



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ท่อลมเก็บเสียง

Duct Silencer

นายกฤตริน เทพกิจอารีกุล

นายภูมिरพี ลินปรุ

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา ท่อลมเก็บเสียง

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายกฤตริน เทพกิจอารีกุล นายภูมिरพี สีนปรุ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา คอมพิวเตอร์ สาขาวิชา ดนตรีและสื่อประสม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ณัชนันท์ ชิดานนท์ Asst.prof. Munhum Park, Ph.D.

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณกอบบุญ แชนเซ็น

สถานประกอบการ บริษัท แชนส์ โซลูชั่น จำกัด

บทคัดย่อ

บริษัท แชนส์ โซลูชั่น จำกัดประกอบกิจการรับออกแบบห้องอะคูสติก อาทิ ห้องซ้อมดนตรี และห้องบันทึกเสียง ผู้จัดทำได้สมัครและเข้าปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ได้รับตำแหน่งนักศึกษาฝึกงาน เพื่อเก็บเกี่ยวประสบการณ์การทำงาน ค้นหาปัญหาของบริษัทและแก้ไขให้กับบริษัท

จากการเข้าปฏิบัติสหกิจศึกษานั้น ผู้จัดทำได้พบปัญหาเกี่ยวกับการก่อสร้างระบบปรับอากาศภายในห้องอะคูสติกมีการใช้งบประมาณจำนวนมากเทียบกับการก่อสร้างห้องบันทึกเสียงทั้งหมด เนื่องจากความจำเป็นในการจ้างบุคลากรเพื่อออกแบบระบบและจำเป็นต้องจัดซื้อท่อลมเก็บเสียง ที่มีราคาค่อนข้างสูง ผู้จัดทำได้เห็นถึงปัญหาและต้องการทำโครงการสหกิจศึกษาเรื่องท่อลมเก็บเสียงเพื่อศึกษาการทำงาน การออกแบบ และสร้างท่อลมเก็บเสียงอย่างง่าย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการลดต้นทุนในการก่อสร้างของบริษัท

จากการศึกษาข้อมูลการทำงาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องของการออกแบบ รูปแบบการสร้างท่อลมเก็บเสียงอย่างง่าย รวมไปถึงการวัดประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียงในโครงการนี้ สามารถเปรียบเทียบได้ว่าท่อลมเก็บเสียงจากการสร้างขึ้นในโครงการนี้ มีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อเทียบกับการคำนวณในทางทฤษฎีและสามารถใช้ทดแทนท่อลมเก็บเสียงที่ใช้อยู่ในตลาดได้ สามารถลดงบประมาณในการจัดซื้อท่อลมเก็บเสียงให้แก่บริษัทได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จากราคาท่อลมขนาดเดียวกันในตลาด (หน้าตัด 24 นิ้ว ยาว 1 เมตร) หรือไม่ต่ำกว่า 25,000 บาท ต่อ 1 ท่อลมเก็บเสียง 1 ท่อนโดยประสิทธิภาพการใช้งานไม่ได้ด้อยกว่ามาก ทั้งนี้สามารถออกแบบขนาดท่อลมเก็บเสียงให้สัมพันธ์กับรูปแบบและขนาดของห้องบันทึกเสียงที่บริษัทก่อสร้างในแต่ละงานได้

ผลจากโครงการสหกิจนี้ส่งผลให้บริษัท แชนส์ โซลูชั่น จำกัดสามารถลดงบประมาณในการจัดซื้อท่อลมเก็บเสียงได้ ส่งผลให้บริษัทสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้าง และเพิ่มพูนกำไรในระยะยาวได้

Cooperative Title: Duct Silencer

Project Team: Mr.Krittrin Tepkitareekul Mr.Bhumrape Sinpru

Faculty: Engineering **Department:** Computer **Branch:** Music and Multimedia

Advisor name: Nachanant Chitanont, Ph.D. / Asst.prof. Munhum Park, Ph.D.

Mentor name : Kobboon Hansen

Company : Hans Solution co.,ltd.

Abstract

As long As I do the co-operative study at the Hans Solution Company Limited. In going to study and practice, The Company found problems with building air conditioning system which uses a large proportion of the budget for the entire recording room as it is necessary to hire a system designer and buy a Duct Silencer which is quite expensive we agreed to solve cooperative education project this probable as our cooperative education project.

From the study, experiment and construct the Duct Silencer in the project, it is found that the Duct Silencer we created can be used to replace the Duct Silencer in the market that the company is using. It can reduce the budget for the purchase of Duct Silencer around 80% or around about 25,000 baht. The efficiency does not decrease much It can also be designed to fit the recording room of each size the company operates.

This project can help Hans Solutions Company Limited to reduce the budget for managing ventilation systems, which is a good way to reduce company costs and increase long-term profits.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำได้เข้าปฏิบัติโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท แชนส์ โซลูชั่น จำกัด ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคมจนถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2562 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับองค์ความรู้ และประสบการณ์ที่มีคุณค่ามากมายต่อการทำงานในอนาคต ได้พบปัญหา และออกแบบการแก้ปัญหา ต่อยอดและนำไปสู่การสร้างผลงานในโครงการสหกิจเรื่องท่อลมเก็บเสียง ได้จนสำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณ

คุณกอบบุญ แชนเซ็น ประธานบริษัท

ดร.ณัชนันท์ ชิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

Asst.prof. Munhum Park, Ph.D. อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รวมถึงบุคลากรท่านอื่นที่ไม่สามารถกล่าวถึงได้ทั้งหมดมา ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบพระคุณที่ให้กรุณาให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความสนับสนุนในการจัดทำโครงการสหกิจศึกษาเรื่องนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ ตลอดจนสร้างชิ้นงานได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และกรุณาให้การดูแลและความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานจริงของบริษัท ซึ่งเป็นผลดีต่อการทำงานในอนาคตของผู้จัดทำอย่างแน่นอน จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

นาย กฤตริน เทพกิจอารีกุล

นาย ภูมिरพี สินปรุ

คณะผู้จัดทำรายงาน

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 เสียงรบกวน (Noise)	3
2.1.2 ท่อลมเก็บเสียง (Duct Silencer)	4
2.1.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่อลมเก็บเสียง	4
2.1.4 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ	12
2.1.5 ฉนวนกันเสียง	13
2.1.6 มาตรฐานการวัดประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียง (ASTM E477)	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ลงพื้นที่การทำงานจริงของบริษัทเพื่อเก็บข้อมูล	18
3.2 ศึกษาข้อมูล ความรู้ และทฤษฎี จากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
3.3 ออกแบบและสร้างชิ้นงาน โดยคำนึงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	18
3.3.1 ตัวแปรในการสร้างท่อลมเก็บเสียง	18
3.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ	20
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างท่อลมเก็บเสียง	21
3.4 ออกแบบการวัดประสิทธิภาพ และวัดประสิทธิภาพ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดลองรูปแบบที่ 1 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม	28
4.2 ผลการทดลองรูปแบบที่ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง	30
4.3 ผลการทดลองรูปแบบที่ 3 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม	32
4.4 ผลการทดลองรูปแบบที่ 4 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 อภิปรายผล	38
5.2 สรุปผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ประวัติผู้เขียน	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 Rectangular Duct Silencer	5
ภาพที่ 2.2 Elbow Duct Silencer	5
ภาพที่ 2.3 Circular Duct Silencer	6
ภาพที่ 2.4 304 stainless steel	7
ภาพที่ 2.5 316 stainless steel	7
ภาพที่ 2.6 แผ่นอลูมิเนียม	7
ภาพที่ 2.7 แผ่นสังกะสี 7	
ภาพที่ 2.8 กราฟค่าคาดการณ์ประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วยพื้นที่หน้าตัดของฉนวนเทียบกับพื้นที่เปิด	8
ภาพที่ 2.9 แสดงสัดส่วนของตัวแปลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณการคาดการณ์ประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียง	9
ภาพที่ 2.10 เครื่องหมายการค้า โปรแกรม SketchUp	12
ภาพที่ 2.11 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วย ASTM E477	15
ภาพที่ 3.1 Rectangular Duct Silencer	18
ภาพที่ 3.2 แผ่นสังกะสี	19
ภาพที่ 3.3 แสดงกราฟคาดการณ์ประสิทธิภาพการลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงในโครงการนี้	19
ภาพที่ 3.4 แสดงแบบจำลองจากการออกแบบท่อลมเก็บเสียงด้วยโปรแกรม Sketchup	20
ภาพที่ 3.5 การขึ้นโครงเหล็กท่อลมเก็บเสียง	21
ภาพที่ 3.6 การเชื่อมแผ่นตะแกรงเหล็กสำหรับส่วนการกรูฉนวนของท่อลมเก็บเสียง	22
ภาพที่ 3.7 การกรูฉนวนภายในท่อลมเก็บเสียง	22
ภาพที่ 3.8 ทำการปิดท่อลมเก็บเสียงทั้ง 4 ด้าน	23
ภาพที่ 3.9 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วย ASTM E47	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 4.1.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1	28
ภาพที่ 4.1.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1	28
ภาพที่ 4.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1	29
ภาพที่ 4.2.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2	30
ภาพที่ 4.2.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2	30
ภาพที่ 4.2.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2	31
ภาพที่ 4.3.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3	32
ภาพที่ 4.3.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3	32
ภาพที่ 4.3.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3	33
ภาพที่ 4.4.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4	34
ภาพที่ 4.4.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4	34
ภาพที่ 4.4.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4	35
ภาพที่ 5.1.1 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1	37
ภาพที่ 5.1.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2	37
ภาพที่ 5.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3	37
ภาพที่ 5.1.4 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4	37
ภาพที่ 5.2.1 แสดงค่าคาดการณ์การลดทอนเสียงที่คำนวณได้ของท่อลมลดเสียงขนาดหน้าตัด 24 นิ้ว	39
ภาพที่ 5.2.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2	39

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการ ly/λ จากการคำนวณ	10
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการ การ A_{ly} ที่ได้จากกราฟ	11
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการ A ที่ได้จากการคำนวณ	11
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการคาดการณ์ประสิทธิภาพจากการคำนวณ	12
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการคาดการณ์จากการคำนวณ	20
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าขนาดโดยรวมของท่อลมจากการคำนวณ	20
ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าความดังของเสียงของขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)	28
ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)	28
ตารางที่ 4.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)	29
ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)	30
ตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)	30
ตารางที่ 4.2.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)	31
ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)	32
ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)	32
ตารางที่ 4.3.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)	33
ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)	34
ตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)	34
ตารางที่ 4.4.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)	35
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคาดการณ์การลดทอนเสียงที่คำนวณได้ของท่อลมลดเสียงขนาดหน้าตัด 24 นิ้ว (1/1 Octave Band)	39
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท แชนส์ โซลูชั่น จำกัด ประกอบกิจการเกี่ยวกับการออกแบบห้องอะคูสติก อาทิ ห้องซ้อมดนตรี และห้องบันทึกเสียง ตลอดไปถึงออกแบบและติดตั้งระบบเสียง ผู้จัดทำได้เข้าปฏิบัติงานในบริษัท ด้วยโครงการสหกิจศึกษา ของฝ่ายสหกิจศึกษา ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงาน เพื่อเก็บเกี่ยวความรู้ ประสบการณ์ ค้นหาปัญหาของบริษัท และแก้ไขปัญหาให้กับบริษัท ในการเข้าศึกษาและปฏิบัติงานภายในบริษัทนั้น ผู้จัดทำได้พบปัญหาเกี่ยวกับ การก่อสร้างระบบปรับอากาศภายในห้องอะคูสติก ซึ่งมีการใช้บเป็นสัดส่วนค่อนข้างมากเกินความจำเป็น จากงบในการก่อสร้างห้องบันทึกเสียงทั้งหมด เนื่องจากมีความจำเป็นต้องจ้างการออกแบบระบบ และซื้อท่อลมเก็บเสียงมาใช้งาน ซึ่งมีราคาสูง ผู้จัดทำและเพื่อนจึงตกลง ที่จะสร้างท่อลมเก็บเสียงเป็นโครงการสหกิจศึกษา โดยศึกษาการทำงาน รูปแบบที่ใช้ภายในตลาดในปัจจุบัน ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของท่อลมเก็บเสียง หลักการออกแบบเบื้องต้น รวมไปถึงการทดสอบคุณภาพท่อลมเก็บเสียง โดยอ้างอิงและศึกษาจากงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับท่อลมเก็บเสียง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อเรียนรู้หลักการการทำงาน การใช้งาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียงด้วยมาตรฐาน และสามารถอธิบายให้ผู้อื่นได้เข้าใจได้
- 2) เพื่อเรียนรู้การคำนวณและออกแบบท่อลมเก็บเสียงเบื้องต้นโดยมีขนาดที่สัมพันธ์กับการใช้งานได้
- 3) เพื่อเรียนรู้ระเบียบวิธีวิจัยการค้นคว้าข้อมูล ศึกษางานวิจัย ตลอดจนนำมาประยุกต์ต่อยอดในงานได้
- 4) เพื่อลดต้นทุน และสร้างกำไร ในระยะยาวให้แก่บริษัทสหกิจของผู้จัดทำได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบท่อลมเก็บเสียงที่มีขนาดมาตรฐานหน้าตัด 24 นิ้ว ยาว 1 เมตร สามารถใช้งานกับห้องอะคูสติกขนาดกลาง (ปริมาตร 90 ลูกบาศก์เมตร โดยประมาณ) โดยการออกแบบคำนึงถึงประสิทธิภาพในการลงเสียงของท่อลมเก็บเสียงเป็นหลัก ไม่ครอบคลุมถึง ความดันลมที่ผ่านท่อ, อุณหภูมิ, ความชื้นของลม และความเร็วลม (เนื่องจากมีความซับซ้อนเกินกว่าระยะเวลาที่จำกัดของการสหกิจศึกษา) ตลอดจนการวัดประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียงเก็บเสียงด้วยมาตรฐาน ASTM E477 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการคำนวณทางทฤษฎีของวิทยานิพนธ์เรื่อง Calculation methods for predicting attenuation of parallel baffle type silencer ของ DARIO BOGDANOVIC (2014) ได้

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1) ลงพื้นที่การทำงานจริงของบริษัทเพื่อค้นหาปัญหา เรียนรู้ข้อมูลในการทำงานของบริษัท เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกหัวข้อของโครงการสหกิจศึกษา
- 2) ศึกษาข้อมูลความรู้ ทฤษฎี จากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อลมเก็บเสียง
- 3) ออกแบบและสร้างท่อลมเก็บเสียงโดยคำนึงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยที่ได้ศึกษา
- 4) ศึกษาการวัดประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียง และวัดประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียงเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎีของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเรียนรู้หลักการทำงาน การใช้งาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่อลมเก็บเสียง การทดสอบประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียง และสามารถอธิบายให้ผู้อื่นได้เข้าใจได้
- 2) สามารถคำนวณและออกแบบท่อลมเก็บเสียงที่มีขนาดที่สัมพันธ์กับการนำไปใช้งานเบื้องต้นได้
- 3) เรียนรู้ระเบียบวิธีวิจัยการค้นคว้าข้อมูล ศึกษางานวิจัย ตลอดจนนำมาประยุกต์ต่อยอดในงานได้
- 4) สร้างประโยชน์ให้แก่บริษัท โดยลดต้นทุนในการก่อสร้าง เพื่อเพิ่มกำไรให้แก่บริษัทได้

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้าของผู้ศึกษาเรื่องท่อมเก็บเสียง ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวม แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1.1 เสียงรบกวน (Noise)

