

การศึกษาเบื้องต้นถึงผลกระทบของแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ต่อคุณสมบัติด้านการสั่นสะเทือนและเสียงของแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ

จิระวิน สงวนสิน* ภัทรชัย พงศ์โสภา และ ปิติ สุคนธสุขกุล

ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เขมพัฒนา ตำบลติวานนกุล

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมเสียงและการสั่นสะเทือน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 06 2569 7461 อีเมล: s.jirawin@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.10.001

รับเมื่อ 27 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 8 พฤษภาคม 2563 ตอรับเมื่อ 12 พฤษภาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 10 ตุลาคม 2563

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษทางเสียงภายในที่พักอาศัยเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขสำหรับอาคารสูงในประเทศไทย ในปัจจุบันอาคารโดยส่วนมากก่อสร้างด้วยระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีผิวเรียบและมีความหนาแน่นสูง ทำให้เกิดการสะท้อนของเสียงที่สูง รวมถึงการใช้ผนังภายในที่บางทำให้เกิดการส่งผ่านของเสียงจากภายนอกและระหว่างห้องได้ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผนังวัสดุประกอบกันเสียง โดยนำวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นวัสดุหน่วง มีความสามารถในการดูดซับและสลายการสั่นสะเทือนได้ดี โดยคาดหวังว่าเมื่อนำวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ มาติดตั้งภายในแผ่นคอนกรีตจะสามารถลดการสั่นสะเทือนของผนังได้และอาจนำไปสู่การปรับปรุงสมรรถนะทางเสียงด้วยเช่นกัน โดยผลการทดลองที่นำเสนอในบทความนี้เป็นผลการทดลองเบื้องต้นประกอบไปด้วย การวัดค่าการอัตรากการหน่วงการสั่นของแผ่นคอนกรีตที่ติดด้วยแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ในรูปแบบต่างๆ และคุณสมบัติพื้นฐานอื่นๆ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ

คำสำคัญ: แผ่นคอนกรีต วิสโคอีลาสติก การหน่วง การสั่นสะเทือน



Preliminary Study on Effects of Viscoelastic Polymer on Damping and Sound Properties of Concrete Panels

Jirawin Sanguansin*, Phattharachai Pongsopha and Piti Sukontasukkul

Construction and Building Materials Research Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

Khemapat Tontiwattanakul

Sound and Vibration Engineering Research Group, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 06 2569 7461, E-mail: s.jirawin@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.10.001

Received 27 April 2020; Revised 8 May 2020; Accepted 12 May 2020; Published online: 10 October 2020

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Sound pollution in buildings is one of problems that need to be addressed for high-rise buildings in Thailand. In present, most high-rise buildings are constructed with flat and dense precast concrete panel systems which can cause high reflection of sound and also, the use of thin walls allows sound to transmit from outside to inside and in between the rooms. This study aims to develop composite concrete panels with better sound insulation using viscoelastic polymer film. The viscoelastic polymer film is a material known to have high damping property, and good ability to absorb and dissipates vibrations. It is expected that by installing VPF material in concrete panel, the vibration induced by sound can be reduced and which may lead to an improvement in sound properties. The results showed in this paper are preliminary results consisted of the measurement of vibration of concrete panel attached with VPF at different patterns and other basic properties such as compressive strength, density and water absorption.

Keywords: Concrete Panel, Viscoelastic Polymer, Damping, Sound Absorption

Please cite this article as: J. Sanguansin, P. Pongsopha, P. Sukontasukkul, and K. Tontiwattanakul, "Preliminary study on effects of viscoelastic polymer on damping and sound properties of concrete panels," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 2, pp. 257–265, Apr.–Jun. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

