คพ. 03-133

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

NIMT

วว.TISTR

คู่มือการตรวจวัด

ความสั่นสะเทือน

เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

คำนำ

คู่มือตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารฉบับนี้ กรมควบคุมมลพิษ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ร่วมกันจัดทำขึ้น โดยรวบรวมเทคนิค วิธีการ การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ และการประมวลผล ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ลงวันที่ 26 เมษายน 2553 รวมถึงได้อ้างอิงเอกสารและกฎหมายที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศในการจัดทำคู่มือฉบับนี้

โดยคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจวัดความสั่นสะเทือน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานด้านการติดตามตรวจสอบและประเมินผลกระทบของความสั่นสะเทือนจากกิจกรรม/โครงการต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับอาคาร รวมไปถึงกรณีเรื่องร้องเรียน ให้มีผลการตรวจวัดที่ถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ โดยหากมีข้อสงสัยหรือข้อแนะนำประการใดโปรดแจ้งกลับมายังกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง เพื่อจะได้นำไปปรับปรุงแก้ไขให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามความสั่นสะเทือนยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ ทั้งในด้านสุขภาพ และความเดือดร้อนรำคาญ กรมควบคุมมลพิษจะร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการพิจารณากำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจวัดเพื่อใช้ในการควบคุม กำกับ ดูแล ในระยะถัดไป

ท้ายนี้ กรมควบคุมมลพิษ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ให้คำแนะนำในการจัดทำคู่มือฉบับนี้สำเร็จลุล่วงสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

สารบัญ

1
คำนำ

3
บทที่ 1 : มาตรฐานอ้างอิง

5
บทที่ 2 : นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

12
บทที่ 3 : เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

15
บทที่ 4 : การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ และการดูแลรักษา

19
บทที่ 5 : การตรวจวัดและการติดตั้งเครื่องมือ

34
บทที่ 6 : การสรุปผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

37
ภาคผนวก 1 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร (พ.ศ. 2553)

44
ภาคผนวก 2 การประเมินการเกิดการล้า การสั่นพ้อง และการหาความถี่ธรรมชาติของอาคาร

47
ภาคผนวก 3 การสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

53
ภาคผนวก 4 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

60
ภาคผนวก 5 ระบบการสั่นสะเทือนและตัวอย่างผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

บทที่ 1 มาตรฐานอ้างอิง

ในคู่มือการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารฉบับนี้ มีเนื้อหา วิธีการ และข้อกำหนดอ้างอิงตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร (พ.ศ. 2553) และอ้างอิงตามพระราชบัญญัติ ประกาศ และมาตรฐานสากลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยคู่มือการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร ฉบับนี้ได้จัดทำและเผยแพร่ในช่วงที่เอกสารที่ใช้อ้างอิงดังกล่าวประกาศบังคับใช้ ซึ่งรายการเอกสารอ้างอิงมีดังต่อไปนี้

- DIN 4150-1 Structural vibration - Part 1: Prediction of vibration parameters: 2001
- DIN 4150-3 Vibration in buildings - Part 3: Effects of vibration on structures: 1999
- DIN 45669-1 Measurement of vibration immission - Part 1: Vibration meters - Requirements and tests: 1995
- DIN 45669-2 Mechanical vibration and shock measurement - Part 2: Measurement procedure: 1995
- ISO 4866 Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures: 2010

- ISO 16063-21 Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer: 2003
- พระราชบัญญัติโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พ.ศ. 2504 แก้ไขเพิ่มเติมโดย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2535
- พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2535, ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2543, ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2550, ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2558
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดย กฎกระทรวง ฉบับที่ 58 พ.ศ. 2546, กฎกระทรวง ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2550 และ กฎกระทรวง ฉบับที่ 66 พ.ศ. 2559 (ลักษณะอาคาร ส่วนต่างๆ ของอาคาร ที่ว่างภายนอก แนวอาคารและระยะต่างๆ ของอาคาร)

บทที่ 2 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

1. ความสั่นสะเทือน (Vibration) คือ การที่วัตถุถูกกระทำด้วยแรงที่มีลักษณะเป็นคาบ (Period) โดยมีการส่งผ่านพลังงานผ่านวัตถุโดยไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนตำแหน่งอย่างถาวร แต่มีลักษณะของการแกว่งกวัด ไป-กลับ ของวัตถุนั้น

2. ประเภทของความสั่นสะเทือน

2.1 ความสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free vibration) หมายถึงความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรง หรือแรงบิดมารบกวนสภาวะสมดุล ทำให้เริ่มสั่นสะเทือน แต่ขณะที่สั่นสะเทือนเป็นการสั่นอย่างอิสระไม่มีแรงหรือแรงบิดภายนอกใดมากระทำต่อระบบเลย ตัวอย่างของความสั่นสะเทือนแบบอิสระ ได้แก่ การสั่นของลูกตุ้มนาฬิกา การแกว่งของชิงช้า เป็นต้น

2.2 ความสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced vibration) เป็นความสั่นสะเทือนซึ่งเกิดเนื่องจากพลังงานภายนอกกระทำกับระบบระหว่างการสั่นสะเทือน โดยพลังงานภายนอกที่กระทำนั้นอาจจะอยู่ในรูปของแรง แรงบิด หรืออาจเป็นการกระจัดเพื่อบังคับให้เกิดการสั่นก็ได้

3. ความถี่ (Frequency) คือ จำนวนรอบการแกว่งของความสั่นสะเทือนในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hertz (เฮิรตซ์ หรือ รอบต่อวินาที)

4. ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ จำนวนรอบของการแกว่งอย่างอิสระด้วยตัวเองของวัตถุ

5. การสั่นพ้อง (Resonance) คือ กรณีที่วัตถุถูกกระทำด้วยแรงที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุนั้นจะสั่นด้วยความถี่นั้นโดยมีขนาดหรือแอมปลิจูด (Amplitude) ของการสั่นที่มากขึ้น หากถูกกระทำโดยแรงที่มีขนาดใหญ่หรือถูกกระทำเป็นระยะเวลานานอาจทำให้วัตถุนั้นเสียหายได้ โดยรูปแบบของการสั่นพ้องมีหลายรูปแบบแปรผันตามความถี่ของแรงที่กระทำและความยาวของคลื่น (Wavelength)

6. การล้า (Fatigue) คือ การสูญเสียคุณสมบัติความทนทานทางกายภาพเมื่อวัตถุได้รับความสั่นสะเทือนซ้ำไปซ้ำมาเป็นระยะเวลานานมากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายในโครงสร้างเนื่องจากมีการสั่นอยู่ตลอดช่วงเวลาดังกล่าว

7. อาคาร (Building) หมายความว่า ตึก บ้าน เรือน โรง ร้าน แพ คลังสินค้า สำนักงาน และสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่น ซึ่งบุคคลอาจเข้าอยู่หรือเข้าใช้สอยได้ และหมายรวมถึง

(1) อัฒจันทร์หรือสิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่นเพื่อใช้เป็นที่ชุมชนของประชาชน

(2) เขื่อน สะพาน อุโมงค์ ทางหรือท่อระบายน้ำ อู่เรือ คานเรือ ท่าน้ำ ท่าจอดเรือ รั้ว กำแพง หรือประตู ที่สร้างขึ้นติดต่อหรือใกล้เคียงกับที่สาธารณะหรือสิ่งที่สร้างขึ้นให้บุคคลทั่วไปใช้สอย

(3) ป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดหรือตั้งป้าย

(ก) ที่ติดหรือตั้งไว้เหนือที่สาธารณะและมีขนาดเกินหนึ่งตารางเมตร หรือมีน้ำหนักรวมทั้งโครงสร้างเกินสิบกิโลกรัม

(ข) ที่ติดหรือตั้งไว้ในระยะห่างจากที่สาธารณะซึ่งเมื่อวัดในทางราบแล้วระยะห่างจากที่สาธารณะมีน้อยกว่าความสูงของป้ายนั้นเมื่อวัดจากพื้นดิน และมีขนาดหรือมีน้ำหนักเกินกว่าที่กำหนดในกฎกระทรวง (มหาดไทย)

(4) พื้นที่หรือสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นที่จอดรถ ที่กลับรถ และทางเข้าออกของรถสำหรับอาคาร ตลอดจนลักษณะและขนาดของพื้นที่หรือสิ่งที่สร้างขึ้นดังกล่าว

(5) สิ่งที่สร้างขึ้นอย่างอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง (มหาดไทย)

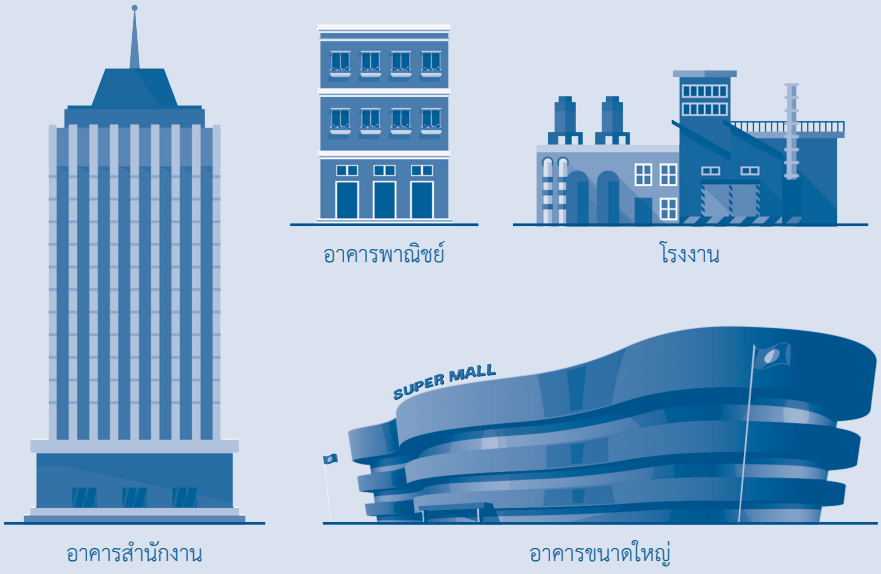
8. ประเภทของอาคาร

8.1 อาคารประเภทที่ 1 หมายความว่า

(1) อาคารที่ใช้เป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

(2) อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน อาคารคลังสินค้า อาคารพิเศษ อาคารขนาดใหญ่ ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(3) อาคารอื่นใดที่มีการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกันกับอาคารตาม (1) และ (2)



รูปที่ 1 ตัวอย่างอาคารประเภทที่ 1

8.2 อาคารประเภทที่ 2 หมายความว่า

(1) อาคารอยู่อาศัย อาคารอยู่อาศัยรวม ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว บ้านแฝด ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(2) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(3) หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก

(4) อาคารที่ใช้เป็นสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล และอาคารที่ใช้เป็นโรงพยาบาลของทางราชการ

(5) อาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาตามกฎหมายว่าด้วยโรงเรียนเอกชน อาคารที่ใช้เป็นโรงเรียนของทางราชการ อาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาของเอกชนตามกฎหมายว่าด้วยสถาบันอุดมศึกษาเอกชน และอาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ

(6) อาคารที่ใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมทางศาสนา

(7) อาคารอื่นใดที่มีลักษณะของการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกันกับอาคารตาม (1) (2) (3) (4) (5) และ (6)

อาคารเพื่อกิจกรรมทางศาสนา

ที่อยู่อาศัย

สถานศึกษา

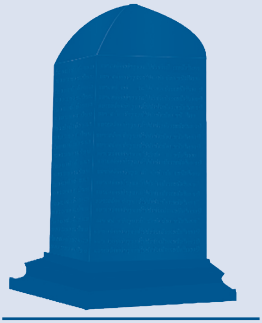
สถานพยาบาล

รูปที่ 2 ตัวอย่างอาคารประเภทที่ 2

8.3 อาคารประเภทที่ 3 หมายความว่า

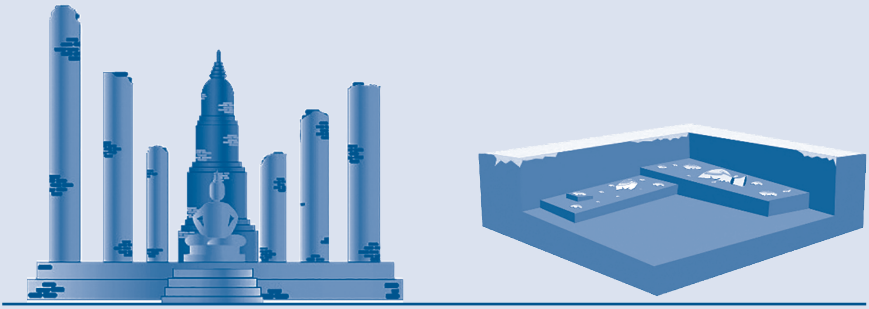
(1) โบราณสถานตามกฎหมายว่าด้วยโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ ซึ่งได้แก่ โบราณสถานหรือเขตที่ดินตามที่เห็นสมควรเป็นเขตของโบราณสถานตามที่ได้ขึ้นทะเบียนตามมาตรา 7 ของพระราชบัญญัติโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พ.ศ. 2504 แก้ไขเพิ่มเติมโดย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2535 และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

(2) อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในลักษณะอื่นใดที่มีลักษณะไม่มั่นคงแข็งแรง แต่มีคุณค่าทางวัฒนธรรม



โบราณวัตถุ

พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ



โบราณสถาน

รูปที่ 3 ตัวอย่างอาคารประเภทที่ 3

9. โครงสร้างอาคาร หมายความว่า ส่วนของอาคารที่เป็นเสา คาน ตง พื้น หรือส่วนอื่น ซึ่งโดยสภาพถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารนั้น

10. ส่วนประกอบของอาคาร หมายความว่า ส่วนของอาคารที่นอกเหนือจากโครงสร้างอาคาร ที่มีการยึดอย่างมั่นคงกับโครงสร้างอาคาร

11. ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity: PPV, v_{max}) หมายความว่า ค่าความเร็วของความสั่นสะเทือนในแนวแกนนอน (แกน X หรือ แกน Y) หรือแนวแกนตั้ง (แกน Z) ที่มีค่าสูงสุด โดยค่านี้จะถูกใช้เป็นค่าที่บ่งชี้ขนาดความรุนแรงของความสั่นสะเทือนโดยนำไปพิจารณาร่วมกับความถี่ในการสั่นสะเทือน

12. กรณีของความสั่นสะเทือน แบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

12.1 ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 หมายความถึง ความสั่นสะเทือนที่ไม่ทำให้เกิดการล้าและการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร ได้แก่ ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ ตัวอย่างของกรณีความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 แสดงไว้ใน**ตารางที่ 1**

12.2 ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 หมายความถึง ความสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการล้าหรือการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 นี้จัดเป็นกรณีพิเศษเพิ่มเติมจากความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 ได้แก่ ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นซ้ำๆ หรือเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน หรือตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดการล้าของอาคาร และความสั่นสะเทือนที่มีความถี่ของการสั่นสะเทือนใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร ซึ่งทำให้เกิดการสั่นพ้องของอาคาร ตัวอย่างของกรณีความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 แสดงไว้ใน**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 ตัวอย่างความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2

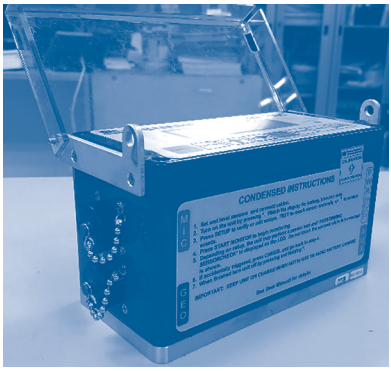
ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2
การจราจร ถนน ระบบราง ที่มีความหนาแน่นของการจราจรต่ำ ความสั่นสะเทือนเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง เช่น ถนนสายรองที่มีรถบรรทุกวิ่งผ่านบ้าง ระบบรถไฟหรือรถไฟฟ้า	**การจราจร** ถนน ระบบราง ที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูง ความสั่นสะเทือนเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา หรือเป็นช่วงระยะเวลานาน เช่น ทางด่วน หรือถนนสายหลักที่มีรถสัญจรอยู่ตลอดเวลา
เครื่องจักร ที่มีการทำงานแต่ละครั้งเป็นระยะเวลาสั้นๆ เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องตอก เลื่อยไฟฟ้า	**เครื่องจักร** ที่มีการทำงานตลอดเวลา หรือเกือบตลอดเวลาหรือเป็นช่วงระยะเวลานาน เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็น มอเตอร์ ไดนาโม เครื่องปั่นไฟ สายพานลำเลียง เครื่องโม่
อะคูสติคภายในอาคาร เช่น เครื่องเสียง เครื่องดนตรี กรณีเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ	**อะคูสติคภายในอาคาร** เช่น เครื่องเสียง เครื่องดนตรี กรณีเกิดขึ้นซ้ำๆ หรือต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน หรือตลอดเวลา
การระเบิด เหมืองหิน/แร่ ทำลายสิ่งก่อสร้าง	
คลื่นอัดอากาศ การระเบิด อากาศยาน	
การก่อสร้าง ตอก/เจาะเสาเข็ม ขุด เจาะ ทุบทำลาย กด/ปักผนังกันดิน การถมดิน การบดอัดพื้นผิว	
กิจกรรมของมนุษย์ จากภายนอกอาคาร เช่น การเล่นกีฬาบางชนิด จากภายในอาคาร เช่น การเคลื่อนย้ายเฟอร์นิเจอร์	
ภัยธรรมชาติ แผ่นดินไหว ลม พายุ	