เสียงใด ๆ ที่ไม่เป็นที่ต้องการ เสียงที่ดังเป็นพิเศษซึ่งรบกวนบุคคลหรือทำให้ฟังเสียงที่ต้องการได้ยากจัดเป็นเสียงรบกวน ตัวอย่างเช่น การสนทนากับบุคคลอื่นอาจถือเป็นเสียงรบกวนสำหรับผู้ที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการสนทนา เสียงที่ไม่เป็นที่ต้องการใด ๆ เช่น สุนัขเห่า เพื่อนบ้านเล่นดนตรีเสียงดัง เลื่อยกลพกพา เสียงการจราจรถนน หรืออากาศยานที่ห่างไกลในชนบทที่เงียบสงบเป็นเสียงรบกวนทั้งสิ้น เสียงรบกวนเป็นอะไรก็ได้ตั้งแต่เสียงที่เงียบแต่นำรำคาญจนถึงเสียงดังและเป็นโทษ ในด้านหนึ่ง ผู้ใช้การขนส่งสาธารณะบางที่ร้องทุกข์เกี่ยวกับเสียงเบา ๆ ที่ดังจากหูฟังสวมศีรษะหรือหูฟัง (earbud) ของบางคนที่กำลังฟังกับเครื่องเล่นเสียงพกพา และในอีกด้านหนึ่ง คือ เสียงดนตรีที่ดังมาก ๆ หรือเสียงเครื่องยนต์เจ็ทในละแวกใกล้ ๆ เป็นต้น สามารถก่อความเสียหายต่อหูอย่างถาวร ที่ระดับกลาง มีฤทธิ์ผลเสียต่อสุขภาพจากเสียงรบกวนมากบ้างน้อยบ้าง "ความวิตกของพื้นที่มนุษย์อย่างทนไม่ได้" นี้เรียก มลภาวะทางเสียง

เสียงรบกวนในระบบปรับอากาศได้แก่เสียงที่ดังผ่านระบบท่อส่งลม มีแหล่งกำเนิดจากระบบปรับอากาศ อันได้แก่ ระบบ Air Handling Unit (AHU) และ Fan Coil Unit (FCU) โดยแหล่งกำเนิดมาจากพัดลม ที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ปฐมภูมิและต่อเนื่องมายังท่อส่งลม ที่เป็นแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ ปัญหาเสียงของการไหลของอากาศที่ผ่านมายังท่อส่งลม ต้องมีการแก้ปัญหาแบบองค์รวม เพื่อให้ระดับเสียงลดลงอย่างมีนัยและประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถทำได้โดยการวางระบบลดเสียงร่วมกับการวางระบบปรับอากาศควบคู่กันไป หรือสามารถมองในแนวทางตั้งแต่ การวางแผนการออกแบบระบบโครงสร้าง ขนาดของห้อง ซึ่งล้วนแต่ส่งผลต่อระดับเสียงของห้อง ได้อย่างชัดเจน แต่การที่ผู้ใช้งานห้องนั้นจะได้รับเสียงรบกวนจากเสียงดังผ่าน ท่อมส่วนหนึ่งมาจากการวางระบบปรับอากาศ และอีกส่วนหนึ่งก็มาจากการจัดการวางแผนโครงสร้าง และผังห้องที่ไม่เหมาะสม

แนวทางในการลดเสียงที่ดังจากท่อส่งลม ต้นกำเนิดเสียงมาจากพัดลม และมาจากการไหลของลมที่ผ่านเข้าไปยังท่อส่งลม (Duct borne Noise) และท่อส่งลมเกิดการสั่นสะเทือน และส่งผลต่อระดับเสียงที่ดังทะลุออกจากผนังท่อส่งลม และยังคงออกมาที่ปลายเปิดที่เป็นจุดส่งลมเย็นของระบบปรับอากาศ อย่างไรก็ตามเสียงรบกวนทั้งหมดที่เกิดในระบบปรับอากาศมีทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้แก่

- 1) Duct borne Noise คือ เสียงรบกวนที่เดินทางไหลมาตามท่อลมปรับอากาศ
- 2) Radiated Equipment Noise คือ เสียงรบกวนจากเครื่อง compressor หรือมอเตอร์ แพร่ทะลุผ่านผนังหรือกำแพงและมาเข้าสู่หูของเรา
- 3) Break-in Noise คือ เสียงรบกวนจากภายนอกท่อลม ที่แพร่เข้าไปภายในท่อลมเพื่อรวมกับเสียงรบกวน ประเภท Duct borne Noise
- 4) Break-out Noise คือ เสียงรบกวนจากภายในท่อลม ที่แพร่ออกมาจากท่อลม
- 5) Terminal end Noise คือ เสียงรบกวน ประเภท Duct borne Noise ที่เคลื่อนตัวมาตามท่อลมมาจนสุดทางและกระจายออกมาทางปากท่อลม

2.1.2 ท่อลมเก็บเสียง (Duct Silencer)

ในการออกแบบระบบปรับอากาศ เราสามารถคำนวณได้ในการวางแผนระบบท่อส่งลม รวมถึงระบบลดแรงสั่นสะเทือน ด้วย Damping support ที่ตัวท่อส่งลม เพื่อลดเสียงที่ส่งมายังปลายปล่อง อีกแนวทางหนึ่งที่ราคาค่อนข้างแพง คือ การติดตั้ง ระบบท่อลมเก็บเสียง (Duct Silencer) ซึ่งประกอบด้วยท่อลมที่ออกแบบในสามารถติดตั้งฉนวนเก็บเสียงภายในท่อลมด้วยความยาวที่เหมาะสมแก่งานที่จะนำไปใช้ และช่วยความถี่ของเสียงที่ต้องการลดทอน ซึ่งเป็นแนวทางในการลดเสียงของการไหลของอากาศ แต่ก็ส่งผลให้ลดประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศเช่นกัน

2.1.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่อลมเก็บเสียง

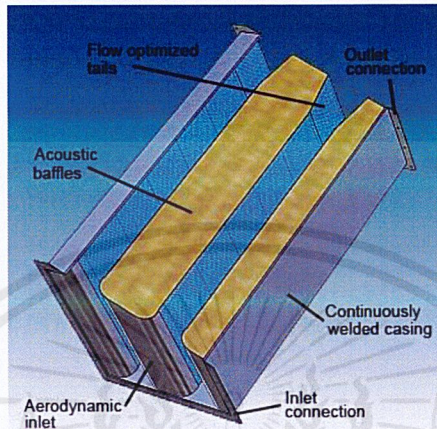
2.1.3.1 รูปแบบของท่อลมเก็บเสียง

จากการศึกษารูปแบบมาตรฐานของท่อลมเก็บเสียงที่นิยมใช้งานมีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่

- 1) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- 2) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบข้อหัก
- 3) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบท่อกลม

1) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Duct Silencer)

เป็นรูปแบบท่อลมเก็บเสียงที่พบเห็นได้บ่อยละนิยมใช้งานมากที่สุดในการทำงานเนื่องจากความง่ายในการติดตั้งที่สามารถเข้ากับเพดานในรูปร่างที่แตกต่างกันหลากหลายแบบ

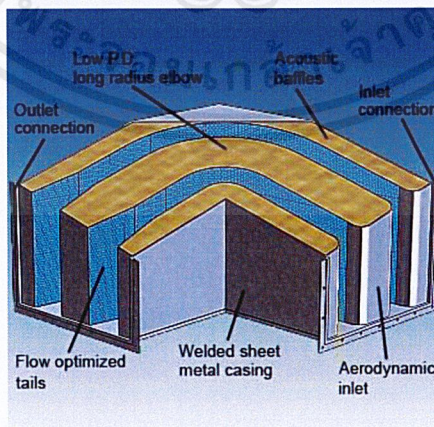


ภาพที่ 2.1 Rectangular Duct Silencer

ที่มา : <http://www.dbnoisereduction.com/>

2) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบข้อหัก (Elbow Duct Silencer)

เป็นรูปแบบท่อลมเก็บเสียงที่ใช้สำหรับติดตั้งในส่วนหักเลี้ยวของท่อ มีความสามารถในการลดทอนเสียงที่ดีมาก แต่มีข้อเสียคือดูดซับพลังงานจลน์จากลมที่ผ่านเข้ามามาก ทำให้ความดันลมตกมาก และสร้างภาระในการขับลมให้กับต้นทางมากขึ้น ส่วนมากจะใช้งานที่มีความจำเป็นได้แก่งานที่เสียงรบกวนค่อนข้างดัง และต้องการการลดทอนเสียงปริมาณมาก

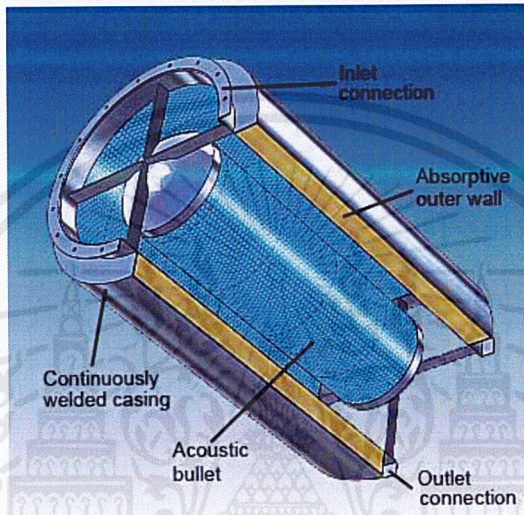


ภาพที่ 2.2 Elbow Duct Silencer

ที่มา : <http://www.dbnoisereduction.com/>

3) ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบท่อกลม (Circular Duct Silencer)

เป็นรูปแบบท่อลมเก็บเสียงที่ใช้สำหรับติดตั้งกับท่อลมที่มาในรูปแบบท่อกลม มีความสามารถในการลดทอนเสียงที่ดีมาก แต่มีข้อเสียคือดูดซับพลังงานจลน์จากลมที่ผ่านเข้ามาเหมือนกัน เนื่องจากมีบริเวณดูดซับในช่วงกลางท่อเพิ่มขึ้น ทำให้ความดันลมตกมาก และสร้างภาระในการขับลมให้กับต้นทางมากขึ้นเช่นกัน ใช้ในงานที่ท่อต้นตางมาเป็นวงกลมและต้องการการลดทอนเสียงจำนวนมาก

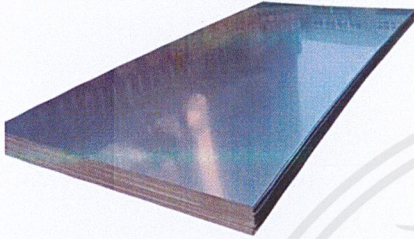


ภาพที่ 2.3 Circular Duct Silencer

ที่มา : <http://www.dbnoisereduction.com/>

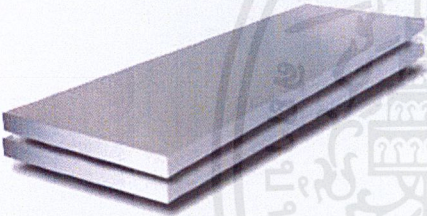
2.1.3.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้างท่อลมเก็บเสียง

จากการศึกษาการสร้างท่อลมเก็บเสียงในต่างประเทศวัสดุที่เป็นที่นิยมได้แก่ แผ่นเหล็กกล้าสแตนเลส เบอร์ 304/316 (stainless steel 304/316) ซึ่งเกรด 316 จะทนการกัดกร่อนและทนสนิมมากกว่าเกรด 304 แต่ก็มีราคาที่สูงกว่า หรือแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาล้วนมีราคาค่อนข้างสูง ในประเทศไทยจึงนิยมใช้สังกะสีในการทำท่อลมเก็บเสียงเป็นส่วนมากเนื่องจากราคาต่ำและหาได้ง่าย



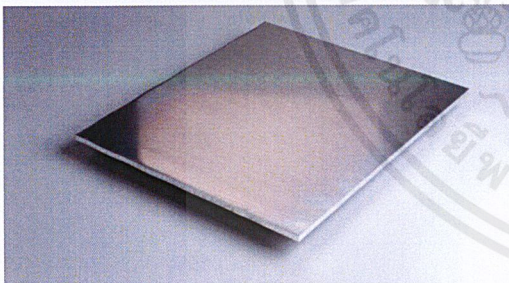
ภาพที่ 2.4 304 stainless steel

ที่มา : <http://th.marinesteels.com/>



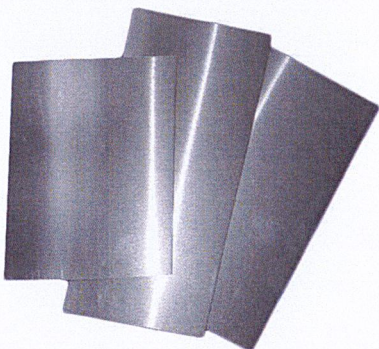
ภาพที่ 2.5 316 stainless steel

ที่มา : <https://www.stindia.com/>



ภาพที่ 2.6 แผ่นอลูมิเนียม

ที่มา : <https://www.coremarkmetals.com/>



ภาพที่ 2.7 แผ่นสังกะสี

ที่มา : <https://www.indiamart.com/>

2.1.3.3 ความหนาของวัสดุ

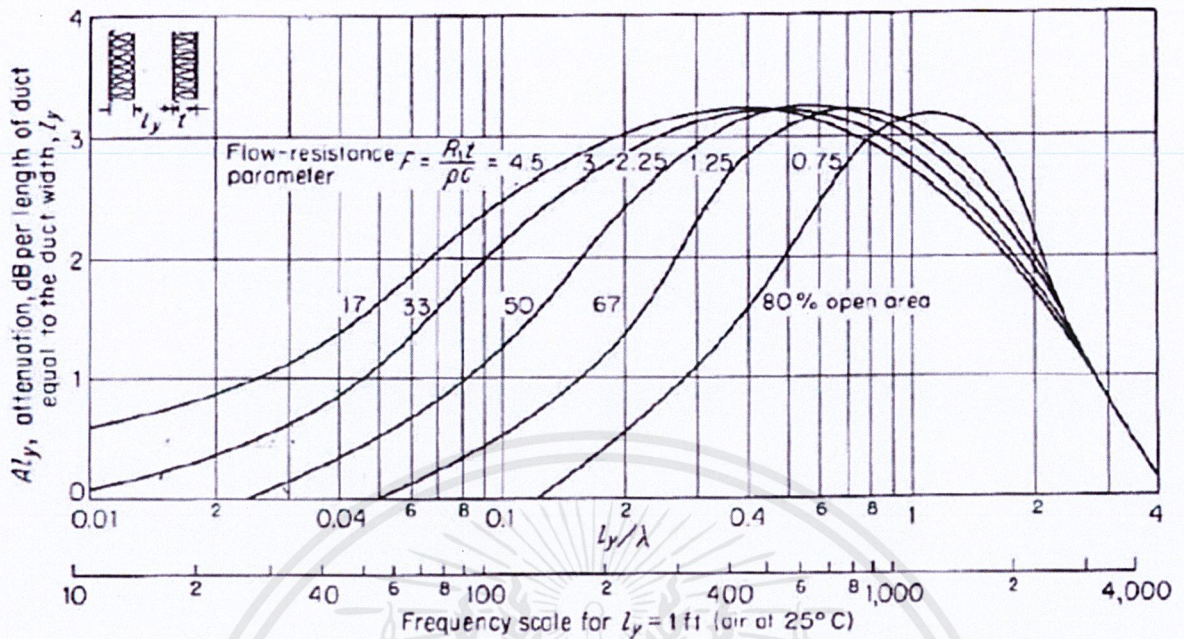
จากการเรียนรู้และปรึกษากับวิทยากรพิเศษ (ผู้รับออกแบบงานระบบปรับอากาศของบริษัท) ได้ให้ความรู้เสียงรบกวนอาจไม่ได้เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงและเข้ามาสู่ท่อเพียงอย่างเดียว ตัวท่อลมเองก็มีส่วนในการสร้างเสียงรบกวนเช่นกันหากมีการกระพือหรือสั่นจากลมที่กระทบผนังท่อ ฉะนั้นวัสดุที่นำมาใช้ทำท่อลมเก็บเสียงต้องไม่บางเกินไปหรือหนาเกินไป หากบางเกินไปจะทำให้เกิดท่อเกิดการกระพือ และหากหนาเกินไปก็เพิ่มน้ำหนักให้เพดานและคานแขวนยึดท่อโดยใช้เหตุ มาตรฐานการออกแบบท่อลมเก็บเสียงในประเทศไทย ส่วนมากจะมีขนาดตั้งแต่ 0.55 มิลลิเมตรขึ้นไป และไม่เกิน 3.2 มิลลิเมตร

