

การหาค่าความแกร่งพลศาสตร์และความหน่วงของยางธรรมชาติ โดยวิธีสั่นสะเทือนที่ฐาน (Finding dynamic stiffness and damping of natural rubber by base motion method)

นนทวิทย์ นวลวัฒน์ , นิพัทธ์ มาฆะสุข , พงศ์ไท จิตต์รักธรรม
และ ธรรมรัตน์ กิตติพงษ์พัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถ.ประชาธิปไตย บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร 02-4709123-4, โทรสาร 02-4709111, Email : k_thammarat@yahoo.com

Nuntawit Nualvat , Nipat Makasook , Pongthai Jitrakum
and Thammarat Kittipongpattana

Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering , King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Pracha-U-Tid Rd. Bangmod Tungkrui Bangkok 10140
Tel. 02-4709123-4, Fax 02-4709111, Email : k_thammarat@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในการทําวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความแกร่งพลศาสตร์ (Dynamic stiffness) และความหน่วง (Damping) ของยางธรรมชาติ โดยวิธีสั่นสะเทือนที่ฐาน (Based motion method) ทําการทดลองโดยนำมวลโลหะรูปทรงกระบอกมายึดไว้บนแท่งยางรูปทรงกระบอกซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนเครื่องสร้างความสั่นสะเทือน (Vibration exciter) จากนั้นสร้างความสั่นสะเทือนให้กับชุดแท่งยางและมวลโลหะแล้วใช้เครื่องยิงเลเซอร์ (Laser transducer) วัดการขจัดของมวลและใช้เครื่องมือวัดความเร่ง (Accelerometer) วัดการสั่นสะเทือนของฐานยึดแท่งยาง สัญญาณจากเครื่องมือวัดทั้งสองถูกนำมาเปรียบเทียบกันและแสดงผลออกมาเป็นกราฟฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ทางเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal analyzer) จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของวิธีอื่นและพบว่า เป็นค่าที่ยอมรับได้

Abstract

The objective of this research is to find the dynamic stiffness and damping of natural rubber by base motion method. For experimental setup, a cylindrical steel mass and rubber have been attached together and installed on the top of vibration exciter. The displacement of steel mass and rubber are measured by laser transducer and accelerometer respectively. The data from these two sensors have been analyzed by a signal analyzer in the form of frequency dependent transfer function.

Using base motion forced vibration theory and experimental transfer function, the dynamic stiffness and damping of natural rubber can be obtained and compared with other method. The result dynamic stiffness and damping can be accepted.

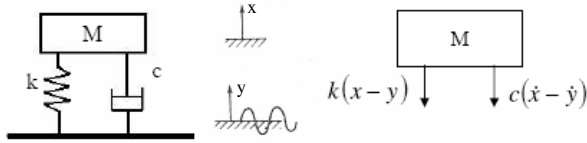
1. บทนำ

ยาง (Rubber) ได้รับความนิยมนำมาใช้เพื่อลดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและโครงสร้างต่างๆ ดังนั้นการทราบคุณสมบัติทางพลศาสตร์ (Dynamic properties) ของยางจึงเป็นสิ่งสำคัญ การหาคุณสมบัติของยางทำได้สองวิธีคือ วิธีโดยตรง (Direct method) ซึ่งใช้เซนเซอร์วัดพารามิเตอร์ต่างๆโดยตรง [1] และวิธีโดยอ้อม (Indirect method) ซึ่งใช้เซนเซอร์วัดพารามิเตอร์ต่างๆแล้วนำมาคำนวณโดยใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน [2-4]

บทความฉบับนี้นำเสนอวิธีการหาค่าความแกร่งพลศาสตร์และความหน่วงของยางธรรมชาติ โดยวิธีสั่นสะเทือนที่ฐาน (Base motion or support motion forced vibration) ซึ่งเป็นวิธีการหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของยางโดยอ้อมวิธีหนึ่ง

2. ทฤษฎี

ในหลายกรณี ระบบพลศาสตร์ (Dynamic system) เกิดการสั่นสะเทือนโดยการเคลื่อนที่ของฐานหรือตัวยึด (support) จากรูปที่ 1 ถ้าให้ y เป็นการขจัดแบบฮาร์มอนิก (Harmonic displacement) ของจุด