ปัจจุบัน ระบบการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยส่วนมากเป็นการก่อสร้างด้วยระบบผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากสามารถก่อสร้างด้วยความรวดเร็ว ลดต้นทุนด้านแรงงาน แต่อย่างไรก็ตาม ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีความสามารถในการสะท้อนเสียงได้มาก ซึ่งการสะท้อนของเสียงนี้หากเกิดขึ้นภายในห้องอาจก่อความรำคาญและอาจก่อให้เกิดความไม่สบายทั้งทางด้านกรรรับรู้อเสียงต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร เช่น นอนไม่หลับ การสื่อสารกันที่ต้องใช้เสียงดังขึ้น นอกจากนี้ปัญหาเสียงภายในอาคาร มลพิษทางเสียงที่อยู่ภายนอกก็เป็นปัญหาที่ส่งผลต่อสุขภาพเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นเสียงดังจากชุมชนภายนอก ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์เสียงจากการก่อสร้าง นอกจากนี้ เสียงจากกลุ่มอุตสาหกรรมเสียงจากภายในระหว่างกระบวนการผลิต เป็นปัญหาที่พบในภาคอุตสาหกรรมทั่วไป ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ปัญหาเรื่องเสียงจึงถือเป็นปัญหาสำคัญในแวดวงอุตสาหกรรมก่อสร้างที่จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำไปสู่การลดปัญหาทางเสียง และนำไปสู่การออกกฎระเบียบเพื่อเป็นการป้องกันมลพิษทางเสียงตั้งแต่ที่พักอาศัย อาคาร โรงงาน อุตสาหกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปัญหาทางเสียงมีหลายระดับ ตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้าง การออกแบบรูปทรงของพื้นผิวที่เสียงเข้ามากระทบ วัสดุดูดซับแรงสั่นสะเทือนในเครื่องจักร การเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงภายในและนอกอาคาร เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุที่มีความสามารถในการกั้นเสียงโดยการนำวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือนได้ดี มีคุณสมบัติภายใต้แรงกระทำวัสดุยืดหยุ่น (Elastic Material) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดโดยแปรผันตามขนาดของแรงกระทำโดยพลังงานจะสะสมอยู่ในระบบโดยไม่เกิดการสูญเสีย เมื่อปล่อยแรงกระทำ พลังงานที่สะสมอยู่จะถูกปล่อยออกมาและทำให้วัสดุคืนไปสู่รูปเดิม ในกรณีของวัสดุหนืด (Viscous Liquid) นั้น วัสดุประเภทนี้ ความเค้นที่เกิดขึ้นแปรผันตามอัตราความเครียดที่กระทำต่อวัสดุ [1] พลังงานที่ทำให้วัสดุเสียรูปไม่มีการเก็บสะสมในวัสดุ แต่สูญเสียไปในรูปของพลังงาน

