

การเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับเพื่อลดความสั่นสะเทือนในคาน

Improve of the Constraining Damping Layer Performance to suppress beam vibrations

จักร จันทลักขณา

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมค่านวนขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ดุสิต กรุงเทพฯ 10800

โทร. 02-9132500-24 ต่อ 8323, 8308, E-Mail address: chak@kmitnb.ac.th

Chak Chantalakhana

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, KMITNB

Dusit Bangkok 10800.

Tel. 02-9132500-24 Ext. 8323, 8308, Fax. 02-5870026 Ext. 111

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการติดแผ่นบังคับในรูปแบบต่างๆที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับ ซึ่งข้อดีของการลดระดับความสั่นสะเทือนด้วยแผ่นชั้นการหน่วงจำพวกวัสดุ elastomer และ viscoelastic นั้นคือไม่สามารถทำการลดความสั่นสะเทือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ณ ที่ความถี่ต่ำ โดยในการศึกษานี้ได้พิจารณาความถี่ธรรมชาติเป็นโครงสร้าง วัสดุ viscoelastic ถูกใช้เป็นแผ่นชั้นการหน่วงโดยด้านบนของแผ่นชั้นการหน่วงถูกบังคับให้เกิดการเฉือนในเนื้อวัสดุด้วยแผ่นบังคับแสดงเลสบาง เพื่อเกิดการหน่วงในแนวเฉือนขึ้น โดยหลายรูปแบบของการติดแผ่นบังคับถูกศึกษาโดยการเขียนแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ด้วยภาษา FORTRAN ซึ่งจำลองคานที่มีการติดแผ่นชั้นการหน่วงและแผ่นบังคับ โดยรูปร่างการสั่นสะเทือน (mode shape) ถูกใช้เพื่อออกแบบวิธีการติดแผ่นบังคับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหน่วง โดยจากการคำนวณทางไฟไนต์อีลิเมนต์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าตำแหน่งการติดแผ่นบังคับที่สามารถเพิ่มสัมประสิทธิ์การหน่วงใน โมดการสั่นสะเทือนแรกๆได้คือตำแหน่งที่เกิด curvature มาก ซึ่งการติดแผ่นชั้นการหน่วงที่ให้มีประสิทธิภาพในการลดความสั่นสะเทือนในทั้งสี่โมดแรกดีที่สุดคือใช้การแบ่งแผ่นบังคับตลอดความยาวคานออกเป็น 2 ส่วน และผลการทดสอบได้ถูกดำเนินการเพื่อยืนยันความถูกต้องจากการคำนวณเชิงตัวเลขนี้

Abstract

Effects of various constraining layer placements to performance of the constrained damping layer have been studied. The major disadvantage of vibration suppression with the damping layer, for example, elastomer and viscoelastic materials, is the lower effectiveness at the low frequencies. The aluminum cantilever beam is used as the host structure to be studied. The damping and constraining layers are viscoelastic material and

stainless steel patches, respectively. The constraining layer is functioned to provide shear strain in the damping layer such that high damping can be achieved. The Finite Element models are formulated in the FORTRAN code. The models of various placement configurations of the constraining layers on the damping layer have been constructed. Mode shapes of the host structure are utilized for designing the configurations. The simulated results from the Finite Element models are found that the constraining layer should be placed on the location with high curvature. The most effective configuration, for suppressing beam vibrations of the first four modes, is the two portion configurations of the constraining layer. The experimental results have been compared to validate the simulated results.

1. บทนำ

แผ่นชั้นการหน่วงนั้นถูกใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อลดความสั่นสะเทือนในโครงสร้างที่มีผนังบาง โดยปัจจุบันรูปแบบสำเร็จรูปที่ถูกใช้มากคือการติดแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับ เช่น damping tape ซึ่งทำให้ใช้งานได้สะดวกและให้ประสิทธิภาพในการลดความสั่นสะเทือนของโครงสร้างผนังบางได้ดีโดยที่ไม่ได้เพิ่มน้ำหนักให้แก่โครงสร้างมากนัก อย่างไรก็ตามรูปแบบวิธีการติดตั้งแผ่นชั้นการหน่วงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการลดความสั่นสะเทือนนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้างนั้นๆ ด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อทำการติดแผ่นชั้นการหน่วงให้ได้ประสิทธิภาพในการลดความสั่นสะเทือนได้มากที่สุด โดยเฉพาะ ณ ความถี่ต่ำของการสั่นสะเทือนที่มีระดับความสั่นสะเทือนที่สูงและมักพบว่าการควบคุมความสั่นสะเทือนด้วยแผ่นชั้นการหน่วงมักไม่เพียงพอประสิทธิภาพที่ดี ณ ความถี่ต่ำ แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ถูกเขียนขึ้นสำหรับพิจารณาความถี่ธรรมชาติที่มีการติดแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับรูปแบบต่างๆ เพื่อทำนายประสิทธิภาพของแผ่นชั้นการหน่วงตามที่ได้วิเคราะห์ในการ

