

การลดเสียงรบกวนแวดล้อมในห้องด้วยวิธีการควบคุมแบบพาสซีฟที่ แหล่งกำเนิดเสียง

Ambient Noise Reduction by Passive Control of a Noise Source in a Room

ชูเกียรติ สอดศรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อ. เมือง จ. นครปฐม 73000

E-mail: sodsri@su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมเสียงรบกวนในห้องที่เกิดจากตู้แร็คของสวิตช์ฮับซึ่งกำเนิดเสียงดังต่อเนื่องตลอดเวลา สร้างความรำคาญและเป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานภายในห้อง การควบคุมเสียงรบกวนแบบพาสซีฟที่แหล่งกำเนิดเสียงมีจุดประสงค์เพื่อให้ระดับเสียงรบกวนที่ทุกตำแหน่งภายในห้องต่ำกว่า 50 dBA ซึ่งเป็นระดับความดังของเสียงรบกวนที่ยังคงทำให้การสื่อสารด้วยการสนทนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมเสียงรบกวนกระทำโดยสร้างกล่องเก็บเสียงครอบอุปกรณ์และออกแบบท่อลดทอนเสียงรบกวน 3 ลักษณะซึ่งได้แก่ ท่อลดทอนเสียงแบบตัวกรองทางอะคูสติกส์ ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler และชนิด Three-duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสบรรจุอยู่ด้านใน โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงของแต่ละท่อด้วยการใช้สมมุติฐานให้ท่อเป็นระบบเชิงเส้นแล้วเปรียบเทียบการตอบสนองความถี่ของท่อที่วัดได้ในห้องไร้เสียงสะท้อน ใช้การสร้างสัญญาณสวิตช์จากคอมพิวเตอร์ผ่านลำโพงเพื่อป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับท่อและใช้ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์บันทึกสัญญาณและประมวลในโดเมนความถี่ ผลการทดสอบท่อลดทอนเสียงทั้ง 3 แบบ พบว่าท่อลดทอนเสียงชนิด Three duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสอยู่ภายในมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งเมื่อได้ติดตั้งกล่องเก็บเสียงและท่อลดทอนเสียงรบกวนพบว่าระดับเสียงรบกวนภายในห้องลดลงได้มากถึง 10 dBA โดยทุกตำแหน่งในห้องมีระดับความดันเสียงระหว่าง 46 - 48 dBA และการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเสียงรบกวนไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะและประสิทธิภาพในการทำงานของสวิตช์ฮับ นอกจากนี้ผลจากแบบสอบถามพบว่าผู้ทำงานภายในห้องมีความพึงพอใจอย่างมากต่อการควบคุมเสียงรบกวนแวดล้อมที่ได้ดำเนินการ

คำสำคัญ: การลดเสียงรบกวนในห้อง ท่อลดทอนเสียง การตอบสนองความถี่ การกระจายตัวของเสียงรบกวน

ABSTRACT

In this work, a continuous and loud ambient noise, emitted from a box of switching hub in a room, was studied. A design for its noise reduction was conducted by applying a method of passive noise control at the noise source. A soundproof box was built to cover and prevent emission noise from the machine and three types of silencers: an acoustical filter, three-duct muffler, and three-duct muffler with fiberglass, were designed and tested for their efficiency for being used in the exhaust system. By applying an assumption that the silencers were linear systems, their frequency responses were measured in an anechoic room. A series of sine sweeps were generated through a loudspeaker and

used as the inputs of the silencers and a condenser microphone was used to record the sound emitted from the tested silencers as the system outputs. An analysis was done in frequency domain for comparing relative noise reduction capability of the designed silencers. The result showed that the silencer of three duct muffler with fiberglass was the best in noise reduction and was selected to be used as a proper silencer for the noise control. After installation of soundproof box and the silencer, the averaged level of noise in the room was decreased as much as 10 dBA. The ambient noise level at every location was between 46 - 48 dBA. The result of functional condition test indicated that the functionality and durability of the switching box were not influenced by the noise control method. A questionnaire result also revealed that the applied approach of noise control in the room was most satisfied.

Keyword: Room Noise Reduction, Silencer, Frequency Response, Noise Distribution

1. บทนำ

เสียงมีอิทธิพลต่อมนุษย์ทั้งด้านจิตใจและร่างกาย สามารถสร้างความสุนทรีย์และใช้ในการสื่อสารและประยุกต์ใช้ในการแพทย์ เสียงรบกวนคือเสียงที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร จากการผลิต การสัญจรและจราจร เสียงรบกวนเหล่านี้สามารถสร้างความรำคาญและก่อให้เกิดความเครียดซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยอาจทำให้เกิดภาวะเสียงต่อหลายโรค เช่น โรคกระเพาะ โรคความดันสูง โรคสมาธิสั้น สถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยด้านอาชีวอนามัยและองค์การอนามัยโลกได้กำหนดว่าเสียงที่เป็นอันตราย หมายถึงเสียงที่ดังเกิน 85 เดซิเบล [1-2] โดยการได้รับฟังเสียงดังเป็นระยะเวลานานเกินไปอาจทำให้สูญเสียการได้ยินอย่างชั่วคราวหรือถาวรได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงหรือหาวิธีควบคุมความดังของเสียงรบกวนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

การป้องกันและควบคุมความดังของเสียงรบกวนสามารถทำได้ 3 วิธี 1) ควบคุมและป้องกันที่แหล่งกำเนิดโดยออกแบบเครื่องจักร อุปกรณ์ ให้ทำงานเงียบ หรือนำวัสดุที่ดูดซับเสียงมาช่วยในการลดเสียงรบกวนที่ออกมาจากเครื่องจักร และติดตั้งเครื่องจักรในตำแหน่งที่มั่นคงเพื่อลดการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น 2) การควบคุมที่ทางผ่านของเสียง วิธีการนี้กระทำได้โดยการเพิ่มระยะห่าง

ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนกับผู้ฟัง ซึ่งสำหรับห้องที่มีสภาพใกล้เคียงกับสภาวะฟรีฟิลด์ (Free field) ที่ซึ่งเสียงเคลื่อนที่ออกได้ทุกทิศทางโดยไม่มีการสะท้อนกลับ เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจะทำให้ระดับเสียงลดลงประมาณ 6 เดซิเบล [3] การสร้างกำแพงกันหรือใช้วัสดุดูดซับเสียงติดตั้งระหว่างทางเดินของเสียงเพื่อดูดซับพลังงานของเสียงให้ลดลงซึ่งจะต้องเลือกใช้ชนิด ความหนาแน่นและขนาดความหนาของวัสดุให้เหมาะสม 3) การควบคุมเสียงรบกวนที่ผู้รับเสียง กระทำได้ด้วยการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียงรบกวนที่หูผู้ฟัง มี 2 ลักษณะคือแบบครอบใบหูทั้งหมดซึ่งจะสามารถลดระดับความดังได้ 20 - 40 เดซิเบลเอ (dBA) และแบบปลั๊กสำหรับสอดใส่เข้าไปในช่องหู ทำด้วยยางหรือพลาสติก สามารถลดระดับความดังของเสียงได้ 10-30 dBA

ห้อง ท. 527 คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นห้องปฏิบัติงานของนักศึกษา มีตู้แร็คสวิตช์ฮับกำเนิดเสียงรบกวนตลอดเวลาขณะทำงาน สร้างความรำคาญกระทบต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงานของนักศึกษา ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบวิธีการควบคุมเสียงรบกวนแวดล้อมในห้องให้มีระดับความดังที่ต่ำกว่า 50 dBA ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับห้องที่มีการสื่อสารระหว่างผู้ปฏิบัติงานในห้องด้วยความดังในการพูดแบบปกติที่ 55 - 60 dBA [4] การ

ควบคุมแบบพาสซีฟที่แหล่งกำเนิดกระทำได้โดยการสร้างกล่องเก็บเสียงเพื่อครอบอุปกรณ์และออกแบบท่อลดทอนเสียง ซึ่งได้ทำการทดลองสร้างท่อลดทอนเสียง 3 รูปแบบ พร้อมทั้งทดสอบประสิทธิภาพเพื่อจะได้ท่อลดทอนเสียงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการควบคุมเสียงรบกวน การทดสอบประสิทธิภาพกระทำโดยใช้สมมุติฐานให้ท่อลดทอนเสียงเป็นระบบเชิงเส้นและวัดการตอบสนองความถี่ของท่อแต่ละแบบในห้องไร้เสียงสะท้อนด้วยการโปรแกรมในคอมพิวเตอร์สร้างสัญญาณสวิตช์ไซน์ผ่านลำโพงป้อนให้กับท่อและนำสัญญาณที่บันทึกด้วยไมโครโฟนมาวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ การเปรียบเทียบผลการวัดระดับความดันเสียงรบกวนแวดล้อมในห้อง ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเสียงรบกวนและผลสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ห้องแสดงถึงผลสัมฤทธิ์ของวิธีการควบคุมเสียงรบกวนแบบพาสซีฟที่ได้ดำเนินการ

2. อะคูสติกส์และโหนดของห้อง

อะคูสติกส์ของห้องหมายถึงลักษณะหรือสภาพภายในห้องที่มีผลต่อลักษณะการเกิดเสียง การแผ่กระจายของเสียง และพฤติกรรมการเกิดผลกระทบของเสียงในห้อง ซึ่งลักษณะของห้องได้แก่ รูปร่างและขนาดห้อง ประเภทของผนัง พื้นและเพดาน ล้วนส่งผลต่อลักษณะการเกิดโหนดเสียงในห้อง สำหรับห้องสี่เหลี่ยมที่มีผนังทุกด้านรวมพื้นและเพดานมีลักษณะแข็งเกร็ง (Rigid wall) ห้องมีขนาด $L_x \times L_y \times L_z$ (กว้าง \times ยาว \times สูง) คลื่นความดันอะคูสติกส์ $p(x,y,z,t)$ ซึ่งขึ้นกับตำแหน่ง (x, y, z) และเวลา (t) มีสมการคลื่นเคลื่อนที่ดังสมการที่ (1) และค่าความถี่ในโหนดคลื่นความดันอะคูสติกส์ของห้อง คำนวณได้จากสมการที่ (2) โดย l, m, n คือเลขโหนดในแนว x, y, z ตามลำดับ ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็ม ($l, m, n = 0, 1, 2, 3, \dots$) และ c คือความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ [5] สำหรับห้อง ท. 527 ซึ่งมีขนาด กว้าง 4.27 เมตร ยาว 11.79 เมตร และสูง 3.6 เมตร โดย พื้น เพดานและผนังด้านข้าง 2 ด้านเป็นปูนซีเมนต์ ผนังด้านหน้าและหลังเป็นบานกระจกใส และไม่มีฝ้าหรือวัสดุดูดซับเสียงปิดผนังแต่อย่างใด (ดังรูปที่ 1) ซึ่งทำให้ผนังทุกด้านมีลักษณะ