ความร้อน ซึ่งทำให้ลดพลังงานจลน์ของระบบลดลง

การประยุกต์ใช้วัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์เพื่อลดเสียงมีการพัฒนาในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น โครงสร้างผนังเหล็กของอาคารแทนจุดน้ำมันได้มีการนำวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ประเภทพอลิยูรีเทน และอะคริลิก ที่มีความหนาประมาณ 2 มม. ไปบุตามผนังเพื่อลดการสั่นสะเทือนของเสียงคลื่นที่เข้ามากระทบผนัง [2] ในกลุ่มเครื่องบินโดยสารเสียงจากการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนต่างๆ เสียงจากเครื่องยนต์หรือเสียงลมที่มาปะทะเครื่องบินทำให้เกิดการสั่นและเกิดเสียง การป้องกันเสียงในห้องโดยสารสามารถทำได้โดยการนำแผ่นวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์มาบุรวมกันกับวัสดุผนังรอบๆ ห้องโดยสาร [3] สำหรับในงานคอนกรีต Lee และคณะ [4] ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและการสั่นของวัสดุผสมพอลิยูรีเทน โดยใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานเปรียบเทียบกับซีเมนต์โดยผลการทดสอบพบว่า คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้พอลิยูรีเทนเป็นวัสดุเชื่อมประสานมีกำลังรับแรงอัดลดลง 80% ในส่วนของการหน่วงการสั่นพบว่า วัสดุที่ใช้พอลิยูรีเทนเป็นวัสดุเชื่อมประสานมีความสามารถในการหน่วงสั่นได้ดีกว่าการใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ในเวลาต่อมา Lee และคณะ [5] ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติการสั่นของคอนกรีตที่มีการใช้มวลรวมหยาบเคลือบพอลิยูรีเทนเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมมวลรวมปกติพบว่า คอนกรีตผสมมวลเคลือบพอลิยูรีเทน มีความสามารถในการหน่วงสั่นได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่เดียวกันการใช้มวลรวมเคลือบพอลิยูรีเทน นั้นทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้พบว่า การนำวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์มาปรับปรุงภายในคอนกรีตทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลงซึ่งทำให้สามารถใช้ในการงานโครงสร้างได้ยาก แนวทางในการศึกษานี้จึงนำแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์มาติดตั้งร่วมกับแผ่นคอนกรีตโดยคาดว่าหากมีการนำวัสดุที่มีความสามารถในการหน่วงการสั่นสะเทือนโดยใช้เทคนิคการลดการสั่นสะเทือนแบบโมดัล (Modal Damping) คือการนำวัสดุหน่วงการสั่นสะเทือนมาติดตั้ง บริเวณที่เกิดสั่นสะเทือนในลักษณะแผ่นบังคับ (Constrained) เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านการสั่นสะเทือนของแผ่นคอนกรีตที่มีการใช้งานร่วม

กับวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการสลายพลังงานการสั่นสะเทือน อาจจะสามารถเพิ่มความสามารถในการกั้นเสียงของแผ่นคอนกรีตได้

1.1 ระบบการสั่นสะเทือนและการหน่วง

ใช้แบบจำลองของระบบที่มีหนึ่งขั้นความอิสระ (Single Degree of Freedom; SDOF) เป็นความสัมพันธ์ประกอบไปด้วย แรงที่เกิดจากสปริง (k) แรงหน่วงจากตัวหน่วง (c) และแรงภายนอก (f) จะสามารถจัดในรูปของสมการที่ (1)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f \quad (1)$$

สำหรับการสั่นแบบถูกหน่วง เมื่อกำหนดให้ $f = 0$ ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่า c ซึ่งจะได้จากความสัมพันธ์กับสมการที่ (2) ซึ่งคืออัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} \quad (2)$$

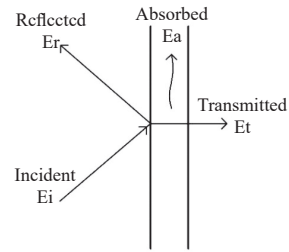
สำหรับระบบการหน่วงต่ำคือ มีอัตราส่วนการหน่วงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ผลจากระบบนี้ จะทำให้เกิดการแกว่งรอบจุดสมดุลโดยแอมพลิจูดจะลดลงเรื่อยๆ จนหยุดนิ่ง

1.2 การสั่นสะเทือนของแผ่นรูปทรงสี่เหลี่ยม

จากความสัมพันธ์ของระบบการสั่นสะเทือนและการหน่วงในทางปฏิบัติสามารถหาการสั่นสะเทือนของแผ่นรูปทรงสี่เหลี่ยมได้จากการทดสอบ ASTM E756 ซึ่งจะได้ผลอัตราส่วนการหน่วง (ζ) จากการนำแอมพลิจูดของแต่ละโหนดมาทำการคำนวณโดยวิธีการครึ่งกำลัง (Half Power) ได้โดยสมการที่ (3) และค่าการหน่วงการสั่น (Damping Loss Factor; η) สามารถได้จากสมการที่ (4)

$$\zeta = \frac{(f_2 - f_1)}{2f_n} \quad (3)$$

$$\eta = 2\zeta \quad (4)$$



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของคลื่นเสียงและวัตถุ

f_n คือ ความถี่ในโหมดของแผ่นทดสอบและ f_1 และ f_2 คือ ความถี่ ณ ตำแหน่งที่มีขนาด 70.7% ของจุดยอดแอมพลิจูดของโหมดนั้น