บทที่ 3

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

1. มาตรความสั่นสะเทือน หรือ เครื่องวัดความสั่นสะเทือน ที่เป็นไปตามมาตรฐาน DIN 45669-1 ของประเทศเยอรมัน (Deutsches Institut für Normung) หรือมีคุณสมบัติเทียบเท่าตามที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ (ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานอื่นตามที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ) ประกอบไปด้วย

1.1 เครื่องวัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) คือ อุปกรณ์ที่สามารถแปรผลความสั่นสะเทือน (ความถี่ของความสั่นสะเทือนและความเร็วอนุภาคสูงสุด) แยกกันได้ตามแกนอิสระที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน 3 แนวแกน โดยในบางรุ่นอาจมีหัววัดความสั่นสะเทือนติดตั้งอยู่ภายในตัวเครื่อง (Built in)



รูปที่ 4 ตัวอย่างเครื่องวัดความสั่นสะเทือน

1.2 **หัววัดความสั่นสะเทือน (Transducer or Vibration Sensor)** คือ อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับสัญญาณคลื่นความสั่นสะเทือนก่อนส่งสัญญาณคลื่นความสั่นสะเทือน ให้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนแปรสัญญาณ แสดงผลและบันทึกค่าความสั่นสะเทือน โดยต้องมีชุดอุปกรณ์ยึดติดที่สามารถประกอบเข้ากับหัววัดความสั่นสะเทือนเพื่อให้ยึดกับพื้นผิวจุดตรวจวัด เช่น พื้นดิน กำแพง พื้นและผนังอาคาร เป็นต้น

รูปที่ 5 ตัวอย่างหัววัดความสั่นสะเทือน

1.3 **สายสัญญาณ (Signal Cable)** คือ สายส่งสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดความสั่นสะเทือนไปยังเครื่องวัดความสั่นสะเทือนเพื่อประมวลผล

2. อุปกรณ์ติดยึดหัววัดความสั่นสะเทือนกับพื้นผิว เช่น น็อต สกรู ลิ่ม เนื่องจากในบางจุดตรวจวัดการตอกลิ่มยึดหัววัดความสั่นสะเทือนเข้ากับพื้นผิวบริเวณที่ตรวจวัดโดยตรงอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคารได้ จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ติดยึดจำพวกขี้ผึ้งเหนียว หรือกาว ติดยึดหัววัดความสั่นสะเทือนเข้ากับพื้นผิวบริเวณที่จะทำการตรวจวัดแทนเพื่อลดความเสียหาย

3. อุปกรณ์วัดระดับความลาดเอียงในแนวราบและแนวดิ่ง เช่น เครื่องวัดระดับน้ำตาไก่ ลูกดิ่ง ใช้เพื่อตรวจสอบว่าหัววัดความสั่นสะเทือนได้ถูกติดตั้งอยู่ในแนวระดับทั้งแนวราบ และแนวดิ่ง

4. อุปกรณ์วัดระยะทาง เช่น สายวัด เลเซอร์วัดระยะทาง

5. อุปกรณ์สำหรับกดทับหัววัดความสั่นสะเทือน เช่น ถุงทราย เพื่อให้หัววัดความสั่นสะเทือนแนบสนิทไปกับพื้นผิว

6. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น อุปกรณ์สำหรับขุดหรือปรับพื้นผิวดิน แท่งคอนกรีตสำหรับวางบนพื้นดินอ่อน

ข้อแนะนำ : การสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลผลการตรวจวัด เครื่องวัดความสั่นสะเทือนและหัววัดความสั่นสะเทือน ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและสอบเทียบ (Calibrate) อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในสาขาการวัดนี้ และสามารถสอบย้อนกลับไปยังหน่วยวัดแห่งชาติหรือสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ทั้งนี้สามารถศึกษารายละเอียดการสอบเทียบเพิ่มเติมได้จาก**ภาคผนวก 3**

บทที่ 4

การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ และการดูแลรักษา

1. การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ก่อนที่จะนำเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนออกไปใช้งานในภาคสนาม ควรทำการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน เพื่อเตรียมความพร้อมในการปฏิบัติงานก่อนนำไปตรวจวัด ดัง**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ และการตรวจสอบ

รายการ	การตรวจสอบ
เครื่องวัดความสั่นสะเทือน	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือร้าว เป็นต้น) - ช่องการเชื่อมต่อมีสภาพสมบูรณ์ และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ ที่จำเป็นได้แน่นหนา - แบตเตอรี่ภายในเครื่องวัดความสั่นสะเทือนสามารถประจุไฟเข้า เก็บประจุและมีปริมาณประจุเพียงพอต่อการใช้งาน - แบตเตอรี่สำรองเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน - ต่อชุดอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วเปิดเครื่องเครื่องมือสามารถปรับตั้งค่า ทำการตรวจวัดและบันทึกค่าผลการตรวจวัดไว้ในหน่วยความจำของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนได้เป็นปกติ

รายการ	การตรวจสอบ
	- ทดสอบการทำงานของเครื่อง (Self-Check) ผ่านตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ - สามารถพิมพ์หรือถ่ายโอนข้อมูลผลการตรวจวัดไปยังคอมพิวเตอร์ได้ - เครื่องวัดความสั่นสะเทือนควรใช้งานอยู่ในช่วงระยะเวลา 1 ปี นับจากวันที่ได้รับการสอบเทียบครั้งล่าสุด - หากต้องใช้แหล่งพลังงานตรงจากไฟฟ้ากระแสสลับให้คำนึงถึงสัญญานรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้าด้วย เช่น พิจารณาใช้สายไฟชนิดลดสัญญาณรบกวน หรือใช้อุปกรณ์ลดสัญญาณรบกวน
หัววัดความสั่นสะเทือน	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือร้าว เป็นต้น) - ช่องการเชื่อมต่อมีสภาพสมบูรณ์ (ถ้ามี) จุดเชื่อมต่อกับสายสัญญาณแน่นหนาและอยู่ในสภาพดี - เชื่อมต่อกับสายสัญญาณและเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแล้วสามารถทำงานได้เป็นปกติ - เครื่องหมายแสดงทิศของแกนการสั่นสะเทือน (Vibration Axis) ไม่เลอะเลือน สามารถบอกทิศทางได้ชัดเจน - จุดต่อยึดกับอุปกรณ์ยึดกับพื้นผิวอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ไม่เป็นสนิม - หน้าสัมผัสของหัววัดความสั่นสะเทือนมีลักษณะเรียบ ไม่บุบ ยุบ หรือขรุขระ แนบกับพื้นผิวที่ต้องการติดตั้งได้ดี

รายการ	การตรวจสอบ
	- หัววัดความสั่นสะเทือนควรใช้งานอยู่ในช่วงระยะเวลา 1 ปี นับจากวันที่ได้รับการสอบเทียบครั้งล่าสุด
สายสัญญาณ (ถ้ามี)	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่ขาด แตก หัก หรือมีรอยพับจนเปลี่ยนสภาพ เป็นต้น) - ช่องการเชื่อมต่อมีสภาพสมบูรณ์ (ถ้ามี) จุดเชื่อมต่อกับเครื่องวัดและหัววัดความสั่นสะเทือนแน่นหนา อยู่ในสภาพดี และทำงานร่วมกันได้เป็นปกติ
อุปกรณ์ติดยึดหัววัดความสั่นสะเทือนกับพื้นผิว	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือร้าว เป็นต้น) - มีจำนวนชิ้นส่วนอุปกรณ์ครบตามที่ถูกออกแบบไว้ - สามารถประกอบกับหัววัดหรือเครื่องวัดความสั่นสะเทือนในกรณีที่เป็นหัววัดแบบภายใน (Built in) ได้สมบูรณ์ - สามารถยึดติดหัววัดหรือเครื่องวัดความสั่นสะเทือนกับพื้นผิวที่ต้องการตรวจวัดได้ดี
อุปกรณ์วัดระดับความลาดเอียงในแนวราบและแนวดิ่ง	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือร้าว เป็นต้น) - สามารถวัดความลาดเอียงได้แม่นยำทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง
อุปกรณ์วัดระยะทาง	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือร้าว เป็นต้น) - สามารถวัดระยะทางได้แม่นยำ

รายการ	การตรวจสอบ
อุปกรณ์สำหรับกดทับหัววัดความสั่นสะเทือน	- มีความสมบูรณ์ทางกายภาพ (ไม่บิ่น แตก หัก หรือรั่ว เป็นต้น) - มีน้ำหนักเพียงพอที่จะกดทับไม่ให้หัววัดความสั่นสะเทือนหลุดออกจากพื้นผิว

2. การดูแลรักษาเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

2.1 ควรส่งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่อพ่วงไปสอบเทียบ ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในสาขาการวัดนี้ และสามารถสอบย้อนกลับไปยังหน่วยวัดแห่งชาติหรือสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยครอบคลุมการทดสอบอย่างน้อยในช่วงความถี่การตรวจวัด 1 - 120 เฮิรตซ์ และช่วงความเร็วอนุภาคสูงสุด 1 - 60 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้ง 3 แนวแกนการตรวจวัด

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ควรใส่ไว้ในกระเป๋า หรือกล่องเครื่องมือ เพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงระหว่างการเคลื่อนย้าย

2.3 การเก็บเครื่องมือควรหลีกเลี่ยงบริเวณที่เปียก มีความชื้นสูง หรือมีความร้อนสูง

2.4 ควรนำเครื่องมือมาตรวจเช็คการทำงานและทำความสะอาดอุปกรณ์ทุก 3 เดือน หากไม่มีการใช้งาน

2.5 ควรนำเครื่องวัดความสั่นสะเทือนมาประจุไฟเข้าแบตเตอรี่และตรวจสอบทุก 1 - 3 เดือน

2.6 ควรเคลื่อนย้ายเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยความระมัดระวัง

2.7 หลีกเลี่ยงการทำเครื่องวัดและหัววัดความสั่นสะเทือน ตก กระแทก เนื่องจากอาจทำให้เกิดความเสียหาย

บทที่ 5

การตรวจวัดและการติดตั้งเครื่องมือ

1. การเตรียมตัวเบื้องต้น แนวทางการสำรวจพื้นที่และสภาพของแหล่งกำเนิดและอาคารที่ได้รับผลกระทบก่อนตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ก่อนที่จะออกไปทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนควรศึกษาข้อมูลเบื้องต้น และเมื่อไปถึงบริเวณที่ต้องการตรวจวัดให้ทำการสำรวจพื้นที่และสภาพของแหล่งกำเนิดและอาคารที่ได้รับผลกระทบ ดังนี้

1.1 ชื่ออาคารที่จะทำการตรวจวัด และที่ตั้งของอาคาร

1.2 ประเภทของอาคารที่จะทำการตรวจวัด

1.3 จำนวนชั้นของอาคารที่จะทำการตรวจวัด

1.4 ประเภท ชนิด จำนวน และกำลัง ของแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคารที่จะทำการตรวจวัด

1.5 เจ้าของหรือผู้ครอบครองแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน หรือผู้ติดต่อประสานงาน

1.6 ชั้น ด้าน หรือจุดใดของอาคารที่จะทำการตรวจวัดที่น่าจะได้รับผลกระทบจากความสั่นสะเทือนมากกว่าจุดอื่นของอาคาร

1.7 ระยะห่างของอาคารที่จะทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน

1.8 ประเมินกรณีของความสั่นสะเทือน (ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 หรือ กรณีที่ 2)

1.9 ลักษณะการเกิดผลกระทบ (เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวหรือหลายครั้ง เกิดขึ้นต่อเนื่องหรือเกิดซ้ำเป็นช่วงระยะเวลา) วัน - เวลาที่เกิดผลกระทบ (จันทร์ - ศุกร์ หรือ เสาร์ - อาทิตย์ ช่วงเวลาทำงานหรือช่วงยามวิกาล)

1.10 ข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อประเมินผลกระทบความสั่นสะเทือนต่ออาคาร เช่น รูปของแหล่งกำเนิด อาคารที่ได้รับผลกระทบ และจุดตรวจวัด แผนที่รวมทั้งพิกัดทางภูมิศาสตร์

ทั้งนี้ อาจกรอกข้อมูลเบื้องต้นในแบบบันทึกผลการวัดและจัดทำแผนที่อย่างคร่าว แสดงจุดตรวจวัดอาคารที่ได้รับผลกระทบและแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนไว้เบื้องต้น

2. การประเมินกรณีของความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

การประเมินกรณีของความสั่นสะเทือนนั้น ให้พิจารณาแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคารว่ามีลักษณะความสั่นสะเทือนตรงตามประเภทใด โดยความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 คือ ความสั่นสะเทือนที่ไม่ทำให้เกิดการล้าและการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร ได้แก่ ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นๆ และความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 คือ ความสั่นสะเทือนกรณีพิเศษเพิ่มเติมจากความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 ได้แก่ ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นซ้ำๆ หรือเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานหรือตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดการล้าของอาคาร และความสั่นสะเทือนที่มีความถี่ของการสั่นสะเทือนใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารซึ่งทำให้เกิดการสั่นพ้องของอาคาร สำหรับตัวอย่างของกรณีความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 และ 2 แสดงไว้ใน**ตารางที่ 1 ในบทที่ 2** โดยการประเมินการเกิดการล้าและการสั่นพ้องสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน**ภาคผนวก 2**

3. การพิจารณาจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

การพิจารณาจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนต้องพิจารณาให้ตรงกับวัตถุประสงค์ ดังนี้

3.1 การตรวจวัดความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคาร ให้ทำการตรวจวัดที่จุดตรวจวัดดังต่อไปนี้

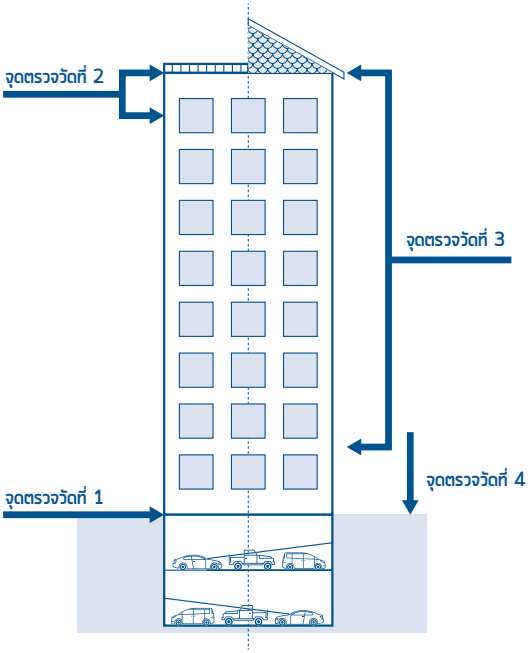
จุดตรวจวัดที่ 1 บริเวณชั้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

จุดตรวจวัดที่ 2 บริเวณชั้นบนสุดของอาคาร
(หากอาคารมีชั้นดาดฟ้าให้ตรวจวัดที่ชั้นดาดฟ้าของอาคาร)

จุดตรวจวัดที่ 3 บริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้น
(ยกเว้นชั้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร)

3.2 การตรวจวัดเพื่อประเมินความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารที่จะมีการก่อสร้างขึ้นในอนาคต ให้ตรวจวัดที่จุดตรวจวัดที่ 4 บนบริเวณ

พื้นดินบริเวณที่จะมีการก่อสร้างฐานรากของอาคาร หรือหากบริเวณดังกล่าวไม่สามารถตรวจวัดได้ให้ตรวจวัดบริเวณชั้นฐานรากหรือชั้นล่างสุดของอาคารใกล้เคียงที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน



รูปที่ 6 จุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร
หมายเหตุ : หากอาคารมีชั้นดาดฟ้า ให้ตรวจวัดที่ชั้นดาดฟ้าของอาคาร