ใกล้เคียงกับลักษณะแข็งเกร็ง ดังนั้นสำหรับความเร็วคลื่นเสียง $c = 345$ เมตรต่อวินาที ความถี่ในแต่ละโหนดห้องที่ได้จากสมการที่ (2) สำหรับ 14 โหนดแรกแสดงดังตารางที่ 1 โดยเรียงลำดับความถี่ต่ำสุดไปยังมากที่สุด โหนดห้องเหล่านี้มีความสำคัญต่อเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น โดยเสียงรบกวนภายในห้องที่มีความถี่ตรงกับโหนดห้อง จะเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่นั้นและทำให้เสียงรบกวนมีความดังเพิ่มขึ้นที่บางความถี่

$$p(x, y, z, t) = A_{lmn} \cos(k_x l x) \cos(k_y m y) \cos(k_z n z) e^{j\omega t} \quad (1)$$

$$\text{โดย } k_x l = l \frac{\pi}{L_x}, \quad k_y m = m \frac{\pi}{L_y}, \quad k_z n = n \frac{\pi}{L_z}$$

$$f_{lmn} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(l \frac{\pi}{L_x}\right)^2 + \left(m \frac{\pi}{L_y}\right)^2 + \left(n \frac{\pi}{L_z}\right)^2} \quad (2)$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) ห้อง ท. 527 และ (ข) ตู้แร็คเครื่องสวิตซ์ฮับที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายในห้อง ท.527

ตารางที่ 1 ความถี่ 14 โหมดแรก โหมดห้อง ท. 527
เรียงลำดับตามความถี่จากน้อยไปมาก

เลขโหมด (l,m,n)	ความถี่ [Hz]	เลขโหมด (l,m,n)	ความถี่ [Hz]
010	14.42	111	63.43
020	28.84	200	79.63
100	39.81	220	84.89
110	42.34	002	94.45
001	47.22	022	98.75
011	49.38	202	123.53
101	61.77	222	126.85

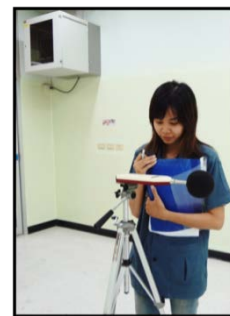
3. เสียงรบกวนและการควบคุม

แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนในห้อง ท. 527 เกิดจากตู้แร็คของสวิตช์ฮับ และเนื่องจากสวิตช์ฮับถูกใช้งานตลอดเวลาทำให้มีเสียงรบกวนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยตำแหน่งของเครื่องติดอยู่กับผนังในบริเวณมุมด้านบนของห้องซึ่งเป็นตำแหน่งที่เสียงรบกวนชนิดแถบความถี่กว้างสามารถกระตุ้นให้เกิดเรโซแนนซ์ที่ทุกความถี่ที่ตรงกับโหมดความถี่ธรรมชาติของห้อง ส่งผลให้ระดับความดังเสียงรบกวนในห้องมีความดังเพิ่มขึ้น

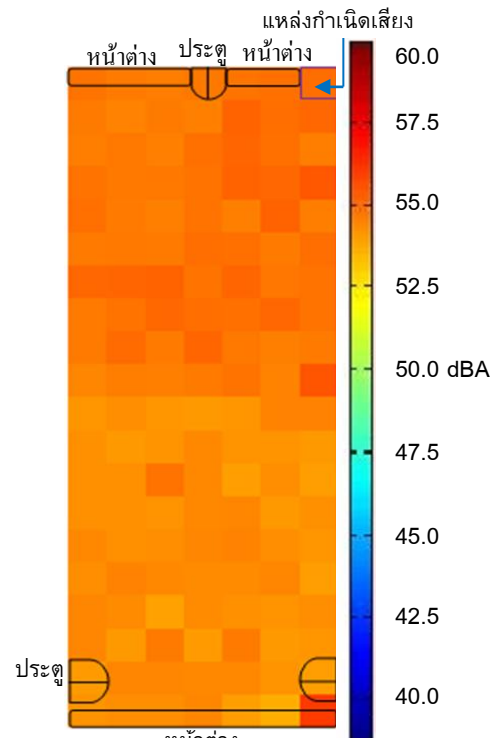
3.1 การวัดระดับเสียงรบกวนแวลลุ่ม

ระดับความดังเสียงรบกวนในห้องถูกวัดทั้งหมด 140 จุด กระจายภายในห้อง โดยแต่ละจุดครอบคลุมพื้นที่ขนาด 0.6x0.6 ตารางเมตร โดยใช้เครื่องวัดระดับความดังเสียง (Sound pressure level meter) ยี่ห้อ Cirrus รุ่น CR-821A วัดที่แต่ละจุดและความสูงระดับหูคนขณะนั่ง (สูงจากพื้นประมาณ 1.05 เมตร) และทำการวัดในหน่วย dBA ผลค่าระดับความดังเสียงที่วัดได้ถูกนำมาโปรแกรมเพื่อทำคอนทัวร์แมป (Contour mapping) แสดงได้ดังรูปที่ 2 (ก) ซึ่งสามารถเห็นได้ว่าระดับความดังของเสียงรบกวนแวลลุ่มภายในห้องมีความดังระหว่าง 54.89 dBA ถึง 58.18 dBA โดยตำแหน่งที่มีระดับของความดังของเสียงมากที่สุดคือบริเวณมุมหลังห้องซึ่งมีระดับความดัง 58.18 dBA และระดับความดังเฉลี่ยของทุกตำแหน่งในห้อง

เท่ากับ 56.16 dBA ทั้งนี้สังเกตได้ว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมากที่สุดไม่จำเป็นต้องมีระดับความดังมากที่สุด โดยจากผลการวัดที่ได้ จุดที่อยู่ไกลมากเช่นตำแหน่งมุมห้องสามารถมีระดับความดังของเสียงรบกวนมากที่สุดได้ ทั้งนี้เป็นผลกระทบจากโหมดห้องทุกโหมดมีขนาดความถี่คลื่นสูงสุดที่ตำแหน่งผนังห้องแข็งเกร็งและด้วยตำแหน่งมุมเป็นตำแหน่งที่ผนังทุกด้านบรรจบกันทำให้ผลรวมของระดับความดังเสียงรบกวนมีค่ามากที่สุดได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) วัดระดับเสียงรบกวนด้วยเครื่องวัดระดับความดังเสียง ในหน่วย dBA (ข) ระดับความดังเสียงรบกวนแวลลุ่มในห้อง ท. 527