รูปที่ 1 แสดงระบบที่มีการสั่นสะเทือนที่ฐาน

ยึดและวัดระยะการเคลื่อนที่ (Displacement, x) ของ มวล m จากจุดอ้างอิงจุดแรก

ให้แรงที่ไม่สมดุล (Unbalanced forces) ระหว่างตัวหน่วง (damper) และสปริง (springs) และมีสมการการเคลื่อนที่ดังนี้

$$m\ddot{x} = -k(x - y) - c(\dot{x} - \dot{y}) \quad (1)$$

ทำการแทนที่

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

จะได้สมการ

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} = m\omega^2 Y \sin \omega t \quad (3)$$

เมื่อ $y = Y \sin \omega t$ และ ω คือความถี่ของการสั่นสะเทือน จะสามารถสมมุติการเคลื่อนที่ของฐานได้และเขียนสมการได้ดังนี้

$$z = Z \sin(\omega t - \phi) \quad (4)$$

$$Z = \frac{m\omega^2 Y}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}$$

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{k - m\omega^2} \quad (5)$$

เราสามารถคำนวณ $x = z + y$ โดยใช้รูปเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential form) ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก ให้

$$y = Y e^{i\omega t}$$

$$z = Z e^{i(\omega t - \phi)} = (Z e^{-i\phi}) e^{i\omega t}$$

$$x = X e^{i(\omega t - \psi)} = (X e^{-i\psi}) e^{i\omega t}$$

เมื่อนำไปแทนในสมการข้างต้นจะได้

$$Z e^{-i\phi} = \frac{m\omega^2 Y}{k - m\omega^2 + i c \omega}$$

และ

$$x = (Z e^{-i\phi} + Y) e^{i\omega t} = \left(\frac{k + i c \omega}{k - m\omega^2 + i c \omega} \right) Y e^{i\omega t} \quad (6)$$

ที่สภาวะสมดุล : แอมพลิจูดและเฟสจากสมการนี้คือ

$$\left| \frac{X}{Y} \right| = \sqrt{\frac{k^2 + (\omega c)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (7)$$

$$\tan \psi = \frac{m c \omega^3}{k(k - m\omega^2) + (\omega c)^2} \quad (8)$$

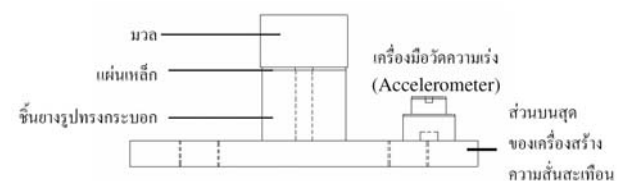
3. การทดลอง

ในการทดลองเราใช้แท่งยางธรรมชาติเกรด 50 (ส่วนผสมของยางดูได้จากตารางที่ 1) รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 mm. สูง 40 mm. มีรูเจาะตรงกลางขนาด 10 mm. ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกล้ารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความหนา 3 mm. ขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดของแท่งยาง ทั้งด้านบนและล่างโดยยึดติดกันด้วยกาวซิลิโคน จากนั้นจึงนำชุดแท่งยางและแผ่นเหล็กกล้าไปยึดติดกับเครื่องสร้างความสั่นสะเทือนและมวลเหล็กกล้ารูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของยางธรรมชาติเกรด 50 ที่ใช้ในการทดลอง

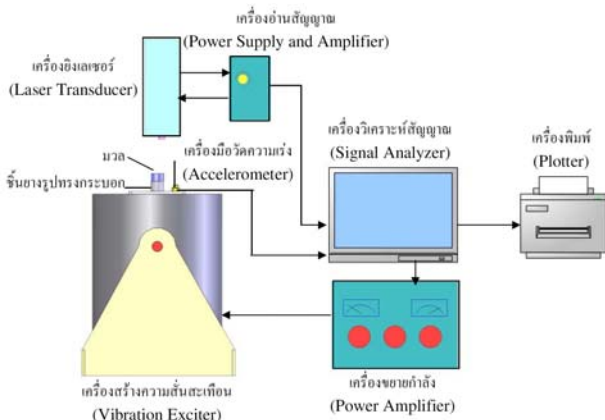
ยางพาราสุกเหลือง	2.82%
ยางพาราสุกขาว	2.82%
ซิงค์ (Zn)	5.63%
ยากันเสื่อม	2.82%
เขม่าดำ	84.5%
เทียน	1.41%