1.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเสียงและผนัง

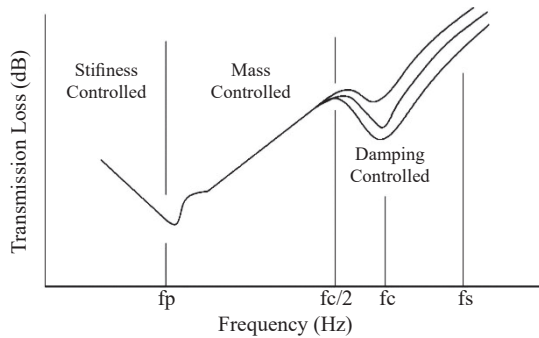
เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมากระทบกับวัตถุตั้งรูปที่ 1 ทำให้สามารถจำแนกพลังงานในระบบ ได้แก่ พลังงานที่ตกกระทบ (Incident Energy; E_i), พลังงานสะท้อนกลับ (Reflected Energy; E_r) พลังงานที่ถูกดูดซับ (Absorbed Energy; E_a) และพลังงานที่ส่งผ่าน (Transmitted Energy; E_t)

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงทำให้ผนังมีคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุด้วยกัน 2 คุณสมบัติ ได้แก่ ค่าการดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient; α) และค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Loss; TL)

1.4 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Loss; TL)

ค่าอัตราส่วนของพลังงานหรือความเข้มของเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านโครงสร้าง (Transmitted Sound Wave; I_t) ต่อพลังงานหรือความเข้มของเสียงที่ตกกระทบโครงสร้าง (Incident Sound Wave; I_i) หรือจำนวนเดซิเบลของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้างของวัสดุที่เป็นฉนวนกั้นเสียง ซึ่งค่าการสูญเสียการส่งผ่านของเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างวัสดุกั้นเสียง สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (5)

$$TL = 10 \log \frac{I_i}{I_t} \quad (5)$$



รูปที่ 2 คุณลักษณะการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

TL คือ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (dB)

I_i คือ ความเข้มของเสียงที่ตกกระทบโครงสร้าง (W/m^2)

I_t คือ ความเข้มของเสียงที่ส่งผ่านโครงสร้าง (W/m^2)

โดยลักษณะผลการทดสอบที่ได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2 จะแบ่งช่วงความถี่ที่ควบคุมเกิดการส่งผ่านเสียงเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ความแข็ง (Stiffness Controlled) มวล (Mass Controlled) และการสั่นสะเทือน (Damping Controlled) โดยกลไกการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านผนังนั้น จะมีคลื่นความถี่เฉพาะเจาะจงที่ทำให้เสียงเคลื่อนผ่านผนังได้ดีเป็นพิเศษ ซึ่งความถี่ดังกล่าวนี้ รู้จักกันในชื่อความถี่วิกฤต (Critical Frequency; f_c) โดยสามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ (6) ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วเสียงในอากาศ (c_0) อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio; σ) ความหนาแผ่น (h) อีลาสติกโมดูลัส (E) และความหนาแน่นของแผ่น (ρ_m)

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12(1-\sigma^2)\rho_m}{E}} \quad (6)$$

ซึ่งในส่วนของช่วงการสั่นสะเทือนจะเกิดขึ้นในช่วงที่เกิดความถี่วิกฤต สามารถประมาณได้จากสมการที่ (7) ประกอบด้วย ความถี่ธรรมชาติของวัตถุ (ω_c) น้ำหนักต่อพื้นที่แผ่น (m_s) ความหนาแน่นอากาศ (ρ_a) ค่าการหน่วงการสั่น (η) และช่วงของย่านความถี่ (Octave Bandwidth; Δ_f) [6]

$$TL\{f_c\} = 20 \log \left(\frac{\omega_c m_s}{2\rho_a c_0} \right) + 10 \log \left\{ \frac{2\eta}{\pi} \left(\frac{\Delta_f}{f_c} \right) \right\} \quad (7)$$

