

การประยุกต์ใช้แถบยางพาราอัดแรงในการลดการสั่นของคานคอนกรีตอัดแรง

The application of pre-tensioned rubber pads in vibration suppression of prestressed concrete beams

นครินทร์ ขาญณรงค์^{1,*} และ กิตติภูมิ รอดสิน²

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

² ศูนย์วิจัยพลศาสตร์โครงสร้างและการจัดการเมือง (CESD), วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: s6403062810021@email.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประยุกต์ใช้แถบยางพาราอัดแรงมาใช้ในการลดระยะเวลาการสั่นของคานคอนกรีตอัดแรงโดยการเพิ่มอัตราส่วนความหน่วง ในงานวิจัยนี้จะนำยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ มาติดตั้งบริเวณด้านล่างและกึ่งกลางคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ ที่มีความยาวช่วงคาน 20 เมตร การทดสอบจะทำโดยใช้ก้อนคอนกรีตขนาด 50x80x40 เซนติเมตร มากระแทกเพื่อหาอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) ของคาน โดยการทำทดสอบจะมีทั้งหมด 4 กรณี โดยกรณีที่ 1 จะไม่เสริมแถบยางพาราอัดแรง และกรณีที่ 2 3 และ 4 จะเสริมยางพาราจำนวน 1 แผ่น 3 แผ่น และ 5 แผ่นตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า คานเดิมจะมีอัตราส่วนความหน่วงอยู่ที่ระดับ 1.34% เมื่อเสริมแถบยางพาราจำนวน 1 แผ่น อัตราส่วนความหน่วงของคานมีค่าเท่ากับ 1.68 % และเมื่อเสริมแถบยางพารา 3 แผ่น และ 5 แผ่น อัตราส่วนความหน่วงจะมีค่าเท่ากับ 1.99% และ 3.31% ตามลำดับ จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า แถบยางพาราอัดแรงสามารถช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับคานคอนกรีตอัดแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอัตราส่วนความหน่วงจะเพิ่มได้มากถึงสองเท่า เมื่อใช้แถบยางพาราจำนวน 5 แผ่นการประยุกต์ใช้แถบยางพาราอัดแรงในการลดการสั่นของคานสะพานคอนกรีตอัดแรงที่มีปัญหาการสั่นสะเทือนจากการจราจรควรมีการศึกษาในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: แถบยางพาราอัดแรง; การสั่นไหวของคาน; อัตราส่วนความหน่วง

Abstract

The main objective of this research is to use the rubber pads to increase damping ratio of the beam in order that the beam vibration should be eventually suppressed. In this study, the rubber pad was securely attached to underneath of the prestressed 20 meter in length I beam. The vibration test was carried out by using a concrete cube 50x80x40 cm to impact the beam and the results were used to calculate the damping ratio.

There are in total 4 test schemes. The first scheme is the vibration test of the beam without rubber pad strengthening. The second third and fourth scheme are the beam with 1 3 and 5 rubber pads respectively. The test results showed that the PC I beam has damping ratio around 1.34%. After strengthening with single rubber pad, the damping ratio of the beam is 1.68%. When 3 and 5 rubber pads were used, the damping ratio of the beam is 1.99 and 3.31 respectively. The test results revealed that the prestress rubber pads could help to increase damping ratio up to twice when 5 rubber pads were used. The application of rubber pads to suppress real bridge vibration should be further study.