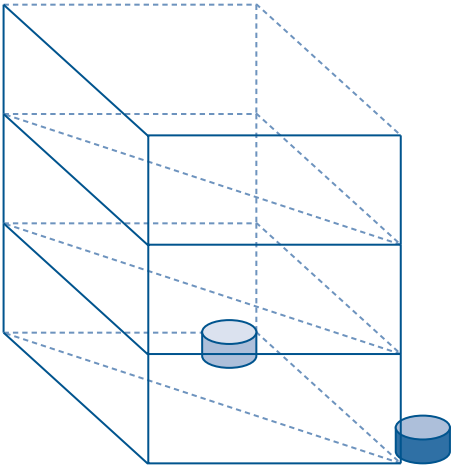
4. ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

4.1 การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน โดยติดตั้งหัววัดบนพื้นอาคารชั้นล่างบริเวณใกล้ฐานกำแพงนอกสุดของอาคาร หรือบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคาร หรือช่องเปิดบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคารและตำแหน่งหัววัดต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารหรือพื้นดินไม่เกิน 0.5 เมตร สำหรับอาคารซึ่งมีชั้นล่างเป็นบริเวณกว้างให้ตรวจวัดหลายๆ ตำแหน่งพร้อมๆ กัน ดัง**รูปที่ 7**

ข้อแนะนำ :

ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน คือ ฐานรากหรือพื้นอาคารชั้นล่างบริเวณใกล้ฐานกำแพงด้านนอกของอาคารด้านที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนมากที่สุด กรณีที่ไม่สามารถติดตั้งได้ให้พิจารณาติดตั้งที่ผนังหรือกำแพง หรือช่องเปิดบนผนังหรือกำแพง โดยตำแหน่งหัววัดต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารหรือพื้นดินไม่เกิน 0.5 เมตร

ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

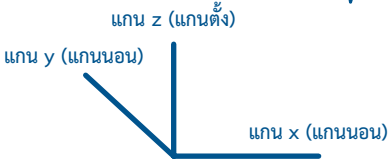


จุดตรวจวัดที่ 1
บริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

ฐานรากหรือพื้นชั้นล่างของอาคาร (ควรเป็นบริเวณด้านนอกของอาคาร) หรือหากจำเป็น ให้ติดตั้งบนผนังหรือกำแพงนอกสุดอาคาร (สูงไม่เกิน 0.5 เมตร)

กรณีอาคารที่มีพื้นที่ชั้นล่างเป็นบริเวณกว้าง อาจพิจารณาทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนหลายๆ ตำแหน่งพร้อมกัน

แหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน



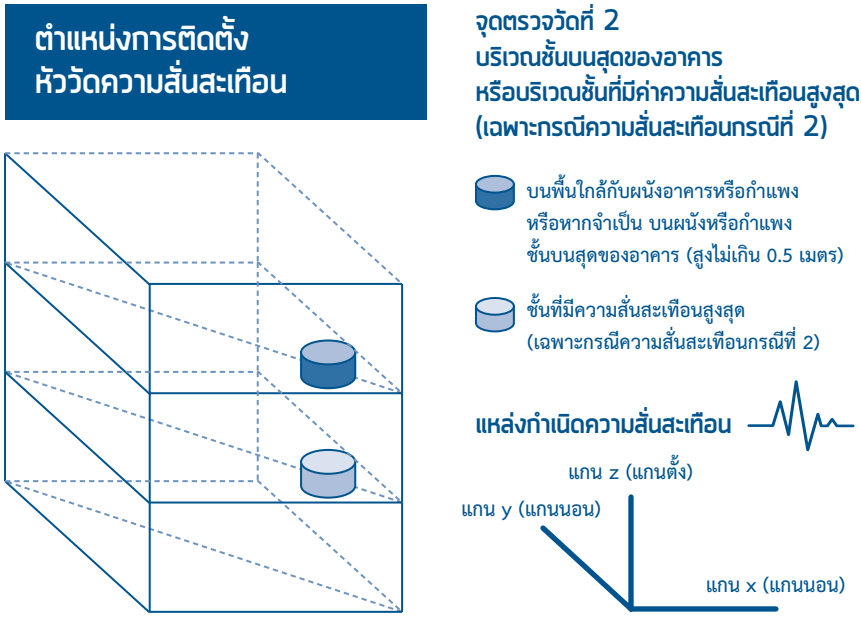
หมายเหตุ : ติดตั้งให้แกนนอนแกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับผนังอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิด

รูปที่ 7 ตำแหน่งการตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

4.2 การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณชั้นบนสุดของอาคาร หรือชั้นที่มีความสั่นสะเทือนสูงสุด ให้ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนเข้ากับพื้นบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพง หรือบนผนังอาคาร หรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคาร หากอาคารมีชั้นดาดฟ้าให้ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นชั้นดาดฟ้า ดัง**รูปที่ 8**

ข้อแนะนำ :

- ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน คือ พื้นอาคารบริเวณใกล้ฐานกำแพงหรือผนังของอาคารด้านที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนมากที่สุด โดยหากอาคารมีชั้นดาดฟ้าให้ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นชั้นดาดฟ้า
- กรณีที่ไม่สามารถติดตั้งได้ให้พิจารณาติดตั้งที่ผนังหรือกำแพง โดยตำแหน่งหัววัดความสั่นสะเทือนต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารชั้นบนสุดไม่เกิน 0.5 เมตร
- สำหรับความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 อาจพิจารณาติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคาร หรือผนังหรือกำแพง ในชั้นที่มีความสั่นสะเทือนสูงสุด



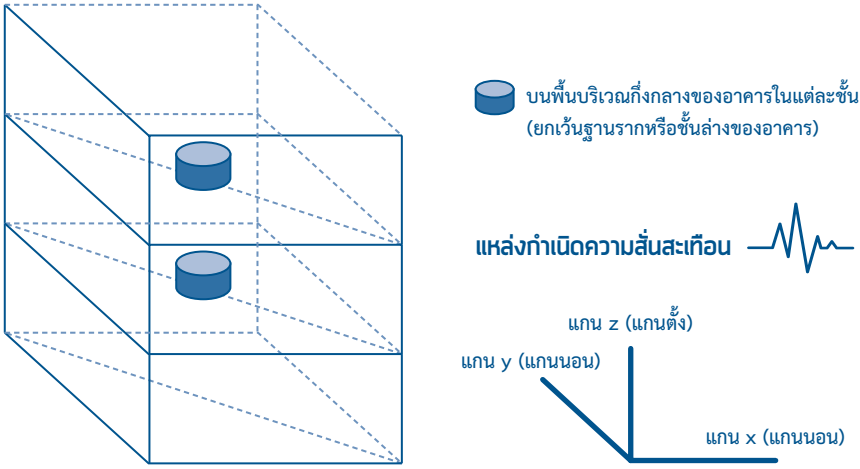
รูปที่ 8 ตำแหน่งการตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณชั้นบนสุดของอาคาร หรือชั้นที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด

4.3 การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณพื้นอาคารแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร ดัง**รูปที่ 9**

ข้อแนะนำ :

- ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนในแต่ละชั้นได้แก่ จุดกึ่งกลางของแต่ละชั้น (จุดที่เส้นทแยงมุมตัดกัน) เนื่องจากเป็นจุดที่มีโอกาสสั่นสะเทือนในแนวดิ่งได้สูงที่สุดเพราะมีระยะห่างจากเสาและผนังอาคารมากที่สุด แต่สำหรับอาคารที่มีโครงสร้างเสาหรือส่วนประกอบของอาคารสำหรับค้ำยันซับซ้อนอาจพิจารณาพื้นอาคารบริเวณอื่นที่มีความสั่นสะเทือนสูงกว่าจุดกึ่งกลางของอาคารเป็นตำแหน่งติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

ตำแหน่งการติดตั้ง
หัววัดความสั่นสะเทือน



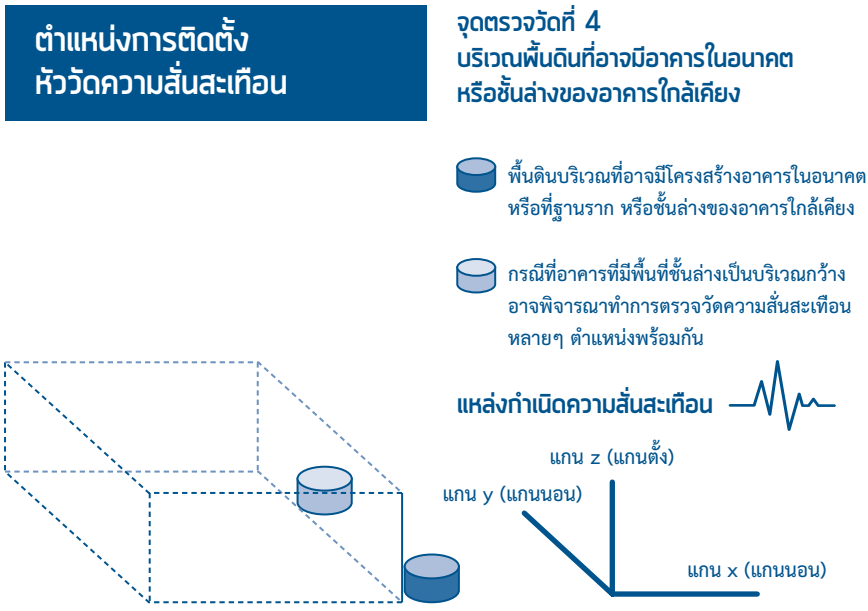
หมายเหตุ : ติดตั้งให้แกนนอนแกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับผนังอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิด

รูปที่ 9 ตำแหน่งการตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณพื้นอาคารแต่ละชั้น

4.4 การตรวจวัดเพื่อประเมินความสั่นสะเทือนต่ออาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต ให้ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นดินบริเวณที่อาจมีโครงสร้างอาคารในอนาคต หรือที่ฐานราก หรือชั้นล่างของอาคารใกล้เคียงดัง**รูปที่ 10**

ข้อแนะนำ :

- ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน คือ พื้นดินบริเวณที่อาจมีโครงสร้างอาคารในอนาคตด้านที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนมากที่สุด หากไม่สามารถติดตั้งได้ให้พิจารณาติดตั้งที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคารใกล้เคียงด้านที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนมากที่สุด



รูปที่ 10 ตำแหน่งการตรวจวัดเพื่อประเมินความสั่นสะเทือนต่ออาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต

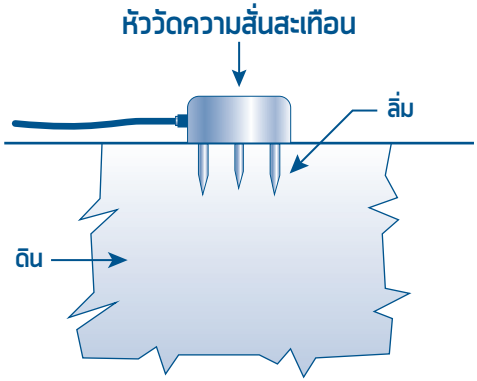
5. การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

ให้ติดตั้งหัววัดแกน X และแกน Y ในลักษณะที่ทำมุมฉากต่อกัน โดยให้แกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับผนังอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน และให้แกน Z อยู่ในแนวตั้งในลักษณะที่ทำมุมฉากกับแกน X และแกน Y ดังแสดงใน**รูปที่ 11**

รูปที่ 11 ตำแหน่งและทิศทางการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนบนพื้นดิน

โดยการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนในพื้นดินแต่ละประเภทให้เป็นไปตามข้อที่ 5.1 - 5.4 ดังนี้

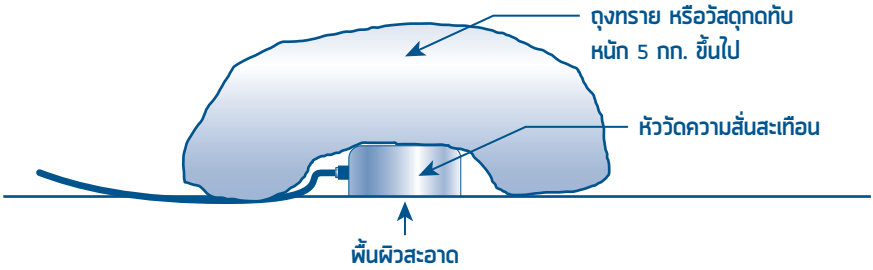
5.1 การติดตั้งหัววัดบนพื้นดิน ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ่มซึ่งตอกลงบนพื้นดิน และให้กดหรือตอกลิ่มจนมิดลงในพื้นดิน ทั้งนี้ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งหัววัดบนพื้นดินอ่อน เพราะจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนได้ ตัวอย่างการติดตั้งหัววัดบนพื้นดินแสดงดัง**รูปที่ 12**



รูปที่ 12 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนบนพื้นดิน

5.2 **การติดตั้งหัววัดที่พื้นอาคาร** ให้ติดตั้งหัววัดกับพื้นด้วยขี้ผึ้งเหนียวหรือกาว หรือตัวยึด/พุก/สกรู ทั้งนี้เพื่อป้องกันการกระเพื่อมของหัววัดหรือหลุดจากผิวสัมผัสกับพื้น อาจพิจารณาใช้ถุงทรายหรือตัวถ่วงน้ำหนักในลักษณะอื่นที่เหมาะสมกดทับหัววัดความสั่นสะเทือนไว้ ดังตัวอย่างตาม**รูปที่ 13 - 14**

รูปที่ 13 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคาร

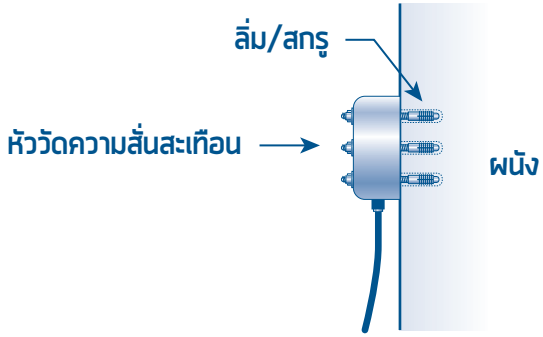


รูปที่ 14 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคาร

ข้อแนะนำ :

ควรทำการถ่วงน้ำหนักโดยถุงทรายหรือตัวถ่วงน้ำหนักในลักษณะอื่นที่เหมาะสมตามที่ผู้ผลิตเครื่องมือแนะนำ โดยกดทับหัววัดไว้เพื่อป้องกันการหลุดการสัมผัสพื้นผิว

5.3 **การติดตั้งหัววัดที่ผนังอาคารหรือกำแพง** ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ่มซึ่งเจาะบนผนังอาคารหรือกำแพงหรือยึดหัววัดกับผนังอาคารหรือกำแพงด้วยวัสดุอื่นในลักษณะที่มั่นคง ดังตัวอย่างตาม**รูปที่ 15**



รูปที่ 15 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนที่ผนังอาคารหรือกำแพง

ข้อแนะนำ 1 :

การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนบนกำแพงหรือผนังของอาคารควรติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ยึดหัววัดกับผนังหรือกำแพงของอาคารที่ผู้ผลิตเครื่องมือแนะนำให้ใช้โดยเฉพาะ หากต้องใช้การเจาะ ตอก หรือวิธีใดๆ ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อกำแพงหรือผนังอาคารควรทำอย่างระมัดระวังเพื่อจำกัดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น และหากไม่ได้รับความยินยอมจากเจ้าของอาคารไม่ควรยึดติดหัววัดโดยการเจาะ ตอก หรือวิธีการใดๆ ที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร

ข้อแนะนำ 2 :

การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนบนกำแพงหรือผนังของอาคารควรติดตั้งที่ระดับความสูงน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ได้ค่าความสั่นสะเทือนที่ถูกต้องที่สุดและไม่เกิน 0.5 เมตร ไม่ควรติดตั้งบริเวณโครงสร้างหรือส่วนประกอบของอาคารที่มีลักษณะกลวง หลวม หรือยึดติดกับโครงสร้างอื่นไม่แน่นหนา

5.4 การติดตั้งหัววัดกับโครงสร้างหรือส่วนประกอบอื่นของอาคาร ที่ยึดอย่างมั่นคงกับโครงสร้างอาคาร เช่น คาน ตง ท่อ ฯลฯ ควรติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ยึดหัววัดกับโครงสร้างหรือส่วนประกอบนั้นๆ อย่างมั่นคง

6. ช่วงเวลาในการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ช่วงเวลาในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมิน โดยสามารถดูตัวอย่างช่วงเวลาในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนจากกิจกรรมประเภทต่างๆ ได้ดัง**ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 ตัวอย่างช่วงระยะเวลาการตรวจวัดความสั่นสะเทือนจากกิจกรรมประเภทต่างๆ