จากความสัมพันธ์ทางการสั่นสะเทือนเห็นได้เมื่อทำการเพิ่มค่าการหน่วงการสั่น จะทำให้ค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น ในการศึกษาข้างนี้ จึงมุ่งไปในเชิงของการหน่วงการสั่นสะเทือนด้วยการติดตั้งวัสดุหน่วงการสั่นสะเทือนพาดผ่านรูปแบบการสั่น (Mode Shape) ธรรมชาติของแผ่นเรียบบางรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเสียง [7]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ใช้เทปกาวยางบิวทิลแรงยึดติดสูง ซึ่งเป็นเทปกาวสำเร็จรูปผลิตจากยางบิวทิลเคลือบด้วยฟิล์มโลหะอะลูมิเนียม มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

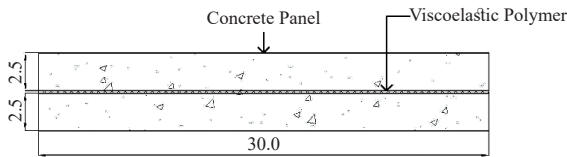
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์

คุณสมบัติ	
ความหนาแน่น	1.5 กรัม/ลบ.ซม.
ความหนาของชั้น	1 มม.
ความกว้างแผ่น	100 มม.
อุณหภูมิขณะใช้งาน	-30°C ถึง +40°C
ค่ากำลังรับแรงดึง (นิวตัน/25 มม.)	124
ค่าการยืดตัวจนขาด	100%
ค่ากำลังรับแรงดึงของแถบกาว (นิวตัน/25 มม.)	30

2.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะใช้วิธีการออกแบบสัดส่วนผสมตามวิธีการของสถาบันคอนกรีตอเมริกัน สำหรับวัสดุที่ใช้ในการผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 และน้ำสะอาด

การจัดเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ เตรียมสัดส่วนผสมคอนกรีตดังตารางที่ 2 นำไปผสมครั้งละ 1 ตัวอย่าง เพื่อควบคุมการกระจายตัวของมวลรวม โดยทำการผสมปูนซีเมนต์กับทรายให้เข้ากันจากนั้นเติมน้ำลงไปผสมจนเป็นมอร์ตาร์ จึงทำการผสมหินจนเข้ากัน จากนั้นนำมาเทลงในแบบหล่อผนังในการทดสอบขนาด 30×30×5 ซม. โดยแบ่ง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์

การหล่อ 2 ชั้น ความหนาชั้นละ 2.5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

อัตราส่วน น้ำต่อ ซีเมนต์	ปริมาณ (กก./ลบ.ม.)			
	ซีเมนต์	ทราย	หิน	น้ำ
0.62	328	812	983	200

เมื่อทำการหล่อชั้นแรกเสร็จให้รอระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จึงทำการติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ โดยลักษณะแผ่นทดสอบมาติดตั้งวัสดุวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ตามรูปแบบดังตารางที่ 3 แล้วทำการหล่อชั้นที่ 2 ต่อไป จากนั้นทำการหุ้มตัวอย่างทดสอบด้วยแผ่นพลาสติกใสทั้งแบบหล่อเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ หลังจากแกะตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่อแล้วทำการหุ้มแผ่นพลาสติกใสทั้งแผ่นตัวอย่าง จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องจนตัวอย่างทดสอบอายุ 28 วัน