Keywords: Prestress rubber pads; Beam Vibration; Damping Ratio

1. บทนำ

คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I-Girder) เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพานข้ามแยก หรือแม่น้ำที่มีความยาวช่วงสะพาน 18 – 25 เมตร สะพานเหล่านี้ เป็นสะพานที่มีอัตราส่วนความหน่วงค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วงประมาณ 1% - 2% และอาจเกิดปัญหาการสั่นสะเทือนจากการใช้งาน การลดปัญหาการสั่นของสะพานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบโครงสร้างสะพานโดยคำนึงถึง การสั่นพ้องจากแรงกระทำจากการใช้งาน [1] ซึ่งไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสะพานที่มีอยู่เดิมได้ สำหรับสะพานที่มีอยู่เดิมการลดการสั่นของสะพานมีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้มวลทวนวง (Tuned Mass Damper) [2] ในการช่วยสลายพลังงาน การเพิ่มวัสดุประกอบเข้ากับโครงสร้างเดิม (Composite Structure) [3] เพื่อปรับเปลี่ยนความแข็งแกร่งและเพิ่มการสลายพลังงาน หรือการสลายพลังงานโดยใช้ Magnetorheological (MR) damper [4] ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีความซับซ้อน วิธีที่กล่าวมาทั้งหมดโดยมากจะเป็นวิธีการที่ใช้เทคนิคขั้นสูง และการติดตั้งต้องทำโดยนักวิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญ

เท่านั้น การลดการสั่นของสะพานอีกวิธีหนึ่งคือการใช้ยางพาราช่วยในการสลายพลังงาน จากงานวิจัยของ Roschke และคณะ [5] ในปี ค.ศ. 1990 พบว่ายางพาราเป็นวัสดุที่สามารถดูดซับพลังงานได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะนำยางพาราประยุกต์ใช้ในการสลายพลังงานจากการสั่นสะเทือนของคานคอนกรีตรูปตัว (I-Girder) ในการวิจัยนี้ จะมีการออกแบบระบบการยึดและยึดยางพาราเข้ากับโครงสร้างคานรูปตัวโอเดิม เพื่อให้สามารถติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงเข้ากับโครงสร้างเดิมได้โดยง่าย ประสิทธิภาพของแถบยางพาราอัดแรงในการเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงของคาน จะทำประเมินโดยการตรวจวัดการสั่นของคาน โดยจะทำให้คานเกิดการสั่น โดยใช้ก้อนคอนกรีตกระแทกบริเวณกึ่งกลางคาน เพื่อให้คานเกิดการสั่นแบบอิสระ (Free Vibration) และทำการคำนวณอัตราส่วนความหน่วงโดยวิธี Half power bandwidth ซึ่งวิธีนี้ใช้เพื่อกำหนดอัตราส่วนความหน่วงจากช่วงความถี่ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ [6] เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแถบยางพาราอัดแรงในการเพิ่มความหน่วงของคาน รายละเอียดการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแถบยางพาราอัดแรงจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

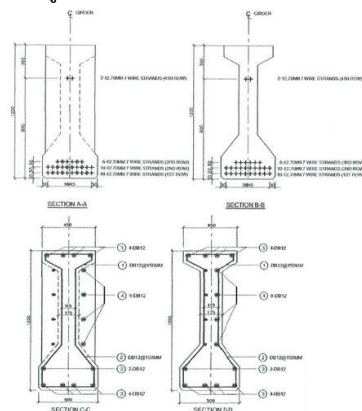
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างคานที่ใช้ทดสอบ

ในการทดสอบโครงสร้างคานรูปตัวโอเดิมแสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยจำลองความยาว 20 เมตร โดยอ้างอิงตามแบบมาตรฐานการก่อสร้างสะพานรูปตัวโอ ของกรมทางหลวง [7] จำนวน 1 คาน โดยรายละเอียดหน้าตัดคานคอนกรีตอัดแรง (I-Girder) และการเสริมเหล็กบริเวณกึ่งกลางคานและปลายคานได้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ตัวอย่างคานที่ใช้ทำการทดสอบ



รูปที่ 2 รายละเอียดหน้าตัดคานและการเสริมเหล็ก

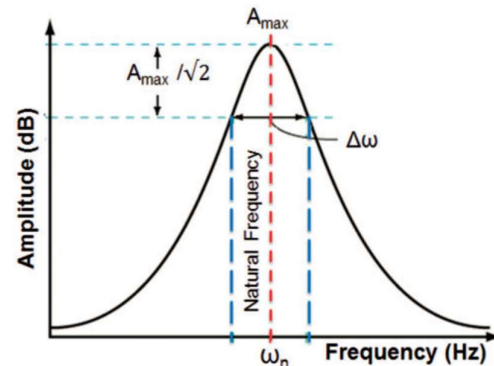
2.1.1 คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ใช้ในกาทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. มาทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดซึ่งผลการทดสอบได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc)
1	457.4
2	463.5
3	460.4
เฉลี่ย	460.4