3.2 การออกแบบการควบคุมเสียงรบกวน

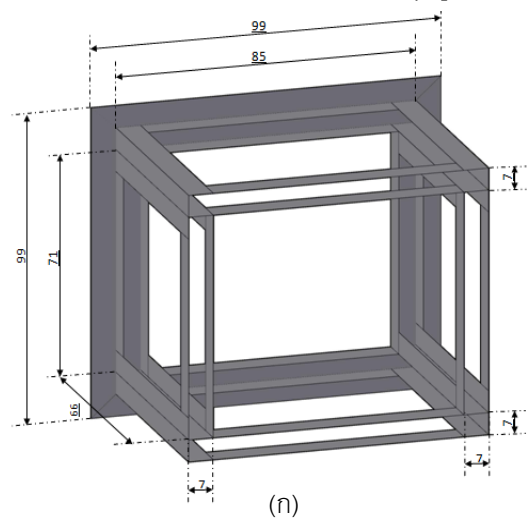
วิธีควบคุมเสียงรบกวนแบบแพสซีฟที่สามารถกระทำได้สำหรับห้อง ท. 527 ได้แก่การควบคุมที่แหล่งกำเนิดและการควบคุมที่ทางผ่านในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง วิธีการควบคุมที่ผู้รับเสียงด้วยการใส่ที่ครอบหูป้องกันเสียงเป็นวิธีที่ไม่สามารถกระทำได้สะดวกเนื่องจากผู้ปฏิบัติงานใช้การสื่อสารระหว่างกันด้วยการสนทนา การควบคุมที่ทางผ่านของคลื่นเสียงด้วยการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผนังและเพดานเป็นวิธีที่สามารถลดระดับความดังเสียงรบกวนได้ แต่ต้องใช้วัสดุดูดซับเสียงจำนวนมากซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง แต่เสียงรบกวนยังคงแผ่กระจายเข้าสู่ภายในห้องได้เช่นเดิม จึงเลือกใช้วิธีการควบคุมเสียงรบกวนที่แหล่งกำเนิดเนื่องจากเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุสะดวกและประหยัด มีการใช้วัสดุดูดซับเสียงปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการควบคุมที่ทางผ่านของคลื่นเสียง

การควบคุมเสียงรบกวนแบบแพสซีฟที่แหล่งกำเนิดกระทำโดยการสร้างกล่องเก็บเสียงเพื่อป้องกันการแผ่กระจายเสียงรบกวนเข้าสู่ห้องและออกแบบท่อลดทอนเสียงสำหรับช่องเสียงรบกวนที่ออกมาจากช่องระบายอากาศ กล่องครอบเพื่อเก็บเสียงประกอบด้วยโครงเหล็กและผนังไม้หนา 4 มม. 2 ชั้น ระหว่างชั้นบุด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) สำหรับดูดซับเสียง ด้านหน้าเป็นกระจกใส 2 ชั้น ดังรูปที่ 3 ปิดขอบด้วยซิลิโคนและแนวขอบประตูของตู้ด้วยยางสำหรับกันเสียงเล็ดลอดตามแนวขอบของกล่องเก็บเสียง มีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศและพัดลมระบายอากาศที่ด้านบนและด้านล่างของกล่องเพื่อถ่ายเทอากาศให้อุณหภูมิภายในกล่องคงเดิมและไม่กระทบกับสภาพการทำงานของอุปกรณ์

3.3 การออกแบบและทดสอบท่อลดทอนเสียงรบกวนที่เกิดจากช่องระบายอากาศ

เนื่องจากการติดตั้งพัดลมดูดอากาศและพัดลมระบายอากาศทั้งด้านบนและด้านล่างของกล่องเก็บเสียงโดยเป็นพัดลมขนาดเล็กที่ทำงานเงียบ ทำให้ไม่มีเสียงรบกวนจากพัดลมระบายอากาศด้านล่าง แต่ตำแหน่งพัดลมระบายอากาศ 2 ช่องด้านบนของกล่องเก็บเสียงซึ่งอยู่ใกล้บริเวณตำแหน่งมุมห้องด้านบน ทำ

ให้เสียงรบกวนที่เกิดจากพัดลมซึ่งมีช่วงความถี่กว้างถูกขยายที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งตรงกับความถี่ธรรมชาติของโหมดห้องส่งผลให้เสียงรบกวนดังเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบและสร้างท่อลดทอนเสียงจากพัดลมระบายอากาศด้านบนของกล่องเก็บเสียง ได้ทำการออกแบบและทดสอบท่อลดทอนเสียงรบกวน 3 ลักษณะเพื่อให้ได้ท่อเก็บเสียงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ท่อ 3 แบบได้แก่ ท่อลดทอนเสียงแบบตัวกรองทางอะคูสติกส์ ชนิดกรองความถี่สูงผ่านท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler และชนิด Three-duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสบรรจุอยู่ด้านใน



(ข)



(ค)

รูปที่ 3 (ก) โครงเหล็กของกล่องเก็บเสียง (ข) ไฟเบอร์กลาสชนิดหนา และ (ค) แผ่นไฟเบอร์กลาสห่อหุ้มด้วยผ้าสำหรับแทรกระหว่างชั้นผนังของกล่องเก็บเสียง

3.3.1 ท่อลดทอนเสียงแบบตัวกรองทางอะคูสติกส์ชนิดกรองความถี่สูงผ่าน

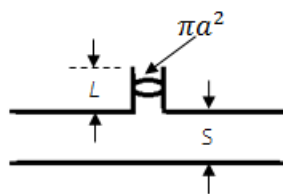
ท่อชนิดกรองความถี่สูงผ่าน มีลักษณะดังรูปที่ 4 โดย S คือขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ L คือความยาวของท่อด้านข้าง และ a คือขนาดรัศมีของท่อด้านข้าง