2.1.3.4 ความยาวและขนาดหน้าตัด

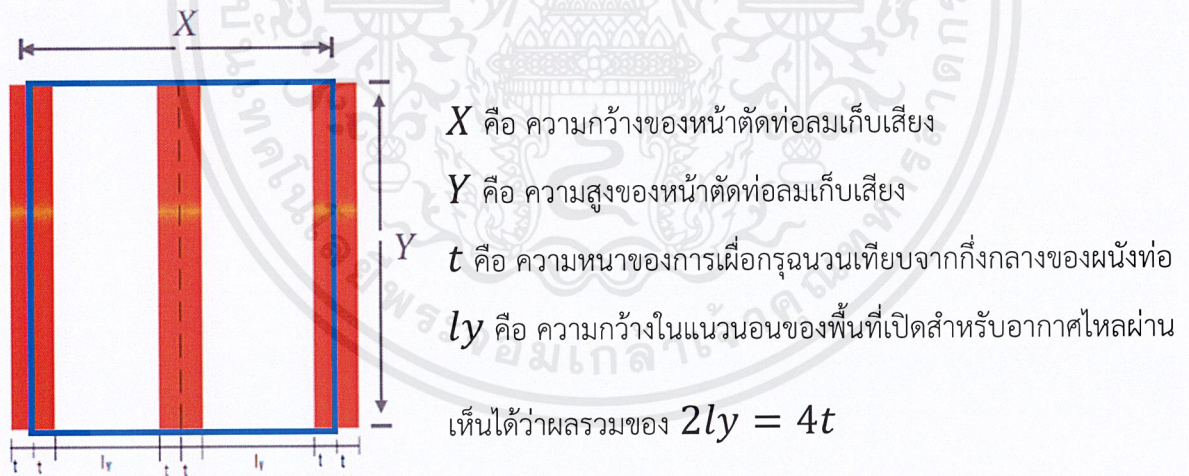
จากการศึกษาและสำรวจขนาดห้องอะคูสติคที่บริษัทรับก่อสร้างส่วนใหญ่มีปริมาตรใกล้เคียง 90 ลูกบาศก์เมตร และขนาดท่อลมเก็บเสียงขนาดมาตรฐานที่เหมาะสมแก่การใช้งานกับห้องดังกล่าวคือท่อลมขนาด 60 x 60 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร หรือท่อลมหน้าตัด 24 นิ้ว ยาว 1 เมตรนั่นเอง

2.1.3.5 การคำนวณหลักการกรุ่นวน

ได้ใช้หลักการของวิทยานิพนธ์เรื่อง Calculation methods for predicting attenuation of parallel baffle type silencer ของ DARIO BOGDANOVIC. 2014. ในหัวข้อเรื่อง Embleton's method ซึ่งเป็นทฤษฎีการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของการกรุ่นวนอย่างง่าย และสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าคาดการณ์ประสิทธิภาพการลดเสียงของท่อลมเก็บเสียงที่ ซึ่งในหัวข้อนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดรวมของพื้นที่เปิดที่สามารถให้ลมผ่านได้เทียบกับพื้นที่หน้าตัดรวมของการกรุ่นวนของท่อลม ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ยังมีพื้นที่รวมการกรุ่นวนเทียบกับพื้นที่เปิดรวมมาเท่าไร การดูดซับเสียงเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียงยังมีความกว้างของความถี่ในการลดทอนเสียงรบกวนได้มากขึ้นเท่านั้น(แต่หากมากเกินไปย่อมส่งผลต่อความดันที่ถูกลดลง) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



ภาพที่ 2.8 กราฟค่าคาดการณ์ประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วยพื้นที่หน้าตัดของฉนวนเทียบกับพื้นที่เปิด
ที่มา : Calculation methods for predicting attenuation of parallel baffle type silencer (2014)



ภาพที่ 2.9 แสดงสัดส่วนของตัวแปลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณการคาดการณ์ประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียง
ที่มา : Calculation methods for predicting attenuation of parallel baffle type silencer (2014)

หลักในการคำนวณการกรุ่นนวนมีขั้นตอนดังนี้

โดยตัวอย่างในงานวิจัยดังกล่าวได้แสดงการคำนวณการกรุ่นนวนรูปแบบ 50 เปอร์เซ็นต์ ของท่อลมเก็บเสียง ที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสความยาวหน้าตัด 40 เซนติเมตร และท่อลมยาว 1 เมตรให้ดู

ly/λ คืออัตราส่วนที่ปกติ A_{ly} คือค่าคงที่แปรผันที่ใช้คำนวณ A คือค่าคาดการณ์ของการลดทอนเสียง

1) คำนวณหาค่าความยาวของตัวแปร t และ ly ได้จากเปอร์เซ็นต์พื้นที่เปิดที่กำหนดที่ได้จากสูตร ต่อไปนี้

ผลรวมของ $2ly = 4t$ จากรูปหน้าตัดภาพที่ 2

$$ly = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

$$t = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

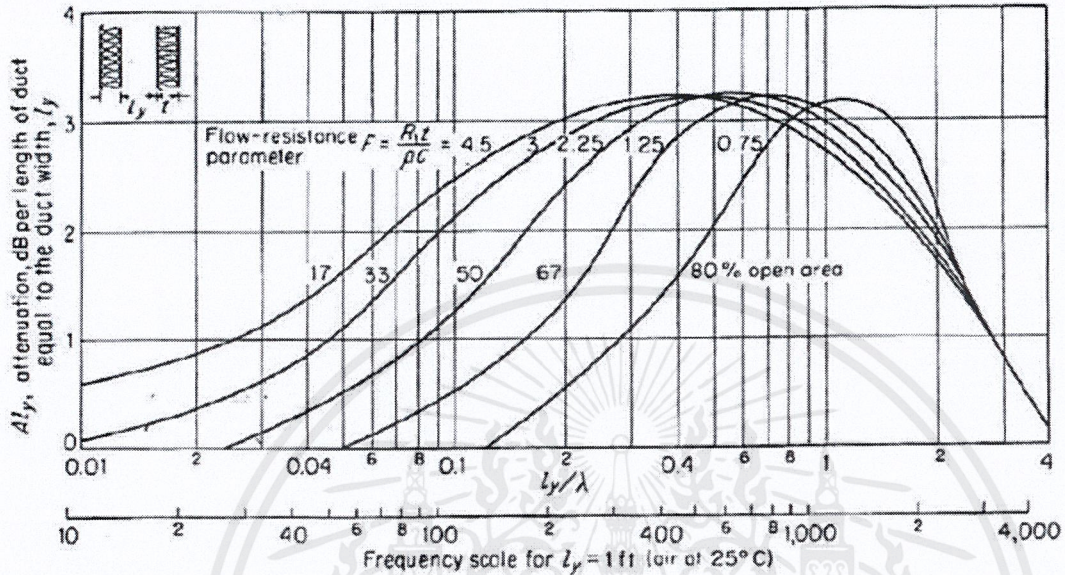
$$\text{Open Area} = \frac{ly}{ly+2t} = \frac{100}{100+2 \times 50} = 50\%$$

2) คำนวณหาค่า ly/λ จากสูตร $v = f\lambda$ (ให้ความเร็วของเสียงเท่ากับ 343 เมตร/ชั่วโมง)

ความถี่ (Hz)	100	200	500	1000	2000	4000
ly/λ	0.029	0.058	0.147	0.294	0.588	1.176

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการ ly/λ จากการคำนวณ

3) จากนั้นตรวจดูค่า ly/λ ที่ชนกับเส้นกราฟ 50% Open Area จากกราฟเพื่อหาค่า A_{ly} ไปใช้คำนวณหาค่าคาดการณ์ของการลดทอนเสียง (A) ในขั้นตอนต่อไป



ซึ่งได้ค่า A_{ly} จากกราฟดังนี้

ความถี่ (Hz)	100	200	500	1000	2000	4000
ly/λ	0.029	0.058	0.147	0.294	0.588	1.176
A_{ly}	0.2	0.6	1.8	2.9	3.2	3

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการ A_{ly} ที่ได้จากกราฟการ

4) ผลคูณของ A_{ly} และแฟคเตอร์ความยาว L_{ly} จะให้ค่าคาดการณ์การลดทอนเสียงออกมา A (dB)

ซึ่งสามารถหาและแฟคเตอร์ความยาว L_{ly} ได้จากความยาวของท่อลมหารด้วย ly

ความถี่ (Hz)	100	200	500	1000	2000	4000
ly/λ	0.029	0.058	0.147	0.294	0.588	1.176
A_{ly}	0.2	0.6	1.8	2.9	3.2	3
A (dB)	2	6	18	29	32	30

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการ A ที่ได้จากการคำนวณ

ผลการคาดการณ์ประสิทธิภาพการลดทอนเสียงของการกรุ่นนรูปแบบ 50 เฮอร์เซ็นต์ ของท่อลมเก็บเสียง ที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสความยาวหน้าตัด 40 เซนติเมตร และท่อลมยาว 1 เมตร ด้วยหลักการ Embleton's method สามารถแสดงได้ดังนี้

ความถี่ (Hz)	100	200	500	1000	2000	4000
A (dB)	2	6	18	29	32	30

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการคาดการณ์ประสิทธิภาพจากการคำนวณ

2.1.4 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

โปรแกรม SketchUp เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบงาน 3 มิติอย่างง่าย ให้ประสิทธิภาพสามารถงานง่าย เป็นโปรแกรมขนาดเล็กจึงทำให้การประมวลผลมีความรวดเร็ว ถูกสร้างขึ้นโดย บริษัท @last Software โดย Brad Schell เป็นผู้ริเริ่มในการสร้างและพัฒนาโปรแกรม และได้เผยแพร่โปรแกรมนี้นในปี คศ. 2000 โปรแกรม SketchUp มีเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการวาดแบบที่เข้าใจง่ายสามารถหมุนดูวัตถุได้ 360 องศา สามารถขยายและลดภาพ (Zoom) ได้ตามต้องการ สามารถย้อนกลับการทำงานได้หลายขั้นตอน (Undo) สามารถเลือกสีและปรับแต่งชิ้นงานได้อย่างอิสระ รองรับการทำงานทั้งบนระบบปฏิบัติการ Windows และ Mac OS X มีวิดีโอสอนการใช้งานในโปรแกรม และสามารถเลือกโหลดใช้งานได้ฟรี และแบบเสียค่าใช้จ่าย



ภาพที่ 2.10 เครื่องหมายการค้า โปรแกรม SketchUp
ที่มา : <https://www.sketchup.com/>

2.1.5 ฉนวนกันเสียง

ในโครงการนี้ได้ใช้แผ่นซับเสียง (sound absorption) เป็นฉนวนหลักในการกักภายในห้องเก็บเสียง มีคุณสมบัติคือแก้ปัญหาเสียงก้องและเสียงสะท้อน ในห้องหรือในอาคาร มีหลักการการทำงานคือยอมให้เสียงผ่านเข้ามาใน ฉนวนจะดูดซับพลังงานเสียง นั้นเอาไว้ส่วนหนึ่ง เปรียบเสมือนกับเราเอาฟองน้ำซับน้ำที่ตกลงบนโต๊ะ ฉนวนที่ใช้งานเป็นฉนวนที่ต่อยอดจากโครงการ polyester absorber ของนางสาว พัทธวิมล พัดทอง

2.1.6 เดซิเบล (Decibel: dB) และรูปแบบ

การวัดความดังเสียงทำได้โดยการใช้เครื่องมือวัดมีหน่วยเป็นเดซิเบลเขียนเป็นอักษรย่อว่า dB แต่การได้ยินเสียงของมนุษย์ไม่ได้เป็นเส้นตรงตามเสียงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเดซิเบลเพิ่มเป็น 2 เท่า มนุษย์จะไม่รู้สึกว่าเสียงดังเป็น 2 เท่า เสียงที่ดังขึ้น 10 เท่าจึงจะทำให้มนุษย์รู้สึกว่าเสียงดังขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งเสียงที่มนุษย์ได้ยินจะแสดงในสเกลของ Logarithmic มีหน่วยเป็นเดซิเบลเอ (dBA) หน่วยเดซิเบลที่ใช้ในปัจจุบันจะมีสองรูปแบบ ได้แก่

1) A Weighting (dBA) จะถูกใช้ในเครื่องวัดเสียงโดยส่วนใหญ่ เป็นค่า Weighting ที่อ้างถึงหูคนเราได้ยิน แต่จะตัดค่า เสียง ที่ความถี่ต่ำและความถี่สูง ที่หูคนเราไม่สามารถได้ยินออก ข้อกำหนดมาตรฐานของเครื่องวัดเสียงการตอบสนองความถี่ของ A Weighting การวัดค่าโดยใช้ A Weighting จะถูกเรียกว่า dBA หรือ dB(A)

2) C Weighting (dBC) การตอบสนองของหูคนเราจะแปรผันตาม ความดังเสียง ตั้งแต่ 100 เดซิเบล ขึ้นไปการตอบสนองของหูต่อเสียง โดยทั่วไป A Weighting จะใช้ในเครื่องวัดเสียงทั่วไป แต่ C Weighting จะมีอยู่ในเครื่องวัดเสียงเช่นกัน และใช้เป็นมาตรฐานในการทดลองต่างๆเนื่องจากมีความ flat มากกว่า A Weighting การวัดค่าโดยใช้ C Weighting จะถูกเรียกว่า dBC หรือ dB(C)

2.1.6 มาตรฐานการวัดประสิทธิภาพห้องเก็บเสียง (ASTM E477)

ซึ่งก่อนจะทำการศึกษา ASTM E477 ให้เข้าใจได้ มีคำศัพท์เบื้องต้นที่ความทราบดังนี้

1) พิงค์นอยส์ (Pink Noise) หรือ $\frac{1}{f}$ Noise เป็นสัญญาณเสียงที่มีสเปกตรัมความถี่ที่ความหนาแน่น และมีสเปกตรัมพลังงาน (พลังงานหรือพลังงานต่อช่วงความถี่) เป็นสัดส่วนผกผันกับความถี่ของสัญญาณ พิงค์นอยส์ประกอบด้วยความถี่ที่มีพลังงานปริมาณเท่ากัน หรือเสียงที่มีระดับความดังในทุกความถี่ใกล้เคียงกันใช้สำหรับการทดสอบเสียงที่ต้องการกำหนดปริมาณพลังงานที่เท่ากันในแต่ละช่วงความถี่