2.2 สมการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราส่วนความหน่วง



รูปที่ 4 การคำนวณอัตราส่วนความหน่วงโดยวิธี Half-power bandwidth

โดยที่ช่วงความถี่ (bandwidth, ω) หาได้จากจุดสูงสุดของแอมพลิจูด ($A_{max}/\sqrt{2}$) จากนั้นคำนวณหาผลต่างของความถี่ ($\Delta\omega$) และวัดลงมาจากจุดสูงสุดจะให้ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency, ω_n) ดังรูปที่ 4 จึงคำนวณหาอัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio, ζ) จากผลการทดสอบสามารถคำนวณได้ดังแสดงสมการที่ (1)

$$\zeta = \frac{\Delta\omega}{2\omega_n} \quad (1)$$

โดยที่ ζ คือ อัตราส่วนความหน่วง

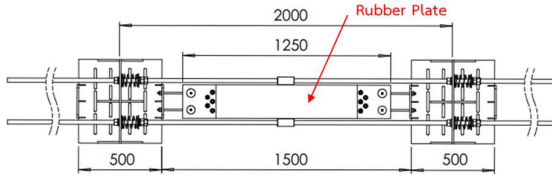
ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติ

ω คือ ช่วงความถี่

2.3 แนวทางการนำแถบยางพาราอัดแรงมาใช้เสริมกำลังคานคอนกรีตอัดแรงเพื่อลดการสั่นไหว

การเสริมกำลังชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอจำเป็นต้องมีการออกแบบวิธีการเสริมกำลัง รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่จะนำมาช่วยในการยึดแถบยางพาราอัดแรงขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร หนา 4 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4 มายึดออกให้มีระยะห่างเท่ากับ 200 เซนติเมตร เพื่อนำมาติดตั้งกับชิ้นส่วน ทางผู้วิจัยได้ทำการ

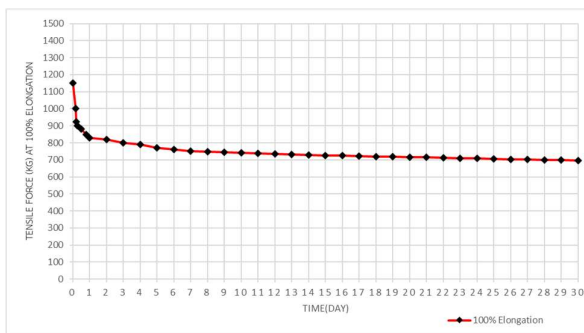
ออกแบบและทดสอบการใช้งานอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน จนได้มาซึ่งเทคนิควิธีการและอุปกรณ์การจับยึดแถบยางพาราอัดแรงตัวล่าสุดรูปที่ 5 โดยจะมีอุปกรณ์ในการติดตั้ง และวิธีการติดตั้งตามขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 5 ชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip, SRG)

