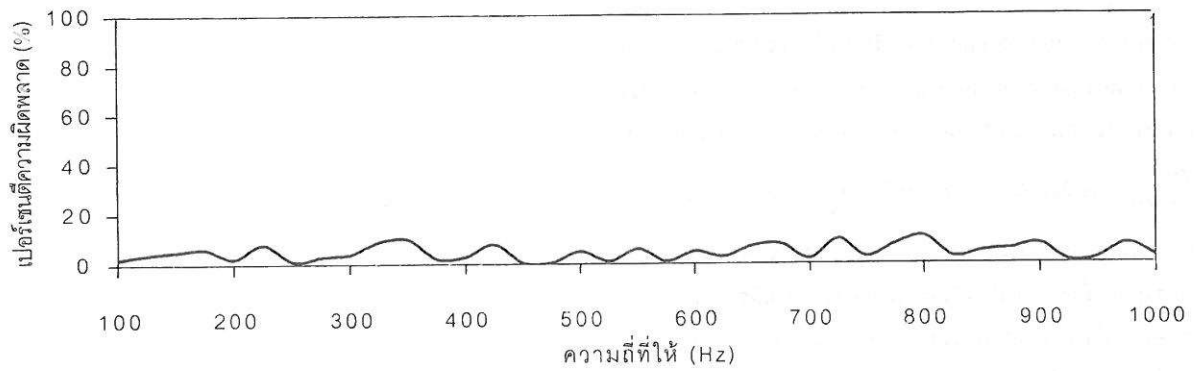
รูปที่ 5 กราฟแสดงความถี่ที่วัดได้เทียบกับความถี่ทางทฤษฎีช่วง 10-100 Hz



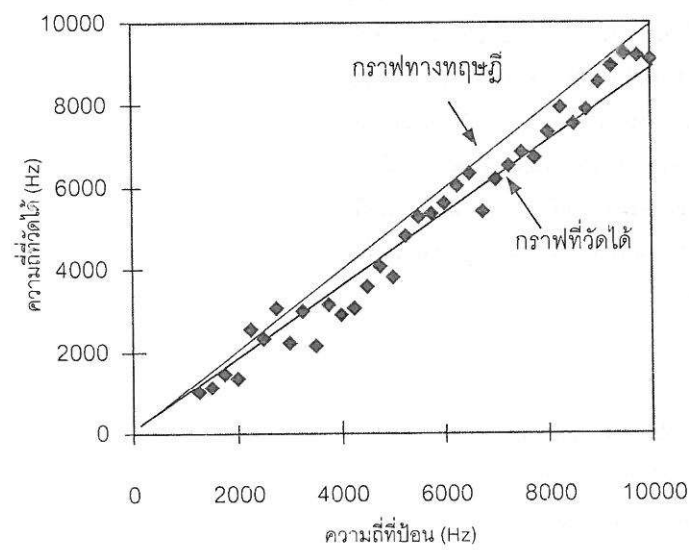
รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับความถี่ในช่วง 10-100 Hz



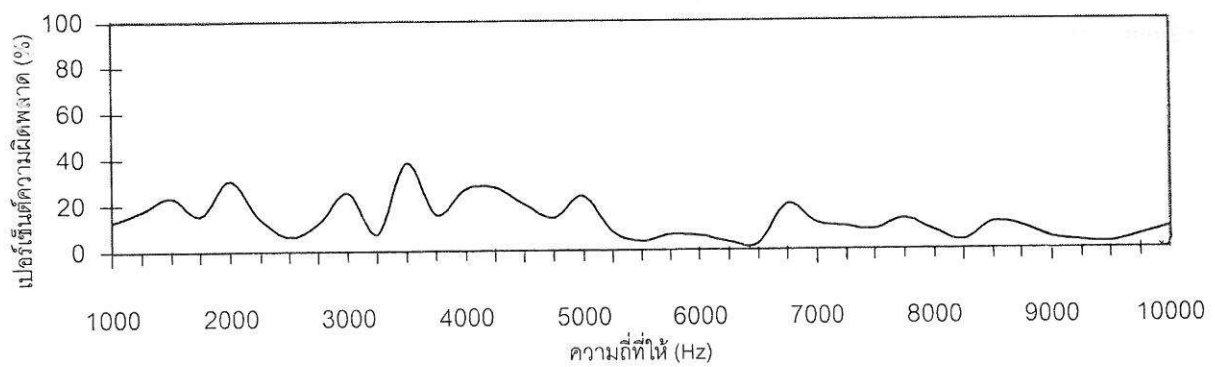
รูปที่ 7 กราฟแสดงความถี่ที่วัดได้เทียบกับความถี่ทางทฤษฎีช่วง 100-1,000 Hz



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับความถี่ในช่วง 100-1,000 Hz



รูปที่ 9 กราฟแสดงความถี่ที่วัดได้เทียบกับความถี่ทางทฤษฎีช่วง 1,000-10,000 Hz



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับความถี่ในช่วง 1,000-10,000 Hz

5. บทสรุป

จากการทดสอบเครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนแบบคานขึ้น ในการวัดค่าความถี่เกิดค่าความผิดพลาดขึ้น ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากค่าความผิดพลาดที่เป็นผลมาจากความถี่ธรรมชาติมีค่าต่ำเมื่อนำไปวัดความถี่สูง $\frac{\omega}{\omega_n}$ จะเข้าใกล้อนันต์ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้นและเมื่อป้อนความถี่ให้กับ Magnetic Coil ในช่วง 15-20 Hz คานจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรงซึ่งสังเกตได้ว่าเป็นความถี่เดียวกับความถี่ธรรมชาติ อีกส่วนหนึ่งเนื่องมาจากช่วงการหยุด Oscilloscope ไม่สามารถหยุดอ่านค่าได้เที่ยงตรงทุกครั้ง ส่วนการวัดระยะการกระจัดสามารถวัดได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก การออกแบบเครื่องมือวัดส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องมีการระบุถึงช่วงที่ต้องการวัด ให้ตรงกับการใช้งานก่อน ซึ่งถ้าต้องการวัดความถี่สูงให้มีค่าใกล้เคียงกับความถี่ที่เกิดขึ้นก็ ทำการเพิ่มค่า สปริงสมมูล k หรือลดค่ามวลของวัตถุที่เป็นสปริง m ก็จะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติเพิ่มขึ้น ก็จะสามารถวัดค่าความถี่ที่มีช่วงสูงได้ดี การใช้งานจากที่มีการหาค่าคงตัวเปรียบเทียบที่คำนวณจากกราฟที่เกิดขึ้น เมื่อทำการวัดความถี่แล้วต้องนำไปคูณค่าคงตัวเปรียบเทียบ ก็จะได้ค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจริง ฉะนั้นจึงต้องมีการเทียบค่าและปรับเทียบอยู่บ่อยครั้ง เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการวัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrew Dimarogonas. Vibration for Engineers. Second Edition, Prentice Hall International Editions, 1996.
- [2] Jame W. Dally, William F. Riley, Kenneth G. McConnell. Instrumentation For Engineering Measurement. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [3] เดช พุทธเจริญทอง. "การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน" ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2539.