เพิ่มประสิทธิภาพ และผลการทดลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแผ่นชั้นการหน่วงที่ได้จากแบบจำลองเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้อง

2. การประยุกต์ใช้แผ่นชั้นการหน่วง

วิธีการเพิ่มความสามารถในการปล่อยพลังงานจากความสั่นสะเทือนที่กระทำกับโครงสร้างออกไป โดยผ่านการหน่วง (damping) ของโครงสร้างหนึ่งบางเช่น แผ่นเรียบบางและคานนั้น วิธีการเพิ่มการหน่วงให้กับโครงสร้างในประเภทนี้ที่นิยมกันคือ การติดแผ่นชั้นการหน่วง (damping treatment) ที่ผนังโครงสร้าง วิธีการอย่างง่ายคือการใช้แผ่นชั้นการหน่วงซึ่งเป็นวัสดุจำพวก elastomer หรือวัสดุ viscoelastic แปะติดกับผนังโครงสร้าง ซึ่งขณะที่โครงสร้างอยู่ภายใต้ภาวะดัดจากความสั่นสะเทือน แผ่นชั้นการหน่วงจะเกิดการยืดและหดตัวตามแนวแกนแผ่นชั้น ซึ่งการหน่วงแบบนี้เป็นแบบ extensional damping ดังแสดงในรูปที่ 1 ข้อจำกัดของชั้นวัสดุการหน่วงที่ใช้ในวิธีนี้จะทำให้น้ำหนักของโครงสร้างเพิ่มขึ้นมากถึงอีก 30 เปอร์เซ็นต์ [1] เพื่อแก้ปัญหาหรือข้อจำกัดนี้ แผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับ (constrained damping layer) จึงถูกพิจารณา ซึ่งเป็นการเพิ่มแผ่นบังคับซึ่งมีความแข็งตึงสปริงสูง เพื่อบังคับให้แผ่นชั้นการหน่วง ขณะภายใต้ภาระการดัดของโครงสร้าง เกิดการเปลี่ยนรูปแบบเฉือนขึ้นในเนื้อวัสดุ (shear damping) ดังรูปที่ 2 ซึ่งวิธีการนี้พบว่า [2] ถ้าเทียบกับน้ำหนักที่เท่ากันของชั้นแรกแล้ว จะให้สัมประสิทธิ์การหน่วงที่มากกว่า อีกทั้งเมื่ออัตราส่วนความหนาของแผ่นชั้นความหน่วงต่อความหนาโครงสร้างเข้าใกล้ค่าศูนย์ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การหน่วงเฉพาะโมดการสั่นต่อสัมประสิทธิ์ความหน่วงของแผ่นชั้นการหน่วง จะไม่เข้าใกล้ศูนย์แต่จะเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เป็นที่มาของการใช้วิธีการนี้ในทางปฏิบัติ โดยใช้แผ่นชั้นการหน่วงที่บางมากถึง 0.002 นิ้ว (0.051 มม.) ให้ที่เรียกว่าเป็นเทปการหน่วง (damping tape)



รูปที่ 2 แผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่ติดกับโครงสร้าง

แต่โดยทั่วไปแล้ววิธีการประยุกต์ใช้แผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับกับโครงสร้างหนึ่งบางจะมีประสิทธิภาพในการลดระดับความสั่นสะเทือนที่ความถี่สูงได้ดี แต่การจัดการกับความถี่ต่ำนั้น ประสิทธิภาพจะด้อยกว่าเนื่องจากกลไกของแผ่นชั้นการหน่วง จะเคลื่อนที่ตามการดัดไปมาของโครงสร้างได้ด้วยคุณสมบัติวัสดุ viscoelastic ที่อ่อนนุ่ม ความถี่ต่ำ ก่อปรทั้งระดับความสั่นสะเทือน ณ ความถี่ต่ำจะมีขนาดมากเนื่องจากเป็นคลื่นยาว ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาคือการเข้าร่วมของการ

ควบคุมแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับ โดยการบังคับแผ่นบังคับแบบกระตุ้นด้วยวัสดุพิโซอิเล็กทริก (piezoelectric) [3] ซึ่งวิธีการนี้สามารถจัดการกับความสั่นสะเทือน ณ ความถี่ต่ำของโครงสร้างได้ดี แต่ต้องการการเข้าร่วมกับอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น แอมพลิฟายเออร์ และการประมวลผลดิจิทัล เป็นต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้จะนำเสนอแนวทางในการจัดรูปแบบ (configuration) ของการติดแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่จะมีผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การหน่วง ซึ่งครมยารของแผ่นชั้นการหน่วงที่เหมาะสมจะให้สัมประสิทธิ์การหน่วงที่ดีที่สุด [4] วิธีการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างที่มีแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับ ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อศึกษาทางการทดลองเชิงตัวเลข (numerical experiments) และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากชุดทดสอบที่สร้างขึ้น

3. แบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

อีลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมถูกใช้เพื่อจำลองคานอื่นที่ใช้เป็นโครงสร้างทดสอบในงานวิจัยนี้ ซึ่งแต่ละอีลิเมนต์จะมี 3 ชั้น คือ โครงสร้าง แผ่นชั้นการหน่วงและแผ่นบังคับ ตามลำดับ โดยโครงสร้างและแผ่นบังคับนั้นเป็นไปตามทฤษฎีของคาน ส่วนแผ่นชั้นการหน่วงจะถูกกระทำภายใต้การเฉือนจากโครงสร้างและแผ่นบังคับที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน โดยแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ถูกพัฒนาต่อมาจากแบบจำลองที่ใช้กับแผ่นเรียบบาง [3] แต่เพิ่มวิธีการที่สามารถพิจารณาแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่ถูกแบ่งเป็นช่วงความยาวเป็นช่วงๆได้ โดยการเพิ่มระดับความอิสระ ณ จุดรอยต่อของแผ่นบังคับจากเดิมที่แต่ละจุด node ของอีลิเมนต์สี่เหลี่ยมจะมี 7 ระดับความอิสระไปเป็น 9 ระดับความอิสระ โดย 2 ระดับความอิสระที่เพิ่มเข้ามาเป็นระยะขจัดในแนวแกนระนาบของแผ่นบังคับที่อยู่ติดกันหรือดังที่เขียนเป็นระยะขจัดที่แต่ละจุด node ได้เป็น

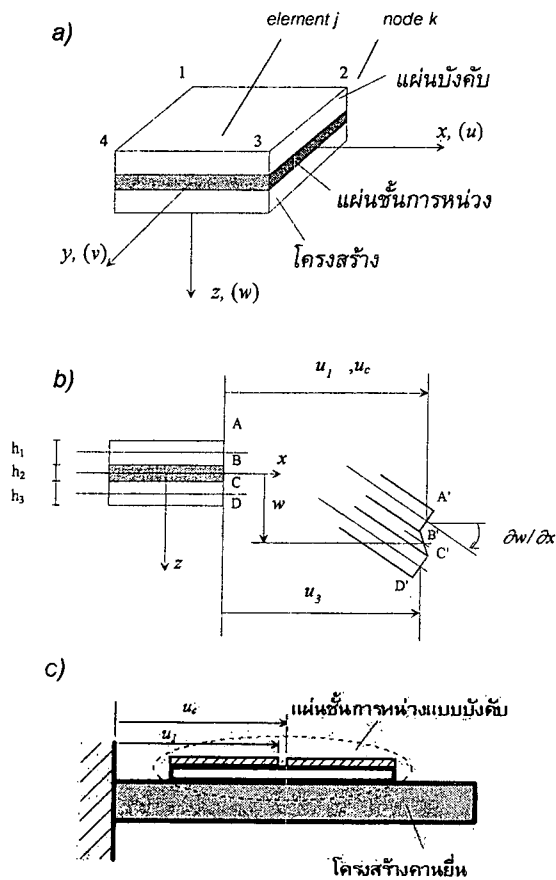
$$\Delta_j = \left\{ u_{1k}, v_{1k}, u_c, v_c, u_{3k}, v_{3k}, w_k, \frac{\partial w}{\partial y_k}, \frac{\partial w}{\partial x_k} \right\}^T$$