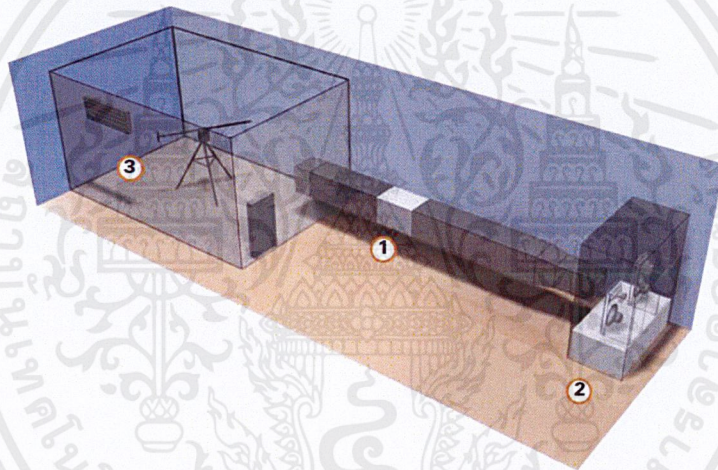
2) เสียงยืนพื้น (Noise floor) เป็นสัญญาณเสียงที่เกิดจากผลรวมของแหล่งกำเนิดเสียงและสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ทั้งหมดภายในระบบการวัดซึ่งเสียงถูกกำหนดเป็นระดับเสียงพื้นในการทดสอบ สัญญาณเสียงที่ทำการทดสอบ

3) ลำโพงมอนิเตอร์ (Monitor Speaker) คือลำโพงการใช้ต่างจากลำโพงทั่วไป ลักษณะของลำโพงทั่วไปมีจุดประสงค์เพื่อความสุนทรีย์ในการฟัง เสียงมีความไพเราะ ความกระหึ่ม แรงกระแทก และตอบสนองในย่านเสียงต่างๆเพื่อสร้างอารมณ์ให้การดูหนังฟังเพลง แต่ด้วยความที่ลำโพงแบบนี้มีการปรุงแต่งเสียงมาก จึงไม่เหมาะกับการใช้กับงานดนตรี หรืองานทดสอบเสียง สิ่งที่ต้องคำนึงอย่างมากในการหาลำโพงเพื่อใช้ในการทดสอบ คือลำโพงนั้นต้องมีความแบนด์ (Flat) ความเที่ยงตรงของเสียง รับย่านเสียงต่างๆได้ครบถ้วนโดยต้องไม่เปลี่ยนย่านเสียงหรือเปลี่ยนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ฉะนั้นลำโพงแบบมอนิเตอร์จึงเหมาะสมกับการใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในครั้งนี้ เพราะเสียงที่ได้จากลำโพงมอนิเตอร์จะเป็นเสียงที่ผ่านการปรุงแต่งน้อยที่สุดเพื่อให้ได้เสียงที่สมจริงที่สุดและเน้นความครบของย่านเสียงต่างๆ และลดความผิดพลาดในการทดสอบ

4) ห้องเสียงก้อง (Reverberation room) เป็นห้องที่ออกแบบมาเพื่อสร้างสนามเสียงแบบกระจายหรือแบบสุ่ม (ห้องที่มีการกระจายพลังงานทางเสียงและทิศทางเสียงแบบสุ่มในช่วงเวลาสั้นๆ) ห้องเสียงก้องมีแนวโน้มที่จะเป็นห้องขนาดใหญ่ เนื่องจากสนามเสียงที่เกิดขึ้นจะกระจายมากขึ้นไปตามความยาวเส้นทางการเดินทางของเสียงที่เพิ่มขึ้น และมีพื้นผิวสัมผัสที่แข็งมาก (ให้มีความต้านทานมากที่สุดเมื่อเทียบกับอากาศ) เพื่อให้มีการดูดซับเสียงน้อยที่สุด และสะท้อนเสียงที่ตกกระทบกลับมาให้มากที่สุด การจัดเรียงพื้นผิวห้องและเพดาน ต้องไม่ขนานกันจะช่วยยับยั้งการก่อตัวของคลื่นยืนและอาจใช้ ดิฟฟิวเซอร์กระจายเสียงเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มพื้นผิวการสะท้อนให้มากขึ้น

สำหรับมาตรฐานการวัดประสิทธิภาพการลดเสียงของท่อลมเก็บเสียงในโครงการนี้ได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E477 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียงรูปแบบมาตรฐาน(สี่เหลี่ยมผืนผ้า)โดยไม่ครอบคลุมถึง ความดันลมภายใน, อุณหภูมิ, ความชื้นของลม และความเร็วลม ซึ่งสร้างโดยสมาคม ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน

Silencer Test Setup per ASTM E477



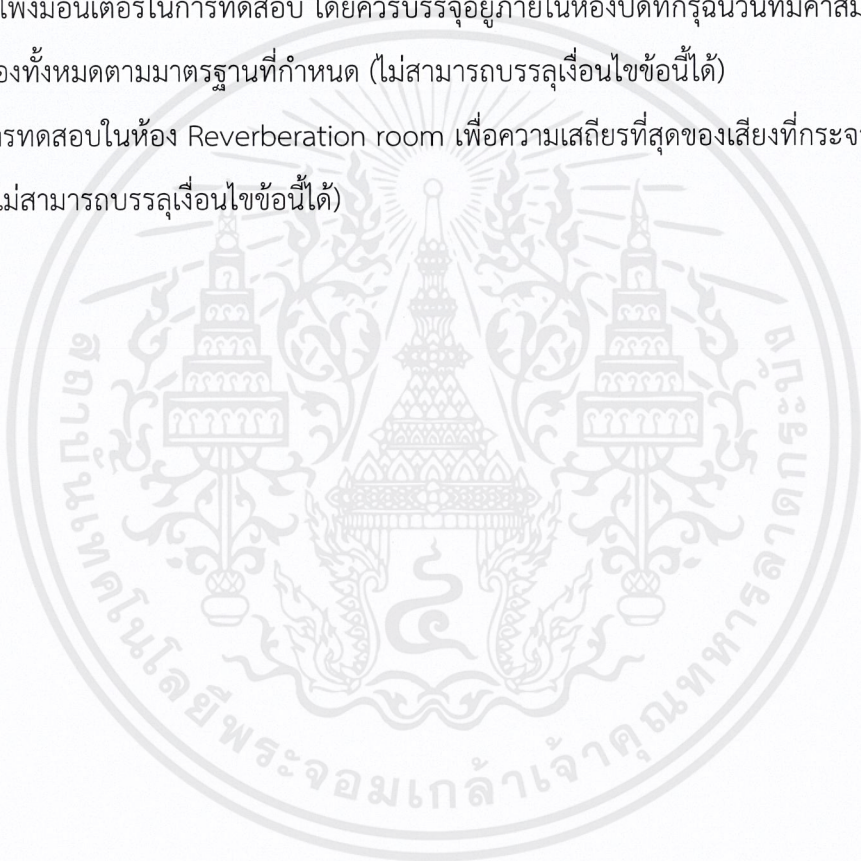
ภาพที่ 2.11 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วย ASTM E477

ที่มา : Price Engineer's HVAC Handbook (2011)

- (1) ตำแหน่งการประกอบท่อลมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ
- (2) ห้องปิดกรุ่นนวนสำหรับลำโพงในการทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียง
- (3) ห้อง Reverberation room เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียง

ข้อกำหนดเบื้องต้นของมาตรฐาน ASTM E477 สำหรับวัดทอลมเก็บเสียงรูปแบบมาตรฐาน

- 1) ทอลมเก็บเสียงที่ใช้ทดสอบ ต้องถูกประกบหน้าและหลังทั้งสองฝั่ง(ขาเข้าและขาออก)ด้วยทอลม
ธรรมดาขนาดเท่ากับหรือมากกว่าทอลมเก็บเสียง
- 2) ความยาวทอลมทั้งหมดหลังประกอบกันต้องไม่น้อย 5 เท่า ของความยาวหน้าตัดของทอลมเก็บ
เสียงที่ใช้ใช้ทดสอบ
- 3) ใช้ Pink Noise ในการทดสอบ และต้องมีความดังมากกว่า Noise floor อย่างน้อย 30 เดซิเบล
- 4) ใช้ลำโพงมอนิเตอร์ในการทดสอบ โดยควรบรรจุอยู่ในห้องปิดที่กรุฉนวนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การ
ลดเสียงภายในห้องทั้งหมดตามมาตรฐานที่กำหนด (ไม่สามารถบรรจุเงื่อนไขข้อนี้ได้)
- 5) ทำการทดสอบในห้อง Reverberation room เพื่อความเสถียรที่สุดของเสียงที่กระจายภายในห้อง
หลังผ่านทอลม (ไม่สามารถบรรจุเงื่อนไขข้อนี้ได้)



2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Price Engineer's HVAC Handbook (2011) เป็นหนังสือมาตรฐานที่รวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ HVAC เชิงลึกที่มีประโยชน์กับการออกแบบโครงการนี้อย่างมาก ซึ่งในหัวข้อ Engineering Guide Noise Control ได้มีเนื้อหาที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการควบคุมเสียงรบกวนในรูปแบบต่างๆมากมายซึ่งสามารถศึกษาบทความทั้งหมดที่มีประโยชน์เกี่ยวกับท่อลมเก็บเสียง อาทิ หลักการทำงานของท่อลมเก็บเสียง รูปแบบที่พบท่อลมเก็บเสียงได้ในการใช้งานของยุคปัจจุบัน บริษัทที่จำหน่ายท่อลมประเภทต่างๆ และปัจจัยต่างๆที่มีผลกับการทำงานของท่อลมเก็บเสียง ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาถูกอธิบายไว้อย่างละเอียด

Bhatia (2012) ได้อธิบายภาพรวมการควบคุมเสียงรบกวนต่างๆภายในอาคาร ไว้ในเว็บไซต์คือบทความเรื่อง Overview of Noise Control and HVAC Acoustics in Buildings ซึ่งเนื้อหาได้กล่าวถึงรูปแบบการลดเสียงรบกวนต่างๆ อาทิ การใช้สปริงกำจัดเสียงรบกวนย่านต่ำ การวางเตาียง รวมไปถึงการใช้งานของท่อลมเก็บเสียงกับห้องรูปแบบและขนาดที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้รับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการออกแบบระบบการลดเสียงของระบบระบายอากาศทั้งหมด

DARIO BOGDANOVIC (2014) ได้ทำการศึกษาการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบการคาดการณ์ประสิทธิภาพของท่อลมเก็บเสียงในวิทยานิพนธ์เรื่อง Calculation methods for predicting attenuation of parallel baffle type silencer ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีการคำนวณที่แตกต่างกันมากกว่า 5 หลักการคำนวณ ในหัวข้อเรื่อง Embleton's method ซึ่งเป็นทฤษฎีการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของการกรูณนวนอย่างง่ายที่ไม่มีการคำนึงถึงตัวแปรที่มีความซับซ้อนมากได้แก่ ไม่ครอบคลุมถึง ความดัน, อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการลดเสียงเป็นหลักและสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าคาดการณ์ประสิทธิภาพการลดเสียงของท่อลมเก็บเสียงที่ ซึ่งในหัวข้อนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดรวมของพื้นที่เปิดที่สามารถให้ลมผ่านได้เทียบกับพื้นที่หน้าตัดรวมของการกรูณนวนของท่อลมซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ยังมีพื้นที่รวมการกรูณนวนเทียบกับพื้นที่เปิดรวมมาเท่าไรการดูดซับเสียงเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียงยังมีความกว้างของความถี่ในการลดทอนเสียงรบกวนได้มากขึ้นเท่านั้น(แต่หากมากเกินไปย่อมส่งผลต่อความดันที่ถูกลดลง

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ลงพื้นที่การทำงานจริงของบริษัทเพื่อเก็บข้อมูล

เพื่อศึกษารูปแบบงานก่อสร้างที่บริษัทรับทำ ขนาดห้องที่ทำงาน การก่อสร้างระบบปรับอากาศและท่อลม การติดตั้งและหลักการใช้งานท่อลมเก็บเสียง ปัญหาที่พบเห็นในการทำงานเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการเลือกหัวข้อเพื่อทำโครงการสหกิจศึกษา ซึ่งสุดท้ายได้ออกมาเป็นโครงการท่อลมเก็บเสียง โดยได้รับร่วมมืออย่างดีทั้งจากพี่ทุกคนตลอดไปจนถึงอาจารย์ และผู้ประกอบการ อาทิ ให้กรุณาเชิญผู้ออกแบบระบบการปรับอากาศของห้องอะคูสติกของบริษัทเพื่อมาให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการนี้เป็นอย่างมาก * (รูปภาพการทำงานจริงเป็นนโยบายในการปกปิดความลับทางบริษัทจึงไม่สามารถเปิดเผยได้)

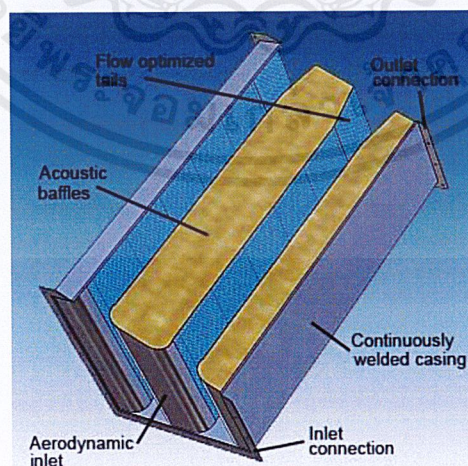
3.2 ศึกษาข้อมูล ความรู้ และทฤษฎี จากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่เสียงรบกวนที่มาจากท่อลม พื้นฐานของเสียง การใช้งานท่อลมเก็บเสียง หลักการทำงาน ประเภท ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และหลักการออกแบบเบื้องต้นจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังที่กล่าวมาในบทที่ 2

3.3 ออกแบบและสร้างชิ้นงาน โดยคำนึงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 ตัวแปรในการสร้างท่อลมเก็บเสียง

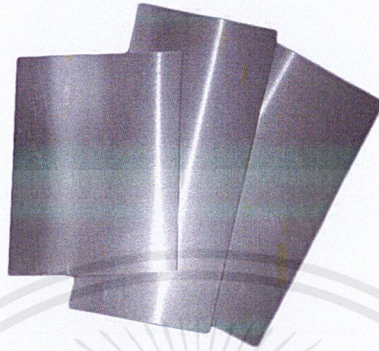
1) รูปแบบของท่อลมเก็บเสียง ได้เลือกใช้ท่อลมเก็บเสียงรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพราะเป็นรูปแบบมาตรฐานที่สามารถใช้งานง่าย และสะดวกต่อการศึกษาในเบื้องต้น



ภาพที่ 3.1 Rectangular Duct Silencer

ที่มา : <http://www.dbnoisereduction.com/>

2) วัสดุที่ใช้ในการสร้างท่อลมเก็บเสียง ผู้จัดทำเลือกใช้สังกะสีเป็นวัสดุในการสร้างท่อลมเก็บเสียงเนื่องจากเป็นที่นิยมในประเทศไทย ราคาถูกหาได้ง่าย



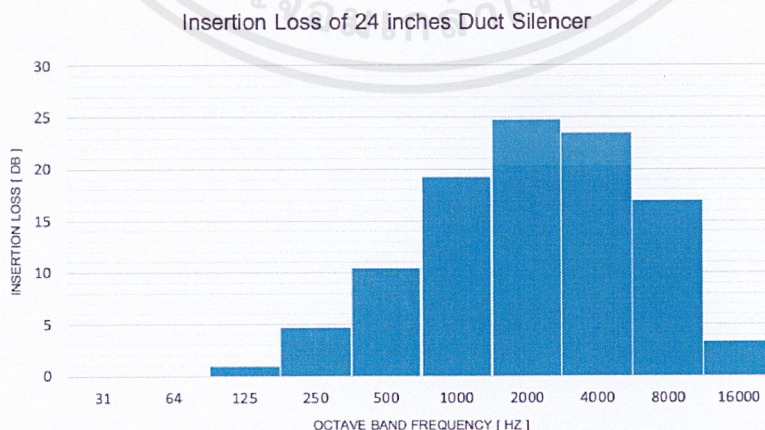
ภาพที่ 3.2 แผ่นสังกะสี

ที่มา : <https://www.indiamart.com/>

3) ความหนาของวัสดุ ผู้จัดทำได้เลือกใช้สังกะสีเบอร์ 19 ที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร

4) ความยาวและขนาดหน้าตัด ผู้จัดทำเลือกทำท่อลมเก็บเสียงขนาด 60 x 60 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร หรือท่อลมหน้าตัด 24 นิ้ว ยาว 1 เมตร ที่สนับสนุนการใช้งานภายในห้องอะคูสติกที่มีปริมาตรใกล้เคียง 90 ลูกบาศก์เมตร

5) การคำนวณหลักการกรรนวน ผู้จัดทำเลือกใช้รูปแบบการกรรนวนรูปแบบ 50 เปอร์เซนต์ ตามตัวอย่างที่กล่าวมาในบทที่ 2 ซึ่งจะได้ผลการคำนวณดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.3 แสดงกราฟคาดการณ์ประสิทธิภาพการลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงในโครงการนี้

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ค่าลดทอน (dB)	0	0	0.92	4.76	10.37	19.2	24.77	23.5	16.9	3.38

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการลดทอนจากการคำนวณ

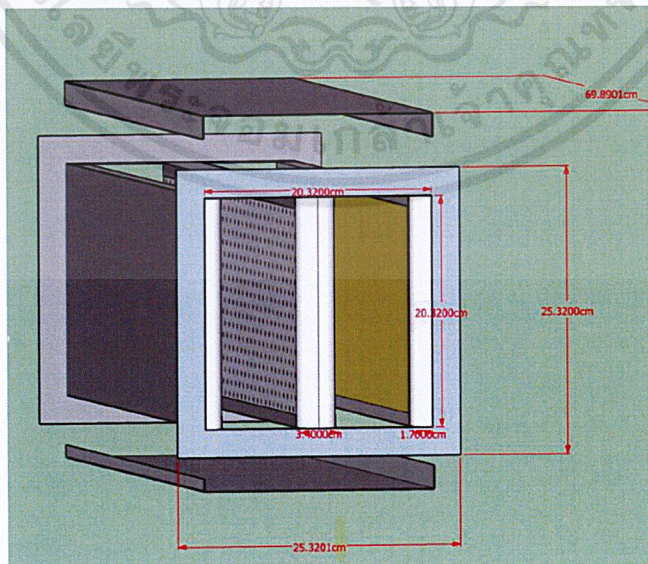
ได้ขนาดของท่อลมเก็บเสียงดังนี้

X (ความกว้างของหน้าตัดท่อลมเก็บเสียง)	24 นิ้ว หรือ 61 เซนติเมตร
Y (ความสูงของหน้าตัดท่อลมเก็บเสียง)	24 นิ้ว หรือ 61 เซนติเมตร
t (ความหนาของการเผื่อรูนวนเทียบจากกึ่งกลางของผนังท่อ)	3 นิ้ว หรือ 7.6 เซนติเมตร
ly (ความกว้างในแนวนอนของพื้นที่เปิดสำหรับอากาศไหลผ่าน)	6 นิ้ว หรือ 15.2 เซนติเมตร
Open Area (เปอร์เซ็นต์รูปแบบการรูนวนภายใน)	50%
l (ความยาวของท่อลมเก็บเสียง)	1 เมตร

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าขนาดโดยรวมของท่อลมจากการคำนวณ

3.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

ผู้จัดทำเลือกใช้โปรแกรม SketchUp ในการออกแบบเนื่องจากมีความครบครันของเครื่องมือ ออกแบบ ใช้งานง่าย และใช้สเปกในการประมวลผลน้อยมาก และรูปด้านล่างคือรูปแบบของท่อลมเก็บเสียงที่ ออกแบบจากตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้น



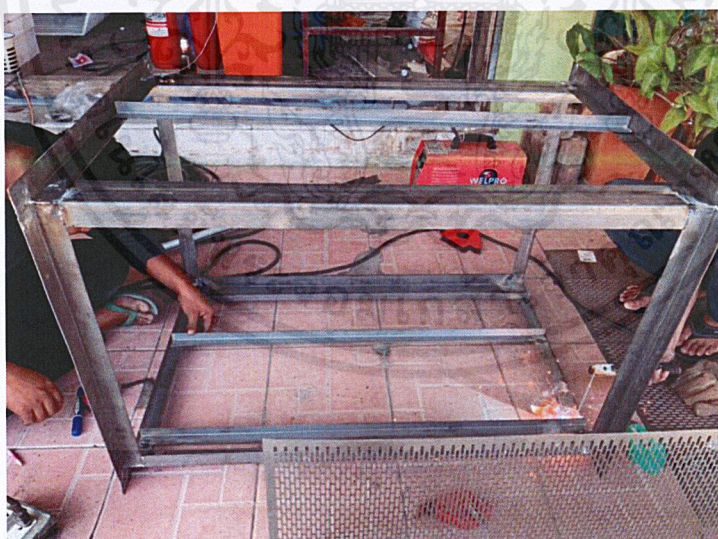
ภาพที่ 3.4 แสดงแบบจำลองจากการออกแบบท่อลมเก็บเสียงด้วยโปรแกรม Sketchup

3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างท่อลมเก็บเสียง

โครงเหล็กฉาก ยาว 3 เมตร (หรือเหล็กฉากขนาดอย่างต่ำ 1 เมตร ที่รวมกันไม่ต่ำกว่า 30 เมตร)	10 เส้น
แผ่นเหล็กเจาะรู slot 4*10 mm ความหนา 1 mm ขนาด 1.2*2.4 เมตร	1 แผ่น
แผ่นสังกะสี ความหนา 1 mm ขนาด 1.2*2.4 เมตร	4 แผ่น
Sound level meter สำหรับวัดประสิทธิภาพการทำงานของท่อลมเก็บเสียง	1 เครื่อง
Audio Interface สำหรับต่อลำโพง	1 เครื่อง
ลำโพงมอนิเตอร์ (Friedman ASC-10 500W Active Modeler/Profiler Monitor)	1 ตัว
คอมพิวเตอร์พกพา (Apple MacBook Pro) สำหรับต่อลำโพง	1 เครื่อง
เทปโฟมกันเสียง	2 ม้วน

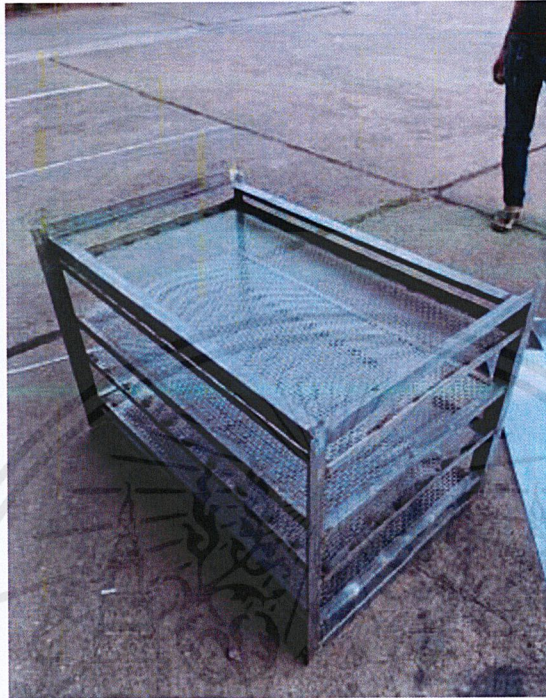
ขั้นตอนการสร้างท่อลมเก็บเสียง

- 1) ขึ้นโครงเหล็กฉากให้มีขนาด 60 cm x 60 cm x 100 cm จำนวนสามท่อน ประกอบด้วยท่อลมเก็บเสียง 1 ท่อน และท่อลมธรรมดาเตรียมสำหรับการทดลอง 2 ท่อน



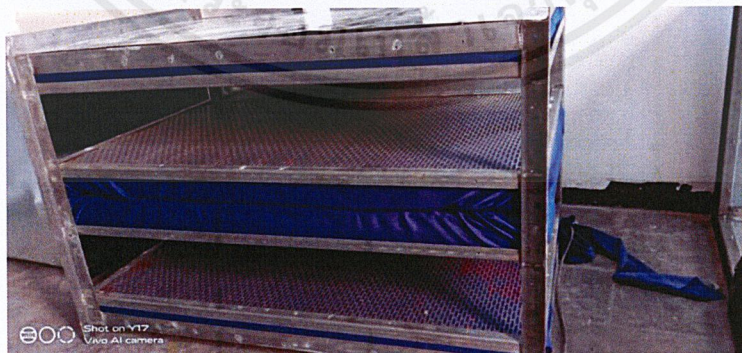
ภาพที่ 3.5 การขึ้นโครงเหล็กท่อลมเก็บเสียง

2) ตัดตะแกรงเหล็กขนาด 100 cm x 60 cm จำนวน 4 แผ่น เชื่อมกันกับโครงเพื่อให้เป็นส่วนบรรจุฉนวน



ภาพที่ 3.6 การเชื่อมแผ่นตะแกรงเหล็กสำหรับส่วนการกรุ่นฉนวนของท่อลมเก็บเสียง

3) ทำการบรรจุฉนวนและเชื่อมปิดท่อลมในด้านข้างทั้ง 4 ข้างให้เรียบร้อย



ภาพที่ 3.7 การกรุ่นฉนวนภายในท่อลมเก็บเสียง



ภาพที่ 3.8 ทำการปิดท่อลมเก็บเสียงทั้ง 4 ด้าน

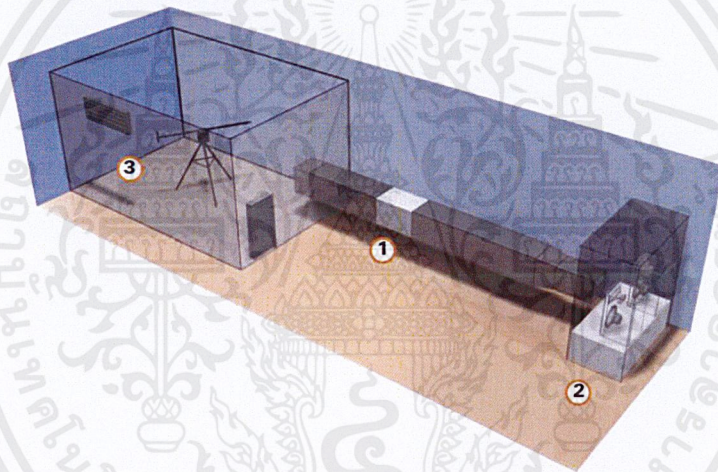
4) ทำการเจาะรูเหล็กฉากในส่วนประกบทั้งหัวและท้ายให้ตรงกันเพื่อเตรียมสำหรับการประกบกัน

3.4 ออกแบบการวัดประสิทธิภาพ และวัดประสิทธิภาพ

ซึ่งการวัดประสิทธิภาพการลดเสียงของท่อลมเก็บเสียงนั้น ได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM E477 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพจริงในการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียง (ไม่ครอบคลุมถึง ความดัน, อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วลม)

แต่เนื่องจากข้อจำกัดบางประการที่ไม่สนับสนุนจึงไม่สามารถออกแบบการวัดโดยตรงตามมาตรฐาน ASTM E477 ทั้งหมด ได้แก่รูปแบบของห้อง Reverberation room ที่มีขนาดและ NRC ที่กำหนดตามมาตรฐาน และห้องติดฉนวนที่ใช้สำหรับใส่ลำโพงมอนิเตอร์ ซึ่งผู้จัดทำไม่สามารถหาห้องทดสอบที่มีคุณสมบัติ สอนคล้องกับมาตรฐานดังกล่าวได้ ต้องขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

Silencer Test Setup per ASTM E477



ภาพที่ 3.9 แบบจำลองการวัดประสิทธิภาพท่อลมเก็บเสียงด้วย ASTM E47

ที่มา : Price Engineer's HVAC Handbook (2011)

- (1) ตำแหน่งการประกอบท่อลมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ
- (2) ห้องปิดกรุ่นวนสำหรับลำโพงในการทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียง
- (3) ห้อง Reverberation room เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของท่อลมเก็บเสียง

ข้อกำหนดเบื้องต้นของมาตรฐาน ASTM E477 สำหรับวัดทอลมเก็บเสียงรูปแบบมาตรฐาน

- 1) ทอลมเก็บเสียงที่ใช้ทดสอบ ต้องถูกประกบหน้าและหลังทั้งสองฝั่ง(ขาเข้าและขาออก)ด้วยทอลม
ธรรมดาขนาดเท่ากับหรือมากกว่าทอลมเก็บเสียง
- 2) ความยาวทอลมทั้งหมดหลังประกอบกันต้องไม่น้อย 5 เทา ของความยาวหน้าตัดของทอลมเก็บ
เสียงที่ใช้ใช้ทดสอบ
- 3) ใช้ Pink Noise ในการทดสอบ และต้องมีความดังมากกว่า Noise floor อย่างน้อย 30 เดซิเบล
- 4) ใช้ลำโพงมอนิเตอร์ในการทดสอบ โดยควรบรรจุอยู่ในห้องปิดที่รบกวนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การ
ลดเสียงภายในห้องทั้งหมดตามมาตรฐานที่กำหนด (ไม่สามารถบรรจุเงื่อนไขข้อนี้ได้)
- 5) ทำการทดสอบในห้อง Reverberation room เพื่อความเสถียรที่สุดของเสียงที่กระจายภายในห้อง
หลังผ่านทอลม (ไม่สามารถบรรจุเงื่อนไขข้อนี้ได้)

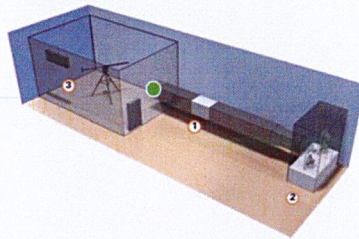
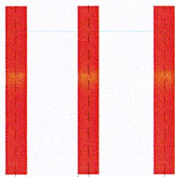
ข้อจำกัดการทดสอบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนของทอลมเก็บเสียงด้วยมาตรฐาน ASTM E477 นี้
ไม่สามารถบรรจุเงื่อนไขในการสร้างห้องปิดรบกวนสำหรับลำโพง และห้อง Reverberation room ที่มีรูเจาะ
สำหรับสวมทอลมเก็บเสียงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพได้ เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณในการก่อสร้างเพื่อ
ทดสอบ คณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

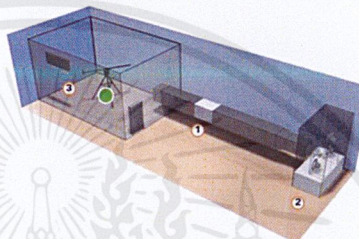
อย่างไรก็ตามรูปแบบที่ใช้ในการทดสอบทอลมเก็บเสียงในโครงการนี้ สามารถบ่งบอกแนวโน้มเบื้องต้น
ของประสิทธิภาพในการลดเสียงรบกวนจริงของทอลมเก็บเสียงได้แน่นอน แต่อาจมีความเบี่ยงเบนเล็กน้อย

สำหรับการทดสอบผู้จัดทำได้แบ่งรูปแบบการวางชิ้นงานสองรูปแบบ (แนวตั้งและแนวนอน) และตำ
แหน่งการวัดเสียงรบกวนขาออกสองตำแหน่ง (หน้าปากทอลมและกึ่งกลางห้องทดสอบ) จึงมีรูปแบบการ
ทดลองทั้งหมด 4 รูปแบบได้แก่