ด้วยการใช้ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นอะคูสติกส์ในท่อ [5] จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังของคลื่นอะคูสติกส์ตั้งสมการที่ (3)

$$T_{\Pi} = \frac{\omega^2}{\omega^2 + \left(\frac{\rho_0 c}{2SM_a}\right)^2} \quad (3)$$

โดย $M_a = \frac{\rho_0 L'}{\pi a^2}$, $L' = L + (0.85 + 0.85)a$

ρ_0 = ความหนาแน่นของอากาศ

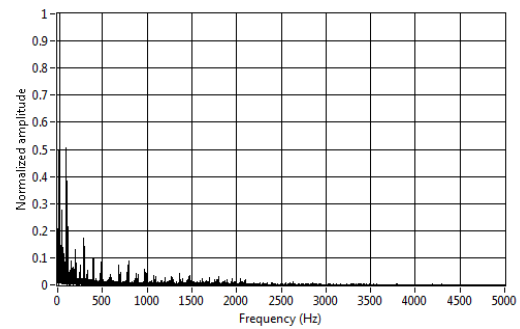


รูปที่ 4 โครงสร้างของตัวกรองทางอะคูสติกส์แบบกรองความถี่สูงผ่าน

สเปกตรัมเสียงที่เกิดจากสวิตช์ที่วัดได้ มีกำลังงานมากในช่วงแถบความถี่ต่ำกว่า 500 Hz (ดังแสดงในรูปที่ 5) จึงทำการออกแบบท่อเก็บเสียงชนิดตัวกรองผ่านความถี่สูงให้มีความถี่คutoff เท่ากับ 500 Hz โดยเสียงช่วงความถี่ต่ำกว่า 500 Hz ทั้งหมดจะถูกบล็อกไม่ให้แผ่กระจายเข้าสู่ห้อง ซึ่งจากสมการที่ (3) เมื่อกำหนดให้ความถี่คutoff เป็นความถี่ซึ่งทำให้กำลังงานของคลื่นเสียงลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุดจะทำให้สามารถได้ขนาดความยาว L ขนาดพื้นที่หน้าตัด S ของท่อตรง และ ขนาดรัศมี a ของท่อเปิดด้านข้าง ดังนี้ $S = \pi(0.007)^2$ ตารางเมตร $L = 0.02$ เมตร และ $a = 0.025$ เมตร รูปที่ 6 แสดงท่อลดทอนเสียงชนิดตัวกรองความถี่สูงผ่านอย่างง่ายซึ่งสร้างโดยใช้ท่อพีวีซีขนาดต่างๆ และใช้ไม้อัด กาวและซิลิโคนเพื่อปรับขนาดช่องเปิด ประกอบกันเป็นตัวกรองอะคูสติกส์

3.3.2 ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler

ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler เป็นท่อลดทอนเสียงที่ให้ค่า Transmission loss มีค่า

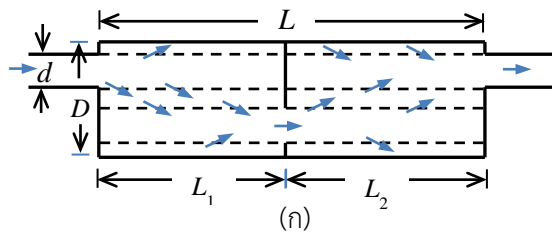


รูปที่ 5 สเปกตรัมความถี่ของเสียงรบกวนที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดเสียงรบกวน



รูปที่ 6 ตัวกรองอะคูสติกส์ความถี่สูงผ่านที่สร้างขึ้นอย่างง่ายด้วยท่อ PVC

สูงมากเมื่อเทียบกับชนิด Concentric-tube resonator และ Plug muffler [6] ลักษณะของท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler แสดงดังรูปที่ 7 (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของคลื่นอะคูสติกส์ที่ส่งผ่านท่อลดทอนเสียงจะขึ้นกับ ค่าเฉลี่ยของเลขมัคในท่อ (M) ความยาวโดยรวมของท่อเก็บเสียง (L) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อภายใน (d) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อไอเสีย (D) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่เจาะเรียงต่อกัน (d_n) ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรูที่เจาะเจาะ (C) ความหนาของผนังของหลอดที่เจาะรู (t_w) จำนวน Chamber (N_c) และระยะความยาวของ Chamber L_1 และ L_2 ตารางที่ 2 แสดงค่าที่เหมาะสมของตัวแปรตามซึ่งถูกแนะนำไว้ในเอกสารอ้างอิง [6] และค่าที่ใช้สำหรับการออกแบบท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งการออกแบบให้ท่อลดทอนเสียงมีความยาว 80 cm จะใช้ค่าขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้ $d = 4$ cm, $D = 11$ cm, $L_1 = 40$ cm และ $L_2 = 40$ cm ท่อลดทอนเสียงที่สร้างขึ้นอย่างง่ายด้วยการใช้ท่อ PVC หลายขนาด ประกอบกับการใช้ไม้อัด กาวและซิลิโคน แสดงได้ดังรูปที่ 7(ข)



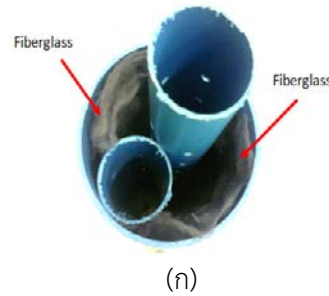
รูปที่ 7 (ก) โครงสร้างของท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler และ (ข) ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler อย่างง่ายที่สร้างขึ้นโดยใช้ PVC