$$, k \equiv 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

และได้สมการการเคลื่อนที่

$$M_j \ddot{\Delta}_j + \bar{K}_j \Delta_j = F_j \quad (2)$$

โดยที่แต่ละเทอมของระยะขจัดดังอธิบายในรูปที่ 3 ที่ซึ่ง v_k เป็นระยะขจัดแนวแกน y โดยโค้ดโปรแกรมภาษา FORTRAN ถูกเขียนขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ โดยกลไกการหน่วงเกิดจากโมดูลัสการเฉือนของแผ่นชั้นการหน่วงที่เป็นค่าเชิงซ้อน $G(1 + j\eta)$ โดย G เป็นสัมประสิทธิ์การสะสมพลังงาน ส่วนเทอม η เป็นค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (loss factor)



รูปที่ 3 a) อิลิเมนต์สี่เหลี่ยม b) kinematics ของแผ่นการหน่วง c) คาน
ยี่นที่มีแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับติดเป็นช่วงๆ

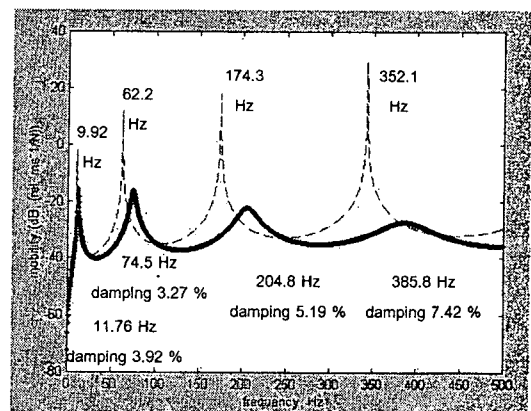
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางวัสดุของคาน แผ่นชั้นการหน่วง และแผ่นบังคับ

ชนิดวัสดุ	ค่า Young's Modulus (GPa)	ค่า Modulus of Elasticity (GPa)	ค่าสัมประสิทธิ์การหน่วง (loss factor)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
คานอลูมิเนียม	45	-	-	2657
Viscoelastic	1.361	0.9135	1.06	1000
เหล็กกล้าไร้สนิม	200	-	-	7000

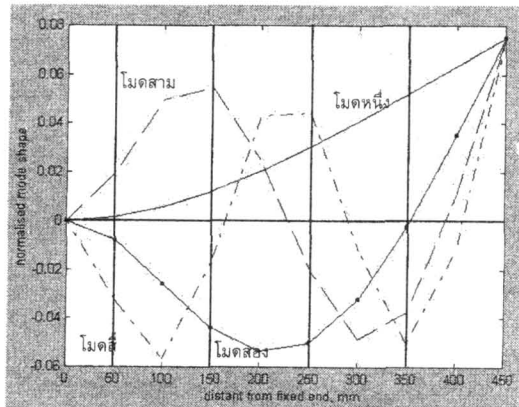
4. รูปแบบการติดตั้งและผลการทดลองเชิงตัวเลข

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาจากการพิจารณาแบบการติดตั้งแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับกับคานยี่นในรูปแบบต่างๆ โดยที่ให้ชนิดของวัสดุและความหนาของวัสดุต่างๆคงที่ไว้ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น [4] แนะนำว่า ถ้าแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่ยาวเกินไป จะทำให้เกิดความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นใกล้กับทางด้านปลายของแผ่นบังคับจะเกิดเป็นเกือบจะเท่ากับความเค้นแนวแกนของคานที่เป็นโครงสร้างหลัก ทำให้ไม่เกิดการเฉือนในชั้นการหน่วงที่อยู่ไกลจากปลายแผ่นบังคับด้วย เป็นผลให้สัมประสิทธิ์ความหน่วงลดน้อยลง แต่ถ้าความยาวของแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับสั้นเกินไปก็จะไม่ก่อให้เกิดการบังคับที่เป็นผลการเฉือนในชั้นการหน่วง เพราะฉะนั้นจะมีขนาดความยาวแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่เหมาะสมในการพิจารณาหนึ่งๆ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ