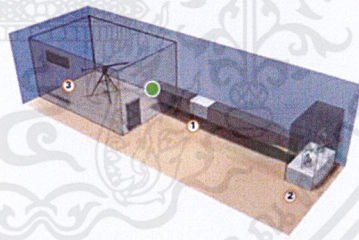
การทดลองรูปแบบ 1 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



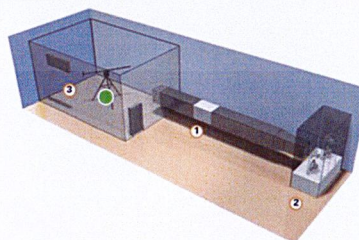
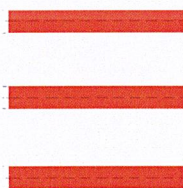
การทดลองรูปแบบ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



การทดลองรูปแบบ 3 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



การทดลองรูปแบบ 4 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



ขั้นตอนการทดลอง

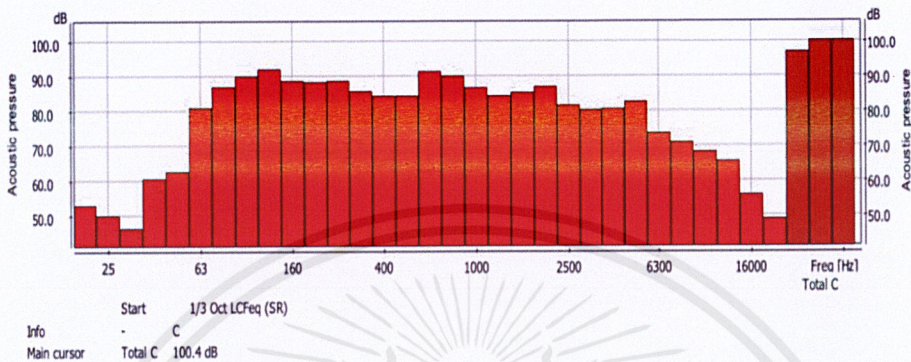
- 1) ประกอบท่อลมธรรมดาประกบเข้ากับท่อลมเก็บเสียงทั้งสองฝั่ง ชั้นน็อตและปิดผนึกเทปกั้นเสียงรั่วตามร่อง
- 2) ขนย้ายท่อลมที่ประกอบแล้วทั้งหมดสวมเข้ากับรูวัดของห้อง ปิดผนึกเทปกั้นเสียงอีกรอบให้เรียบร้อย
- 3) สวมลำโพงในปลายท่อลมฝั่งขาเข้า หันหน้าลำโพงเข้าท่อลมและเปิด Pink noise ที่ความดัง 94 เดซิเบล
ทิ้งไว้ย่ำต่ำ 10 วินาทีให้คลื่นเสียงที่ไหลเวียนในห้องมีความเสถียร
- 4) ทำการวัดเสียงในห้องจากจุดที่กำหนดได้แต่ปลายปล่องท่อลมและกึ่งกลางห้อง ทำซ้ำ 3 ครั้งและเฉลี่ยผล
(การวัดเสียงการทดลองใช้รูปแบบ C Weighting หรือ dBC)



บทที่ 4 ผลการวิจัย

กราฟและตารางต่อไปนี้เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพการลดทอนเสียงทั้งหมด 4 รูปแบบ

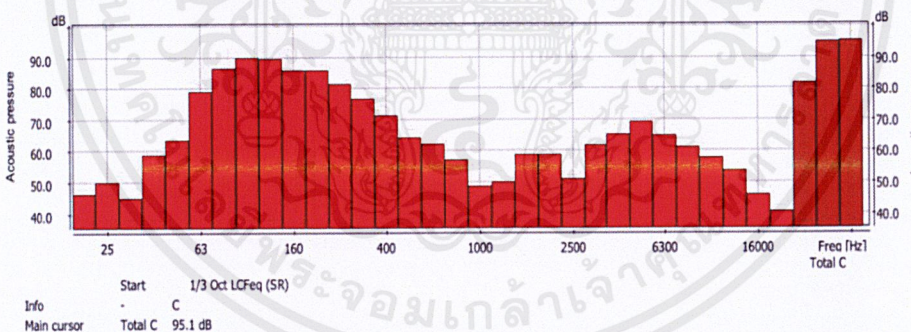
4.1 ผลการทดลองรูปแบบที่ 1 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



ภาพที่ 4.1.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	61.25	87.92	95.38	92.69	92.87	92.50	90.40	86.22	76.42	66.22

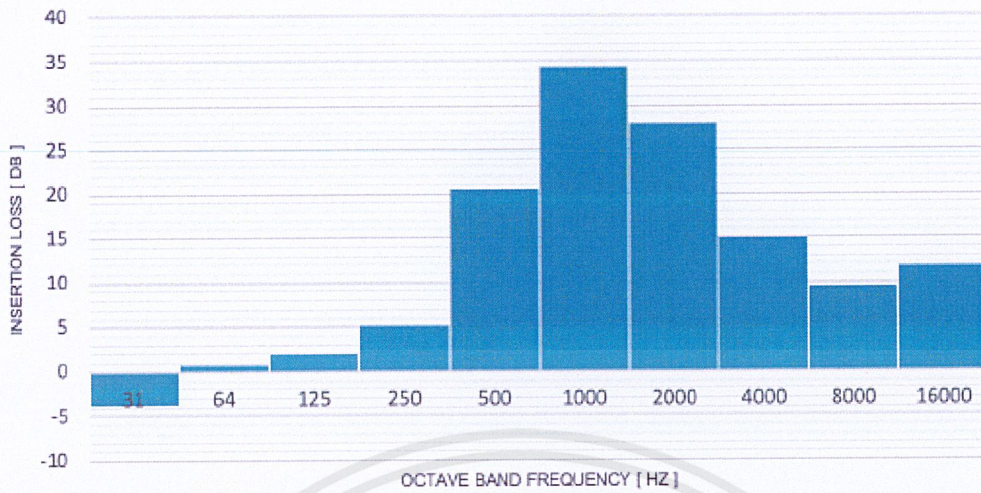
ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าความดังของเสียงของขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 4.1.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	64.94	87.15	93.50	87.45	72.49	58.38	62.16	71.37	67.02	54.63

ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)



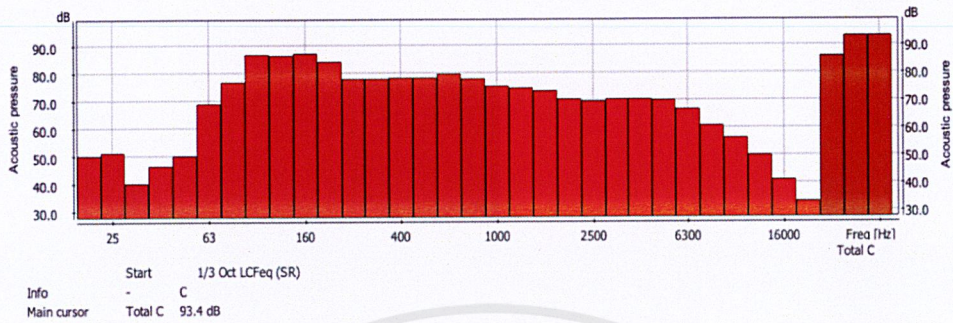
ภาพที่ 4.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ลดทอนเสียง (dB)	-3.68	0.76	1.88	5.233	20.38	34.14	27.89	14.86	9.41	11.69

ตารางที่ 4.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงการทดลองรูปแบบที่ 1 (1/1 Octave Band)

สำหรับการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการลดทอนเสียงที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 1000 Hz สามารถลดทอนได้ 34.14 dB และการทดลองเสียงที่ด้อยที่สุดอยู่ที่ความถี่ 31 Hz ซึ่งไม่สามารถลดทอนเสียงได้ แต่กลับเสริมให้ดังมากขึ้นถึง 3.68 dB ถึงแม้จะลดได้อย่างมากในบางความถี่ แต่บางความถี่กลับเสริมให้ดังขึ้น ดังนั้นก็ไม่ตอบ
 โจทย์การใช้งาน

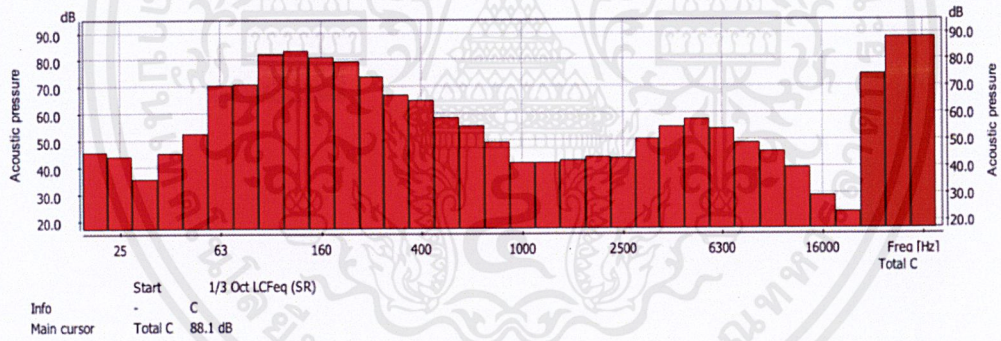
4.2 ผลการทดลองรูปแบบที่ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



ภาพที่ 4.2.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	52.60	77.37	91.53	86.02	83.64	80.85	76.26	75.07	67.96	50.48

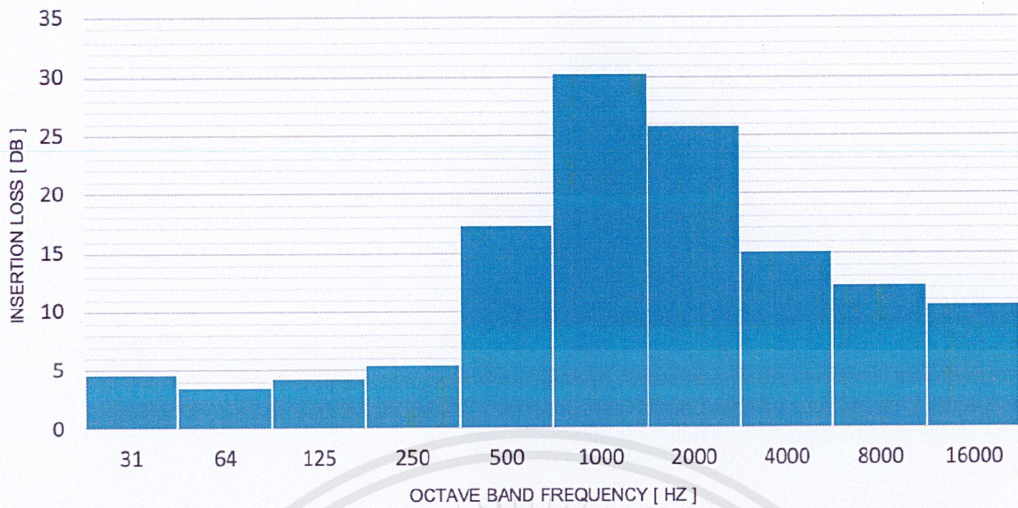
ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 4.2.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	47.95	73.97	87.18	80.61	66.31	50.57	47.96	59.98	55.78	39.99

ตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)



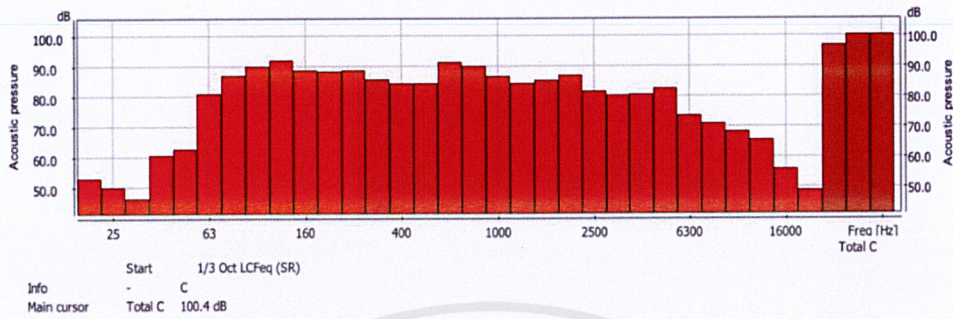
ภาพที่ 4.2.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ลดทอนเสียง (dB)	4.65	3.39	4.35	5.40	17.34	30.27	25.69	15.09	12.19	10.49

ตารางที่ 4.2.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)

สำหรับการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการลดทอนเสียงที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 1000 Hz สามารถลดทอนได้ 30.27 dB และการทดลองเสียงที่ด้อยที่สุดอยู่ที่ความถี่ 64 Hz ลดทอนเสียงได้ 3.39 dB ซึ่งสามารถยอมรับได้และค่อนข้างตอบโจทย์ต่อการนำไปใช้งาน

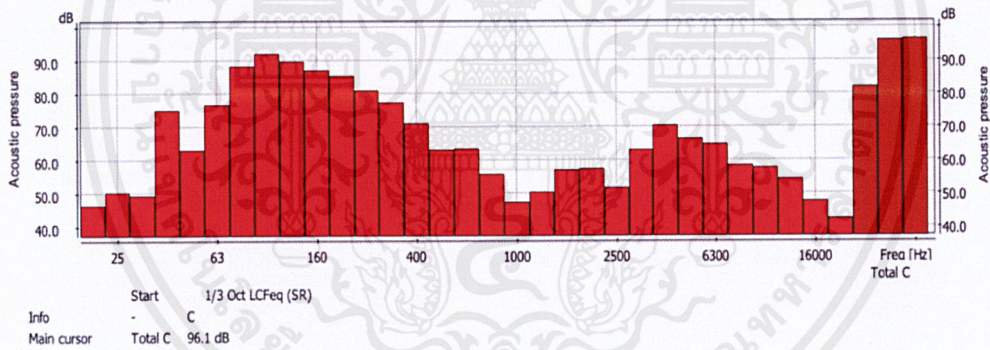
4.3 ผลการทดลองรูปแบบที่ 3 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



ภาพที่ 4.3.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	61.25	87.91	95.38	92.67	92.87	92.49	90.04	86.22	76.42	66.22

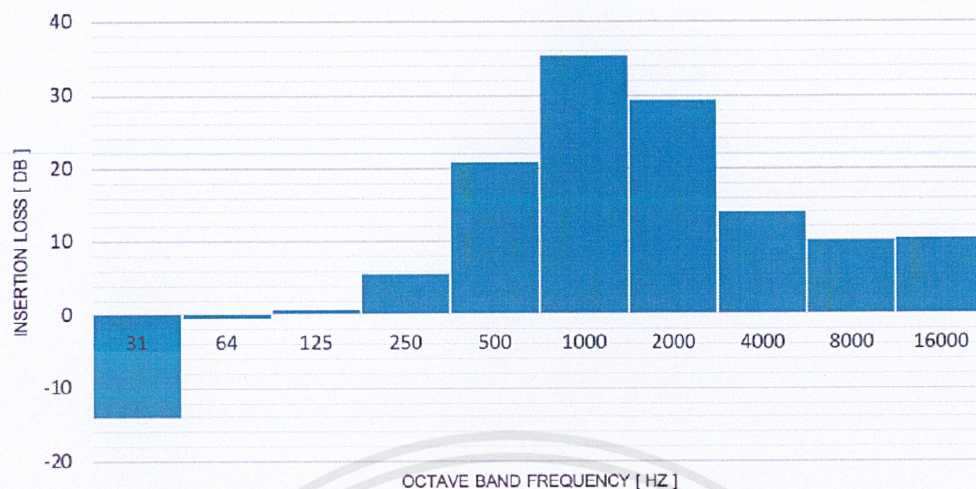
ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 4.3.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	75.16	88.53	94.68	87.22	72.10	57.18	60.72	72.28	66.23	55.57

ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)



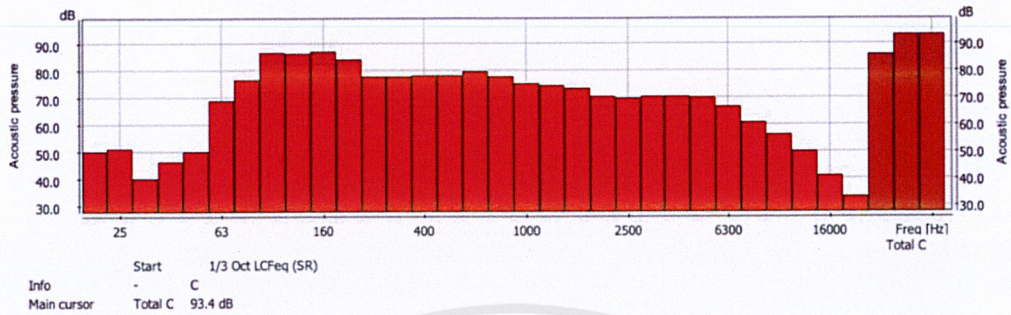
ภาพที่ 4.3.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ลดทอนเสียง (dB)	-13.90	-0.61	0.70	5.47	20.77	35.31	29.32	13.95	10.19	10.65

ตารางที่ 4.3.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงการทดลองรูปแบบที่ 3 (1/1 Octave Band)

สำหรับการทดลองที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการลดทอนเสียงที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 1000 Hz สามารถลดทอนได้มากถึง 35.21 dB และการทดลองเสียงที่ด้อยที่สุดอยู่ที่ความถี่ 31 Hz ซึ่งไม่สามารถลดทอนเสียงได้ แต่กลับเสริมให้ดังมากขึ้นถึงมากถึง 13.90 dB อย่างไรก็ตามถึงแม้จะลดได้อย่างมากที่สุดที่ความถี่ 1k จากทุกการทดลอง แต่ที่ความถี่ 31 กลับเสริมให้ดังขึ้นมากที่สุดจากทุกการทดลองเช่นเดียวกัน ดังนั้นการทดลองนี้ก็ไม่ตอบโจทย์การนำไปใช้งาน

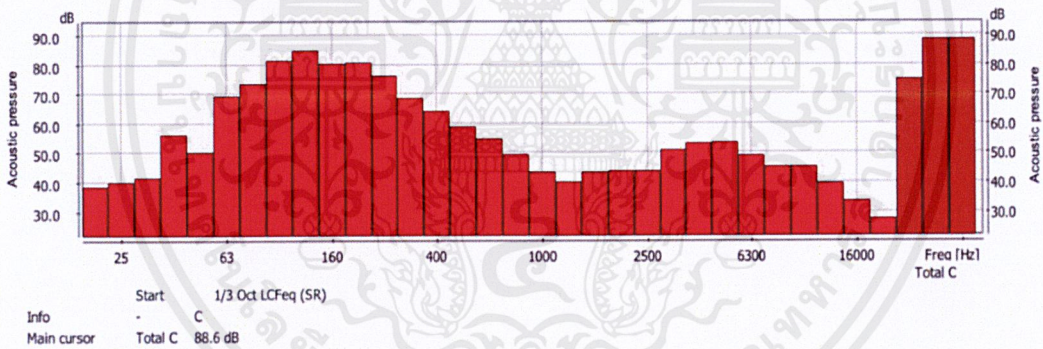
4.4 ผลการทดลองรูปแบบที่ 4 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



ภาพที่ 4.4.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	52.60	77.368	91.53	86.02	83.64	80.85	76.26	75.07	67.96	50.48

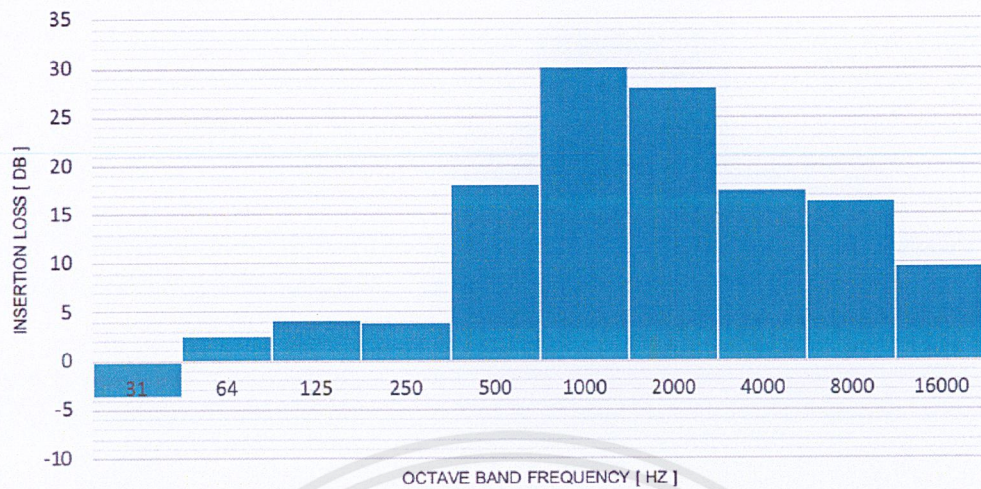
ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าความดังของเสียงขณะไม่ใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 4.4.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ความดัง (dB)	56.28	74.88	87.41	82.13	65.69	50.82	48.44	57.60	51.73	40.89

ตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าความดังของเสียงขณะใช้ท่อลมเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 4.4.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ลดทอนเสียง (dB)	-3.68	2.48	4.12	3.89	17.95	30.03	27.82	17.47	16.23	9.59

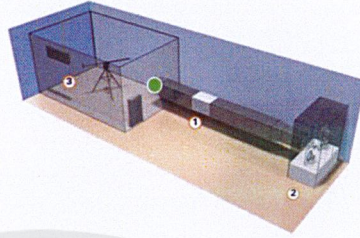
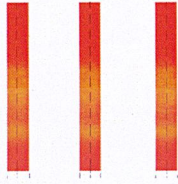
ตารางที่ 4.4.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลมเก็บเสียงการทดลองรูปแบบที่ 4 (1/1 Octave Band)

สำหรับการทดลองที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการลดทอนเสียงที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 1000 Hz สามารถลดทอนได้ 30.03 dB ซึ่งน้อยกว่าทดลองอื่นๆ และการทดลองเสียงที่ด้อยที่สุดอยู่ที่ความถี่ 31 Hz ซึ่งไม่สามารถลดทอนเสียงได้ แต่กลับเสริมให้ดังมากขึ้นถึง 3.68 dB ดังนั้นจึงไม่ตอบโจทย์เท่าไรสำหรับการวางแผนนำไปใช้งานใช้งาน

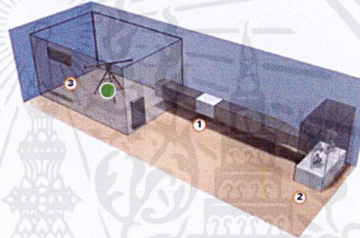
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทั้งหมด 4 รูปแบบได้แก่

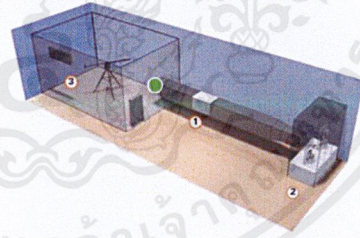
การทดลองที่รูปแบบ 1 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



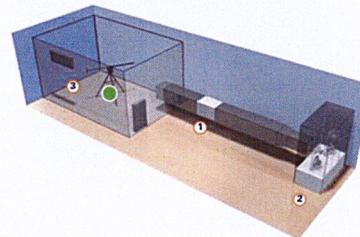
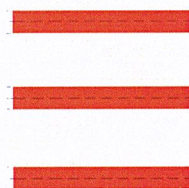
การทดลองที่รูปแบบ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



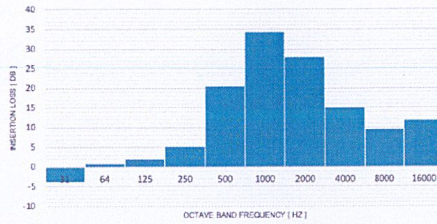
การทดลองที่รูปแบบ 3 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



การทดลองรูปแบบที่ 4 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง

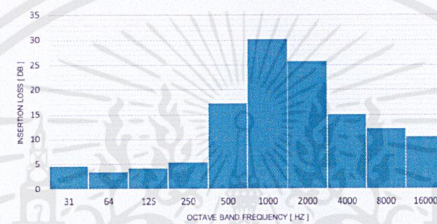


ผลทดลองที่รูปแบบ 1 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



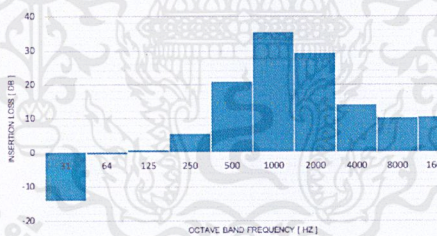
ภาพที่ 5.1.1 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 1

ผลทดลองที่รูปแบบ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง



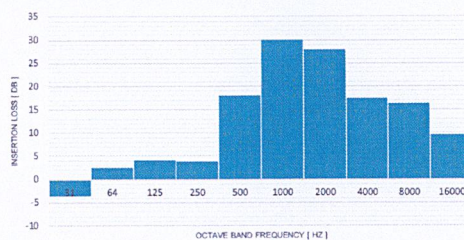
ภาพที่ 5.1.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2

ผลทดลองที่รูปแบบ 3 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งปลายปล่องท่อลม



ภาพที่ 5.1.3 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 3

ผลทดลองที่รูปแบบ 4 วางท่อลมเก็บเสียงแนวนอน วัดตำแหน่งกึ่งกลางห้อง



ภาพที่ 5.1.4 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 4

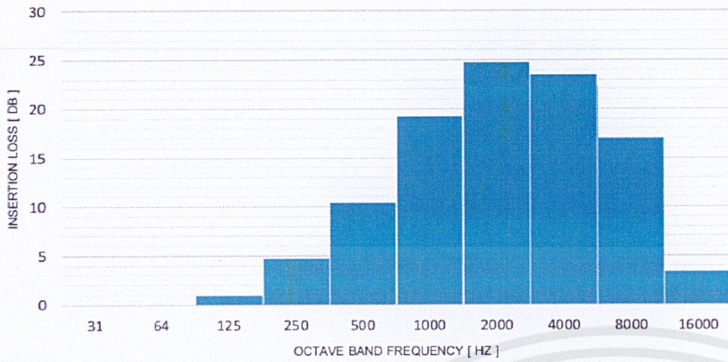
5.1 อภิปรายผล

การลดทอนเสียงที่ดีที่สุดอยู่ที่ความถี่ 1000 Hz ในการทดลองที่ 3 วางท่อแวนอนวัดปลายท่อลม ซึ่งสามารถลดทอนได้มากถึง 35.31 dB และการทดลองเสียงที่แย่ที่สุดอยู่ที่ความถี่ 31 Hz ในการทดลองที่ 3 วางท่อแวนอน วัดปลายปล่องท่อลม เช่นเดียวกันซึ่งไม่สามารถลดทอนเสียงได้ แต่กลับเสริมให้ดังเพิ่มขึ้นถึง 13.9 dB ถึงแม้จะลดได้อย่างมากในบางความถี่ แต่บางความถี่กลับเสริมให้ดังขึ้น ดังนั้นก็ไม่ตอบโจทย์การใช้งานเช่นเดียวกัน แต่จากพิจารณาการทดลองที่ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายกึ่งกลางของห้อง พบว่ามีค่าในการลดทอนเป็นบวกทั้งหมด และยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าคาดการณ์ที่คำนวณได้จากสูตรมากที่สุด ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่ามาจากรูปแบบการใช้งานทั่วไปที่ถูกต้องคือการวางท่อลมเก็บเสียงในแนวตั้งให้แนวดูดซับเสียงตั้งฉากกับพื้น และการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางห้องที่มีความเสถียรของเสียงหลังจากดูดซับมากกว่าตำแหน่งปลายท่อลม จึงทำให้การทดลองที่ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายกึ่งกลางของห้อง มีค่าการลดทอนเสียงที่เหมาะสมแก่การไปใช้งานมากที่สุด ซึ่งความถี่เสียงที่ลดทอนได้ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 คือความถี่ 1000 Hz ลดทอนได้ 30.27 dB และความถี่ที่ลดทอนได้น้อยที่สุดคือความถี่ 63 Hz ลดทอนได้ 3.39 dB แม้ว่าการลดทอนอาจไม่ดีเท่าการทดลองที่ 3 ในบางความถี่ แต่การไม่เสริมบางความถี่ให้ดังมากขึ้นนั้นตอบโจทย์การใช้งานมากกว่า

5.2 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 2 วางท่อลมเก็บเสียงแนวตั้ง วัดตำแหน่งปลายกึ่งกลางของห้อง มีค่าการลดทอนเสียงที่เหมาะสมแก่การไปใช้งานมากที่สุด ซึ่งความถี่เสียงที่ลดทอนได้ดีที่สุดของการทดลองที่ 2 คือความถี่ 1000 Hz ลดทอนได้ 30.27 dB และความถี่ที่ลดทอนได้น้อยที่สุดคือความถี่ 63 Hz ลดทอนได้ 3.39 dB และแนวโน้มในความถี่ยังใกล้เคียงการคาดการณ์ค่าการลดทอนมากที่สุดด้วย ฉะนั้นการใช้งานท่อลมเก็บเสียงนี้ควรตั้งในแนวตั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการใช้งาน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพโดยรวมของท่อลมเก็บเสียงในโครงการนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและลดต้นทุนในการสร้างระบบปรับอากาศภายในห้องอะคูสติกให้แก่บริษัทได้ไม่ต่ำกว่า 25,000-30,000 บาท ต่อท่อลมเก็บเสียง 1 ท่อน

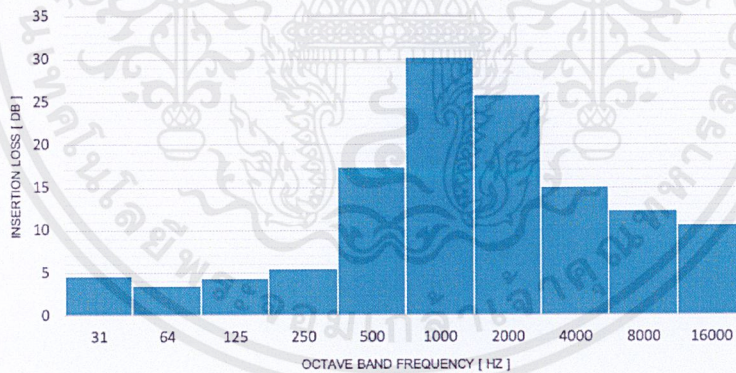
Insertion Loss of 24 inches Duct Silencer



ภาพที่ 5.2.1 แสดงค่าคาดการณ์การลดทอนเสียงที่คำนวณได้ของท่อลดเสียงขนาดหน้าตัด 24 นิ้ว

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ค่าคาดการณ์ (dB)	0	0	0.92	4.76	10.37	19.2	24.77	23.5	16.9	3.38

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคาดการณ์การลดทอนเสียงที่คำนวณได้ของท่อลดเสียงขนาดหน้าตัด 24 นิ้ว (1/1 Octave Band)



ภาพที่ 5.2.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อเก็บเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2

ความถี่ (Hz)	31	64	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
ลดทอนเสียง (dB)	4.65	3.39	4.35	5.40	17.34	30.27	25.69	15.09	12.19	10.49