ระยะเวลาการสั่นสะเทือน	ลักษณะการสั่นสะเทือน	ช่วงเวลาการพิจารณา	ระยะเวลาการตรวจวัด	ตัวอย่างกิจกรรม
ตลอดเวลาหรือเกือบจะตลอดเวลา	คงที่/เกือบคงที่	1 ชั่วโมง	30 วินาที	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
	เกิดขึ้นเป็นรอบหรือช่วงเวลา	3 รอบ/ช่วงเวลา	3 รอบ/ช่วงเวลาที่ไม่ติดต่อกัน	การตอก ทุบ หรือตีโลหะ
	อื่นๆ	1 วัน	เหตุการณ์ที่มีขนาดของความสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่สนใจ	การจราจรที่เกิดจากรถบรรทุกขนาดใหญ่

ระยะเวลาการสั่นสะเทือน	ลักษณะการสั่นสะเทือน	ช่วงเวลาการพิจารณา	ระยะเวลาการตรวจวัด	ตัวอย่างกิจกรรม
เกิดขึ้นเป็นช่วงระยะเวลา	คงที่/เกือบคงที่	ตามรอบการทำงาน	1 เหตุการณ์ หรือ 30 วินาที	เครื่องทำความเย็น
	เกิดขึ้นเป็นรอบหรือช่วงเวลา	อย่างน้อย 3 รอบ/ช่วงเวลา	1 รอบ/ช่วงเวลา หรือค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นตลอดช่วง	การเจาะเสาเข็ม
	อื่นๆ	ตามลักษณะการทำงาน	เหตุการณ์ที่มีขนาดของความสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่สนใจ	การบดหรืออัดถนนหรือวัสดุ
เกิดขึ้นเป็นครั้งๆ	-	1 เหตุการณ์	1 เหตุการณ์	การระเบิดเหมืองหิน

7. การตั้งค่าและการทดสอบการทำงานของเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

7.1 ตั้งค่าเครื่องวัดความสั่นสะเทือนให้บันทึกค่าผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนทั้ง 3 แนวแกนพร้อมกัน โดยบันทึกเป็นค่าความเร็วอนุภาคสูงสุด (PPV, v_{max}) ในหน่วยของมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) โดยความละเอียดของการวัด (Measurement Resolution) ไม่ควรเกินกว่า 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที พร้อมกับตั้งค่าให้บันทึกค่าความถี่ของความสั่นสะเทือน (f) ในหน่วยของเฮิรตซ์ (Hertz, Hz) ที่ความละเอียดของการวัดต้องไม่เกิน 1 เฮิรตซ์

หมายเหตุ :

หากไม่สามารถตั้งให้บันทึกค่าตามที่กำหนดไว้ได้ ให้บันทึกค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยอื่นที่สามารถนำมาแปลงหน่วยย้อนกลับตามที่กำหนดไว้ได้แทน เช่น ความเร่งอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Acceleration, a_{max}) หรือการขจัดอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Displacement, d_{max}) ซึ่งสามารถแปลงย้อนกลับเป็นหน่วยของความเร็วอนุภาคสูงสุดโดยคำนวณร่วมกับความถี่ของความสั่นสะเทือน

7.2 ตั้งค่าช่วงของความถี่ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนให้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการตรวจวัด โดยปกติสำหรับการตรวจวัดความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคารจะตั้งค่าให้ครอบคลุมช่วงความถี่ 1 - 100 เฮิรตซ์ หรือมากกว่า 100 เฮิรตซ์ ถ้าเครื่องมือสามารถตรวจวัดได้

ข้อสังเกต :

มาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารกำหนดค่ามาตรฐานไว้เข้มงวดในช่วงของความถี่ต่ำ (1 - 50 เฮิรตซ์) เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่ส่งผลกระทบต่ออาคารสูงกว่าช่วงความถี่สูง และมีโอกาสที่ความถี่ของความสั่นสะเทือนจะตรงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารทำให้เกิดการสั่นพ้องได้

7.3 ตั้งค่าให้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนให้ทำการตรวจวัดเหตุการณ์ (Event) ความสั่นสะเทือนและบันทึกผลการตรวจวัดเมื่อพบความสั่นสะเทือนที่มีค่าความสั่นสะเทือนมากกว่าที่กำหนดไว้ขั้นต่ำ (Trigger Level) โดยค่าที่กำหนดไว้ขั้นต่ำควรเป็นค่าต่ำที่สุดที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้ และไม่ควรสูงเกินกว่า 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที

หมายเหตุ :

มาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารกำหนดค่ามาตรฐานไว้ต่ำที่สุดที่ 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยหากตั้งค่าที่กำหนดไว้ขั้นต่ำ 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาทีแล้วตรวจวัดไม่พบเหตุการณ์ความสั่นสะเทือนอาจรายงานได้ว่าความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคารนั้นมีขนาดน้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน

7.4 ตั้งค่าความถี่ในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง (Sample rate) คลื่นความสั่นสะเทือนอย่างน้อย 1,000 ตัวอย่างต่อวินาที เพื่อความแม่นยำในการคำนวณหาความถี่ของความสั่นสะเทือน

7.5 เมื่อตั้งค่าของเครื่องมือเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ถ้าเครื่องมือมีฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ ให้ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ผู้ผลิตแนะนำ หากไม่พบความผิดปกติให้ทำการตรวจวัดได้ แต่ถ้าพบว่ามีการทำงานผิดปกติให้ตรวจสอบเครื่องมือและการตั้งค่าของเครื่องมือและทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอีกครั้ง หากยังพบความผิดปกติให้เปลี่ยนเครื่องวัดความสั่นสะเทือนชุดใหม่โดยทำการตั้งค่าของเครื่องมือและทดสอบการทำงานตามขั้นตอนที่ 7.1 - 7.5 ใหม่ทั้งหมด

7.6 เมื่อเริ่มทำการตรวจวัดให้สร้างความสั่นสะเทือนจำลองขนาดเล็กเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องมือ โดยอาจใช้ค้อนยางเคาะพื้นบริเวณใกล้กับหัววัดความสั่นสะเทือน (ห้ามทำการเคาะที่หัววัดความสั่นสะเทือนโดยตรง) แล้วตรวจสอบเครื่องมือว่าทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนและบันทึกค่าไว้หรือไม่

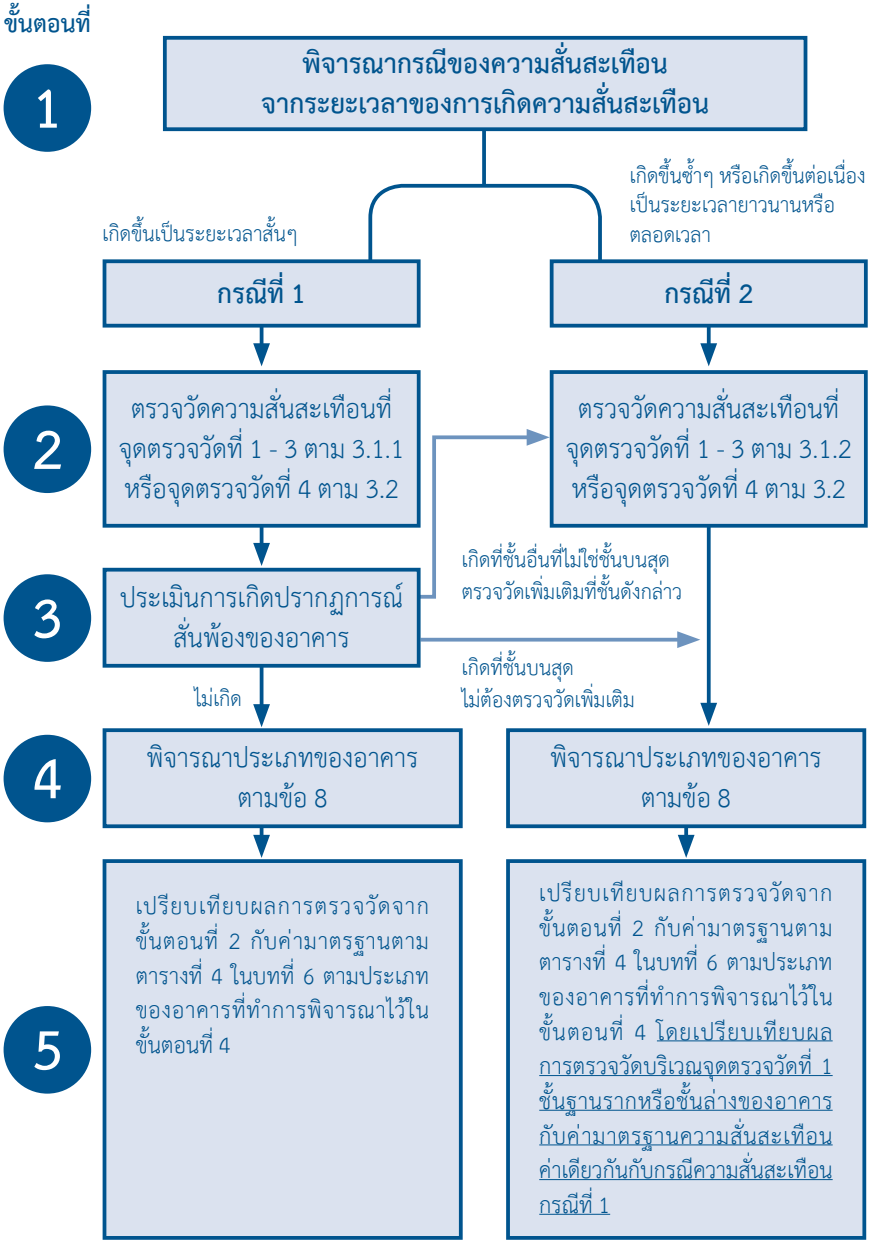
7.7 เมื่อทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเสร็จสิ้นตามระยะเวลาการตรวจวัดแล้ว ถ้าเครื่องมือมีฟังก์ชันการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ ให้ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ผู้ผลิตแนะนำ ถ้าพบว่ามีการทำงานผิดปกติให้ทำการตรวจวัดใหม่ทั้งหมดตามขั้นตอนที่ 7.1 - 7.6

8. การบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ให้อ่านผลการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดความสั่นสะเทือนและบันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในหน่วยของมิลลิเมตรต่อวินาทีและค่าความถี่ของความสั่นสะเทือนในหน่วยของเฮิรตซ์ในแต่ละแกน ตามตำแหน่งที่ตรวจวัดและเวลาที่ตรวจวัดความสั่นสะเทือนได้ ดังตัวอย่างแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล โดยให้ทำการบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนให้ครอบคลุมช่วงเวลาในการตรวจวัดทั้งหมด

ข้อแนะนำ :

หากเครื่องตรวจวัดความสั่นสะเทือนไม่สามารถตรวจวัดหรือวิเคราะห์ความถี่ของความสั่นสะเทือนได้ ให้ตัดผลการตรวจวัดครั้งนั้นเฉพาะแกนการสั่นสะเทือนที่ไม่สามารถตรวจวัดหรือวิเคราะห์ความถี่ได้ออกแล้วจึงนำค่าความสั่นสะเทือนในแกนอื่นไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ทั้งนี้ควรตั้งค่าความถี่ในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง (Sample rate) ให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์ความถี่ได้ละเอียดและแม่นยำขึ้น



รูปที่ 16 แผนผังขั้นตอนการตรวจวัดความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

บทที่ 6

การสรุปผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ให้นำผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนทุกค่าที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาการตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารตาม **ตารางที่ 4** หากมีค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดค่าใดค่าหนึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ให้ถือว่าความสั่นสะเทือนเกินค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

ตารางที่ 4 มาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

อาคารประเภทที่	จุดตรวจวัด	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความเร็วอนุภาคสูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตรต่อวินาที, mm/s)	
			ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2
1	1.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร (แกนนอนและแกนตั้ง)	$f \leq 10$ $10 < f \leq 50$ $50 < f \leq 100$ $f > 100$	20 $0.5 f + 15$ $0.2 f + 30$ 50	-
	1.2 ชั้นบนสุดของอาคาร (แกนนอน)	ทุกความถี่	40*	10*
	1.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น (แกนตั้ง)	ทุกความถี่	20**	10**

อาคารประเภทที่	จุดตรวจวัด	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความเร็วอนุภาคสูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตรต่อวินาที, mm/s)	
			ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2
2	2.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร (แกนนอนและแกนตั้ง)	$f \leq 10$ $10 < f \leq 50$ $50 < f \leq 100$ $f > 100$	5 $0.25\,f + 2.5$ $0.1\,f + 10$ 20	-
	2.2 ชั้นบนสุดของอาคาร (แกนนอน)	ทุกความถี่	15*	5*
	2.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น (แกนตั้ง)	ทุกความถี่	20**	10**
3	3.1 ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร (แกนนอนและแกนตั้ง)	$f \leq 10$ $10 < f \leq 50$ $50 < f \leq 100$ $f > 100$	3 $0.125\,f + 1.75$ $0.04\,f + 6$ 10	-
	3.2 ชั้นบนสุดของอาคาร (แกนนอน)	ทุกความถี่	8*	2.5*
	3.3 พื้นอาคารในแต่ละชั้น (แกนตั้ง)	ทุกความถี่	20**	10**

หมายเหตุ

1) f = ความถี่ของความสั่นสะเทือน ณ เวลาที่มีความเร็วอนุภาคสูงสุดมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์
2) * = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนนอน
3) ** = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนตั้ง
4) การวัดค่าความสั่นสะเทือนสูงสุดสำหรับความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 ตามข้อ 1.2, 2.2 และ 3.2 ให้วัดที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือชั้นอื่นซึ่งมีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด
5) การวัดค่าความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคารในแต่ละชั้นตามข้อ 1.3, 2.3 และ 3.3 ให้ยกเว้นการวัดที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

หน้า ๔๕
เล่ม ๑๒๗ ตอนพิเศษ ๖๙ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒ มิถุนายน ๒๕๕๓

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ฉบับที่ ๓๗ (พ.ศ. ๒๕๕๓)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร เพื่อเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๒ (๕) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๓๘ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“อาคารประเภทที่ ๑” หมายความว่า

(๑) อาคารที่ใช้เป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

(๒) อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน อาคารคลังสินค้า อาคารพิเศษ อาคารขนาดใหญ่ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(๓) อาคารอื่นใดที่มีการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกันกับอาคารตาม (๑) และ (๒)

“อาคารประเภทที่ ๒” หมายความว่า

(๑) อาคารอยู่อาศัย อาคารอยู่อาศัยรวม ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว บ้านแฝด ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร

(๒) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(๓) หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก

(๔) อาคารที่ใช้เป็นสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล และอาคารที่ใช้เป็นโรงพยาบาลของทางราชการ

(๕) อาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาตามกฎหมายว่าด้วยโรงเรียนเอกชน อาคารที่ใช้เป็นโรงเรียนของทางราชการ อาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาของเอกชนตามกฎหมายว่าด้วยสถาบันอุดมศึกษาเอกชน และอาคารที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ

(๖) อาคารที่ใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมทางศาสนา

(๗) อาคารอื่นใดที่มีลักษณะของการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกันกับอาคารตาม (๑) (๒) (๓) (๔) (๕) และ (๖)

“อาคารประเภทที่ ๓” หมายความว่า

(๑) โบราณสถานตามกฎหมายว่าด้วยโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ

(๒) อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในลักษณะอื่นใดที่มีลักษณะไม่มั่นคงแข็งแรงแต่มีคุณค่าทางวัฒนธรรม

“ความเร็วอนุภาคสูงสุด (Peak Particle Velocity: PPV, V_{max})” หมายความว่า ค่าความเร็วของความสั่นสะเทือนในแนวแกนนอน (แกน X หรือ แกน Y) หรือแนวแกนตั้ง (แกน Z) ที่มีค่าสูงสุด

“ความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑” หมายความว่า ความสั่นสะเทือนที่ไม่ทำให้เกิดการล้าและการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร

“ความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒” หมายความว่า ความสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการล้าหรือการสั่นพ้องของโครงสร้างอาคาร

“การสั่นพ้อง (Resonance) ของโครงสร้างอาคาร” หมายความว่า ปรากฏการณ์ใด ๆ ที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนใกล้เคียงหรือมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของโครงสร้างอาคารนั้น

“ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของโครงสร้างอาคาร” หมายความว่า ความถี่ในการสั่นสะเทือนของโครงสร้างอาคารหรือส่วนประกอบของอาคารแต่ละอาคารที่มีลักษณะเฉพาะภายใต้การสั่นแบบอิสระ