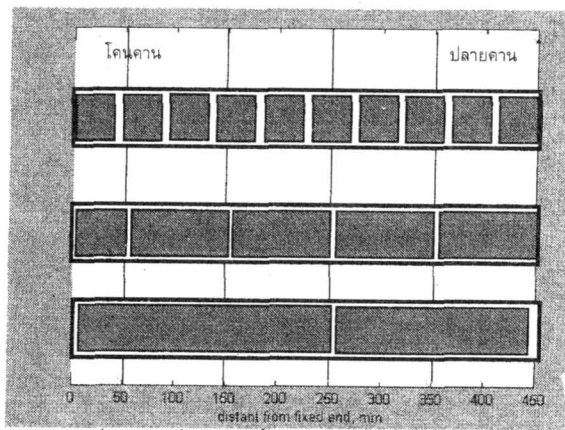
สัมประสิทธิ์ความหน่วงจะขึ้นอยู่กับรูปร่างการสั่นสะเทือน ณ ความถี่รีโซแนนซ์ด้วย โดยตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดแผ่นชั้นการหน่วง คือตำแหน่งที่เกิดความเครียด (strain) มาก ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิด curvature มากที่สุดนั่นเอง [5] โดยในขั้นตอนแรกนี้จะทำการตรวจสอบรูปร่างการสั่นสะเทือนที่ความถี่ธรรมชาติ (ที่เกิดปรากฏการณ์รีโซแนนซ์) ของคานที่ไม่มีแผ่นชั้นการหน่วงก่อน จากนั้นจะเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขของคานที่ถูกติดแผ่นชั้นการหน่วงตลอดทั้งคานว่า สัมประสิทธิ์การหน่วงของแต่ละโมด (modal loss factor) เป็นอย่างไร จากนั้นจึงทำการออกแบบวิธีการแบ่งความยาวชั้นการหน่วงแบบบังคับที่สามารถปรับปรุงสัมประสิทธิ์การหน่วงได้ คานอลูมิเนียมขนาด 25.4 มม. X 450.0 มม. X 3.0 มม. ถูกยึดที่ปลายคานแบบอยู่กับที่ แผ่นชั้นการหน่วงที่ใช้มีความหนา 0.051 มม. (3M ISD112) ส่วนแผ่นบังคับเหล็กกล้าหนา 0.3 มม. ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุแสดงในตารางที่ 1 แบบจำลองทางไฟไนต์อิลิเมนต์ของคานยี่นถูกแบ่งออกเป็น 9 อิลิเมนต์ตามแนวยาว (ยกเว้นกรณีที่มีการแบ่งแผ่นบังคับออกเป็น 10 ส่วน) รูปที่ 4 แสดงฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency Response Function, FRF) ที่ทำการใส่แรงตำแหน่ง 50 มม. จากจุดยึดและวัดความเร็วการตอบสนองที่ปลายคานของคานยี่นเปล่า กับคานยี่นที่ติดด้วยแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับตลอดทั้งคาน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การหน่วงของแต่ละโมดการสั่นสะเทือนดังแสดงในรูป โดยที่เห็นว่า ณ ความถี่ต่ำ มีสองโมดการสั่นแรก (จากสี่โมดการสั่นแรกที่ถูกแสดง) จะไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรูปที่ 5 แสดงรูปร่างการสั่นสะเทือนที่แต่ละความถี่ธรรมชาติซึ่งโมดที่หนึ่งและสองเป็นคลื่นยาวซึ่งทำให้การเฉือนในชั้นการหน่วงเกิดขึ้นน้อย ต่างกับที่ความถี่สูงที่รูปร่างการสั่นสะเทือนเป็นคลื่นสั้นทำให้เกิดการตัดของคานเป็นช่วงๆ เป็นผลให้มุมเฉือนในชั้นการ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบ FRF ที่ได้จากการคำนวณของคานที่ไม่มี (เส้นประ) และมี (เส้นจุด) การติดแผ่นชั้นการหน่วง



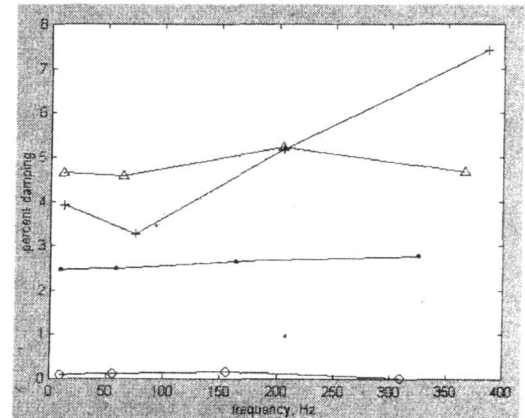
รูปที่ 5 รูปร่างการสั่นสะเทือนในสี่โมดแรก