2.3 การทดสอบตัวอย่าง

2.3.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานคอนกรีต ประกอบด้วย

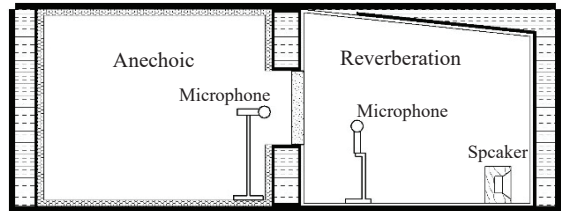
2.3.1.1 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump) อ้างอิง ASTM C143

2.3.1.2 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด อ้างอิง ASTM C138

2.3.1.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของคอนกรีต อ้างอิง ASTM C642

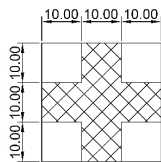
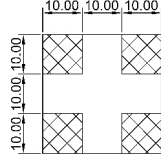
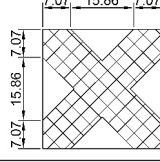
2.3.1.4 การทดสอบกำลังอัดทรงลูกบาศก์ อ้างอิง BS 1881 Part 4 โดยใช้ตัวอย่างขนาด 10×10×10 ซม.

2.3.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านการหน่วง โดยใช้



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบวัดการกั้นเสียงของแผ่นตัวอย่างทดสอบ

ตารางที่ 3 รูปแบบการติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์

รูปแบบ	ชื่อเรียก
	กากบาท (Cross)
	มุม (Corner)
	ทแยงมุม (X)

แนวทางการทดสอบตาม ASTM E756 เพื่อทำการประเมิน Mode Shape และหาค่าการหน่วงการหน่วงการสั่น

2.3.3 การทดสอบคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียง อ้างอิงแนวทางตามมาตรฐาน ASTM C423 ในการทดสอบโดยใช้ตู้ทดสอบแบบห้องสะท้อนเสียงขนาดเล็ก (Small Reverberation Chamber) [8] ในการทดสอบหาค่าดูดซับเสียง

2.3.4 การทดสอบคุณสมบัติด้านการกั้นเสียงอ้างอิงแนวทางตามมาตรฐาน JIS A 1441-1 ดังแสดงในรูปที่ 4 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบจำลองเครื่องมือทดสอบให้มีความขนาดเล็กลง โดยแบ่งตู้ทดสอบเป็น 2 ฟัง คือ ฟังก้องเสียง (Reverberation) และฟังดูดซับเสียง (Anechoic) จากนั้นทำการติดตั้งแผ่นทดสอบตรงกลางระหว่างทั้ง 2 ฟัง เนื่องจากขนาดเครื่องมือทดสอบมีขนาดเล็ก โดยด้านที่สั้นที่สุดอยู่ที่

52 ซม. ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 630 เฮิรตซ์ จะส่งผลให้ผลทดสอบวัดค่าได้ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 630 เฮิรตซ์ ไม่แม่นยำ

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต

ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 4 จากสมบัติพื้นฐานดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับคอนกรีตปกติในงานทั่วไปได้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	
หน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด	2,357	กก./ลบ.ม.
ค่าการยุบตัว	7.5	ซม.
กำลังอัด 7 วัน	25.1	เมกะปาสกาล
กำลังอัด 28 วัน	34.9	เมกะปาสกาล
ความหนาแน่น (แห้ง)	2,213	กก./ลบ.ม.
การดูดซึมน้ำ	5.02	%

3.2 ผลการทดสอบด้านการสั่นสะเทือนและเสียง

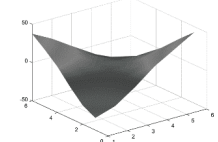
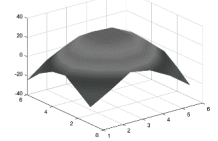
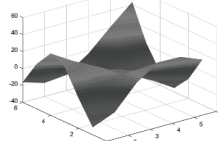
3.2.1 ผลการทดสอบการหน่วงการสั่นสะเทือน