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าลดทอนเสียงของท่อลดเสียงจากการทดลองรูปแบบที่ 2 (1/1 Octave Band)

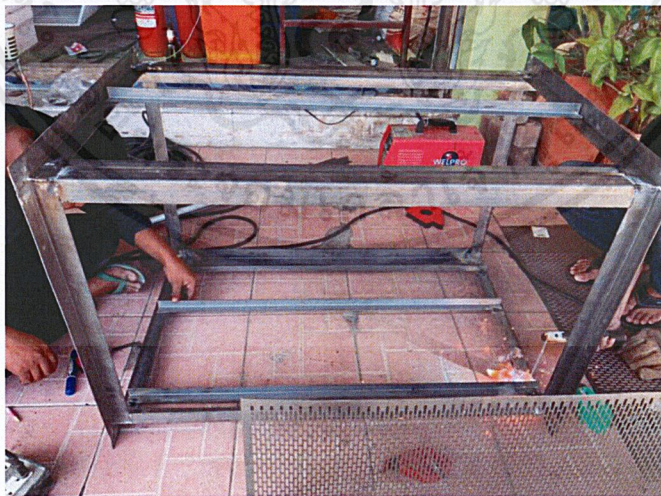
เอกสารอ้างอิง

- [1] อัครเดช สินธุภัก. 2540. การปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] A. Bhatia, B.E. 2012. Overview of Noise Control and HVAC Acoustics in Buildings. ค้นเมื่อ
8 สิงหาคม 2562, จาก <http://www.vibrationdata.com/tutorials2/m206content.pdf>
- [3] DARIO BOGDANOVIC. 2014. Calculation methods for predicting attenuation of parallel
- baffle type silencer. ค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2562, จาก
<https://pdfs.semanticscholar.org/7b30/2a110057a9fc45c69dfd967639c0a936563e.pdf>
- [4] Geoff Leventhall. Noise Control in HVAC Active Passive or None. ค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2562.
<http://www.cibseashrae.org/presentations/leventhall0106.pdf>
- [5] Price Engineer's HVAC Handbook. 2011. Engineering Guide Noise Control. ค้นเมื่อ
21 สิงหาคม 2562. [https://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/
literature/engineering-guides/silencers-panels-engineering-guide.pdf](https://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/literature/engineering-guides/silencers-panels-engineering-guide.pdf)

ภาคผนวก



ตัดแบ่งตะแกรงเหล็กมีรูเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการประกอบตู้อลมเก็บเสียง



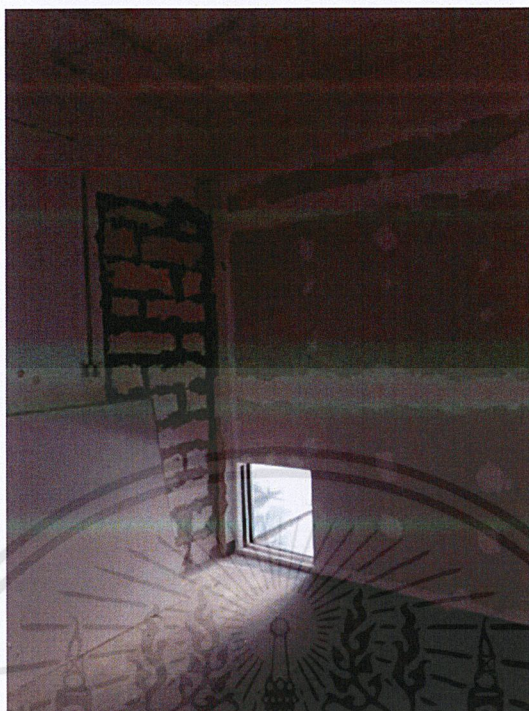
การขึ้นโครงเหล็กสำหรับประกอบตู้อลมเก็บเสียง



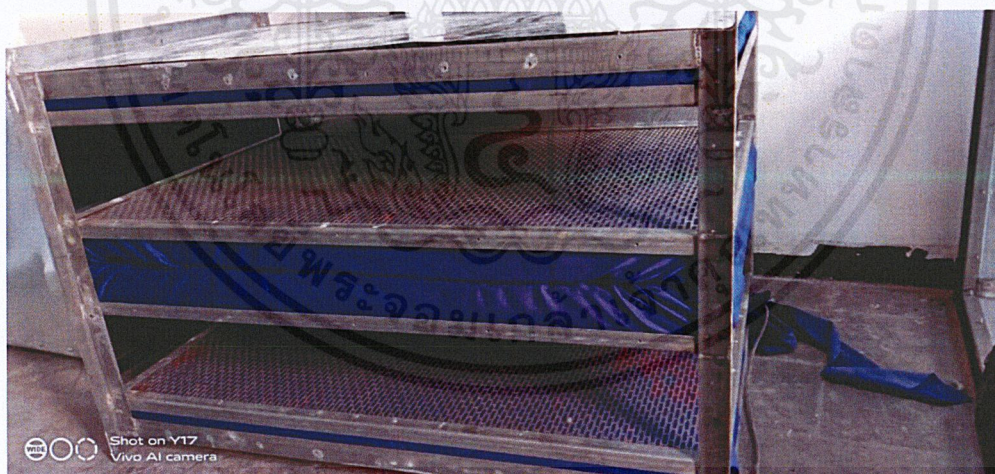
โครงทอลมเก็บเสียงสมบูรณ์พร้อมสำหรับการกรนนวนและปิดท่อ



ตอกแผ่นสังกะสีเพื่อปิดทอลม



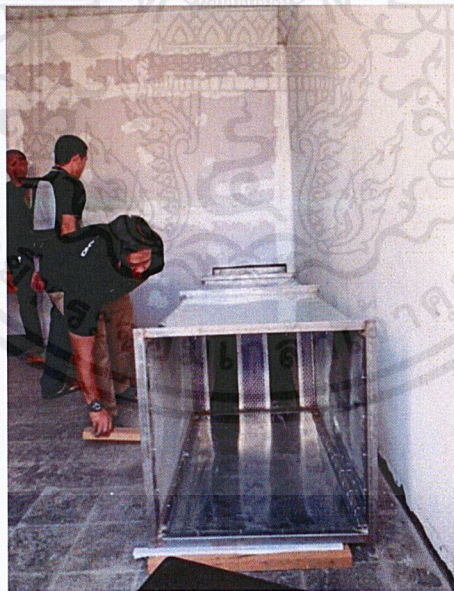
ห้องทดลองประสิทธิภาพท่อลมที่เลือกรูไว้สำหรับใส่ท่อ



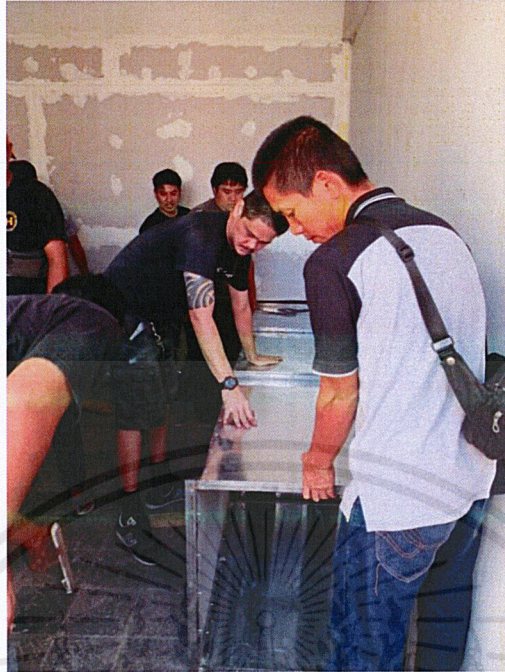
เตรียมท่อลมเก็บเสียงสำหรับติดตั้งเข้ากับท่อลม



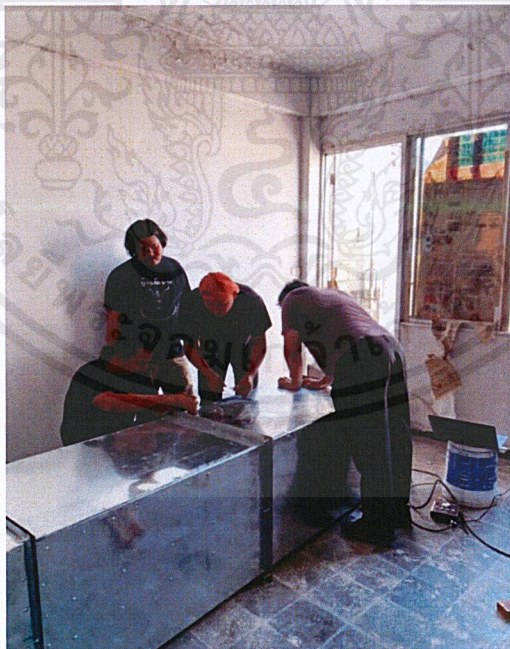
การติดตั้งท่อลมเก็บเสียงในรูปแบบแนวนอน



การติดตั้งท่อลมเก็บเสียงในรูปแบบแนวนอน



ทำการติดตั้งท่อลมเก็บเสียง

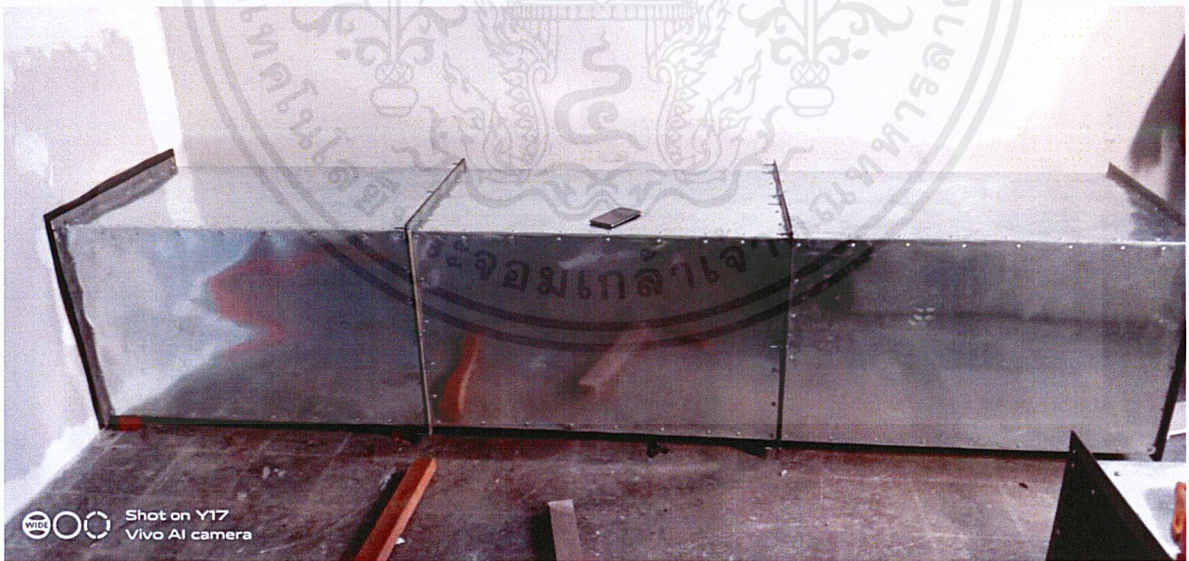


ทำการติดตั้งท่อลมเก็บเสียง

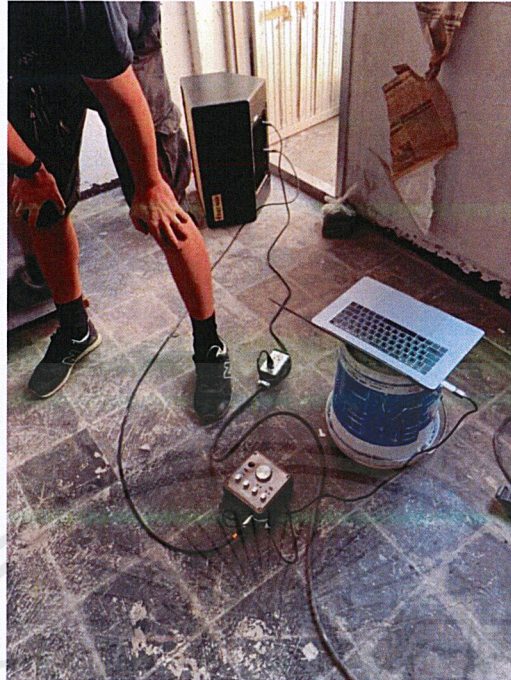
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชั้นน๊อตเพื่อยึดติดท่อลมเก็บเสียงและท่อลมเข้าด้วยกัน



การติดตั้งเสร็จสมบูรณ์พร้อมสำหรับการทดลอง



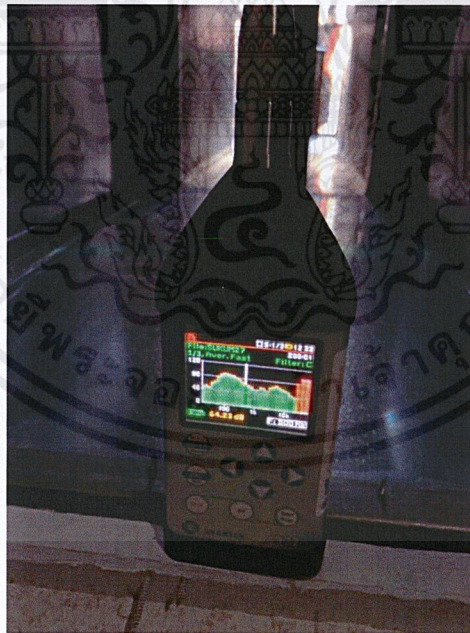
การ Set Up ลำโพงมอนิเตอร์สำหรับการทดลอง



ติดตั้งลำโพงมอนิเตอร์เข้าที่ต้นทางของท่อลม



วัดเสียงหลังผ่านท่อลมเก็บเสียง ณ ตำแหน่งกลางห้อง



วัดเสียงหลังผ่านท่อลมเก็บเสียง ณ ตำแหน่งปลายปล่องของท่อลม

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ นายกฤตริน เทพกิจอารีกุล
วันเดือนปีเกิด 3 สิงหาคม 2540
สถานที่เกิด ขอนแก่น

ประวัติการศึกษา

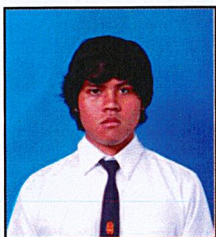
พ.ศ. 2550	ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลวัดกลาง
พ.ศ. 2553	ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย (โครงการพิเศษ)
พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน	กำลังศึกษา (ป.ตรี)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง คณะวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม ชั้นปีที่ 4

ประสบการณ์และผลงาน

- นักเรียนในโครงการ สอน. สาขาฟิสิกส์ ศูนย์ขยายผล
- นักเรียนในโครงการ YSC ใน สถาบัน NECTEC

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

626 หอพัก ริชมอนด์ปาร์ค(Richmond Park) ซอย ลาดกระบัง 50/2 แขวง ลาดกระบัง
เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520



ชื่อ	ภูมिरพี สิ้นปรุ
วันเดือนปีเกิด	26 สิงหาคม 2540
สถานที่เกิด	ชลบุรี

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550	ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลวัดราชฎ์นียมธรรม
พ.ศ. 2553	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนโรงเรียนชุมชนวัดหนองค้อ
พ.ศ. 2556	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนชลราษฎรอำรุง
พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน	กำลังศึกษา (ป.ตรี)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง คณะวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม ชั้นปีที่ 4

ประสบการณ์และผลงาน

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

701 หอพัก เอเจปาร์ค(AJ Park) ซอย ฉลองกรุง แขวง ลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง
จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520