รูปที่ 6 คานที่ติดแผ่นชั้นการหน่วงที่แบ่งส่วนแผ่นบังคับ
แบบแบ่ง 2 ส่วน, 5 ส่วน และ 10 ส่วน

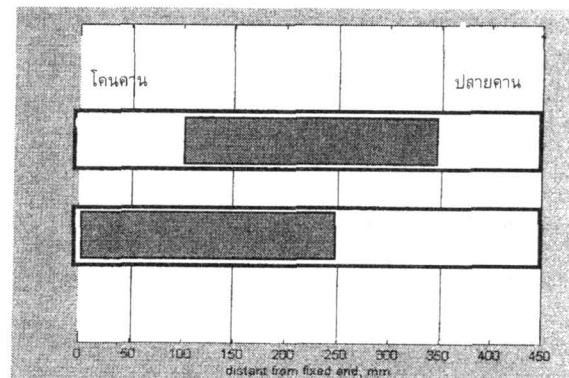
หน่วงเป็นช่วงๆ เช่นกัน เพราะฉะนั้นการที่จะทำให้ชั้นการหน่วงสามารถดูดซับความสั่นสะเทือนของคลื่นยาวได้ดีคือการแบ่งแผ่นบังคับการหน่วงเป็นช่วงๆ ให้มูมเนียนในแผ่นชั้นการหน่วงไม่ถูกทำให้ลดลงจากคลื่นยาวที่ติดด้านการเหนี่ยวนำในให้น้อยลง โดยรูปแบบการศึกษาแรกจะทำการพิจารณาจากทั้งสามรูปแบบการติดตั้งแผ่นชั้นการหน่วงต่อไปนี้เพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่ติดตลอดทั้งคาน โดยทำการแบ่งความยาวแผ่นบังคับเป็น 2 ส่วน 5 ส่วน และ 10 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งรูปแบบที่แบ่ง 2 ส่วนจะตรงกับ curvature ที่มากของโมดที่หนึ่งสองและสามและด้านปลายคานจะไม่มีการตัดตัวจากโมดเหล่านี้มากนักและสัมประสิทธิ์ความหน่วงของแต่ละโมดของแต่ละรูปแบบการติดตั้งแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่า แบบแบ่ง 2 ส่วน โมดที่หนึ่งสอง และ สาม จะถูกปรับปรุงสัมประสิทธิ์การหน่วงให้ดีขึ้น แต่โมดที่สี่นั้นด้อยลงแต่ไม่มากนัก รูปแบบการติดตั้งโดยแบ่ง 5 ส่วนนั้นพบว่าสัมประสิทธิ์การหน่วงด้อยลงในทุกโมดเนื่องจากแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับที่สั้นเกินไปไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในชั้นการหน่วง ส่วนรูปแบบการติดตั้งแบบแบ่ง 10 ส่วน แทบจะไม่ก่อให้เกิดการหน่วงขึ้นในคานเลย

ในรูปแบบที่สองที่จะทำการศึกษาคือ การติดตั้งแบบบางส่วนโดยการใช้อิมมูเนียนแผ่นชั้นการหน่วงความยาวเท่ากันแต่จะติดตำแหน่งต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 คือติดตั้งชั้นการหน่วงใกล้โคนคานที่มี curvature มาก ณ โมดการสั่นสะเทือนที่หนึ่งและสอง กับกรณีติดตั้งตรงกลางคาน โดยผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการ

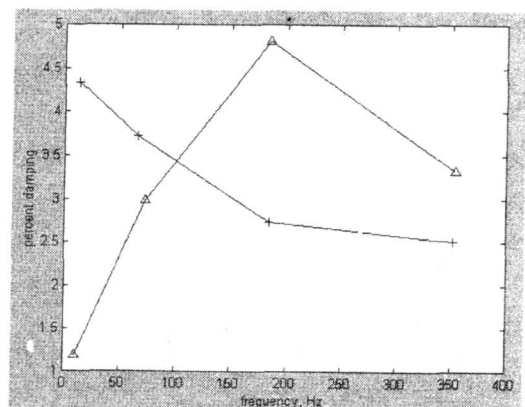
ติดใกล้โคนคานจะให้สัมประสิทธิ์การหน่วงของสองโมดแรกดีกว่า และผลจากการคำนวณทั้งหมดนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองปฏิบัติการ



รูปที่ 7 ผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์การหน่วงเมื่อทำการแบ่งแผ่นบังคับของสี่โมด: + ไม่มีการแบ่ง, Δ แบ่ง 2, • แบ่ง 5 และ o แบ่ง 10 ส่วน



รูปที่ 8 คานที่ติดแผ่นชั้นการหน่วงบางส่วนโดยติดใกล้โคนคานและติดกึ่งกลางคาน

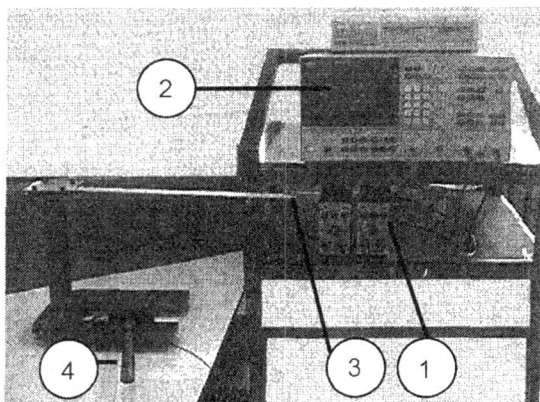


รูปที่ 9 ผลการคำนวณของการหน่วงเมื่อติดตั้งแผ่นชั้นการหน่วงบางส่วน + ติดใกล้โคนคาน, Δ ติดกึ่งกลางคาน

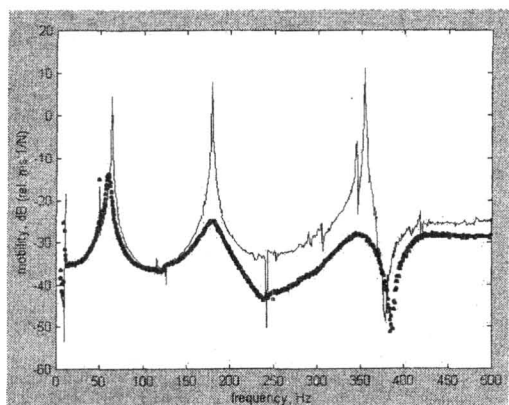
5. ชุดทดสอบและผลการทดสอบ

ชุดทดสอบคานยันที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย force

gauge, accelerometer ชุด charge amplifier และ dynamic signal analyzer โดยจุดที่ใส่แรงคือ ตำแหน่ง 50 มม.จากโคนคานและวัดความเร็วการตอบสนองที่ปลายคาน โดยพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างคานเปล่ากับคานยี่นที่ติดแผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับแบบแบ่ง 2 ส่วน ซึ่งเป็นรูปแบบที่ให้ค่าการหน่วงในทุกๆโมดโดยเฉลี่ยดีที่สุดโดยเปรียบเทียบ FRF จากการทดลองปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งจะเห็นว่าการทดสอบให้ค่าความถี่ธรรมชาติต่ำกว่าผลการคำนวณด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์เนื่องจากจุดยึดอาจไม่ได้ fixed จริงยังมีความเป็นสปริงอยู่ และระดับความหน่วงกรณีมีแผ่นชั้นการหน่วงให้ค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่ไม่เท่ากันทีเดียวเนื่องจากในความเป็นจริงสัมประสิทธิ์การหน่วงในแผ่นชั้นการหน่วง ทุ จะแปรไปตามความถี่และอุณหภูมิด้วย ซึ่งในแบบจำลองได้ใช้ค่า ทุ ที่คงที่ ณ ความถี่ค่ากลาง 200 Hz ของช่วงความถี่ที่สนใจพิจารณา ตารางที่ 2 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงจากผลการทดสอบในแต่ละกรณีที่ทำ การคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งวิธีการหาอัตราส่วนความหน่วงใช้วิธีอย่างง่าย คือเทคนิค half power [6] ซึ่งเหมาะสำหรับเปอร์เซ็นต์การหน่วงตั้งแต่ 1% - 5% แต่ก่อนโลมใช้ได้ในช่วงนี้เนื่องจากมีค่าไม่เกินช่วงมากนัก



รูปที่ 10 ชุดคานยี่ห้อที่ใช้ทดสอบ 1. charge amplifier, 2. dynamic analyzer, 3. accelerometer และ 4. impact hammer