รูปแบบการสั่น ซึ่งจากการประมวลผลจากการทดสอบค่าการหน่วงการสั่นสะเทือน โดยรูปแบบเป็นไปตามการคำนวณผลตามทฤษฎีรูปแบบการสั่นของแผ่นรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยโหมดลำดับที่ 2, 3 และ 4, 5 มีลักษณะเป็นโหมดซ้อนกันคือรูปแบบเดียวแต่สลับทิศทาง ดังแสดงในตารางที่ 5

ในส่วนผลการทดสอบค่าการหน่วงการสั่นสะเทือนของแผ่นคอนกรีตตัวอย่างทดสอบพบว่า ที่รูปแบบ กากบาท มุม ทแยงมุม มีการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ย ค่าการหน่วงการสั่นของ 3 โหมด ที่ 1.93, 2.47 และ 2.20 เท่าของแผ่นคอนกรีตธรรมดา ดังแสดงในตารางที่ 6

การติดแผ่นในรูปแบบ มุม และทแยงมุม จะช่วยเพิ่มค่าการหน่วงการสั่นในโหมดที่ 2, 3 และ 4, 5 เนื่องจากรูปแบบการสั่นทั้ง 3 โหมด การติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติกพอลิเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ มีลักษณะพาดผ่านปฏิัพ จึงช่วยหน่วงการสั่นสะเทือนในบริเวณนั้น ในทางกลับกันรูปแบบ

ตารางที่ 5 รูปแบบการสั่น

โหมด	รูปร่าง
1	
2, 3	
4, 5	

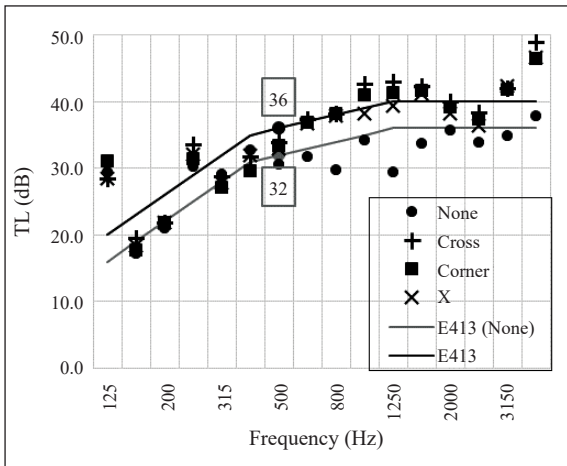
กากบาท แนวทางการหน่วงพาดผ่านช่วงแนวเส้นบัพ (Nodal Line) ซึ่งมีค่าแอมพลิจูดต่ำ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบอัตราการหน่วงการสั่น

รูปแบบ	โหมด	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ค่าการหน่วงการสั่น	ค่าเฉลี่ย
ไม่มี	1	1,164	0.014	0.015
	2, 3	1,974	0.016	
	4, 5	2,781	0.014	
กากบาท	1	1,091	0.030	0.029
	2, 3	1,961	0.028	
	4, 5	2,613	0.030	
มุม	1	1,157	0.021	0.037
	2, 3	1,851	0.047	
	4, 5	2,461	0.044	
ทแยงมุม	1	1,189	0.017	0.033
	2, 3	1,789	0.042	
	4, 5	2,351	0.040	

3.2.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซับเสียง

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง (Noise Reduction Coefficient) ของแผ่นทดสอบ



รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าการกั้นเสียง

ที่ถูกติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติคพอลิเมอร์ไว้ภายใน โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นคอนกรีตมีความสามารถในการสะท้อนเสียงได้ดี เนื่องจากการดูดซับเสียงที่ต่ำประมาณ 0.15–0.20 ด้วยวัสดุเป็นคอนกรีตซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนพลังงานที่ผิวได้ดีดังแสดงในรูปที่ 1 อาจกล่าวได้ว่าพลังงาน 15–20% ถูกแผ่นคอนกรีตดูดเข้าไป ทำให้พลังงานที่ผ่านเข้ามาในแผ่นคอนกรีตมีน้อยจนทำให้เกิดความแตกต่างกัน