2.3.1 คุณสมบัติการคลายตัวของแถบยางพารา

ในการใช้งานจริง แถบยางพาราจะถูกยึดเพื่อให้เกิดแรงค้ำในแถบยางพารา แรงค้ำในแถบยางพาราดังกล่าว จะถูกถ่ายไปยังโครงสร้างเสาเพื่อให้เกิดแรงอัดภายในเสา แรงอัดที่เกิดขึ้น จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะใช้ในการออกแบบระดับแรงอัดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน แต่จากการศึกษาพบว่า เมื่อแถบยางพาราถูกยึดไว้เป็นระยะเวลานาน แรงที่ใช้ในการยึดจะลดลงตามเวลา ซึ่งเมื่อนำไปติดตั้งจริง แรงอัดในคอนกรีตจะลดลงตามเวลาด้วย ดังนั้นการทดสอบการคลายตัวของแถบยางพารา จะทำให้ทราบถึงแรงดึงที่เหลืออยู่ในแถบยางพาราในระยะยาว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมีการใช้งานของแถบยางพาราที่มีระดับความเครียดดึงที่ 100% ของความยาวเริ่มต้นของแถบยางพารา โดยพบว่าแรงดึงในแถบยางพารามีค่าเท่ากับ 1150 กิโลกรัม เมื่อถึงระยะที่กำหนด แรงดึงดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรก และอัตราการลดลงของแรงดึงมีค่าน้อยลงในวันที่ สองเป็นต้นไป และอัตราการลดลงของแรงดึงหลังจากห้าวันเป็นต้นไปมีค่าน้อย และเมื่อครบสามสิบวัน แรงดึงที่เหลือในแถบยางพารามีค่าเท่ากับ 698 กิโลกรัม การลดลงของแรงกรณีดึงที่ระยะการยึดเท่ากับ 100% มีค่าเท่ากับ 39.31 % เมื่อเวลาผ่านไป สามสิบวันดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับเวลาของแถบยางพาราที่ระยะการยึด 100 % ของความยาวเดิม

2.3.2 กำหนดตำแหน่งในการเสริมกำลังด้วยยางพารา

ในการทดสอบ ตำแหน่งในการติดตั้งแถบยางพารานั้นจะอยู่ที่บริเวณด้านล่างของคานคอนกรีตได้แสดงดังรูปที่ 7 โดยในการติดตั้ง จะทำการติดตั้งแถบยางพาราบริเวณกึ่งกลางคานโดยให้ครอบคลุมระยะทั้งหมดอย่าง

น้อยเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคาน ชุดแถบยางพาราจะมีความยาวต่อชุดเท่ากับ 2.0 เมตร ในชุดแถบยางพารานี้จะมีแผ่นเหล็กยึดที่ปลายแถบยางพาราทั้งสองข้าง ในการติดตั้งจะต้องกำหนดจุดติดตั้งแผ่นเหล็กยึดแถบยางพาราใต้ท้องคานเสียก่อน



รูปที่ 7 ชุดแถบยางพาราบริเวณด้านล่างของคานทดสอบ

จากนั้นนำแถบยางพาราเข้าไปติดตั้งกับแผ่นเหล็กยึดปลายแถบยางพารา โดยให้สอดสตรัทที่อยู่ด้านปลายของแถบยางพาราทั้งสองข้างเข้ากับจุดจับยึดของแผ่นเหล็กดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อยึดแล้วให้ทำการอัดแรงแถบยางพาราโดยการขันน็อต การอัดแรงนี้จะทำให้โดยการขันน็อตให้แถบยางพารายืดออกประมาณ 20% หรือ ยืดประมาณ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 8 การขันน็อตเพื่ออัดแรงแถบยางพารา

2.3.3 การติดตั้งสตรัทและสปริง

หลังจากการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงแล้วเสร็จ จะต้องทำการติดตั้งระบบสตรัทและสปริง เพื่อช่วยในการอัดแรงเพิ่มเติมเข้าไปในคาน และใช้สปริงในการช่วยดูดซับการสั่นสะเทือนบริเวณท้องคาน ร่วมกับแถบยางพาราอัดแรง ในการติดตั้งสตรัทและสปริง จะทำการร้อยสปริงเข้าไปในแกนของเหล็กสตรัท และใช้นัทในการล็อกสปริงให้ติดกับแผ่นเหล็กยึดแถบยางพาราดังแสดงในรูปที่ 9

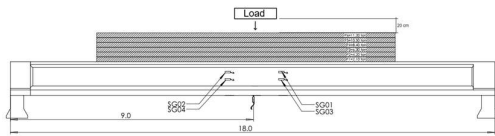


รูปที่ 9 คานรูปตัวไอ (I-Girder) หลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