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของ Passive silencer

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ค่าแนะนำที่สามารถเลือกใช้ได้	ค่าที่ใช้โดยทั่วไป	ค่าที่ใช้ในการออกแบบ
M	เลขมัคในท่อ (Mach number)	0.05, 0.1, 0.15, 0.2	0.15	-
D/d	อัตราส่วนขนาดของส่วนขยายของท่อ (Expansion ratio)	2,3,4	3	11/4
C/d _n	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรูเจาะ (Center-to-center distance)	3,4,5,6	4	3/0.5
N _c	จำนวน Chambers	1,2,3	2	2
l ₂ /l	ขนาดของ Chamber ต่อความยาวท่อลดทอนเสียง	1,1/2, 1/3	1/2	40/80
l/d	อัตราส่วนระหว่างความยาวท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อภายใน	15,20,25	20	80/4

3.3.3 ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler ชนิดบรรจุไฟเบอร์กลาสภายใน

การออกแบบและสร้างท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler ชนิดบรรจุไฟเบอร์กลาสภายในมีหลักการการออกแบบและการกำหนดพารามิเตอร์เช่นเดียวกับท่อลดทอนเสียงในตอนที่แล้ว แต่แตกต่างกันที่ภายใน มีการบรรจุไฟเบอร์กลาสในส่วนบริเวณช่องว่างภายในท่อไม่หนาจนเกินไป เพื่อให้คุณสมบัติภายในท่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 8 (ก) และ (ข)



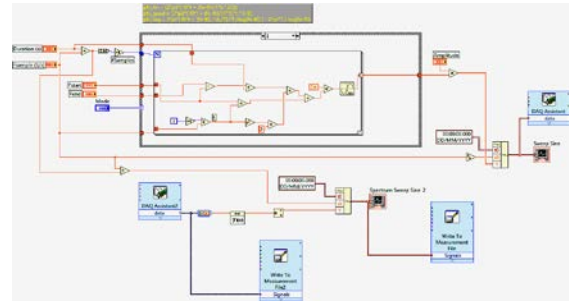
รูปที่ 8 (ก) ไฟเบอร์กลาสถูกใส่ในช่องว่างของท่อลดทอนเสียง และ (ข) ท่อลดทอนเสียงชนิด Three-duct muffler ที่สร้างขึ้นอย่างง่ายโดยใช้ท่อ PVC ที่ซึ่งภายในมีไฟเบอร์กลาส

4. การทดสอบประสิทธิภาพของท่อลดทอนเสียง

ประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนของท่อสามารถดูได้จากลักษณะของการตอบสนองความถี่ของระบบท่อลดทอนเสียง โดยท่อลดทอนเสียงรบกวนที่มีประสิทธิภาพสูงต้องมีแอมพลิจูดของการตอบสนองความถี่ของระบบท่อที่น้อยในช่วงแถบความถี่ที่กว้างเพื่อที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของท่อลดทอนเสียงทั้งสามลักษณะที่ได้ออกแบบไว้ จึงต้องทำการวัดการตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียง

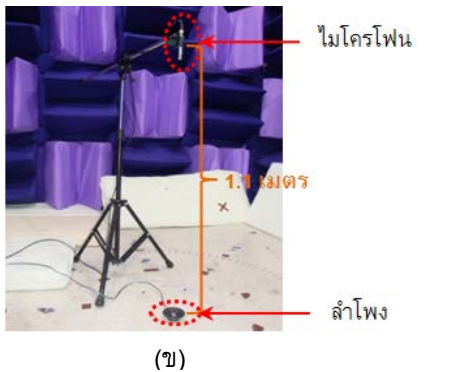
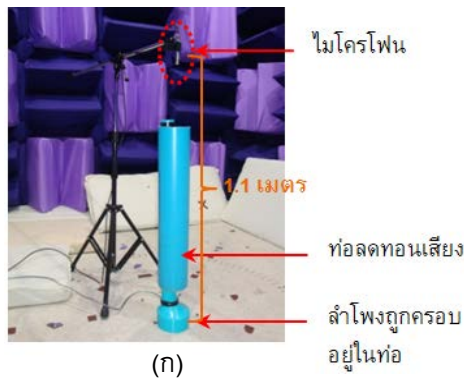
การวัดการตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียงรบกวนกระทำในห้องไร้เสียงสะท้อนของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งมีสภาพเป็นฟรีฟิลด์ตั้งแต่ 300 Hz เป็นต้นไป [3] ใช้การโปรแกรม LabVIEW เพื่อสร้าง

สัญญาณสweepไซน์ (Sine sweep) ที่มีความถี่เริ่มต้นจาก 300 Hz เพิ่มขึ้นจนถึง 10000 Hz ผ่านลำโพงป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับท่อ ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนวัดเสียงที่ออกจากปลายท่อ ที่ระยะห่างจากปลายท่อ 0.3 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) สัญญาณที่บันทึกได้จากไมโครโฟนถูกนำมาประมวลด้วยการแปลงฟูเรียร์เพื่อได้การตอบสนองความถี่ของระบบรวมทั้งประกอบด้วยระบบของชาวดักการ์ด ลำโพง ท่อลดทอนเสียงและไมโครโฟน เพื่อให้ได้การตอบสนองความถี่เฉพาะของท่อลดทอนเสียง จึงทำการวัดการตอบสนองความถี่ของระบบอุปกรณ์วัดซึ่งประกอบด้วยชาวดักการ์ด ลำโพง และไมโครโฟน ดังรูปที่ 9 (ข) แล้วนำไปหารกับการตอบสนองความถี่ของระบบรวมทั้ง จะได้การตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียง รูปที่ 10 แสดงส่วนของการโปรแกรม LabVIEW เพื่อสร้างสัญญาณสweepไซน์ป้อนให้กับลำโพง วัดด้วยไมโครโฟน และประมวลสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 10 ส่วนของโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลสัญญาณในโดเมนความถี่

ผลการวัดการตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียงทั้ง 3 แบบแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งจะเห็นว่าท่อลดทอนชนิดตัวกรองอะคูสติกส์แบบปล่อยผ่านความถี่สูง และ Three duct muffler แบบที่มีไฟเบอร์กลาสบรรจุอยู่ภายในมีความสามารถในการลดทอนเสียงรบกวนสูงในช่วงความถี่ที่กว้าง แต่ด้วยท่อลดทอนเสียงชนิดอะคูสติกส์ฟิลเตอร์มีช่องเปิดให้อากาศเข้าและระบายออกที่เล็กมากซึ่งอาจส่งผลให้การระบายอากาศไม่ดีและสามารถกระทบกับการอายุการใช้งานของสวิตช์ฮับ ดังนั้นท่อเก็บเสียงชนิด Three-duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสอยู่ภายในจึงเป็นท่อลดทอนเสียงที่มีประสิทธิภาพที่สุดและจะถูกนำไปใช้ในการติดตั้งเพื่อควบคุมเสียงรบกวนแวดล้อมภายในห้อง

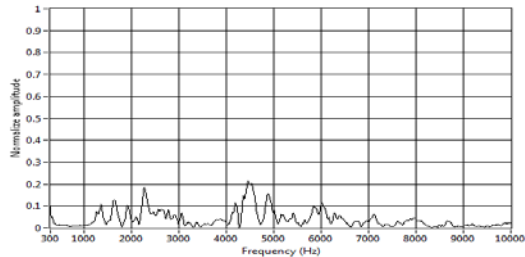


รูปที่ 9 (ก) การวัดการตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียงและ (ข) ของระบบอุปกรณ์สำหรับการวัด

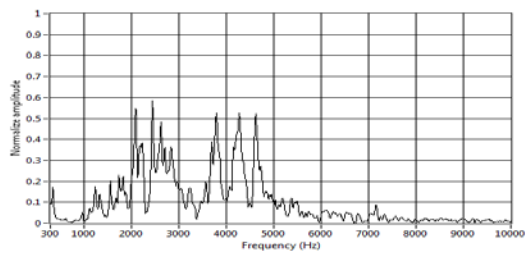
5. ผลการติดตั้งอุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวน

สวิตช์ฮับที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อกันเสียงและใส่ท่อลดทอนเสียงรบกวนที่ช่องระบายอากาศเรียบร้อยแล้วแสดงดังรูปที่ 12 หลังจากนั้นใช้เครื่องวัดระดับความดันเสียงวัดระดับเสียงรบกวนแวดล้อมที่ความสูงจากพื้น 1.05 เมตร ณ.ตำแหน่งต่างๆภายในห้องโดยใช้หน่วยเดซิเบลเอ ผลการการวัดก่อนและหลังการควบคุมเสียงรบกวนแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งเห็นได้ว่าระดับความดังเสียงรบกวนภายในห้องหลังการควบคุมเสียงรบกวนที่แหล่งกำเนิด ทุกตำแหน่งภายในห้องมีระดับความดัง 46-48 dBA ลดลงจากก่อนการปรับปรุงมากถึง 10 dBA และจากแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานในห้อง พบว่าร้อยละร้อยมีความพึงพอใจมากถึงมากที่สุดต่อวิธีการควบคุมระดับความดังของ

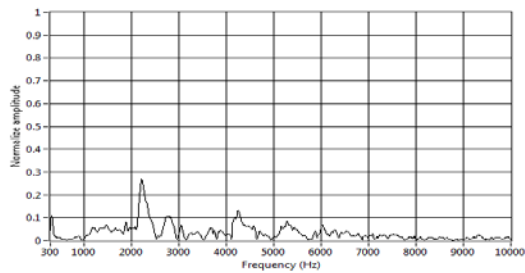
เสียงจากแหล่งกำเนิดและการลดลงของเสียงรบกวน
แวดล้อม



(ก)



(ข)

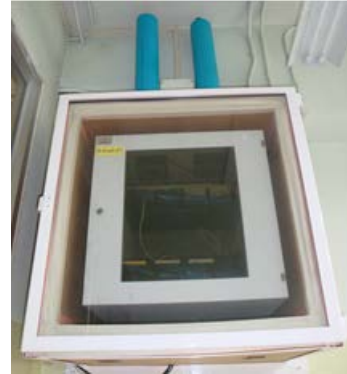


(ค)

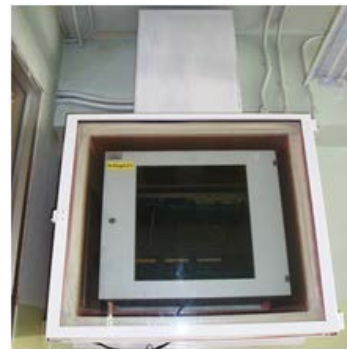
รูปที่ 11 การตอบสนองความถี่ของท่อลดทอนเสียง
ชนิด (ก) ตัวกรองอะคูสติคส์ชนิดปล่อยผ่านความถี่สูง
(ข) Three-duct muffler ที่ไม่มีไฟเบอร์กลาส และ (ค)
Three-duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสบรรจุภายใน

การตรวจเช็คสภาพการทำงานภายในตู้สวิตช์
ฮับมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดความมั่นใจได้ว่าอายุการ
ทำงานหรือสภาพในการทำงานของสวิตช์ฮับไม่ถูก
กระทบด้วยวิธีการควบคุมที่ได้ดำเนินการ จึงได้ทำการ
วัดอุณหภูมิที่ภายในสวิตช์ฮับก่อนและหลังการติดตั้ง
อุปกรณ์ควบคุมเสียงรบกวน ผลการทดสอบพบว่า
อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการดำเนินการ
ควบคุมเสียงรบกวน ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่า การควบคุม
เสียงรบกวนแบบแพสซีฟที่แหล่งกำเนิดเสียงด้วยการ