“โครงสร้างอาคาร” หมายความว่า ส่วนของอาคารที่เป็นเสา คาน ตง พื้นหรือส่วนอื่นซึ่งโดยสภาพถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารนั้น

“ส่วนประกอบของอาคาร” หมายความว่า ส่วนของอาคารที่นอกเหนือจากโครงสร้างอาคารที่มีการยึดอย่างมั่นคงกับโครงสร้างอาคาร

หน้า ๕๑
เล่ม ๑๒๙ ตอนพิเศษ ๖๙ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒ มิถุนายน ๒๕๕๓

ข้อ ๒ กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคารดังต่อไปนี้

อาคารประเภทที่	จุดตรวจวัด	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความเร็วอนุภาคสูงสุดไม่เกิน (มิลลิเมตรต่อวินาที)	
			ความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑	ความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒
๑	๑.๑ ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	f ≤ ๑๐	๒๐	-
		๑๐ < f ≤ ๕๐	๐.๕ f + ๑๕	
		๕๐ < f ≤ ๑๐๐	๐.๒ f + ๓๐	
		f > ๑๐๐	๕๐	
	๑.๒ ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	๔๐*	๑๐*
	๑.๓ พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	๒๐**	๑๐**
๒	๒.๑ ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	f ≤ ๑๐	๕	-
		๑๐ < f ≤ ๕๐	๐.๒๕ f + ๒.๕	
		๕๐ < f ≤ ๑๐๐	๐.๑ f + ๑๐	
		f > ๑๐๐	๒๐	
	๒.๒ ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	๑๕*	๕*
	๒.๓ พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	๒๐**	๑๐**
๓	๓.๑ ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร	f ≤ ๑๐	๓	-
		๑๐ < f ≤ ๕๐	๐.๑๒๕ f + ๑.๗๕	
		๕๐ < f ≤ ๑๐๐	๐.๐๔ f + ๖	
		f > ๑๐๐	๑๐	
	๓.๒ ชั้นบนสุดของอาคาร	ทุกความถี่	๘*	๒.๕*
	๓.๓ พื้นอาคารในแต่ละชั้น	ทุกความถี่	๒๐**	๑๐**

หมายเหตุ

๑) f = ความถี่ของความสั่นสะเทือน ณ เวลาที่มีความเร็วอนุภาคสูงสุดมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

๒) * = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนนอน

๓) ** = กำหนดมาตรฐานไว้เฉพาะค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแกนตั้ง

๔) การวัดค่าความสั่นสะเทือนสูงสุดสำหรับความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ตามข้อ ๑.๒, ๒.๒ และ ๓.๒ ให้วัดที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือชั้นอื่นซึ่งมีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด

๕) การวัดค่าความสั่นสะเทือนที่พื้นอาคารในแต่ละชั้นตามข้อ ๑.๓, ๒.๓ และ ๓.๓ ให้ยกเว้นการวัดที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

ข้อ ๓ หลักเกณฑ์ และวิธีตรวจวัดความสั่นสะเทือน ให้เป็นไปตามรายละเอียดในภาคผนวกท้ายประกาศนี้

ข้อ ๔ ประกาศนี้ให้มีผลตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๒๖ เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๓
อภิสิทธิ์ เวชชาชีวะ
นายกรัฐมนตรี
ประธานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ภาคผนวก
ท้ายประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
ฉบับที่ ๓๗ (พ.ศ. ๒๕๕๓)
เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

ข้อ ๑ บทนิยาม

"มาตรความสั่นสะเทือน" หมายความว่า เครื่องวัดความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน DIN ๔๕๖๖๙–๑ ของประเทศเยอรมัน (Deutsches Institut für Normung) หรือเครื่องวัดความสั่นสะเทือนอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าตามที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ข้อ ๒ ก่อนทำการตรวจวัดความสั่นสะเทือนทุกครั้งจะต้องปรับเทียบความถูกต้องของมาตรความสั่นสะเทือนหรือตรวจสอบการใช้งานของมาตรความสั่นสะเทือนให้เป็นไปตามคู่มือการใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนดไว้

ข้อ ๓ การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน ให้ติดตั้งหัววัดแกน X และแกน Y ในลักษณะที่ทำมุมฉากต่อกัน โดยให้แกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับผนังอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน และให้แกน Z อยู่ในแนวตั้งในลักษณะที่ทำมุมฉากกับแกน X และแกน Y โดยมีลักษณะการติดตั้งในแต่ละพื้นที่ดังนี้

(๑) การติดตั้งหัววัดบนพื้นดิน ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ่มซึ่งตอกลงบนพื้นดิน และให้ตอกลิ่มจนมิดลงในดิน

(๒) การติดตั้งหัววัดที่พื้นอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดโดยยึดหัววัดกับพื้นด้วยขี้ผึ้งเหนียวหรือกาว

(๓) การติดตั้งหัววัดที่ผนังอาคารหรือกำแพง ให้ติดตั้งหัววัดบนลิ่มซึ่งเจาะบนผนังอาคารหรือกำแพงหรือยึดหัววัดกับผนังอาคารหรือกำแพงด้วยวัสดุอื่นในลักษณะที่มั่นคง

ข้อ ๔ การตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑ ให้ดำเนินการดังนี้

(๑) การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยมีจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑ ดังภาพที่ ๑

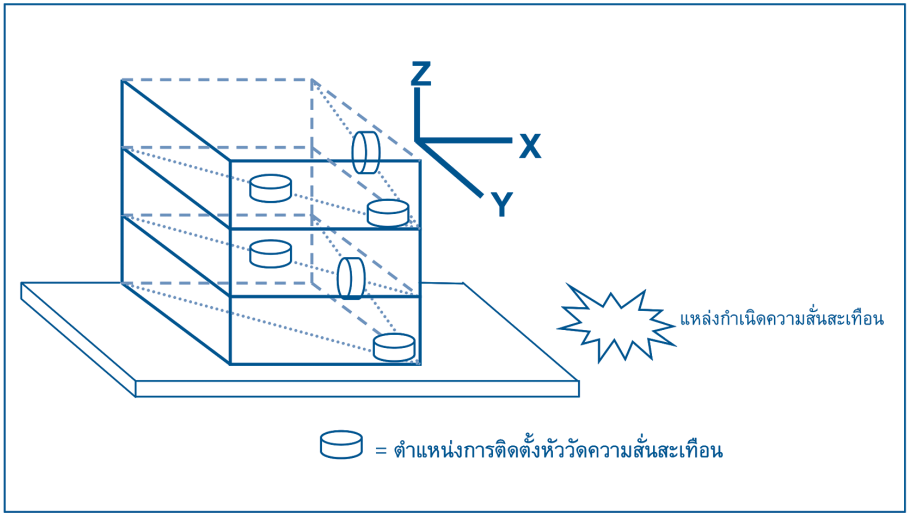
(ก) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณอาคารด้านที่หันหน้าไปทางแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน โดยติดตั้งหัววัดบนพื้นอาคารชั้นล่างบริเวณใกล้ฐานกำแพงนอกสุดของอาคารหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคารหรือช่องเปิดบนผนังอาคารหรือกำแพงนอกสุดของอาคาร และตำแหน่งหัววัดต้องอยู่สูงจากพื้นอาคารหรือพื้นดินไม่เกิน ๐.๕ เมตร สำหรับอาคารซึ่งมีชั้นล่างเป็นบริเวณกว้าง ให้ตรวจวัดหลายๆ ตำแหน่งพร้อมๆ กัน

(ข) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณชั้นบนสุดของอาคาร ให้ติดตั้งหัววัดเข้ากับพื้นอาคารบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพงหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคาร

(ค) การตรวจวัดความสั่นสะเทือนบริเวณพื้นอาคารในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

(๑) ช่วงเวลาในการตรวจวัด ต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมินผล

(๒) การบันทึกผล ให้บันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแต่ละแกน



ภาพที่ ๑
ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๑

ข้อ ๕ การตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ให้ดำเนินการดังนี้

(๑) การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยมีจุดติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒ ดังภาพที่ ๒

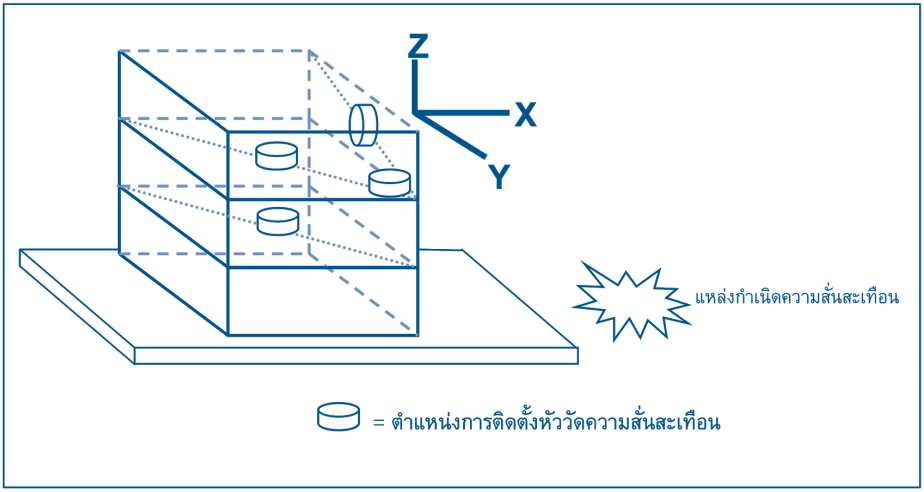
(ก) การตรวจวัดบริเวณชั้นบนสุดของอาคารหรือบริเวณชั้นที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด ให้ติดตั้งหัววัดเข้ากับพื้นอาคารบริเวณที่ใกล้ผนังอาคารหรือกำแพงหรือบนผนังอาคารหรือกำแพงที่ชั้นบนสุดของอาคารหรือบริเวณชั้นที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงสุด

(ข) การตรวจวัดบริเวณพื้นอาคารในแต่ละชั้น ให้ติดตั้งหัววัดบริเวณกึ่งกลางพื้นอาคารในแต่ละชั้นยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร

(๒) ช่วงเวลาในการตรวจวัด ต้องครอบคลุมถึงระยะเวลาที่เกิดความสั่นสะเทือนที่ต้องการประเมินผล

(๓) การบันทึกผล ให้บันทึกค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดในแต่ละแกน

- ๓ -



ภาพที่ ๒

ตัวอย่างจุดตรวจวัดความสั่นสะเทือนกรณีที่ ๒

ข้อ ๖ การประเมินผลของความสั่นสะเทือนต่ออาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนให้ดำเนินการตามข้อ ๓ โดยติดตั้งหัววัดที่พื้นดินบริเวณที่อาจมีอาคารในอนาคตหรือที่ฐานรากหรือชั้นล่างของอาคารใกล้เคียงโดยให้แกนใดแกนหนึ่งขนานไปกับแนวแกนหลักของอาคารที่อาจมีขึ้นในอนาคต และได้รับผลกระทบจากความสั่นสะเทือน

ภาคผนวก 2

การประเมินการเกิดการล้า การสั่นพ้อง และการหาความถี่ธรรมชาติของอาคาร

การประเมินการล้าของอาคาร

โดยปกติอาคารจะถูกออกแบบให้สามารถทนต่อแรงภายนอกที่กระทำกับอาคารในระดับสูงเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายจากแผ่นดินไหวหรือความสั่นสะเทือนอื่น แต่อาคารจะเกิดความเสียหายขึ้นได้แม้ถูกกระทำด้วยแรงภายนอกที่มีขนาดน้อยกว่าความทนต่อแรงภายนอกที่ออกแบบไว้ แต่ถูกกระทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการล้า การประเมินความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคารว่าทำให้เกิดการล้าให้พิจารณาระยะเวลาและลักษณะของการสั่นสะเทือนนั้นๆ หากเกิดขึ้นซ้ำๆ หรือเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยเกิดความเสียหายขึ้นทีละน้อย และอาจพัฒนาจนทำให้โครงสร้างหลักของอาคารเสียหายหนักได้ ความสั่นสะเทือนกรณีนี้จัดเป็นความสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดการล้าของอาคาร อาทิ ความสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ทำงานตลอดเวลาหรือเป็นช่วงเวลานาน, ความสั่นสะเทือนจากการจราจรที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

ข้อสังเกต :

การล้าเกิดขึ้นได้กับวัสดุทุกประเภท ยกตัวอย่างเช่น การบิด ดึง หรือกด แท่งโลหะซ้ำไปซ้ำมาด้วยแรงที่ไม่มากพอที่จะทำให้แท่งโลหะหักหรือบิดงอได้ในครั้งเดียว แต่หากทำซ้ำไปซ้ำมาสามารถทำให้แท่งโลหะเกิดความเสียหาย แตก หักหรือฉีกขาดได้

การประเมินการสั่นพ้องของอาคาร

อาคารเมื่อถูกกระทำจากความสั่นสะเทือนภายนอก อาคารจะสั่นสะเทือนไปตามที่ถูกกระทำ โดยจะมีการถ่ายเทพลังงานในรูปแบบต่างๆ ทำให้เกิดการลดทอนของการสั่นสะเทือนจนอาคารกลับไปอยู่ในสภาวะปกติคือสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของอาคารที่ขนาดของการสั่นสะเทือนเล็กน้อยค่าหนึ่งซึ่งโดยปกติมนุษย์จะไม่สามารถรับรู้ได้ถึงความสั่นสะเทือนนี้

กรณีที่อาคารถูกกระทำด้วยความสั่นสะเทือนที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร อาคารจะสั่นด้วยความถี่นั้นโดยมีขนาดของความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ถูกกระทำ และหากถูกกระทำโดยแรงที่มีขนาดใหญ่หรือถูกกระทำเป็นระยะเวลานานจนขนาดของความสั่นสะเทือนเกินกว่าความทนทานที่ออกแบบไว้ อาจทำให้อาคารเสียหายอย่างหนักได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการสั่นพ้อง

การประเมินความสั่นพ้อง ให้พิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องความถี่ธรรมชาติของอาคารว่าตรงกันหรือใกล้เคียงกับความถี่ของความสั่นสะเทือนภายนอกที่กระทำกับอาคารหรือไม่

การหาความถี่ธรรมชาติของอาคาร

อาคารจะมีการสั่นหรือกวัดแกว่งโดยธรรมชาติซึ่งโดยมากจะมีขนาดที่ต่ำจนไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยความรู้สึกของมนุษย์โดยจะมีความถี่ของการสั่นเฉพาะตัวเรียกว่าความถี่ธรรมชาติ โดยเมื่อมีการถ่ายแรงสั่นสะเทือนเข้าไปที่วัตถุหรืออาคารนั้นๆ ด้วยความถี่ที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ ต้องระวังเป็นอย่างมาก เพราะอาจจะทำให้อาคารเกิดการสั่นพ้องมีการสั่นสะเทือนของอาคารเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติและอาจเกิดความเสียหายกับอาคารได้ สำหรับการหาความถี่ธรรมชาติของอาคารนั้น สามารถประเมินได้หลายวิธี อาทิเช่น

1. ประเมินจากการตรวจวัดความสั่นสะเทือนของอาคารเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยในช่วงระยะเวลาดังกล่าวอาคารต้องไม่ได้รับอิทธิพลจากความสั่นสะเทือนภายนอก แล้วนำมาวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ (Frequency domain) ของการสั่นสะเทือน เพื่อหาความถี่ของความสั่นสะเทือนหลัก (Dominant frequency) และพิจารณาใช้ค่านั้นเป็นค่าความถี่ธรรมชาติ
2. ประเมินจากการวัดการตอบสนองความสั่นสะเทือนของอาคารด้วยการถ่ายแรงสั่นสะเทือนภายนอกเข้าไปกระทำต่ออาคารเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนของอาคาร โดยเมื่อแรงสั่นสะเทือนภายนอกที่กระทำต่ออาคารสลายไป อาคารจะสั่นอย่างอิสระ (Free vibration) ต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดเพื่อหาความถี่ธรรมชาติได้ (D.E. Siskind, M.S. Stagg, J.W. Kopp, C.H. Dowding) การหาความถี่ธรรมชาติโดยวิธีนี้ค่อนข้างจะมีความแม่นยำ
3. ประมาณการจากสูตรเชิงประสบการณ์ โดยวิธีการนี้มีความแม่นยำไม่มากเท่ากับวิธีที่ 1 และ 2

สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดสูตรคำนวณไว้ในกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคาร ในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ไว้ดังนี้