เครื่องมือที่ใช้วัดการขจัดของเครื่องสร้างความสั่นสะเทือนคือ เครื่องมือวัดความเร่ง (Accelerometer) B & K type 4384 และเครื่องมือที่ใช้วัดการขจัดของมวลเหล็กกล้าคือเครื่องยิงเลเซอร์ (Laser transducer) B & K type 3544 สัญญาณจากเครื่องมือวัดทั้งสองถูกนำมาแสดงผลในรูปของอัตราส่วนการขจัดเทียบกับความถี่ โดยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (signal analyzer) ดังแสดงในรูปที่ 3 สัญญาณความสั่นสะเทือนจากเครื่องสร้างความสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณแบบสุ่ม (Random excitation signal)

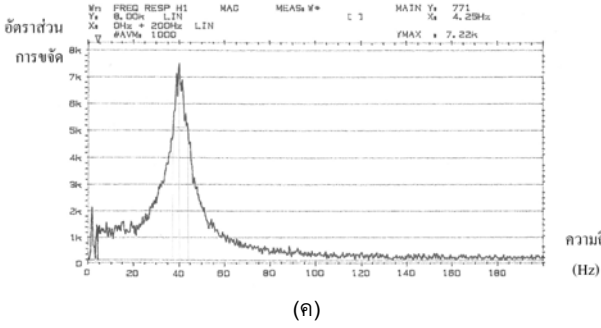
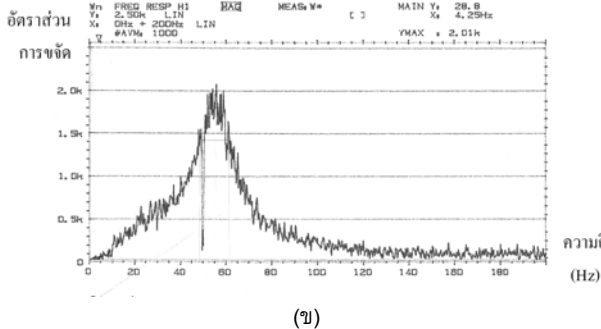
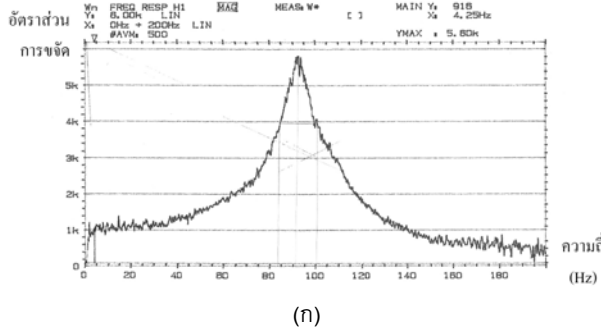


รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งแท่งยางบนเครื่องสร้างความสั่นสะเทือน สำหรับการทดสอบแบบสั่นสะเทือนที่ฐาน

AMM026



รูปที่ 3 แสดงการทดสอบแท่งยางโดยการสั่นสะเทือนที่ฐาน



รูปที่ 4 กราฟแสดงอัตราส่วนการขจัดเทียบกับความถี่ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้มวลขนาด (ก) 0.7 kg (ข) 2.2 kg (ค) 3.7 kg

จากกราฟเราสามารถคำนวณหาค่าความแกร่งพลศาสตร์ (k) ของยางได้จากสมการ

$$k = \omega_n^2 m \quad (9)$$

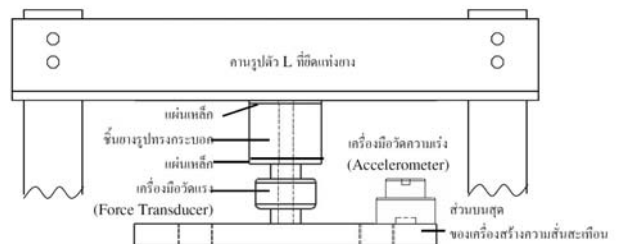
เมื่อ ω_n คือค่าความถี่ธรรมชาติของระบบซึ่งก็คือค่าความถี่เมื่ออัตราส่วนการขจัดมีค่าสูงสุดในกราฟนั่นเอง ส่วน m คือผลบวกของมวลของเหล็กกล้ารูปทรงกระบอก มวลของแผ่นเหล็กกล้าที่ติดอยู่กับแท่งยางและมวลหนึ่งในสามของแท่งยาง ส่วนค่าความหน่วงให้นำค่าความแกร่งที่คำนวณได้ไปแทนลงในสมการที่ 7 แล้วแก้สมการจะได้ค่าความหน่วงดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแกร่งและค่าความหน่วงของยางเทียบกับขนาดของมวลที่กดทับแท่งยางและเทียบกับการหาค่าโดยวิธีอื่น

