



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน

Construction and verification of hemi-anechoic room

ชูเกียรติ สอดศรี*

Chukiet Sodsri*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhonpathom, Thailand, 73000.

Received October 2012

Accepted March 2013

บทคัดย่อ

ห้องไร้เสียงสะท้อนสำหรับการวัดและวิจัยด้านอะคูสติกส์ต้องมีคุณสมบัติความเป็นฟรีฟิลด์ (Free field) มีเสียงรบกวนพื้นฐานต่ำและป้องกันเสียงรบกวนภายนอกได้ดี ด้วยโครงสร้างและผนังที่หนักสำหรับการป้องกันเสียงรบกวน ห้องไร้เสียงสะท้อนจึงมักถูกสร้างที่ระดับพื้นดินหรือบนโครงสร้างที่แข็งแรงที่สามารถรับน้ำหนักได้มาก การปรับปรุงห้องว่างในอาคารสูงที่ซึ่งโครงสร้างของอาคารไม่ได้ออกแบบไว้รองรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ให้เป็นห้องไร้เสียงสะท้อนจึงเป็นสิ่งท้าทาย บทความนี้นำเสนอการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนที่ได้ดำเนินการออกแบบและสร้างขึ้นบนชั้น 5 ในอาคารสูง 9 ชั้น ด้วยการใช้น้ำหนักเบาและแทรกกระเบื้องขึ้นด้วยวัสดุดูดซับเสียง โลหะ โฟรงอากาศและไม้ ผนังทุกด้านในห้องยกเว้นพื้นถูกปิดด้วยลิ้มสามเหลี่ยมดูดซับเสียง ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนที่ได้สร้างขึ้นถูกทดสอบประสิทธิภาพด้วยการใช้ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง 3 มิติ ในตัวกลางที่เป็นฟรีฟิลด์ ใช้แหล่งกำเนิดเสียงขนาดเล็ก วัดที่ระยะฟาร์ฟิลด์ (Far field) และใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานสากลไอเอสโอ 3745 ผลการทดสอบพบว่าห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนมีระดับเสียงรบกวนพื้นฐาน 22 dBA และความถี่คัทออฟ 300 Hz สามารถใช้ในการเรียนการสอนและวิจัยด้านอะคูสติกส์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ห้องไร้เสียงสะท้อน ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน การออกแบบและสร้าง การทดสอบความเป็นฟรีฟิลด์

Abstract

Anechoic rooms for acoustical measurements and research studies, must have properties of being free field, capable of soundproof and have low background noise. Due to their thick and heavy walls, they are usually constructed on ground floor or structures specially designed to handle the weight. Modification of an existing empty room on an upper floor of a high building to be an anechoic room is therefore very challenging, since it could destroy the building structure. This paper presents construction and verification of a hemi-anechoic

*Corresponding author. Tel.: +66-89661-91111; fax: +66-3424-1971

Email address: sodsri@su.ac.th

room, built on the 5th floor of a nine story building. Compositated walls consisting of wooden and gypsum, stuffed with sound-absorptive materials, metal sheets, and air cavities, were designed. Walls' surfaces were covered with linear wedge structures of fiberglass. Performance of the room was tested based on theory of spherical wave motion in free field. Result displayed that the constructed hemi-anechoic room has 300 Hz frequency cutoff and 22 dBA background noise level. The room sufficiently provides free field environment for being used in acoustical measurements and acoustic research study.

Keywords: Anechoic room, Hemi-anechoic room, Design and construction, Free-field verification

1. บทนำ

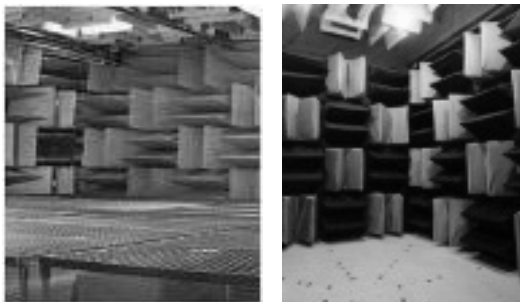
ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน (Hemi-anechoic room) ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาจารย์ผู้สอนและนักศึกษาในรายวิชาอะคูสติกส์วิศวกรรม (Engineering acoustics) มีจุดประสงค์เพื่อสำหรับใช้ในการเรียนการสอนและทำวิจัยด้านอะคูสติกส์ของคณาจารย์และนักศึกษาในภาควิชาฯ สถานที่สำหรับการสร้างห้องไร้เสียงสะท้อนได้รับอนุญาตให้ใช้ห้องว่างบนชั้น 5 ของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ ซึ่งเป็นอาคารสูง 9 ชั้น ความสูงเพดาน 3.5 เมตรจากพื้น และอยู่ห่างจากทางหลวงแผ่นดิน 50 เมตร ด้วยข้อจำกัดเรื่องการตัดแปลงใดๆที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างอาคารและการใช้ผนังที่หนักเพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก จึงไม่อาจกระทำได้ การปรับปรุงห้องว่างในอาคารให้เป็นห้องไร้เสียงสะท้อนที่มีคุณภาพจึงเป็นสิ่งที่ทำทนาย

บทความนี้นำเสนอการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน ที่ได้ดำเนินการที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศิลปากร การออกแบบสร้างและผนังเพื่อลดทอนเสียงรบกวนจากภายนอก การใช้วัสดุที่สามารถดูดซับเสียงปิดผิวผนังภายในห้องเพื่อให้ไม่มีการสะท้อนเสียง การทดสอบประสิทธิภาพของห้องไร้เสียงสะท้อนด้วยการใช้หลักการ

เคลื่อนที่ของเสียงใน 3 มิติในตัวกลางที่มีสภาพเป็นฟรีฟิลด์ (Free field) และใช้เกณฑ์ทดสอบตามมาตรฐานสากล ไอเอสโอ 3745 ผลการทดสอบจะแสดงถึงประสิทธิภาพและความสามารถในการใช้ ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนสำหรับการวัดและวิจัยด้านอะคูสติกส์ต่อไป