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบผลการทดลองกรณีไม่ติดแผ่นชั้นการหน่วง และติดแผ่นชั้นการหน่วงแบบแบ่ง 2 ส่วน

6. સરૂપ

แผ่นชั้นการหน่วงแบบบังคับเมื่อถูกใช้กับโครงสร้างผนังบาง
สามารถที่จะถูกปรับปรุงประสิทธิภาพในการลดความสั่นสะเทือน ใน
ความถี่ต่ำได้ โดยทำการพิจารณาจากรูปร่างการสั่นสะเทือนซึ่งสัมพันธ์
กับ *curvature* ของโมดการสั่นสะเทือน โดยจำนวนช่วงความยาวของ
แผ่นบังคับในแผ่นชั้นการหน่วงที่แบ่งออกเป็นช่วงๆจะต้องอยู่ในช่วงที่
เกิดมูมเนชันในโมดที่ต้องการปรับปรุงมาก และผลจากการทดสอบนั้น
สอดคล้องกับการทำนายจากผลการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณ
สิทธิเดช ปลั่งวุฒิกุล บริษัท 3M (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความ
อำนวยความสะดวกในการหาวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. I. G. Jones, 1995 "Shock and Vibration Handbook", Chapter 37, Editor: C. M. Harris, McGraw-Hill, New York.
- [2] D. Ross, E. E. Ungar and E. M. Kerwin, Jr., 1959 , "Structural Damping", Sec. 3, The American Society of Mechanical Engineers.
- [3] จักร จันทกษณา, 2543, "การควบคุมความสั่นสะเทือนของแผ่นเรียบบางโดยประยุกต์ใช้แผ่นชั้นการหน่วงที่ถูบบังคับแบบกระตุ้น" สัมมนาวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, โรงแรมโนโวเทล เชียงใหม่
- [4] R. Plunkett and C. T. Lee, 1970, "Length optimization for constrained viscoelastic layer damping.", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 48, No. 1 (part 2), pp 150-161.
- [5] B. Azvine, G. R. Tomlinson and R. J. Wynne, 1995, "Use of active constrained layer damping for controlling resonant vibration.", Smart Materials and Structures, Vol. 4, No. 1, pp 1-6.
- [6] D. J. EWINS, 1984, "Modal testing :theory and practice", Research Studies Press Ltd., Herts.

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณเชิงตัวเลขและผลจากการทดสอบของค่าความถี่ธรรมชาติและสัมประสิทธิ์การหน่วง

รูปแบบวิธีติดตั้งการหน่วง	ความถี่ธรรมชาติ (Hz)		สัมประสิทธิ์การหน่วง (percent damping ratio, ζ)	
	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง
1. ไม่ติด โมดที่หนึ่ง	9.92	9.98	-	0.754
โมดที่สอง	62.2	63.1	-	0.394
โมดที่สาม	174.3	179.4	-	0.139
โมดที่สี่	352.1	354.1	-	0.169
2. ติดตลอดทั้งคาน	11.76	11.29	3.92	3.46
	74.5	71.28	3.27	3.96
	204.8	196.3	5.19	6.19
	385.8	374.9	7.42	7.29
3. แบ่งแผ่นบังคับ 2 ส่วน	11.27	9.60	4.65	5.47
	63.5	60.2	4.58	3.78
	204.3	181.8	5.23	6.35
	366.1	341.8	4.66	5.87
4. แบ่งแผ่นบังคับ 5 ส่วน	9.88	9.35	2.46	2.41
	62.5	59.2	2.49	1.61
	175.5	166.1	2.66	2.28
	343.0	338.0	2.78	2.93
5. แบ่งแผ่นบังคับ 10 ส่วน	8.83	9.20	0.0982	1.087
	55.3	58.5	0.1208	1.282
	155.1	164.1	0.1687	1.249
	309.6	325.1	0.0291	1.046
6. ติดบางส่วนใกล้โคนคาน	12.79	11.89	4.33	4.01
	65.6	64.7	3.72	3.40
	185.2	187.5	2.74	2.72
	352.1	363.6	2.51	2.69
7. ติดบางส่วนกึ่งกลางคาน	10.21	10.09	1.184	1.531
	73.2	64.2	2.98	5.29
	184.9	173.1	4.81	3.06
	354.1	356.0	3.32	2.15