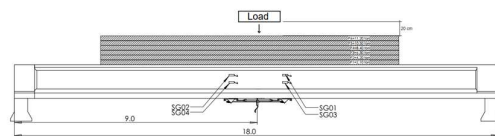
เมื่อทำการร้อยสปริงเข้าไปในสตรัทและทำการล็อคนัทเพื่อยึดสปริงครบทุกตัวแล้ว ให้ทำการขันนัทด้วยมือ ให้พอตึงมือ และทำการวัดระยะของสปริง เพื่อตรวจสอบความสูงของสปริงเริ่มต้น หลังจากนั้นให้ทำการขันนัทจากด้านปลายสุด โดยการขันจะต้องทำให้สปริงมีการเสียรูป หรือมีการหดตัวสั้นลงเท่ากับ 1 เซนติเมตร ระยะ 1 เซนติเมตร ที่สปริงหดตัว จะทำให้เกิดแรงอัดในตัวสตรัทเท่ากับ 3 ตัน แรงอัดดังกล่าวจะเป็นแรงอัดที่จะถ่ายเข้าไปยังคานรูปตัวโอ (I-Girder) เมื่อมีการติดตั้งสตรัทสองด้าน จะทำให้เกิดการถ่ายแรงเข้าไปด้านกลางของคานเท่ากับ 6 ตัน โดยประมาณ

2.4 ขั้นตอนการทดสอบ

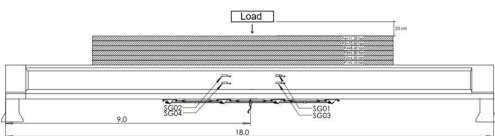
การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง (I-Girder) เป็นการทดสอบแบบพลวัตเพื่อหาอัตราส่วนความหน่วงจะทำโดยใช้ก้อนคอนกรีตขนาด 50x80x40 เซนติเมตร โดยมีระยะความสูงในการปล่อยก้อนคอนกรีตห่างจากคานที่จะทำการทดสอบ 30 เซนติเมตร มากระทบบริเวณกึ่งกลางคานเพื่อให้เกิดการสั่น และใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) บันทึกค่าความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นและเวลา เพื่อนำมาหาอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) ของคานโดยการนำมาติดบริเวณ L/2 ของความยาวคาน โดยการทดสอบจะทำทั้งหมด 4 กรณีคือ กรณีที่ 1 คือคานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราอัดแรง กรณีที่ 2 คือคานที่เสริมแถบยางพาราอัดแรงจำนวน 1 แผ่นบริเวณกึ่งกลางคาน กรณีที่ 3 คือคานที่เสริมแถบยางพาราอัดแรงจำนวน 3 แผ่น และกรณีที่ 4 จะเสริมแถบยางพาราทั้งหมด 5 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 10 จะทำซ้ำอย่างน้อย 3 รอบ เพื่อนำผลการสั่นไหวอย่างน้อย 3 รอบมาหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความหน่วงของคาน



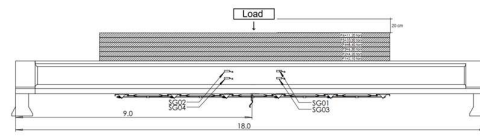
(ก) กรณีที่ 1 การทดสอบแบบพลวัตก่อนการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรง



(ข) กรณีที่ 2 การทดสอบแบบพลวัตหลังการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรงจำนวน 1 ชุด



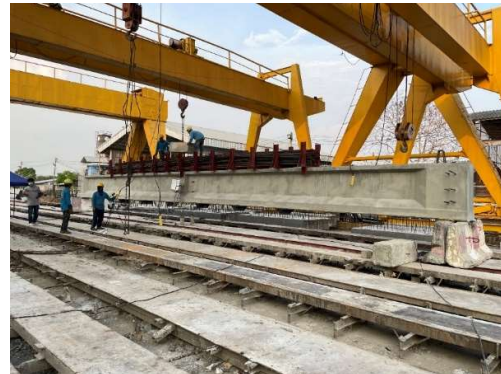
(ค) กรณีที่ 3 การทดสอบแบบพลวัตหลังการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรงจำนวน 3 ชุด