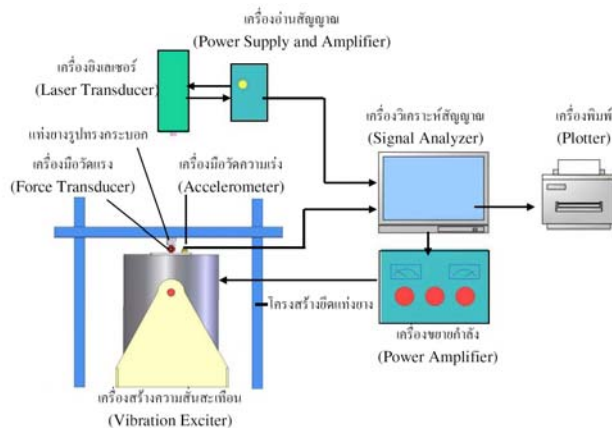
ค่าความแกร่งสถิติ (N/m)	การสั่นสะเทือนแบบฐานนิ่ง (Fixed Base Forced Vibration)		การสั่นสะเทือนที่ฐาน (Base Motion Forced Vibration)		
	ค่าความแกร่งพลศาสตร์ (N/m)	ค่าความหน่วง (Ns/m)	มวล (kg)	ค่าความแกร่งพลศาสตร์ (N/m)	ค่าความหน่วง (Ns/m)
108,388	273,389*	2,053	0.7	289,926	91
			2.2	281,677	467
			3.7	244,681	136

*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

จากตารางที่ 2 ค่าความแกร่งพลศาสตร์โดยวิธีสั่นสะเทือนที่ฐานมีค่าลดลงเมื่อมวลที่กดทับมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนค่าความหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลง เมื่อนำค่าความแกร่งไปเปรียบเทียบกับวิธีทดสอบแบบฐานนิ่ง (Fixed base forced vibration) ซึ่งเป็นวิธีโดยตรง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าค่าความแกร่งสถิติ ส่วนค่าความหน่วงมีค่าแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบแบบฐานนิ่งมีการใช้โครงสร้างเหล็กกล้าเพื่อยึดแท่งยาง ดังนั้นพลังงานส่วนหนึ่งจึงถูกโครงสร้างดูดกลืนไป



รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งแท่งยางบนเครื่องสร้างการสั่นสะเทือนสำหรับการทดสอบแบบฐานนิ่ง



รูปที่ 6 แสดงการทดสอบแท่งยางโดยการสั่นสะเทือนแบบฐานนิ่ง

[4] Thomson, D. J., Van Vliet, W. J., and Verheij, J. W., 1998. Developments of the indirect method for measuring the high frequency dynamic stiffness of resilient elements, J. Sound Vib.,213(1), pp.169-188.

4. สรุป

การหาค่าความแกร่งพลศาสตร์และความหน่วงของยางธรรมชาติโดยวิธีสั่นสะเทือนที่ฐาน มีข้อดีเหนือกว่าแบบฐานนิ่งคือไม่ต้องสร้างโครงสร้างขึ้นมายึดชิ้นยางที่ใช้ทดสอบ แต่มีข้อจำกัดเรื่องความสูงของชิ้นยางซึ่งถ้าสูงเกินไปการทดสอบจะมีความคลาดเคลื่อนค่าความแกร่งที่หาได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าค่าความแกร่งสถิตย์ ส่วนค่าความหน่วงของแบบฐานนิ่งนั้นมีค่ามากกว่าวิธีสั่นสะเทือนที่ฐานเพราะมีการดูดกลืนพลังงานของโครงสร้างที่ใช้ยึดชิ้นยาง ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงมั่นคงจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับวิธีนี้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณ ผศ.มนัสพงษ์ ชมอุตม์ ผศ.พิชิต ฤกษ์นันท์ และรศ.สุรเชษฐ์ ชูติมา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

6. หนังสืออ้างอิง

- [1] Nadeau, S., and Champoux, Y., 2000. Application of the direct complex stiffness method to engine mounts, Exp Techniques, 24(3): pp.21-25.
- [2] Verheij, J. W., 1986. Multi-path sound transfer from resiliently mounted shipboard machinery, Institute of Applied Physics, TNO-TH.
- [3] Fenander, A., 1997. Frequency dependent stiffness and damping of railpads, Proc. Inst. Mech. Eng.,211(Part F) , pp.51- 62.