2. ห้องไร้เสียงสะท้อน

ห้องไร้เสียงสะท้อนมี 2 ลักษณะได้แก่ห้องไร้เสียงสะท้อนแบบเต็ม (Full-anechoic room) และห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน (Hemi-anechoic room) ห้องไร้เสียงสะท้อนแบบเต็มจะมีผนังทุกด้านปิดทับด้วยวัสดุดูดซับเสียง พื้นของห้องจะมีลักษณะเป็นตาข่ายสลิ้งหรือตะแกรงเหล็กวางลอยอยู่เป็นพื้น เสียงที่เกิดขึ้นในห้องจะสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ทุกทิศทางโดยเมื่อเสียงตกกระทบกับผนังทุกเสียงจะถูกดูดซับทั้งหมด ห้องไร้เสียงสะท้อนแบบเต็มมักใช้สำหรับวัดวิเคราะห์แหล่งกำเนิดเสียงขนาดเล็กจนถึงขนาดกลางที่มีน้ำหนักไม่มาก สำหรับห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนจะมีผนังด้านบนและด้านข้างทุกด้าน ถูกปิดด้วยวัสดุดูดซับเสียง ยกเว้นด้านพื้นจะเป็นซีเมนต์หรือวัสดุแข็งที่สามารถรับน้ำหนักได้ดี มักใช้สำหรับวัดวิเคราะห์แหล่งกำเนิดเสียงที่มีน้ำหนักมากหรือมีขนาดใหญ่



(ก)

(ข)

รูปที่ 1 (ก) ห้องไร้เสียงสะท้อนแบบเต็ม (ที่มา: ดัดแปลงจาก [7]) (ข) ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน

ขนาดของห้องไร้เสียงสะท้อนขึ้นกับขนาดของวัตถุที่จะวัด โดยขนาดห้องที่เหมาะสมต้องมีขนาดที่ทำให้ได้ว่าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์แล้วต้องมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและแหล่งกำเนิดเสียงเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

- 1) ระยะเป็นอย่างน้อยเป็นสองเท่าของขนาดของแหล่งกำเนิดเสียง
- 2) ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่เท่าของความยาวคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำสุด และ
- 3) ต้องไม่น้อยกว่า 1 เมตร

ทั้งนี้ หากแหล่งกำเนิดเสียงมีขนาดเล็กและไม่ดังมาก ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและแหล่งกำเนิดเสียงอาจไม่จำเป็นต้องถึง 1 เมตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 เมตร [1]

การสร้างห้องไร้เสียงสะท้อนมีการศึกษาและนำเสนอเป็นลายลักษณ์อักษรครั้งแรกโดย Leon Baranek ศาสตราจารย์ด้านอะคูสติกส์ชาวอเมริกัน ในปี พ.ศ. 2489 ซึ่งได้สร้างห้องไร้เสียงสะท้อนขึ้นที่มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด [2] โดย Baranek ได้ทดสอบลักษณะรูปร่างของวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้ติดผนังห้องไร้เสียงสะท้อนและพบว่า ลักษณะรูปสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยมสำหรับดูดซับเสียงให้ประสิทธิภาพของห้องไร้เสียงสะท้อนดีที่สุด เมื่อเทียบกับรูปทรงสามเหลี่ยมปริมิตหรือรูปทรงปริมิตโค้งหรือรูปทรงแบบแผ่นระนาบ หลังจากการศึกษาของ Baranek ห้องไร้เสียงสะท้อนส่วนใหญ่ถูกออกแบบโดยใช้วัสดุดูดซับเสียงขึ้นรูปเป็นรูปสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยมสำหรับใช้ปิดผิวผนังห้อง [3-7] คุณสมบัติที่สำคัญของห้องไร้เสียงสะท้อนจะมี ดังนี้

2.1 เสียงรบกวนพื้นฐานภายในห้อง

เสียงรบกวนพื้นฐานหรือ Background noise ของห้องคือเสียงที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมปกติที่มีอยู่ภายในของห้อง เช่น เสียงจากระบบการหมุนเวียนของอากาศ เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น เสียงรบกวนพื้นฐานควรมีอยู่ในระดับที่ต่ำ การทราบระดับเสียงรบกวนพื้นฐานในห้องจะทำให้สามารถเลือกใช้ระดับเสียงสำหรับการทดลองหรือการวิจัยได้อย่างเหมาะสม

2.2 การป้องกันและลดเสียงรบกวน

ความสามารถในการป้องกันและลดทอนเสียงรบกวนจากภายนอกที่เข้าสู่ห้อง ขึ้นกับโครงสร้าง ชนิด และความหนาของผนังห้อง ผนังห้องที่สามารถป้องกันเสียงได้ดีต้องเป็นผนังที่หนักและหนา สำหรับกรณีที่มีผนังไม่หนา ผนังต้องมีขนาดมวลต่อพื้นที่ที่มีค่ามากจึงสามารถลดทอนคลื่นเสียงผ่านผนังได้ดี สมการที่ (1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการส่งผ่านคลื่นความดันอะคูสติกส์ และมวลต่อพื้นที่ของผนัง [8-9] ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่รู้จักกันว่าเป็นกฎมวล (Mass law) โดยที่ \bar{T} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นความดันอะคูสติกส์ (Acoustic pressure wave) f คือความถี่ของคลื่นอะคูสติกส์ (Acoustic wave frequency) mass/area คือมวลต่อพื้นที่ของผนัง และ r คือค่าอิมพีแดนซ์เชิงอะคูสติกส์เฉพาะ (Specific acoustic impedance) ของตัวกลาง ซึ่งจากสมการที่ (1) จะเห็นว่าที่ความถี่ค่าหนึ่งๆ การส่งผ่านคลื่นเสียงผ่านผนังกันจะส่งผ่านได้น้อยลงเมื่อมวลต่อพื้นที่ที่มีค่าเพิ่มขึ้น และการส่งผ่านคลื่นอะคูสติกส์จะส่งผ่านได้มากขึ้นถ้ามวลต่อพื้นที่ของผนังมีค่าน้อยลง

$$\bar{T} = \left(\frac{r}{\pi}\right)^2 \frac{1}{(f \cdot \text{mass/area})^2} \tag{1}$$