ออกแบบและสร้างกล่องเก็บเสียงและท่อลดทอนเสียง
รบกวนจากช่องระบายอากาศไม่กระทบต่อ
ประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์แต่อย่างใด



(ก)

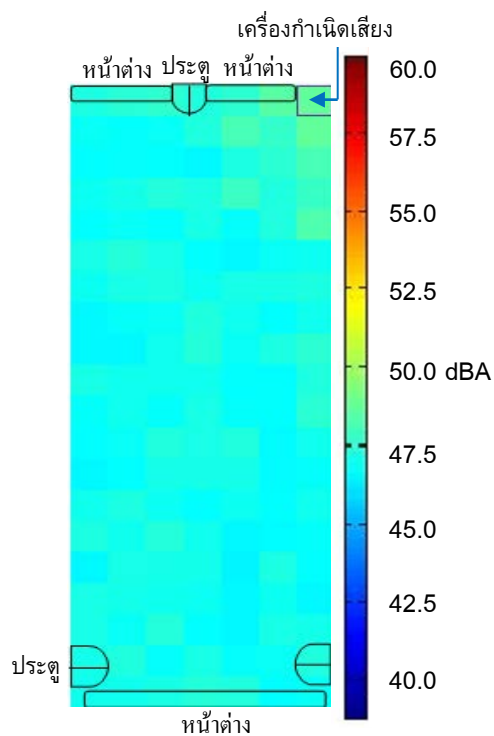


(ข)

รูปที่ 12 (ก) อุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนที่ได้ติดตั้ง
สำหรับตู้แร็คสวิตช์ฮับ และ (ข) เมื่อติดตั้งสมบูรณ์

6. สรุป

การควบคุมเสียงรบกวนแวดล้อมในห้องโดย
ใช้วิธีการควบคุมแบบแพสซีฟที่แหล่งกำเนิดเสียง
รบกวนเป็นวิธีที่นำมาใช้ควบคุมเสียงรบกวนที่เกิด
จากตู้แร็คของสวิตช์ฮับเพื่อทุกตำแหน่งภายในห้องมี
ระดับความดังเสียงต่ำกว่า 50 dBA ซึ่งเหมาะสมกับ
การทำงานที่ใช้การสื่อสารด้วยการสนทนาที่ระดับ
ความดังปกติ 55-60 dBA กล่องเก็บเสียงถูกออกแบบ
และสร้างขึ้นสำหรับครอบตู้สวิตช์ฮับไม่ให้เสียงรบกวน
แผ่กระจายเข้าสู่ห้อง ท่อลดทอนเสียง 3 ลักษณะถูก
ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอน
พลังงานคลื่นเสียงที่ออกจากช่องระบายอากาศ ซึ่งใน



รูปที่ 13 ระดับความดังของเสียงรบกวนภายในห้อง
ท. 527 ที่วัดในระดับความสูงเท่ากับคนนั่งหลังการ
ติดตั้งอุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวน

การทดสอบประสิทธิภาพจะกระทำในห้องไร้เสียงสะท้อนโดยใช้สมมุติฐานให้ท่อลดทอนเสียงมีคุณสมบัติเป็นระบบเชิงเส้น และวัดการตอบสนองความถี่ของระบบท่อลดทอนเสียงรบกวนทั้งสามแบบด้วยการสร้างสัญญาณสวิปไซน์จากคอมพิวเตอร์ผ่านลำโพงป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับท่อ และใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์วัดเสียงที่ออกจากท่อและประมวลผลในโดเมนความถี่ ท่อที่มีประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงจะต้องมีขนาดของการตอบสนองความถี่ที่มีค่าต่ำในช่วงแถบความถี่ที่กว้าง ผลการทดสอบพบว่าท่อเก็บเสียงชนิด Three duct muffler ที่มีไฟเบอร์กลาสอยู่ภายใน มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้ลดทอนพลังงานเสียงจากช่องระบายอากาศ ซึ่งหลังจากติดตั้งกล่องเก็บเสียงและท่อลดทอนเสียงรบกวนพบว่าระดับเสียงรบกวนภายในห้องลดลงมากถึง 10 dBA โดยทุกตำแหน่งในห้องมีระดับความดันเสียงต่ำกว่า 48 dBA โดยการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดทอนเสียงรบกวนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการ

ทำงานของเครื่องสวิตช์ฮับและผู้ทำงานภายในห้องมีความพึงพอใจอย่างมากต่อการควบคุมเสียงรบกวนแวดล้อมที่ได้ดำเนินการ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาคีวิศวกรไฟฟ้า ภาควิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการศึกษาวิจัยและได้รับความร่วมมือจากนักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์รุ่นที่ 2 ของภาควิชาฯ นายกันตภณ พรหมบุญแก้ว นางสาวผกาสินี บุตรโท และนางสาววิศารัตน์ มั่นสุข ในการร่วมดำเนินการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] NIOSH, "NIOSH Criteria for a recommended standard: occupational exposure to noise," Cincinnati, OH, DHSS (NIOSH) Publication No. 98-126, 1998.
- [2] D.J Johnson, P. Papadopoulos, N. Waffa, and J. Takala., "Exposure Criteria, Occupational exposure levels," *Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control*, WHO Publication, pp.79-102, 1995.
- [3] C. Sodsri, "Construction and Verification of Hemi-anechoic Room," *KKU Engineering Journal*, vol. 40, issue 4, 2013.
- [4] *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters – Part 1: Performance Spaces*, ISO 3382-1, 2009.
- [5] Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B., and Sanders, J. V., "Fundamentals of Acoustics," John Wiley & Sons, New York, 4th Ed., pp. 246 - 248, 2000.
- [6] L. L. Beranek and I. L. Ver, "Passive Silencers Design," *Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications*, Wiley, 2nd Ed., pp. 279 - 344, 2006.