(ง) กรณีที่ 4 การทดสอบแบบพลวัตหลังการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรงจำนวน 5 ชุด



(จ) การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงแบบพลวัต



(ข) การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราการสั่นไหวแบบพลวัต

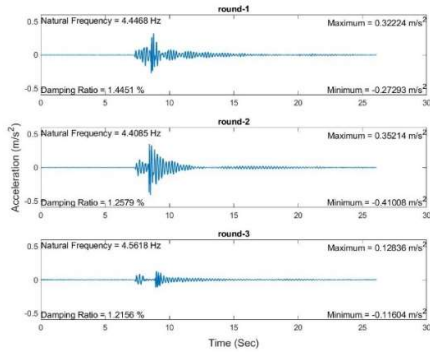
รูปที่ 10 การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง (I-Girder) ทั้ง 4 กรณี

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบพลวัตก่อนการเสริมและภายหลังการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรง

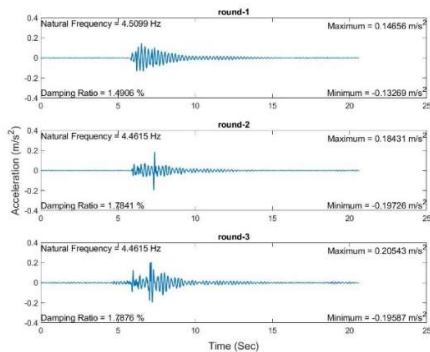
การทดสอบแบบพลวัตก่อนการเสริมกำลังและภายหลังการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แถบยางพาราอัดแรงทำโดยใช้ก้อนคอนกรีตขนาด 50x80x40 เซนติเมตร มากระทบบริเวณกึ่งกลางคานเพื่อให้เกิดการสั่นไหว การทดสอบในแต่ละรูปแบบการเสริมกำลัง จะทำการปล่อยน้ำหนักเพื่อมากระทบอย่างน้อย 3 รอบ เพื่อนำผลการสั่นไหวอย่างน้อย 3 รอบมาทำการหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความหน่วงของคานคอนกรีตอัดแรงดังแสดงในรูปที่ 11-14

3.1.1 ผลการทดสอบแบบพลวัตของคานก่อนการเสริมกำลังคานด้วย
ชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรง



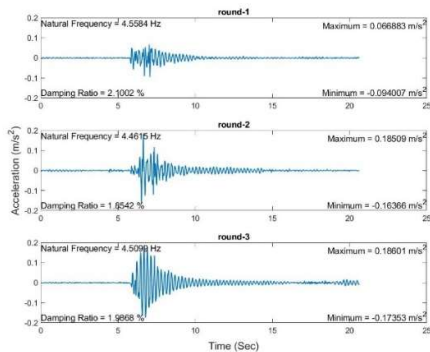
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นไหวกับเวลา ก่อนเสริมกำลัง
AC01

3.1.2 ผลการทดสอบแบบพลวัตของคานหลังเสริมกำลังคานด้วยชุด
อุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงจำนวน 1 ชุด



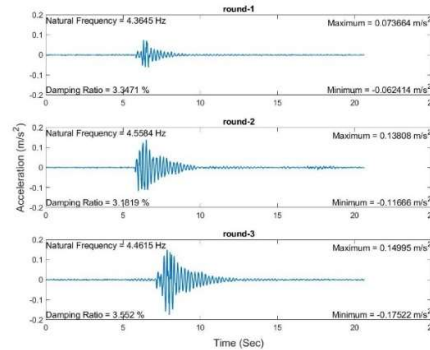
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นไหวกับเวลา ภายหลังจากเสริม
การกำลังจำนวน 1 ชุด AC01

3.1.3 ผลการทดสอบแบบพลวัตของคานหลังเสริมกำลังคานด้วยชุด
อุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงจำนวน 3 ชุด



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นไหวกับเวลา ภายหลังจากเสริม
กำลังจำนวน 3 ชุด AC01