2.3 ฟรีฟิลด์ (Free field)

ฟรีฟิลด์สำหรับด้านอะคูสติกส์คือสถานที่ซึ่งเสียงสามารถแผ่กระจายออกไปโดยไม่มี การสะท้อนกลับ หากเปรียบกับห้องจะเหมือนกับห้องที่ไม่มีผนัง สภาพของการเป็นฟรีฟิลด์เป็นคุณสมบัติหลักของห้องไร้เสียงสะท้อน การสร้างห้องไร้เสียงสะท้อนจะใช้วัสดุดูดซับเสียงติดที่ผนังของห้องเพื่อไม่ให้เกิดการสะท้อนเสียง ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุอาจดูดซับเสียงความถี่ต่ำได้ไม่ดี การทำให้ห้องไร้เสียงสะท้อนมีสภาพเป็นฟรีฟิลด์ จึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาความถี่เริ่มต้นที่ถูกดูดซับได้สมบูรณ์

การเคลื่อนที่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดชนิดอย่างง่าย (Simple source) ในตัวกลางสามมิติที่มีสภาพเป็นฟรีฟิลด์ การแผ่กระจายมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม ที่มีขนาดแอมพลิจูดของคลื่นจะแปรผกผันกับระยะทาง [8-9] ดังสมการ (2)

$$\tilde{p} = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)} \quad (2)$$

โดย \tilde{p} คือคลื่นความดันอะคูสติกส์ (Acoustic pressure wave) A คือค่าคงที่ r คือระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียง k คือเลขจำนวนคลื่น (Wave number) และ $j = \sqrt{-1}$ ค่าระดับความดันเสียง (Sound pressure level, SPL) คำนวณได้จากสมการ (3) โดย P_{ref} คือความดันอ้างอิง (ในอากาศ $P_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$) เมื่อระยะ r เพิ่มขึ้นเป็น N เท่าของระยะเดิม SPL ที่ลดลงจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{|\tilde{p}| \sqrt{2}}{P_{ref}} = 20 \log \frac{A / (r\sqrt{2})}{P_{ref}} \quad (3)$$

$$\text{Decreased SPL} = 20 \log \frac{A / (r\sqrt{2})}{P_{ref}} - 20 \log \frac{A / (Nr\sqrt{2})}{P_{ref}}$$

$$\text{Decreased SPL} = 20 \log(N) \quad (4)$$

2.4 ความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency)

ความถี่คัทออฟของห้องไร้เสียงสะท้อนคือความถี่ต่ำสุดที่ยังคงทำให้ห้องมีสภาพความเป็นฟรีฟิลด์ โดยการใช้งานห้องไร้เสียงสะท้อนสำหรับการวัดวิเคราะห์ตามมาตรฐานสากล ผลการวัดจะมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สำหรับการวิเคราะห์เสียงที่มีความถี่เท่ากับหรือสูงกว่าความถี่คัทออฟขึ้นไป ทั้งนี้จะต้องไม่มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่สะท้อนเสียงความถี่สูงอยู่ภายในห้อง

3. การออกแบบและสร้างห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

3.1 โครงสร้างผนังของห้อง

ด้วยตำแหน่งที่อยู่บนอาคาร ความสูงของเพดานจากพื้นเพียงแค่ 3.5 เมตร การสร้างห้องไร้เสียงสะท้อนแบบเต็มจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นห้องไร้เสียงสะท้อนที่ได้สร้างจึงเป็นชนิดกึ่งไร้เสียงสะท้อน ผนังห้องเป็นผนังเบาหลายชั้น ลักษณะของห้องเป็นแบบห้องซ้อนกันสองชั้น โดยมีพื้นที่ใช้สอยภายในห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนและพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์อยู่ภายนอกห้อง ดังรูปที่ 2 โครงสร้างผนังแสดงได้ดังรูปที่ 3(ก) ซึ่งประกอบด้วยชั้นโลหะ ฉนวนใยแก้วชนิดหนาแน่น ช่องว่างอากาศและไม้ การจับยึดระหว่างชั้นวัสดุของผนังและการติดตั้งเข้ากับโครงสร้างใช้การติดกาว การยิงตะปูหรือน็อตขนาดสั้น จะไม่มีการยิงตะปูหรือน็อตยาวที่ทำให้เกิดการทะลุจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ใช้ซิลิโคนปิดตรงขอบหรือรอยต่อเพื่อไม่ให้อากาศไหลทะลุผ่านได้

3.2 การออกแบบลิ่มสามเหลี่ยมดูดซับเสียง

ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ขึ้นกับชนิด ความพรุน และความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งความสามารถในการดูดซับเสียงนี้บ่งบอกได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง จากการศึกษา [10] พบว่าไฟเบอร์กลาสมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีโดยไฟเบอร์กลาส