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่าการดูดซับเสียง

รูปแบบ	ไม่มี	กากบาท	มุม	ทแยงมุม
NRC	0.15	0.16	0.17	0.20

3.2.3 ผลการทดสอบค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง
ผลการทดสอบค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Transmission Loss; TL) ของแผ่นทดสอบที่ถูกติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติคพอลิเมอร์ ไว้ภายในแต่ละรูปแบบโดยทำการให้ระดับค่ามาตรฐาน STC ตาม ASTM E413 พบว่าแผ่นตัวอย่างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติคพอลิเมอร์ มีค่า STC ที่ 32 ในขณะที่ตัวอย่างที่ติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติคพอลิเมอร์ทั้ง 3 รูปแบบ ที่ทำการทดสอบให้ค่า STC อยู่ที่ 36 ดังแสดงในรูปที่ 5

เมื่อพิจารณาสมการที่ (7) จะพบว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง มีความสัมพันธ์กับค่าการหน่วงการสั่นแบบลอการิทึม (Logarithm) จากกรณีวิเคราะห์พบว่าหากค่าการหน่วงการสั่นเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเพิ่มขึ้น 3 เดซิเบล ซึ่งการส่งผลที่ 3 เดซิเบล อาจสามารถทำให้ STC มีค่าเพิ่มขึ้นได้

4. สรุป

การติดตั้งแผ่นวิสโคอีลาสติคพอลิเมอร์ทั้ง 3 รูปแบบ ทำให้ค่าเฉลี่ยค่าการหน่วงการสั่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งแผ่นที่พาดผ่านบริเวณปฏิบัพของแต่ละโหมด

ในส่วนของความสามารถในการดูดซับเสียงและการกั้นเสียงจากการทดสอบพบว่า ค่าดูดซับเสียงในช่วง 0.15–0.20 และอันดับความสามารถในการกั้นเสียงคือ STC 36 จากการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีพบว่า หากค่าการหน่วงการสั่นเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเพิ่มขึ้น 3 เดซิเบล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในระดับ 3 เดซิเบล นี้จำเป็นต้องมีการทำการทดสอบอย่างแม่นยำ จากการทดสอบนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถเห็นความแตกต่างของค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงได้ก็ตาม แต่จากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดสอบนี้อาจทำให้เห็นความแตกต่างจากผลการทดสอบไม่ชัดเจนนัก ซึ่งอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ จะถูกพัฒนาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สัญญาเลขที่ MSD61I0078

เอกสารอ้างอิง

[1] N. G. McCrum, C. P. Buckley, and C. B. Bucknell, *Principles of Polymer Engineering*, Oxford University Press Inc., pp.117–176, 2003.
[2] F. Goran, Viscoelastic damping technology can achieve 70% noise reduction, *Off-shore magazine*, 2000.



- [3] R. D. Mohan, "Recent applications of viscoelastic damping for noise control in automobiles and commercial airplanes," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 262, no. 3, pp. 457–474, 2003.
- [4] K. S. Lee, J. I. Choi, S. K. Kim, B. K. Lee, J. S. Hwang, and B. Y. Lee, "Damping and mechanical properties of composite composed of polyurethane matrix and preplaced aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 145, pp. 68–75, 2017.
- [5] K. S. Lee, J. I. Choi, S. E. Park, J. S. Hwang, and B. Y. Lee, "Damping property of prepacked concrete incorporating coarse aggregates coated with polyurethane," *Cement and Concrete Composites*, vol. 93, pp. 301–308, 2018.
- [6] L. Marshall, *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press, 2006.
- [7] R. D. Blevins, *Formulas for natural frequency and mode shape*. Van Nostrand, 2001.
- [8] R. del Rey, J. Alba, L. Bertó, and A. Gregori, "Small-sized reverberation chamber for the measurement of sound absorption," *Materiales de Construcción*, vol. 67, no. 328, e139, 2017.