3.1.4 ผลการทดสอบแบบพลวัตของคานหลังเสริมกำลังคานด้วยชุด
อุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงจำนวน 5 ชุด



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นไหวกับเวลา ภายหลังจาก
เสริมกำลังจำนวน 5 ชุด AC01

3.2 ผลการเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์
แฉียงพาราอัดแรงลดการสั่นไหว

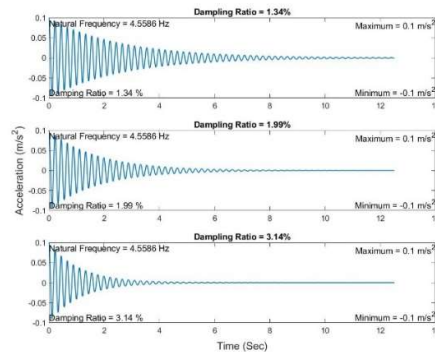
การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทดสอบหาค่าอัตราส่วนความหน่วงของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) ก่อนเสริมกำลังและภายหลังจากเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงลดการสั่นไหว จากการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) พบว่า ก่อนการเสริมกำลัง คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) จะมีสัดส่วนความหน่วงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.3 % และเมื่อทำการเสริมกำลังด้วยแฉียงพาราอัดแรงลดการสั่นไหวจำนวน 1 แผ่น พบว่าชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงทำให้สัดส่วนความหน่วงเฉลี่ยของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) เพิ่มขึ้นเป็น 1.7% จากนั้นจะทำการเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงลดการสั่นไหวจำนวน 3 แผ่น พบว่าทำให้สัดส่วนความหน่วงเฉลี่ยของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) เพิ่มขึ้นเป็น 2% เมื่อเสริมกำลังด้วยชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดแรงลดการสั่นไหวจำนวน 5 แผ่น ทำให้สัดส่วนความหน่วงเฉลี่ยของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) เพิ่มขึ้นเป็น 3.3% ผลสรุปอัตราส่วนความหน่วงของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอแสดงไว้ในตารางที่ 2 สำหรับผลการตรวจวัดจากเซนเซอร์วัดความเร่ง AC01 ในการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า หากเสริมกำลังคานด้วยชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดการสั่นไหว จำนวน 1 แผ่น สามารถเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) ได้ 31% หากเสริมกำลังคานด้วยแฉียงพาราอัดการสั่นไหวจำนวน 3 แผ่น สามารถเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับคานได้ 54% และถ้าหากเสริมกำลังคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) ด้วยแฉียงพาราอัดการสั่นไหว จำนวน 5 แผ่น สามารถเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับคานได้ 154% ดังนั้นผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ชุดอุปกรณ์แฉียงพาราอัดการสั่นไหวของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอ (I-Girder) มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความหน่วงให้กับคานคอนกรีตอัดแรงตามสมมติฐาน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนความหน่วงของคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวโอก่อนเสริมกำลังและภายหลังเสริมกำลัง จากเซนเซอร์วัดความเร่ง AC01

รูปแบบการทดสอบ	Min (m/s ²)	Max (m/s ²)	Natural Frequency (Hz)	Avg.	Damping Ratio (%)	Avg.	S.D.
Before	-0.2729	0.3222	4.4468	4.4724	1.4451	1.3062	0.122
	-0.4101	0.3521	4.4085		1.2579		
	-0.1160	0.1284	4.5618		1.2156		
1 Plate	-0.1327	0.1466	4.5099	4.4776	1.4906	1.6874	0.171
	-0.1973	0.1843	4.4615		1.7841		
	-0.1959	0.2054	4.4615		1.7876		
3 Plate	-0.0940	0.0669	4.5584	4.5099	2.1002	1.9804	0.123
	-0.1637	0.1851	4.4615		1.8542		
	-0.1735	0.1860	4.5099		1.9868		
5 Plate	-0.0624	0.0737	4.3645	4.4615	3.3471	3.3603	0.185
	-0.1167	0.1381	4.5584		3.1819		
	-0.1752	0.1499	4.4615		3.5520		