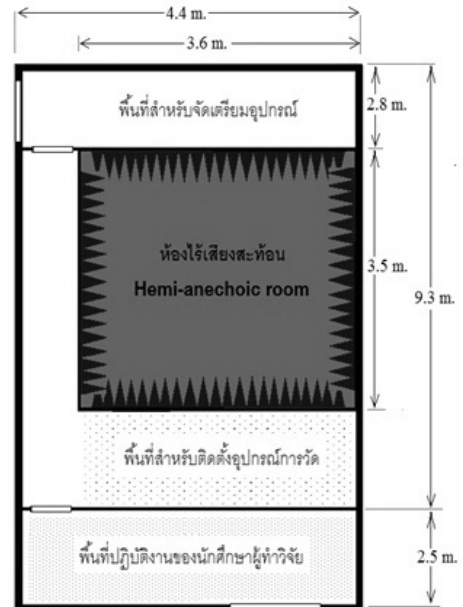
ความแน่น 32 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความหนาอย่างน้อย 3 นิ้วขึ้นไป มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.8 ตั้งแต่ความถี่ 250 Hz ขึ้นไป [10] ดังนั้นจึงใช้ไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุสำหรับบุผนังด้านในของห้องไร้เสียงสะท้อน โดยจะขึ้นรูปเป็นรูปสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยมดังรูปที่ 4 ลิ้มสามเหลี่ยมจะช่วยให้การดูดซับเสียงภายในห้องได้ดียิ่งขึ้นเพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับเสียงให้มากขึ้น นอกจากนี้เสียงความถี่ต่ำซึ่งอาจจะไม่ถูกดูดซับได้ทั้งหมดในการตกกระทบกับวัสดุดูดซับเสียงเพียงครั้งเดียว ก็จะสามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นเพราะว่าลิ้มรูปสามเหลี่ยมจะเพิ่มจำนวนครั้งในการตกกระทบก่อนที่เสียงจะสะท้อนกลับเข้าสู่ภายในห้องดังแสดงในรูป 4(ก) ความสูงของลิ้มมีความสัมพันธ์กับค่าความถี่คัทออฟของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน ความสูงของลิ้ม (D_c) จากผนังต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นคัทออฟ (λ_c) ดังสมการ

$$D_c \geq \frac{\lambda_c}{4} \quad (5)$$

สำหรับห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้ออกแบบให้มีความถี่คัทออฟที่ 280 Hz มีระดับเสียงรบกวนน้อยกว่า 25 dB จึงได้ใช้ลิ้มรูปทรงสามเหลี่ยม กว้าง 0.27 เมตร ยาว 0.58 เมตร และสูง 0.30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4(ข) รูปแบบลักษณะการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงมีลักษณะกลับทิศทางด้านรูป 4(ค) ภายในห้องติดตั้งระบบส่องสว่างโดยใช้ Compact light ชนิดทำงานเงียบ ห้องไร้เสียงสะท้อนที่สร้างแล้วเสร็จแสดงดังรูปที่ 5

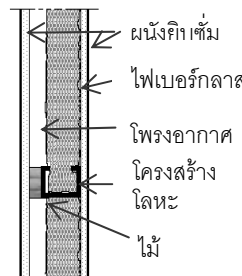


(ก)

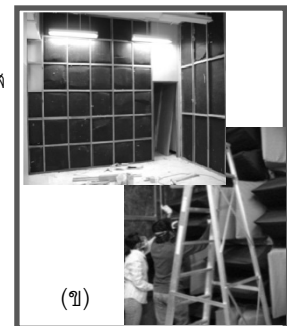


(ข)

รูปที่ 2 (ก) ห้องว่างสำหรับปรับปรุงเป็นห้องไร้เสียงสะท้อน (ข) ผังและขนาดห้องไร้เสียงสะท้อน

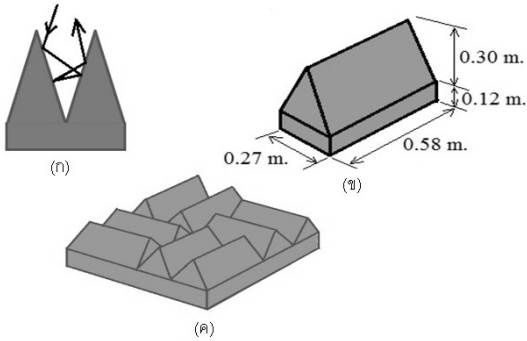


(ก)

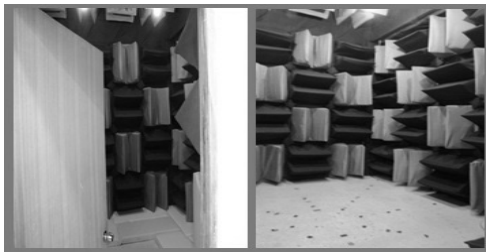


(ข)

รูปที่ 3 (ก) โครงสร้างของผนังเบาหลายชั้น (ข) การก่อสร้างผนังและติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง



รูปที่ 4 (ก) ลิ้มสามเหลี่ยมเพิ่มจำนวนครั้งของเสียงตกกระทบ (ข) การติดตั้งลิ้มรูปสามเหลี่ยมแบบสลับทิศทาง (ค) ขนาดของลิ้มดูดซับเสียงรูปสามเหลี่ยม

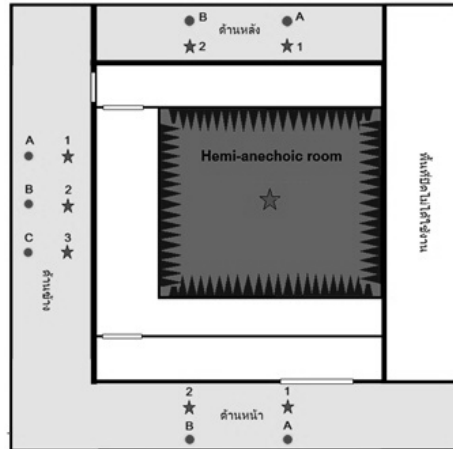


รูปที่ 5 ห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน ที่ได้สร้างขึ้น

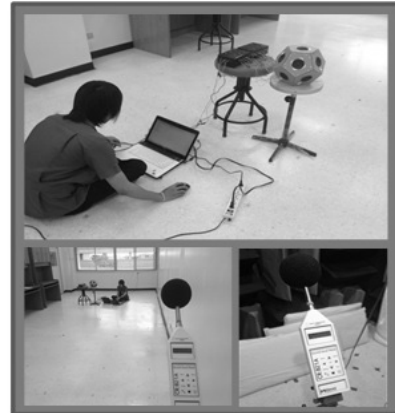
4. การทดสอบประสิทธิภาพของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อน