3.1 สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิด ให้คำนวณตามสูตร

$$f_n = \frac{\sqrt{D}}{0.09H}$$

3.2 สำหรับอาคารที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว ให้คำนวณตามสูตร

$$f_n = \frac{10}{N}$$

โดย f_n เป็นความถี่ธรรมชาติที่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

N เป็นจำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

H เป็นความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดินในหน่วยของเมตร

D เป็นความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงที่กระทำมีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้อาจพิจารณาใช้สูตรคำนวณทางเลือกอื่นเพิ่มเติมหากไม่พิจารณาความกว้างของอาคารในทิศทางขนานกับแนวแรง เช่น

3.3 Australia wind loading Cod AS 1170-2 (1989) กำหนดให้ใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$f_n = \frac{46}{H}$$ โดย H เป็นความสูงของอาคารในหน่วยของเมตร

3.4 Building standard law, Japan (1981) กำหนดให้ใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$f_n = \frac{50}{H}$$ โดย H เป็นความสูงของอาคารในหน่วยของเมตร

4. การประเมินค่าความถี่ธรรมชาติด้วยวิธีทางไฟไนท์เอลิเมนต์ (Finite Element) เพื่อจำลองผลขึ้นมา โดยวิธีนี้จะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงสร้างนั้นๆ เช่น ขนาด (dimension) หรือ มวลของโครงสร้าง (mass) ใส่เข้าในแบบจำลองคณิตศาสตร์แล้วทำการประมวลผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของความถี่และโหมดของการสั่นสะเทือนรูปแบบต่างๆ เหมาะสำหรับใช้ประเมินอาคารที่จะมีการก่อสร้างในอนาคต

ภาคผนวก 3
การสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

การสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ระบบการสอบกลับได้ของหน่วยวัดความสั่นสะเทือน ทำได้โดยการสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน หรือตัวแปลงสัญญาณความสั่นสะเทือน (vibration transducer) ตามวิธีที่ระบุในมาตรฐานสากล โดยมาตรฐานการสอบเทียบเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนประกอบด้วยมาตรฐาน 2 ระดับ ดังนี้

1. **มาตรฐานขั้นปฐมภูมิ (Primary Standard)**

มาตรฐานขั้นปฐมภูมิด้านความสั่นสะเทือนจะอ้างอิงถึงมาตรฐาน ISO 16063-21: Primary Vibration Calibration by Laser Interferometry ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบความสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร่ง โดยอาศัยหลักการแทรกสอดของแสงเลเซอร์แบบ Michelson Laser Interferometer เป็นชุดเครื่องมือในการสอบเทียบ โดยขอบข่ายการสอบเทียบอยู่ในช่วงความถี่ 1 Hz - 10 kHz และช่วงขนาดความสั่นสะเทือน 0.1 m/s^2 - 1,000 m/s^2 ข้อกำหนดตามมาตรฐานนี้ระบุวิธีการสอบเทียบไว้ 3 วิธี ดัง**ตารางที่ 3-1**

ตารางที่ 3-1 มาตรฐานในการสอบเทียบขั้นปฐมภูมิของเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน

วิธีสอบเทียบ	ค่าที่สอบเทียบ	ย่านความถี่
Fringe Counting Method	ขนาดความไว (sensitivity) ของหัววัดความสั่นสะเทือน	1 - 800 Hz
Minimum Point Method	ขนาดความไว (sensitivity) ของหัววัดความสั่นสะเทือน	>800 Hz - 10 kHz
Sine-Approximation Method	ขนาดความไว (sensitivity) และมุมเฟส (Phase) ของหัววัดความสั่นสะเทือน	1Hz - 10kHz

2. มาตรฐานขั้นทุติยภูมิ (Secondary Calibration)

มาตรฐานขั้นทุติยภูมิอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 16063-21:2003 Methods for the calibration of vibration and shock transducers - Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer เป็นมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการโดยมีวัตถุประสงค์สำหรับถ่ายทอดค่าจากมาตรฐานขั้นปฐมภูมิลงไปยังเครื่องมือวัดด้านความสั่นสะเทือนในระดับปฏิบัติงาน (working instrument)

การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนเป็นการเปรียบเทียบค่าความไวของหัววัดความสั่นสะเทือน หรือชุดเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ต้องการสอบเทียบเทียบกับหัววัดความสั่นสะเทือนอ้างอิงมาตรฐาน (reference vibration transducer) ที่ได้รับการสอบเทียบด้วยวิธีการมาตรฐาน ISO 16063-11 ภายใต้ขอบข่ายการสอบเทียบในช่วงความถี่ 1 Hz - 10 kHz และช่วงขนาดความสั่นสะเทือน 0.1 m/s^2 - 1,000 m/s^2

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน มีหน่วยวัดความสั่นสะเทือนอยู่ 3 หน่วยวัด คือ หน่วยวัดความเร่ง (Acceleration : m/s^2), หน่วยวัดความเร็ว (Velocity : m/s) และหน่วยวัดระยะขจัด (Displacement : m) โดยความสัมพันธ์ของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือนอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

ความถี่ (f) $\Rightarrow$ $f = \sqrt{\frac{a}{4\pi^2 d}} = \frac{v}{2\pi d}$

ความเร่ง (a) $\Rightarrow$ $a = 4\pi^2 f^2 d = 2\pi f v$

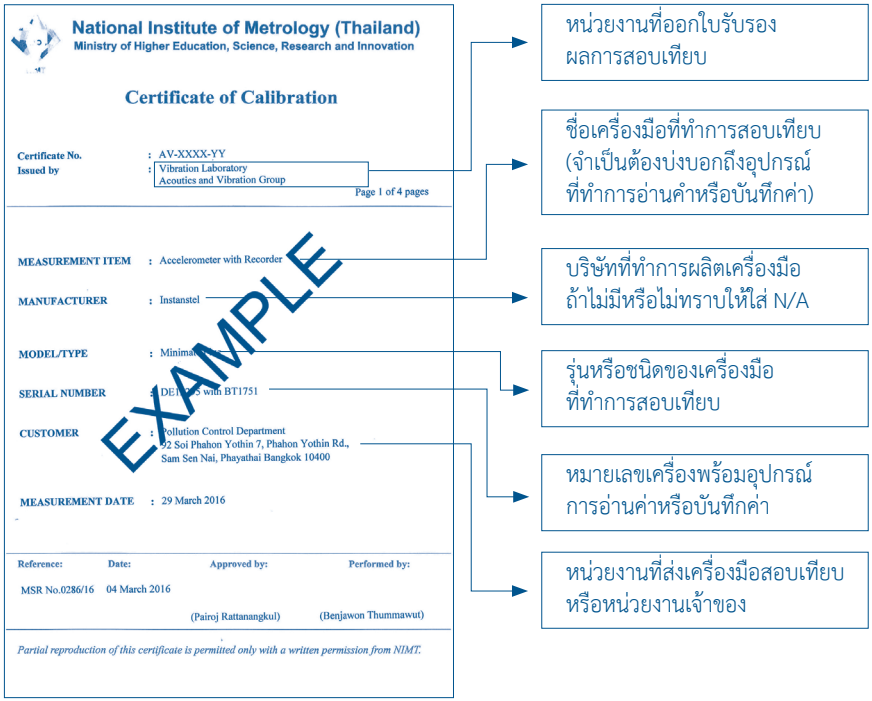
ความเร็ว (v) $\Rightarrow$ $v = 2\pi f d = \frac{a}{2\pi f}$

ระยะขจัด (d) $\Rightarrow$ $d = \frac{v}{2\pi f} = \frac{a}{4\pi^2 f^2}$

ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบ และผลการพิจารณาผลการสอบเทียบ

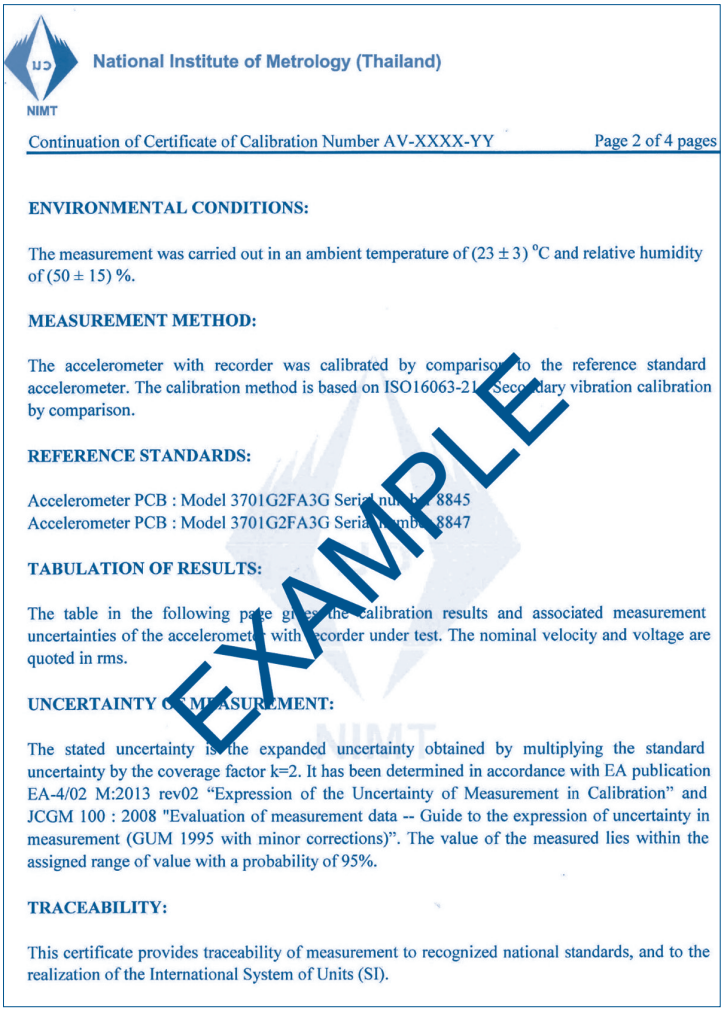
ใบรับรองผลการสอบเทียบ (Calibration Certificate) เป็นการรายงานผลของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบตามมาตรฐานกำหนด แต่ไม่ใช่การตัดสินว่าเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือถูกต้องตามมาตรฐาน ดังนั้น ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำการพิจารณาถึงผลการสอบเทียบทุกครั้งที่ส่งเครื่องมือมาทำการสอบเทียบ ซึ่งใบรับรองผลการสอบเทียบประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนที่แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดต่างๆ ของใบรับรองผลการสอบเทียบ เช่น เลขที่ หน่วยงานที่ทำการสอบเทียบ ชื่อเครื่องมือ รุ่น หมายเลขเครื่องยี่ห้อ หน่วยงานที่นำเครื่องมือมาทำการสอบเทียบ วันที่ทำการสอบเทียบ ผู้ที่ทำการสอบเทียบเครื่องมือ และผู้รับรองผลการสอบเทียบ ดังแสดงให้เห็นดัง**รูปที่ ผ3-1**



รูปที่ ผ3-1 ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (หน้าที่ 1)

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนที่แสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขการสอบเทียบ เช่น อุณหภูมิขณะทำการสอบเทียบ วิธีที่ใช้ในการสอบเทียบ หัววัดมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง อธิบายรายละเอียดของตารางแสดงผลการสอบเทียบ และการอ้างอิงถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด ดังแสดงให้เห็นดัง**รูปที่ ผ3-2**



National Institute of Metrology (Thailand)

NIMT

Continuation of Certificate of Calibration Number AV-XXXX-YY Page 2 of 4 pages

ENVIRONMENTAL CONDITIONS:

The measurement was carried out in an ambient temperature of (23 ± 3) °C and relative humidity of (50 ± 15) %.

MEASUREMENT METHOD:

The accelerometer with recorder was calibrated by comparison to the reference standard accelerometer. The calibration method is based on ISO16063-21 Secondary vibration calibration by comparison.

REFERENCE STANDARDS:

Accelerometer PCB : Model 3701G2FA3G Serial number 8845
Accelerometer PCB : Model 3701G2FA3G Serial number 8847

TABULATION OF RESULTS:

The table in the following page gives the calibration results and associated measurement uncertainties of the accelerometer with recorder under test. The nominal velocity and voltage are quoted in rms.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT:

The stated uncertainty is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k=2. It has been determined in accordance with EA publication EA-4/02 M:2013 rev02 "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration" and JCGM 100 : 2008 "Evaluation of measurement data -- Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)". The value of the measured lies within the assigned range of value with a probability of 95%.

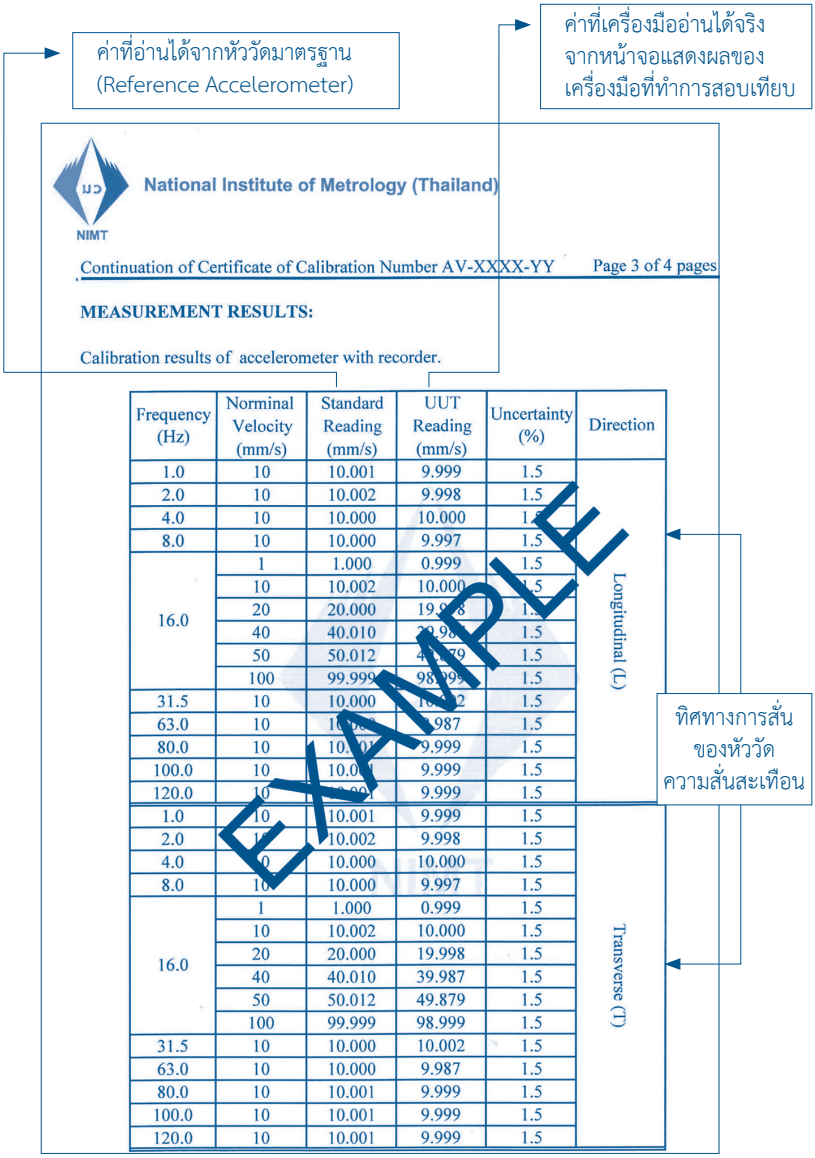
TRACEABILITY:

This certificate provides traceability of measurement to recognized national standards, and to the realization of the International System of Units (SI).