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบชุดอุปกรณ์เสริมกำลังแบบยาวพาราอัดแรงลดการสั่นไหว มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับคาน โดยก่อนการเสริมกำลัง คานเดิมจะมีอัตราส่วนความหน่วงที่ต่ำ และเมื่อถูกแรงกระทำแบบพลวัตจะทำให้คานเกิดการสั่นไหว การสั่นไหวของคานที่มีอัตราส่วนความหน่วงที่ต่ำ จะมีการสั่นไหวอย่างต่อเนื่องและระดับการสั่นจะมีการลดระดับลงอย่างช้า ๆ ตัวอย่างการสั่นของคานที่มีระดับอัตราส่วนความหน่วงที่ต่ำ เช่น ที่ระดับ 1.34 % แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที ระดับการสั่นของคานยังสูงอยู่ และถ้าหากมีแรงพลวัตมากระทำเพิ่มเติมในช่วงที่คานยังมีระดับการสั่นสูงอยู่จะทำให้การสั่นของคานเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากแรงพลวัตจะไปเสริมการสั่นที่มีอยู่เดิม การติดตั้งแถบยาวพาราอัดแรงลดการสั่นไหวเป็นการเพิ่มระดับความหน่วงของคาน ซึ่งจะช่วยให้การสั่นของคานลดลงอย่างรวดเร็ว เช่น หากเพิ่มระดับของความหน่วงไปที่ระดับ 3.14% จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที ระดับการสั่นของคานจะลดลงไปอย่างมาก และเมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที การสั่นของคานจะมีระดับที่ต่ำมาก การที่คานหยุดสั่นอย่างรวดเร็วเนื่องจากระดับความหน่วงที่เพิ่มขึ้น ความหน่วงที่ได้จากการเสริมกำลังด้วยชุดแถบยาวพาราอัดแรง จะช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับสะพานโดยรวมซึ่งจะช่วยลดการสั่นโดยรวมของคานได้เมื่อคานนั้นถูกแรงกระทำอย่างต่อเนื่องจากรถที่วิ่งผ่านสะพาน การติดตั้งชุดแถบยาวพาราอัดแรงเข้ากับสะพานจริงจะเป็นการเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงให้กับสะพานและจะสามารถช่วยลดระดับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากรถที่วิ่งผ่านสะพานอย่างต่อเนื่องได้



รูปที่ 15 ผลของระดับอัตราส่วนความหน่วงที่ต่างกันต่อการลดการสั่นของคาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง และขอขอบคุณ ดร. พลเทพ เลิศวรนิช และ ดร. ราชวัลลภ กัมพูพงศ์ สำหรับคำแนะนำในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Crawford, K.C. (2022). *Vibration Control in Bridges*. Intech open, pp.1-13.
- [2] Wagner, N. and Helfrich, R. (2017). Dynamic Vibration Absorbers and its Applications. *NAFEMS World Congress*, Stockholm, Sweden, 11-14 June 2017
- [3] Zhong, R., Pai, P.F., Zong, Z., Deng, H. and Ruan, X. (2018). Metamaterial I-Girder for Vibration Absorption of Composite Cable-Stayed Bridge. *Journal of Engineering Mechanics*, 144(7).
- [4] Yuan, R., Yang, Y., Su C., Hu S., Zhang, H. and Cao, E. (2021). Research in Vibration Reduction Control Based on

- Reinforced Learning. *Advance in Civil Engineering*. 2021, pp.1-18.
- [5] Roschke, P.N., Thompson, M.F. and Sicking, D.L. (1990). Selection of Rubber Materials and Shapes for Energy-Absorbing Element. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2(4), pp.240-259.
- [6] Yashwant, S.M., Ravindra, B.I. and Siva, I. (2019). A comprehensive review on the vibration and damping characteristics of vegetable fiber-reinforced composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 38(17), pp. 822-832.
- [7] Department of Highways. (2015) Standard Drawings for Highway I-Girder Bridge, Bored Pile, Bridge Widening. pp.18-20.