4.1 ประสิทธิภาพการป้องกันและลดทอนเสียงรบกวน

การทดสอบการป้องกันและลดทอนเสียงรบกวนของผนัง กระทำโดยการสร้างเสียงรบกวนสีขาว (White noise) ผ่านเครื่องขยายและลำโพงที่ตั้งอยู่นอกห้อง แล้ววัดระดับความดันเสียง (Sound pressure level) ด้วยเครื่องวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ภายนอกห้องและภายในห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 6 ระยะของตำแหน่งวัดห่างจากผนัง 1 เมตร ผลการวัดการลดทอนเสียงรบกวนสำหรับตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ที่ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลังแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งเห็นได้ว่าผนังห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนสามารถลดทอนความถี่ได้มากถึง 30 dB

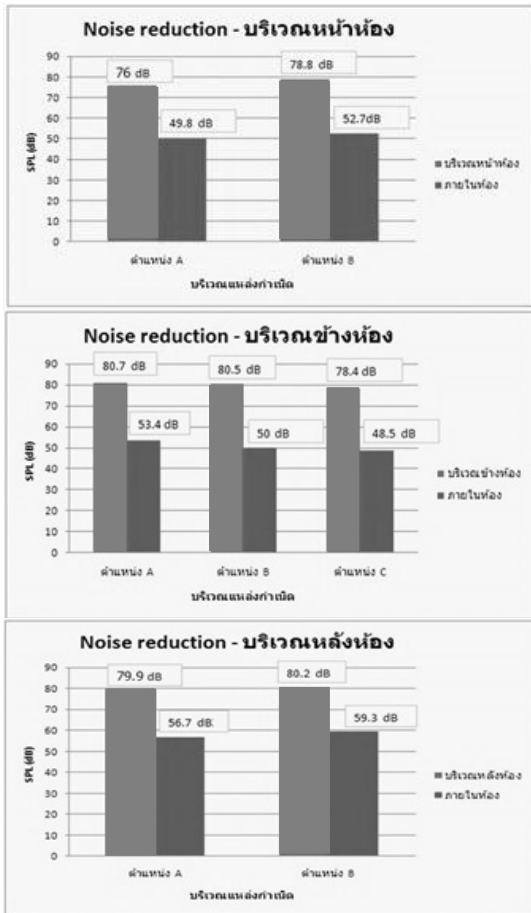


(ก) ตำแหน่ง ● (A, B และ C) สำหรับการสร้างเสียงรบกวนที่ด้านหน้า ด้านข้างและด้านหลัง ห้องไร้เสียงสะท้อน และตำแหน่ง ★ (1, 2 และ 3) สำหรับการวัดค่า SPL เสียงภายนอกห้องเปรียบเทียบกับค่าระดับความดันเสียง



(ข) สร้างเสียงรบกวนผ่านเครื่องขยายและลำโพงวัด SPL ของเสียงรบกวนที่ตำแหน่งภายนอกและภายในห้องไร้เสียงสะท้อนด้วยเครื่องวัดระดับความดันเสียง

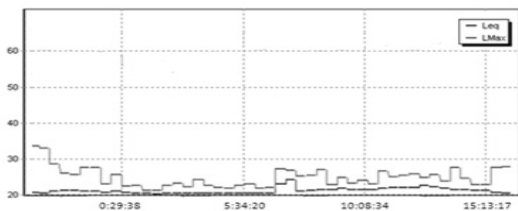
รูปที่ 6 ทดสอบการป้องกันและลดทอนเสียงรบกวนของผนังห้องไร้เสียงสะท้อน



รูปที่ 7 การลดลงของ SPL ที่วัดได้เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอยู่นอกห้องที่ตำแหน่งต่างๆ

4.2 ระดับเสียงรบกวนพื้นฐาน

ระดับเสียงรบกวนพื้นฐานภายในห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนวัดได้โดยใช้เครื่องวัดระดับความดันเสียง โดยโปรแกรมให้เครื่องวัดทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าระดับเสียง (L_{eq}) มีค่าประมาณ 20-22 dBA



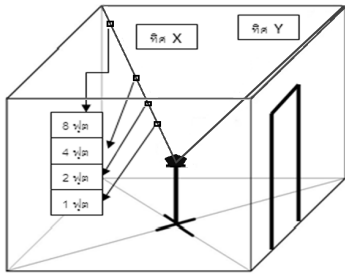
รูปที่ 8 ระดับเสียงรบกวนพื้นฐานของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนที่วัดได้ในเวลา 24 ชม.

4.3 การทดสอบสภาพฟรีฟิลด์ (Free field)

การทดสอบสภาพความเป็นฟรีฟิลด์ของห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนเสียงจะใช้วิธีการวัดระดับความดันเสียง (SPL) ที่จะต้องลดลงเมื่อมีการเพิ่มระยะทางการวัดเป็นจำนวนเท่าของระยะเดิมตามความสัมพันธ์ในสมการ(4) ซึ่งเป็นวิธีการพิสูจน์การไร้เสียงสะท้อนตามมาตรฐานสากลไอเอสโอ 3745 [1] โดยแหล่งกำเนิดเสียงในการทดสอบต้องเป็นชนิดอย่างง่าย (Simple source) ซึ่งจะมีหน้าคลื่นอะคูสติกส์รูปทรงกลมแผ่กระจายออกได้ทุกทิศทางเท่าๆกัน (Omni directional radiation) รูปที่ 9 เป็น Omni-directional source ที่ได้สร้างขึ้นด้วยการใช้ลำโพงดอกเล็กจำนวนมากถึง 11 ดอกประกอบกันเป็นรูปใกล้เคียงทรงกลม อย่างไรก็ตามการปรับจูนอัตราขยายให้เสียงจากลำโพงทุกดอกมีแอมพลิจูดและเฟสเท่ากันที่ทุกความถี่ กระทำได้ยากเนื่องจากลำโพงแต่ละตัวมีลักษณะการตอบสนองความถี่ที่แตกต่างกันและไม่ง่ายที่จะทำให้ได้หน้าคลื่นทรงกลมที่สมบูรณ์ ดังนั้นในการทดสอบนี้จะใช้แหล่งกำเนิดเสียงขนาดเล็กหรือ Compact source แทน โดยจะสร้างโทนเสียงในช่วงที่ความถี่ที่ไม่สูงนักและทำการวัดที่ระยะฟาร์ฟิลด์ (Far field) เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการวัดที่ระยะฟาร์ฟิลด์หรือระยะวัดที่มากกว่า 4 ถึง 5 เท่าของขนาดแหล่งกำเนิดเสียง จะทำให้หน้าคลื่นสำหรับเสียงความถี่ต่ำมีลักษณะใกล้เคียงกับหน้าคลื่นของเสียงจาก Simple source จึงสามารถนำมาใช้แทนได้ ในการทดสอบได้ทำการโปรแกรมสร้างเสียงโทนความถี่เดียว (Pure tone) ตั้งแต่ความถี่ 100 125 160 200 250 270 290 300 315 330 350 370 390 400 420 440 460 500 และ 1000 Hz โดยความถี่ที่สูงกว่า 1000 Hz จะไม่ทำการทดสอบเนื่องจากการศึกษาใน [10] พบว่าเสียงความถี่สูงตั้งแต่ 1000 Hz ขึ้นไปถูกดูดซับได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ด้วยวัสดุดูดซับเสียงที่นำมาใช้ปิดผนัง รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองการวัดระดับความดันเสียง (SPL)



รูปที่ 9 ลำโพงขนาดเล็กจำนวนหลายดอก ประกอบกันเป็น Omni source



รูปที่ 10 (ก) ระยะและทิศทางการวัดระดับความดันเสียง (ข) การทดสอบความเป็นฟรีฟิลด์

การวัดระดับความดันเสียง จะเริ่มวัดที่ระยะ 1 ฟุต จากแหล่งกำเนิดเสียง แล้วเพิ่มระยะเป็น 2 4 5 6 7 และ 8 ฟุต ตามลำดับ โดยการเพิ่มระยะเป็นจำนวนเท่าสามารถคำนวณได้จากสมการ (4) การเพิ่มระยะสองเท่า SPL จะลดลง 6.02 dB สำหรับการเพิ่มระยะจาก 4 เป็น 5 ฟุต 4 เป็น 6 ฟุต และ 4 เป็น 7 ฟุต เป็นการเพิ่มระยะการวัด 1.25 1.5 และ 1.75 เท่าตามลำดับ ซึ่งค่า SPL มีค่าลดลงตามทฤษฎีดังในตารางที่ 1 มาตรฐานสากลไอเอสโอ 3745 ยอมรับการเบี่ยงเบนของค่าระดับความดันเสียงที่ลดลงโดยสามารถเบี่ยงเบนจากค่าที่แสดงในตารางที่ 1

ได้ สำหรับห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนการเบี่ยงเบนของค่า SPL ต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ [1] ดังนี้ สำหรับช่วงความถี่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 630 Hz ค่าการเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน ± 2.5 dB สำหรับช่วงความถี่ 800 Hz ถึง 5000 Hz ค่าเบี่ยงเบนต้องอยู่ในช่วง ± 2.0 dB และสำหรับช่วงความถี่ตั้งแต่ 6300 Hz เป็นต้นไป ค่าเบี่ยงเบนต้องอยู่ภายใน ± 3.0 dB

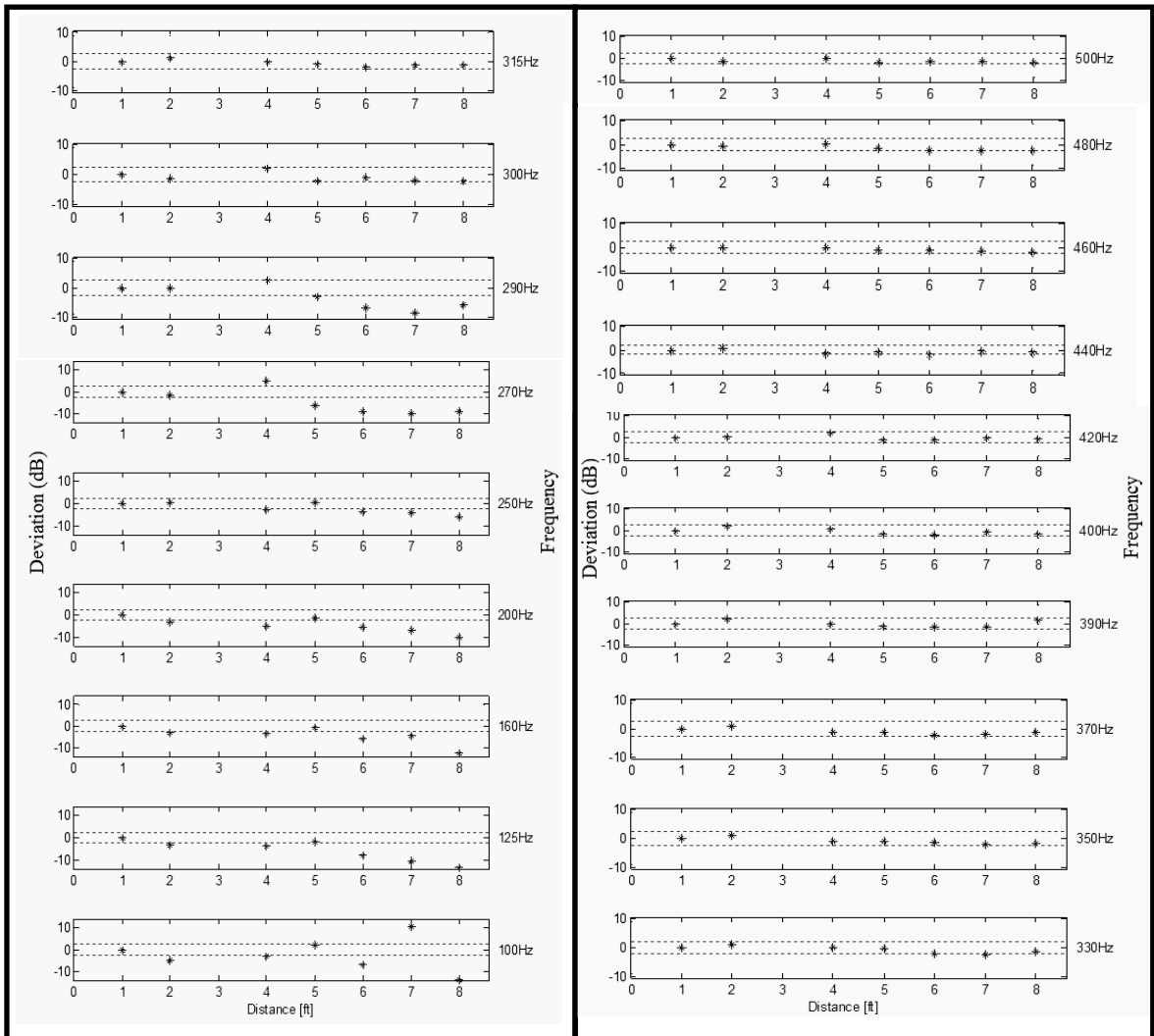
ตารางที่ 1 ค่าระดับความดันเสียง (SPL) ที่ลดลงตามทฤษฎีเมื่อมีการเพิ่มระยะการวัด

ระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่า	ระยะเท่า	ระยะเท่า	ระยะเท่า	ระยะเท่า
SPL ที่ต้องลดลง	1.25	1.5	1.75	2 เท่า
	เท่า	เท่า	เท่า	เท่า
	1.93 dB	3.52 dB	4.86 dB	6.02 dB

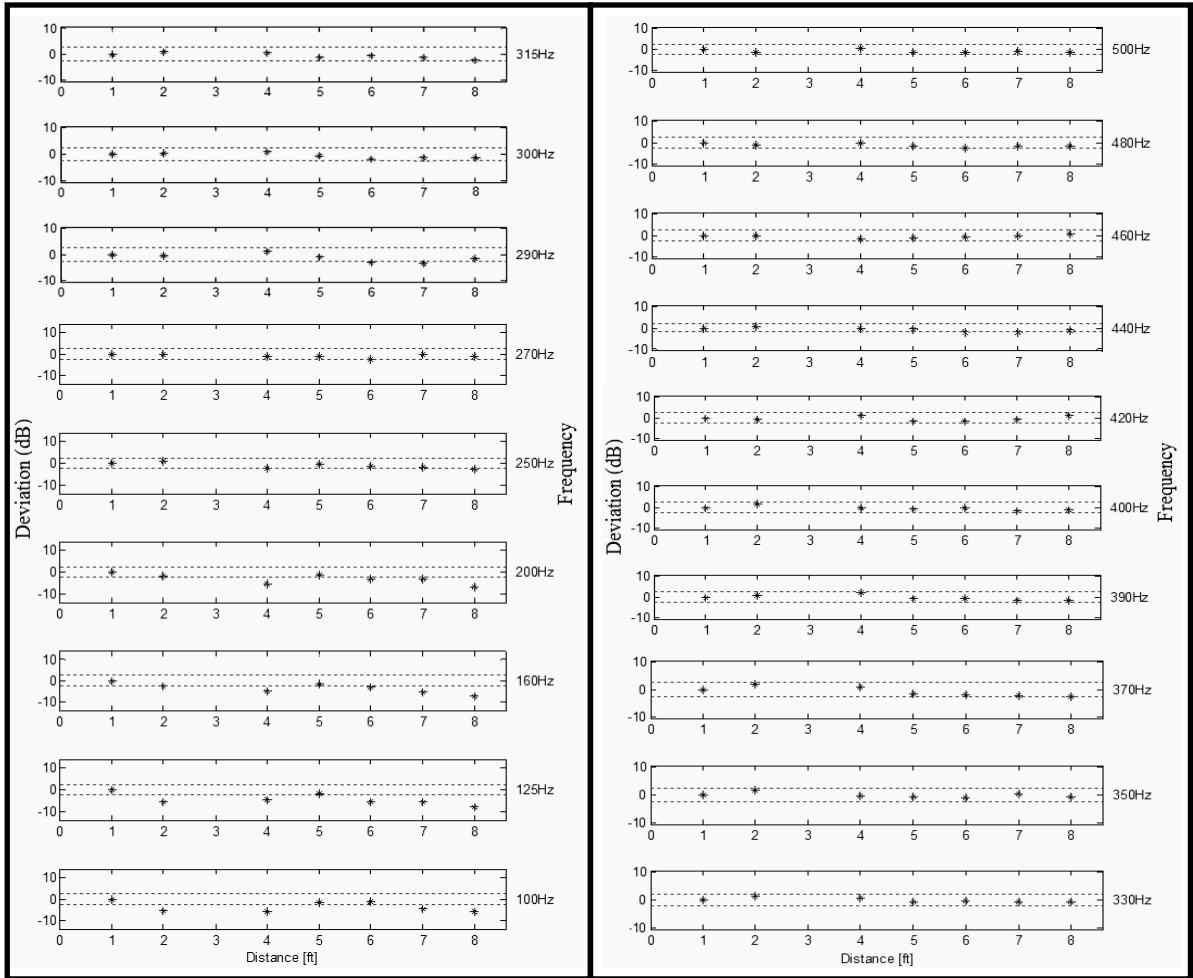
ผลการทดสอบสภาพความเป็นฟรีฟิลด์แสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 11 และ รูปที่ 12 สำหรับแนวทิศ X และ ทิศ Y ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าตั้งแต่ความถี่ 300 Hz ขึ้นไป การลดลงของ SPL มีความเบี่ยงเบนอยู่ในเปรียบเทียบกับความถี่คัทออฟที่ได้ออกแบบไว้ที่ 280 Hz ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันระหว่างค่าความถี่คัทออฟ ของห้องที่ได้ออกแบบและที่วัดได้จากห้องที่ได้สร้างสร้างขึ้นจริง ความถี่คัทออฟของห้องที่แตกต่างกันเล็กน้อยนี้เป็นอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างของลิ้มมีส่วนที่เป็นโลหะสำหรับเป็นโครงรูปทรงลิ้มสามเหลี่ยม และเสียงบางส่วนอาจถูกสะท้อนได้จากโครงโลหะนี้ นอกจากนี้ที่ความถี่ต่างๆ ถึงแม้ว่าวัสดุไฟเบอร์กลาสสามารถดูดซับเสียงได้ดีมาก แต่ไม่ได้ดูดซับเสียงที่ตกกระทบได้ทั้งหมดร้อยเปอร์เซ็นต์ ยังมีคมีส่วนที่สะท้อนกลับได้ ทั้งนี้หากมีการปรับเปลี่ยนเพื่อเพิ่มสัดส่วนความสูงกับความกว้างของฐานลิ้มให้มากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้เสียงความถี่ต่ำที่สะท้อนกลับจากการที่ไม่ได้ถูกดูดซับทั้งหมด เกิดการตกกระทบกับวัสดุดูดซับ