EXAMPLE

รูปที่ ผ3-2 ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (หน้าที่ 2)

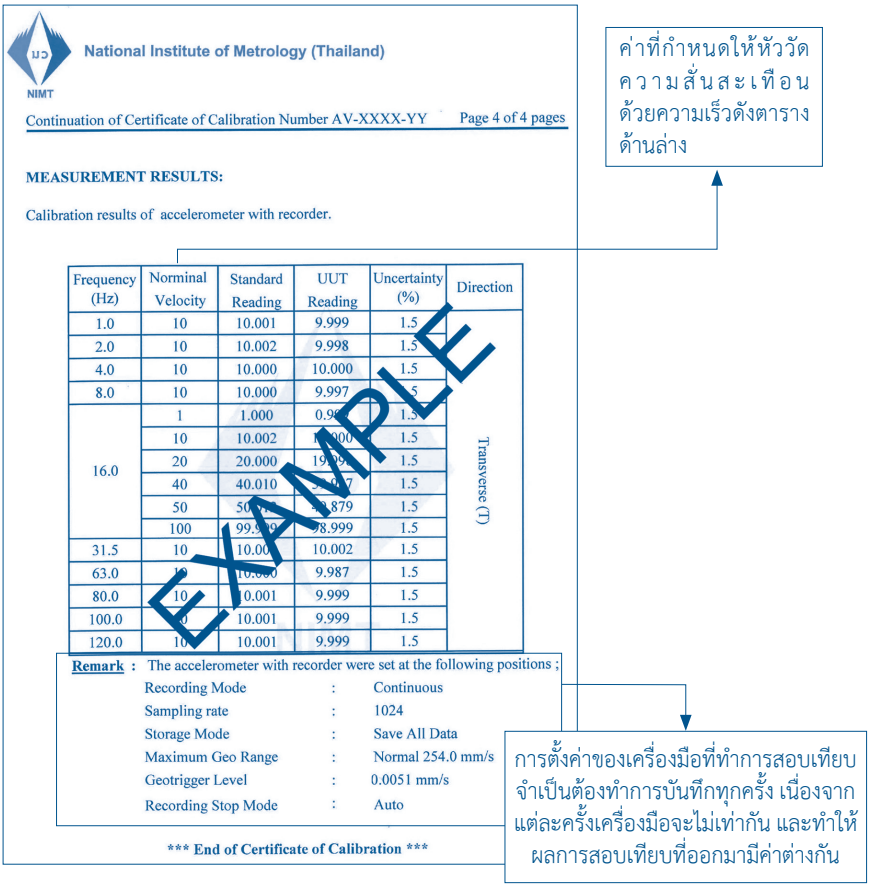
ส่วนที่ 3 คือ ส่วนที่แสดงให้เห็นถึงตารางผลการสอบเทียบ ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ ผ3-3



Frequency (Hz)	Norminal Velocity (mm/s)	Standard Reading (mm/s)	UUT Reading (mm/s)	Uncertainty (%)	Direction
1.0	10	10.001	9.999	1.5	Longitudinal (L)
2.0	10	10.002	9.998	1.5	
4.0	10	10.000	10.000	1.5	
8.0	10	10.000	9.997	1.5	
16.0	1	1.000	0.999	1.5	
	10	10.002	10.000	1.5	
	20	20.000	19.998	1.5	
	40	40.010	39.987	1.5	
	50	50.012	49.879	1.5	
	100	99.999	98.999	1.5	
31.5	10	10.000	10.002	1.5	
63.0	10	10.000	9.987	1.5	
80.0	10	10.001	9.999	1.5	
100.0	10	10.001	9.999	1.5	
120.0	10	10.001	9.999	1.5	
1.0	10	10.001	9.999	1.5	Transverse (T)
2.0	10	10.002	9.998	1.5	
4.0	10	10.000	10.000	1.5	
8.0	10	10.000	9.997	1.5	
16.0	1	1.000	0.999	1.5	
	10	10.002	10.000	1.5	
	20	20.000	19.998	1.5	
	40	40.010	39.987	1.5	
	50	50.012	49.879	1.5	
	100	99.999	98.999	1.5	
31.5	10	10.000	10.002	1.5	
63.0	10	10.000	9.987	1.5	
80.0	10	10.001	9.999	1.5	
100.0	10	10.001	9.999	1.5	
120.0	10	10.001	9.999	1.5	

รูปที่ ผ3-3 ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (หน้าที่ 3)

ส่วนที่ 4 คือ ส่วนที่แสดงให้เห็นถึงตารางผลการสอบเทียบต่อเนื่อง และการตั้งค่าของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ ดังแสดงให้เห็นดัง**รูปที่ ผ3-4**



National Institute of Metrology (Thailand)

NIMT

Continuation of Certificate of Calibration Number AV-XXXX-YY Page 4 of 4 pages

MEASUREMENT RESULTS:

Calibration results of accelerometer with recorder.

Frequency (Hz)	Norminal Velocity	Standard Reading	UUT Reading	Uncertainty (%)	Direction
1.0	10	10.001	9.999	1.5	
2.0	10	10.002	9.998	1.5	
4.0	10	10.000	10.000	1.5	
8.0	10	10.000	9.997	1.5	
16.0	1	1.000	0.9[illegible]	1.5	Transverse (T)
	10	10.002	[illegible]000	1.5	
	20	20.000	19.[illegible]	1.5	
	40	40.010	[illegible].007	1.5	
	50	50.[illegible]	[illegible].879	1.5	
	100	99.[illegible]	98.999	1.5	
31.5	10	10.00[illegible]	10.002	1.5	
63.0	[illegible]	[illegible].000	9.987	1.5	
80.0	10	10.001	9.999	1.5	
100.0	10	10.001	9.999	1.5	
120.0	10	10.001	9.999	1.5	

EXAMPLE

Remark : The accelerometer with recorder were set at the following positions ;

Recording Mode	:	Continuous
Sampling rate	:	1024
Storage Mode	:	Save All Data
Maximum Geo Range	:	Normal 254.0 mm/s
Geotrigger Level	:	0.0051 mm/s
Recording Stop Mode	:	Auto

*** End of Certificate of Calibration ***

ค่าที่กำหนดให้หัววัดความสั่นสะเทือนด้วยความเร็วดังตารางด้านล่าง

การตั้งค่าของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบจำเป็นต้องทำการบันทึกทุกครั้ง เนื่องจากแต่ละครั้งเครื่องมือจะไม่เท่ากัน และทำให้ผลการสอบเทียบที่ออกมามีค่าต่างกัน

รูปที่ ผ3-4 ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบหัววัดความสั่นสะเทือน (หน้าที่ 4)

ข้อแนะนำ :

เครื่องวัดความสั่นสะเทือนและหัววัดความสั่นสะเทือน ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและสอบเทียบ (Calibrate) อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO 17025 ในสาขาการสั่นสะเทือน

ภาคผนวก 4
ตัวอย่างแบบบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

แบบบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนที่ได้จัดทำขึ้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นตัวอย่างแบบบันทึกข้อมูลผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนของอาคารต่างๆ ตามวิธีการของกฎหมาย ได้แก่ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานความสั่นสะเทือนเพื่อป้องกันผลกระทบต่ออาคาร

ทั้งนี้ เจ้าหน้าที่สามารถนำแบบบันทึกฯ นี้ ไปดัดแปลงให้มีรูปแบบหรือวิธีการที่สะดวกต่อการปฏิบัติงานของหน่วยงาน แบบบันทึกผลฯ แบ่งเป็น 5 แผ่นงาน ประกอบด้วย

แผ่นงาน **รายละเอียดการตรวจวัด** มีรายละเอียดที่ต้องบันทึก ดังนี้
- ส่วนที่ 1 รายละเอียดอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง
- ส่วนที่ 2 รายละเอียดแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน
- ส่วนที่ 3 สภาวะแวดล้อมในการตรวจวัด
- ส่วนที่ 4 เครื่องมือ
- ส่วนที่ 5 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

แผ่นงาน **ผลการตรวจวัด** มีรายละเอียดที่ต้องบันทึก ดังนี้
- ส่วนที่ 6 ผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

แผ่นงาน **กราฟ** แสดงผลการตรวจวัดที่ชั้นฐานรากหรือชั้นล่างโดยจะปรากฏข้อมูลอัตโนมัติเมื่อบันทึกผลในแผ่นงานผลการตรวจวัด

แผ่นงาน **สรุป** มีรายละเอียดที่ต้องบันทึก ดังนี้
- ส่วนที่ 7 การประเมินผล
- ส่วนที่ 8 แผนภาพแสดงอาคารและแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน พร้อมลงนามผู้ตรวจวัด บันทึกผล และผู้ตรวจสอบ

แผ่นงาน **มาตรฐาน** แสดงค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือน (ความเร็วอนุภาค หน่วยมิลลิเมตร/วินาที) แยกตามความถี่ที่คำนวณจากตารางกำหนดมาตรฐานที่ระบุในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ตัวอย่างแบบบันทึกผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

ส่วนที่ 1 รายละเอียดอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง

ชื่อ			
เจ้าของหรือผู้ครอบครอง		โทร	
ที่ตั้ง			

ประเภท ☐ อาคารประเภทที่ 1 (1) โรงงาน (2) อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน อาคารคลังสินค้า อาคารพิเศษ อาคารขนาดใหญ่ (3) อาคารอื่นใดที่มีการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกัน

☐ อาคารประเภทที่ 2 (1) อาคารอยู่อาศัย อาคารอยู่อาศัยรวม ห้องแถว ตึกแถว บ้านแถว บ้านแฝด (2) อาคารชุด (3) หอพัก (4) อาคารที่ใช้เป็นสถานพยาบาล โรงพยาบาลของทางราชการ สถานที่ศึกษา โรงเรียน สถาบันอุดมศึกษา ศาสนสถาน (5) อาคารอื่นใดที่มีการใช้ประโยชน์ในอาคารเช่นเดียวกัน

☐ อาคารประเภทที่ 3 (1) โบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (2) อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างในลักษณะอื่นใดที่มีลักษณะไม่มั่นคงแข็งแรงแต่มีคุณค่าทางวัฒนธรรม

☐ ประเมินผลต่ออาคารที่อาจมีในอนาคต โดยจะสร้างเป็น _____ ซึ่งการตรวจวัดครั้งนี้ได้ติดตั้งหัววัด ☐ ที่พื้นดินบริเวณที่อาจมีอาคารในอนาคต หรือ ☐ ที่อาคารใกล้เคียงซึ่งเป็น _____

จำนวนชั้นของอาคาร _____ ชั้น (นับแยกกับชั้นใต้ดินซึ่งมีอีกจำนวน _____ ชั้น) ความสูงอาคาร _____ ม.

ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างอาคาร ☐ ทราบ ☐ คำนวณ ☐ ตรวจวัด ☐ มีค่าประมาณ _____ เฮิรตซ์

ทิศหรือด้านใดของอาคารที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด _____

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน

ลักษณะแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน

☐ การก่อสร้างกำแพงกันดิน ☐ การรื้อถอนอาคาร
☐ การตอกเสาเข็ม ☐ กิจกรรมที่ใช้ระเบิด
☐ เครื่องจักร ☐ เครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็น
☐ การจราจร การเคลื่อนย้ายดินและวัสดุ ☐ อื่นๆ (ระบุ) _____

ระยะห่างจากอาคาร หรือบริเวณที่ทำการตรวจวัด _____ เมตร

จำนวนและกำลังของแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่ออาคาร _____

ระยะเวลาการที่ได้รับผลกระทบความสั่นสะเทือน ☐ ตั้งแต่เวลา _____ น. ถึงเวลา _____ น. ☐ ระบุ

จำนวนวันที่ได้รับผลกระทบความสั่นสะเทือน ☐ จันทร์ - อาทิตย์ ☐ จันทร์ - ศุกร์ ☐ เสาร์-อาทิตย์ ☐ ระบุ

กรณีของความสั่นสะเทือน ☐ ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 1 ☐ ความสั่นสะเทือนกรณีที่ 2 โดยมีการ ☐ ล้า ☐ สั่นพ้อง

ข้อมูลอื่นหรือข้อสังเกต

ส่วนที่ 3 สภาวะแวดล้อมในการตรวจวัด

วันที่ตรวจวัด _____

ช่วงเวลาที่ตรวจวัด ตั้งแต่ _____ น. ถึง _____ น.

ประเภทพื้นผิว ☐ คอนกรีต ☐ ดิน ☐ อื่นๆ (ระบุ) _____

สภาพพื้นผิว _____

ปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่ออาคาร _____

ส่วนที่ 4 เครื่องมือ

เครื่องตรวจวัดความสั่นสะเทือน ยี่ห้อ _____ รุ่น _____

หมายเลขเครื่อง _____

สอบเทียบครั้งล่าสุดเมื่อ _____ โดยหน่วยงานชื่อ _____

☐ ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องความสั่นสะเทือนก่อนตรวจวัด ☐ ปกติ ☐ ผิดปกติ

☐ ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องความสั่นสะเทือนหลังตรวจวัด ☐ ปกติ ☐ ผิดปกติ

Sampling Rate ☐ 1,024 ☐ 2,048 ☐ 4,096 ☐ ระบุ

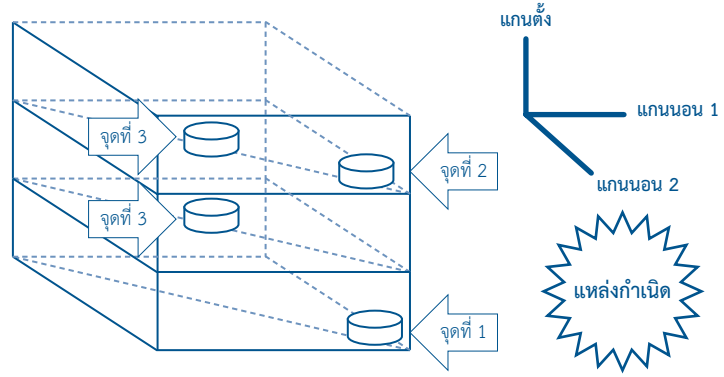
ส่วนที่ 5 การติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

วิธีที่ใช้ติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน

☐ หัววัดแบบ Build in ☐ ทับโดยวัสดุถ่วงน้ำหนัก ☐ อีพ็อกซี

☐ สลักเกลียว ☐ ขี้ผึ้งหรือแวกซ์ ☐ อื่นๆ (ระบุ) _____

จุดติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน



จุดตรวจวัดความสั่นสะเทือน	จุดติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือน		ชั้นที่ตรวจวัด และ
	ความสั่นสะเทือน กรณีที่ 1	ความสั่นสะเทือน กรณีที่ 2	เวลาที่ตรวจวัด (นาฬิกา)
ฐานรากหรือชั้นล่าง	☐ จุดที่ 1	☐ จุดที่ 1	_____ ถึง _____
ชั้นบนสุด หรือ ชั้นที่มีความสั่นสะเทือนสูงสุด	☐ จุดที่ 2		ชั้นบนสุดชั้นที่ _____ หรือชั้นที่ _____ ถึง _____
พื้นแต่ละชั้น ยกเว้นฐานรากหรือชั้นล่าง	☐ จุดที่ 3		ชั้นที่ _____ _____ ถึง _____ ชั้นที่ _____ _____ ถึง _____ ชั้นที่ _____ _____ ถึง _____ ชั้นที่ _____ _____ ถึง _____ ชั้นที่ _____ _____ ถึง _____

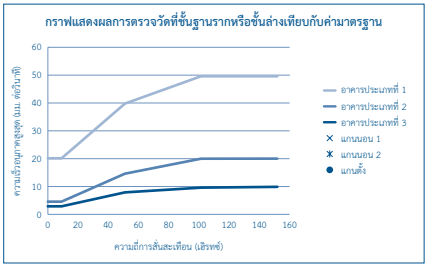
หมายเหตุ : ระยะเวลาตรวจวัดแต่ละจุด ☐ 15 นาที ☐ 30 นาที ☐ 1 ชั่วโมง ☐ 2 ชั่วโมง ☐ ชั่วโมง

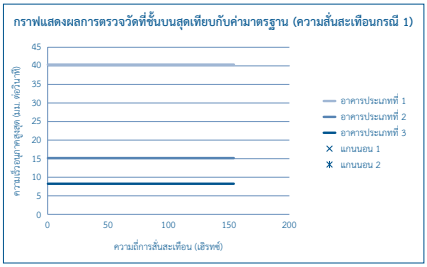
☐ อื่นๆ (ระบุ)

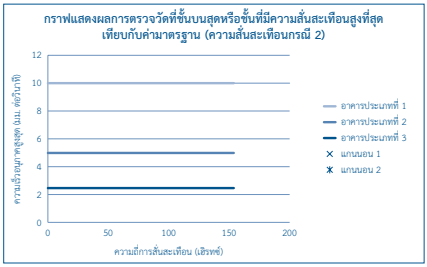
ส่วนที่ 6 ผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

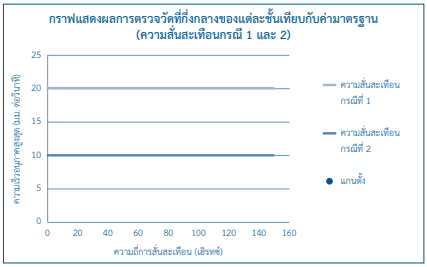
จุดตรวจวัด	เวลา	ผลการตรวจวัด						สรุปผลการตรวจวัด ไม่เกินมาตรฐาน/ เกินมาตรฐาน
		แกนนอน 1		แกนนอน 2		แกนตั้ง		
		ความถี่	PPV	ความถี่	PPV	ความถี่	PPV	
ชั้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร หรือพื้นดินในกรณีที่ประเมินอาคารที่ยังไม่ก่อสร้าง มาตรฐาน (ทั้งแกนตั้งและแกนนอน) - ดูจากตารางมาตรฐาน								
ชั้นบนสุด หรือ ชั้นที่มีความสั่นสะเทือนสูงที่สุด มาตรฐาน (เฉพาะแกนนอน/ทุกความถี่)								
อาคารประเภทที่ 1								
กรณีที่ 1 40 มม./วินาที;								
กรณีที่ 2 10 มม./วินาที								
อาคารประเภทที่ 2								
กรณีที่ 1 15 มม./วินาที;								
กรณีที่ 2 5 มม./วินาที								
อาคารประเภทที่ 3								
กรณีที่ 1 8 มม./วินาที;								
กรณีที่ 2 2.5 มม./วินาที								
พื้นอาคารแต่ละชั้นยกเว้นชั้นฐานรากหรือชั้นล่างของอาคาร มาตรฐาน (เฉพาะแกนตั้ง/ทุกความถี่) กรณีที่ 1 20 มม./วินาที; กรณีที่ 2 10 มม./วินาที								
(1) ชั้นที่ .....2.....								
(2) ชั้นที่ .....3.....								
(3) ชั้นที่ .....4.....								