เสียงที่ผนังได้หลายครั้งยิ่งขึ้นและอาจลดปริมาณเสียง
ความถี่ต่ำที่จะสะท้อนกลับเข้าสู่ห้องให้เหลือน้อย

ใกล้เคียงกับศูนย์ซึ่งก็จะทำให้ความถี่คัทออฟของห้องมีค่า
ลดลงได้



รูปที่ 11 ระดับความดันเสียงที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่คำนวณตามทฤษฎีเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นเป็นจำนวนเท่า เทียบกับ
ความเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานไอเอสโอ 3745 (เส้นประ) สำหรับกรวดในทิศทาง



รูปที่ 12 ระดับความดันเสียงที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่คำนวณตามทฤษฎีเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าเทียบกับความเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานไอเอสโอ 3745 (เส้นประ) สำหรับการวัดในทิศทาง Y

5. สรุป

คุณสมบัติของห้องไร้เสียงสะท้อนที่สำคัญได้แก่ ระดับเสียงรบกวนพื้นฐาน ความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนภายนอก และความถี่คutoffที่ยังคงทำให้ห้องมีสภาพความเป็นฟรีฟิลด์ถูกนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบก่อสร้างห้องกึ่งไร้เสียง แต่ด้วยข้อจำกัดด้านสถานที่อยู่บนอาคารสูง การก่อสร้างด้วยผนังที่หนักไม่สามารถกระทำได้ การสร้างห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้ใช้ผนังเบาซ้อนหลายชั้นแทรกด้วยชั้นโลหะแข็ง วัสดุดูดซับเสียง โฟรงอากาศ และ

ไม้ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนจากภายนอก ผนังด้านในห้องถูกบุด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงที่สูงโดยใช้รูปทรงลิ้มสามเหลี่ยมเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับและเพิ่มจำนวนครั้งในการตกกระทบของเสียง ความสูงของลิ้มถูกกำหนดเพื่อให้ได้ความถี่คutoffที่ 280 Hz ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยใช้แหล่งกำเนิดเสียงชนิด Compact source และใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานสากลพบว่าห้องกึ่งไร้เสียงสะท้อนมีความถี่คutoffที่ 300 Hz ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ ผนังห้องสามารถป้องกันเสียงรบกวนได้มากถึง 30 dB และ

ระดับเสียงรบกวนพื้นฐานภายในห้องที่ 20-22 dBA สามารถใช้ในการศึกษาและวิจัยด้านอะคูสติกส์วิศวกรรมได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยเรื่อง กรณีศึกษาผลกระทบต่อความกังวลของห้องเรียน ขอขอบคุณ สกว. สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยเรื่องอะคูสติกส์ของเครื่องดนตรีไทยฯ ซึ่งได้ใช้งบประมาณบางส่วนเพื่อดำเนินปรับปรุงและสร้างห้องไร้เสียงสะท้อน และขอขอบคุณบริษัทสยามไฟเบอร์กลาส จำกัด สำหรับไฟเบอร์กลาสจำนวนมากซึ่งได้ใช้เป็นวัตถุดิบในการจัดทำวัสดุดูดซับเสียง นอกจากนี้ยังได้รับความร่วมมือจากศิษย์รุ่น 1 ผู้ลงทะเบียนศึกษาวิชาอะคูสติกส์วิศวกรรมในการร่วมแรงและใช้ความรู้จากรายวิชา มาช่วยในการก่อสร้าง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ISO. ISO 3745 Acoustics - Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms. 2nd ed. Geneva: Switzerland. 2003.
- [2] Beranek LL, Sleeper HP. The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers. J Acoust Soc Am. 1946; 18: p. 140-150.
- [3] Koidan W, Hruska GR. Acoustical Properties of the National Bureau of Standards: Anechoic Chamber. J Acoust Soc Am. 1978; 56 (2): p. 508-516.
- [4] Boullosa RR, Lopez AP. Some Acoustical Properties of the Anechoic chamber at the Centro de Instrumentos, Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Applied Acoustics. 1999; 56: p. 199-207.
- [5] Biesel VB, Cunefare K A. A Test System for Free-Field Qualification of Anechoic Chambers. Sound and Vibration; 2003; May p. 22-26
- [6] Dreyer J, Jangale AS, Rao MD. Design and Analysis of a Hemi-Anechoic Chamber at MTU. Noise-Con. 2005; October 17-19.
- [7] Jansson D, Mathew J, Hubner JP, Sheplak M, Cattafesta L. Design and Validation of an Aeroacoustic Anechoic Test facility. 8th AIAA/CEAS Aeroacoustics Con. 2002; June 17-19.
- [8] Kinsler L, et al. Fundamentals of Acoustics. 4th ed. NY: Wiley; 2000.
- [9] Sodsri C. Transmission of Acoustic Wave through Walls. Lecture notes in acoustics. Silpakorn University; 2012. (In Thai).
- [10] Sodsri C. Measurement of Sound Absorption Coefficients Using a Virtual Instrumentation and Transfer Function Method. EENET2012. 2012; May 3-5. p. 718-721. (In Thai).