หมายเหตุ : หน่วยของความถี่เป็นเฮิรตซ์ และหน่วยของความเร็วอนุภาคเป็น มม./วินาที









ส่วนที่ 7 การประเมินผล

☐ ไม่เกินมาตรฐาน

☐ เกินมาตรฐาน

หมายเหตุ

(ระบุรายละเอียดจุดตรวจวัดและผลการตรวจวัดที่พบเกินมาตรฐาน รวมถึงข้อมูลหรือความคิดเห็นอื่นๆ จากการตรวจวัด)

ส่วนที่ 8 แผนภาพแสดงอาคารและแหล่งกำเนิดความสั่นสะเทือน

(.....)

ตำแหน่ง .....

ผู้ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

(.....)

ตำแหน่ง .....

ผู้ตรวจสอบข้อมูล

ความถี่	ชั้นฐานราก			ชั้นบนสุด			ชั้นบนสุดหรือชั้นที่สั้นสะเทือนสูงสุด			พื้นอาคารแต่ละชั้น	
	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	กรณี 1	กรณี 2
1	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
2	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
3	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
4	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
5	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
6	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
7	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
8	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
9	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
10	20	5	3	40	15	8	10	5	2.5	20	10
11	20.5	5.25	3.125	40	15	8	10	5	2.5	20	10
12	21	5.5	3.25	40	15	8	10	5	2.5	20	10
13	21.5	5.75	3.375	40	15	8	10	5	2.5	20	10
14	22	6	3.5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
15	22.5	6.25	3.625	40	15	8	10	5	2.5	20	10
16	23	6.5	3.75	40	15	8	10	5	2.5	20	10
17	23.5	6.75	3.875	40	15	8	10	5	2.5	20	10
18	24	7	4	40	15	8	10	5	2.5	20	10
19	24.5	7.25	4.125	40	15	8	10	5	2.5	20	10
20	25	7.5	4.25	40	15	8	10	5	2.5	20	10
21	25.5	7.75	4.375	40	15	8	10	5	2.5	20	10
22	26	8	4.5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
23	26.5	8.25	4.625	40	15	8	10	5	2.5	20	10
24	27	8.5	4.75	40	15	8	10	5	2.5	20	10
25	27.5	8.75	4.875	40	15	8	10	5	2.5	20	10
26	28	9	5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
27	28.5	9.25	5.125	40	15	8	10	5	2.5	20	10
28	29	9.5	5.25	40	15	8	10	5	2.5	20	10
29	29.5	9.75	5.375	40	15	8	10	5	2.5	20	10
30	30	10	5.5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
31	30.5	10.25	5.625	40	15	8	10	5	2.5	20	10
32	31	10.5	5.75	40	15	8	10	5	2.5	20	10
33	31.5	10.75	5.875	40	15	8	10	5	2.5	20	10
34	32	11	6	40	15	8	10	5	2.5	20	10
35	32.5	11.25	6.125	40	15	8	10	5	2.5	20	10
36	33	11.5	6.25	40	15	8	10	5	2.5	20	10
37	33.5	11.75	6.375	40	15	8	10	5	2.5	20	10
38	34	12	6.5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
39	34.5	12.25	6.625	40	15	8	10	5	2.5	20	10
40	35	12.5	6.75	40	15	8	10	5	2.5	20	10
41	35.5	12.75	6.875	40	15	8	10	5	2.5	20	10
42	36	13	7	40	15	8	10	5	2.5	20	10
43	36.5	13.25	7.125	40	15	8	10	5	2.5	20	10
44	37	13.5	7.25	40	15	8	10	5	2.5	20	10
45	37.5	13.75	7.375	40	15	8	10	5	2.5	20	10
46	38	14	7.5	40	15	8	10	5	2.5	20	10
47	38.5	14.25	7.625	40	15	8	10	5	2.5	20	10
48	39	14.5	7.75	40	15	8	10	5	2.5	20	10
49	39.5	14.75	7.875	40	15	8	10	5	2.5	20	10
50	40	15	8	40	15	8	10	5	2.5	20	10

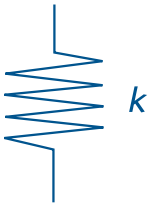
ความถี่	ชั้นฐานราก			ชั้นบนสุด			ชั้นบนสุดหรือชั้นที่สั่นสะเทือนสูงสุด			พื้นอาคารแต่ละชั้น	
	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	อาคาร ป 1	อาคาร ป 2	อาคาร ป 3	กรณี 1	กรณี 2
51	40.2	15.1	8.04	40	15	8	10	5	2.5	20	10
52	40.4	15.2	8.08	40	15	8	10	5	2.5	20	10
53	40.6	15.3	8.12	40	15	8	10	5	2.5	20	10
54	40.8	15.4	8.16	40	15	8	10	5	2.5	20	10
55	41	15.5	8.2	40	15	8	10	5	2.5	20	10
56	41.2	15.6	8.24	40	15	8	10	5	2.5	20	10
57	41.4	15.7	8.28	40	15	8	10	5	2.5	20	10
58	41.6	15.8	8.32	40	15	8	10	5	2.5	20	10
59	41.8	15.9	8.36	40	15	8	10	5	2.5	20	10
60	42	16	8.4	40	15	8	10	5	2.5	20	10
61	42.2	16.1	8.44	40	15	8	10	5	2.5	20	10
62	42.4	16.2	8.48	40	15	8	10	5	2.5	20	10
63	42.6	16.3	8.52	40	15	8	10	5	2.5	20	10
64	42.8	16.4	8.56	40	15	8	10	5	2.5	20	10
65	43	16.5	8.6	40	15	8	10	5	2.5	20	10
66	43.2	16.6	8.64	40	15	8	10	5	2.5	20	10
67	43.4	16.7	8.68	40	15	8	10	5	2.5	20	10
68	43.6	16.8	8.72	40	15	8	10	5	2.5	20	10
69	43.8	16.9	8.76	40	15	8	10	5	2.5	20	10
70	44	17	8.8	40	15	8	10	5	2.5	20	10
71	44.2	17.1	8.84	40	15	8	10	5	2.5	20	10
72	44.4	17.2	8.88	40	15	8	10	5	2.5	20	10
73	44.6	17.3	8.92	40	15	8	10	5	2.5	20	10
74	44.8	17.4	8.96	40	15	8	10	5	2.5	20	10
75	45	17.5	9	40	15	8	10	5	2.5	20	10
76	45.2	17.6	9.04	40	15	8	10	5	2.5	20	10
77	45.4	17.7	9.08	40	15	8	10	5	2.5	20	10
78	45.6	17.8	9.12	40	15	8	10	5	2.5	20	10
79	45.8	17.9	9.16	40	15	8	10	5	2.5	20	10
80	46	18	9.2	40	15	8	10	5	2.5	20	10
81	46.2	18.1	9.24	40	15	8	10	5	2.5	20	10
82	46.4	18.2	9.28	40	15	8	10	5	2.5	20	10
83	46.6	18.3	9.32	40	15	8	10	5	2.5	20	10
84	46.8	18.4	9.36	40	15	8	10	5	2.5	20	10
85	47	18.5	9.4	40	15	8	10	5	2.5	20	10
86	47.2	18.6	9.44	40	15	8	10	5	2.5	20	10
87	47.4	18.7	9.48	40	15	8	10	5	2.5	20	10
88	47.6	18.8	9.52	40	15	8	10	5	2.5	20	10
89	47.8	18.9	9.56	40	15	8	10	5	2.5	20	10
90	48	19	9.6	40	15	8	10	5	2.5	20	10
91	48.2	19.1	9.64	40	15	8	10	5	2.5	20	10
92	48.4	19.2	9.68	40	15	8	10	5	2.5	20	10
93	48.6	19.3	9.72	40	15	8	10	5	2.5	20	10
94	48.8	19.4	9.76	40	15	8	10	5	2.5	20	10
95	49	19.5	9.8	40	15	8	10	5	2.5	20	10
96	49.2	19.6	9.84	40	15	8	10	5	2.5	20	10
97	49.4	19.7	9.88	40	15	8	10	5	2.5	20	10
98	49.6	19.8	9.92	40	15	8	10	5	2.5	20	10
99	49.8	19.9	9.96	40	15	8	10	5	2.5	20	10
100	50	20	10	40	15	8	10	5	2.5	20	10

ภาคผนวก 5

ระบบการสั่นสะเทือนและตัวอย่างผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน

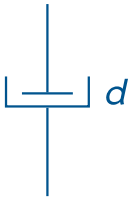
ระบบการสั่นสะเทือน (Vibration System)

สำหรับการวิเคราะห์ระบบการสั่นสะเทือน ในส่วนที่เคลื่อนที่แบบเชิงเส้นนั้น (Translational Elements) ประกอบไปด้วย



สปริง (Spring)

มวล (Mass)



ตัวหน่วง (Damper)

สปริง (Spring)

สปริง เชิงเส้นเป็นอุปกรณ์ทางกลอีกแบบหนึ่ง ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น ซึ่งโดยทั่วไปมักจะไม่คิดมวลและค่าความหน่วงของตัวสปริงเอง แรงที่เกิดขึ้นในสปริงมักจะเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างปลายทั้ง 2 ข้างของสปริง ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นในสปริงจึงขึ้นอยู่กับปริมาณการยืด/หดตัว (deformation) ของตัวสปริงและมีขนาดเท่ากับ

$$F = kx$$

เมื่อ F คือ แรงที่เกิดขึ้นในสปริง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

x คือ การยืด หดตัว หรือระยะการเคลื่อนที่ปลายสปริงด้านหนึ่ง เมื่อเทียบกับปลายอีกด้านหนึ่ง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

k คือ สัมประสิทธิ์ความแข็งตึง หรือค่าคงที่ของสปริง มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m)

มวล (Mass)

มวลหรือความเฉื่อย ซึ่งโดยปกติจะสมมุติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมวลในระหว่างที่เคลื่อนที่ โดยที่มวลมีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

ตัวหน่วง (Damper)

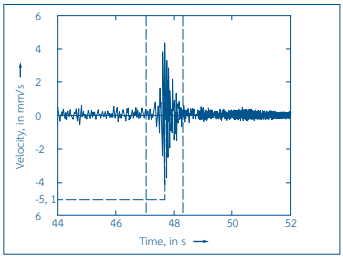
ตัวหน่วงเป็นอุปกรณ์เชิงกลที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร็ว ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะตัวหน่วงแบบหนืด โดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการสั่นสะเทือน มวลของตัวหน่วงแบบหนืดจะไม่ถูกนำมาคิดหรือวิเคราะห์ ดังนั้น แรงที่เกิดขึ้นที่ปลายด้านหนึ่งของตัวหน่วง (F_d) จะต้องสมดุลกับแรงที่เกิดขึ้นที่ปลายอีกด้านหนึ่งของตัวหน่วงเช่นกัน เมื่อ d คือ ค่าคงที่ หรือค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงหนืด (N.s/m) สำหรับการคำนวณหาพลังงานที่เกี่ยวกับตัวหน่วงแบบหนืด เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นในตัวหน่วงจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของแรงกระทำจากภายนอก และการไม่คิดมวลของตัวหน่วงตามข้อสมมุติข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า แรงที่เกิดขึ้นภายในตัวหน่วงมีค่าเท่ากับแรงที่กระทำจากภายนอก ซึ่งมีค่าเท่ากับ -dv และเห็นชัดว่าแรงหน่วงนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วและไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง โดยเมื่อพิจารณาตัวหน่วงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบ อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = (-dv)\, v = -dv^2$$

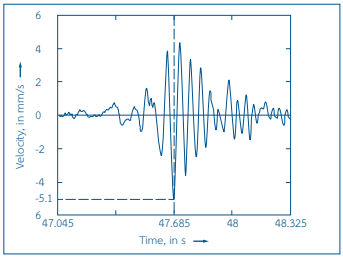
E = พลังงานรวมของระบบ
d = ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงหนืด (N.s/m)
v = ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวหน่วง

เมื่อ E คือ พลังงานรวมของระบบ แต่พจน์ขวามือของสมการด้านบนมีค่าเป็นลบ เนื่องจากเป็นการต้านแรงที่กระทำจากภายนอก และสมการนี้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อ v = 0 เช่นนี้แล้วสรุปได้ว่าระบบนี้มีการสูญเสียพลังงานตลอดเวลา ดังนั้น ตัวหน่วงแบบหนืดจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานตลอดเวลา และตลอดการเคลื่อนที่

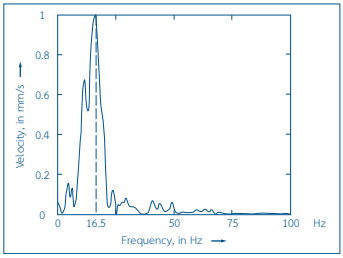
ตัวอย่างผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือน



ตัวอย่างกราฟความสั่นสะเทือนแสดงค่าขนาดความเร็วอนุภาคตามระยะเวลา



ตัวอย่างผลความเร็วอนุภาคสูงสุดที่ได้จากการวัดความสั่นสะเทือน



ตัวอย่างผลการตรวจวัดความสั่นสะเทือนที่แสดงอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

หลังจากที่ได้ผลการวัดความสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร็วอนุภาคสูงสุดแล้ว หากต้องการทราบผลที่อยู่ในรูปแบบความถี่เพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์ผลการวัด สามารถใช้ฟังก์ชัน FFT (Fast Fourier Transform) ในเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน ในการแปลงผลการวัด โดยผลจะออกมาในรูปแบบความถี่ในโหมดการเคลื่อนที่ต่างๆ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์และเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) อันจะก่อให้เกิดอันตรายต่ออาคารและโครงสร้างของอาคาร

คณะผู้จัดทำคู่มือ

ที่ปรึกษา

กรมควบคุมมลพิษ

นายพันศักดิ์ ถิรมงคล ผู้อำนวยการกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

นางนิภาภรณ์ ใจแสน ผู้อำนวยการส่วนเสียงและความสั่นสะเทือน

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นายไพโรจน์ รัตนางกูร หัวหน้ากลุ่มงานเสียงและการสั่นสะเทือน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นางสาวชโลธร ภมรสูต ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการตรวจสอบสมรรถนะและความปลอดภัย

นางประภาพรรณ อรัญญะ นักวิชาการอาวุโส ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ

นายกิตติพงค์ นิมากร นักวิชาการ ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ

เรียบเรียงและจัดทำ

กรมควบคุมมลพิษ

นางสาวนันทวัน ว.สิงหะคเชนทร์

นายไพรัช รามเนตร

นายอานนท์ นกแก้วน้อย

นายพิบูลย์พร วงษ์สวนน้อย

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

นางสาวเบญจวรรณ ธรรมวุฒิ

นางสาวอริญชยา พันธุ์พำนัก

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายสราวุธ สุขสวัสดิ์

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

ส่วนเสียงและความสั่นสะเทือน

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

กรมควบคุมมลพิษ

โทร. 0 2298 2325-9 โทรสาร 0 2298 5389

พิมพ์ครั้งที่ 1 ปีที่พิมพ์ 2564 จำนวน 2,000 เล่ม สถานที่พิมพ์ บริษัท ฮีซ์ จำกัด

กรมควบคุมมลพิษ

92 ซอยพหลโยธิน 7 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0 2298 2325-9
โทรสาร 0 2298 5389

จัดทำโดย ส่วนเสียงและความสั่นสะเทือน กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และมีลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้

ปีที่พิมพ์ พ.ศ. 2564 พิมพ์ที่ บริษัท ฮีซ์ จำกัด
ISBN: 978-616-316-628-9 คพ. 03-133