

การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหล
โดยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงแบบซิงเกิลโมโนโพล

ACTIVE NOISE REDUCTION AT LOW FREQUENCY IN DUCT FLOW
USING A SINGLE MONOPOLE SOURCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๕๕

ISBN 974-648-371-4

การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลโดยการ
ใช้แหล่งกำเนิดเสียงแบบซิงเกิลโมโนโพล

ACTIVE NOISE REDUCTION AT LOW FREQUENCY IN DUCT FLOW
USING A SINGLE MONOPOLE SOURCE



บัญชา วิเชียรชน
BANCHA WICHIANCHOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-371-4

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...40613
น, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2544

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกำไรค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ACTIVE NOISE REDUCTION AT LOW FREQUENCY IN DUCT FLOW
USING A SINGLE MONOPOLE SOURCE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2001

ISBN 974-648-371-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES



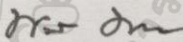
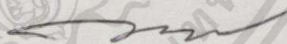
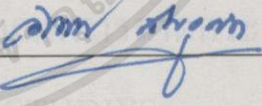
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหล
โดยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงแบบซิงเกิล โมโนโพล
ACTIVE NOISE REDUCTION AT LOW FREQUENCY IN DUCT
FLOW USING A SINGLE MONOPOLE SOURCE

ชื่อนักศึกษา นายบัญชา วิเชียรชม
รหัสประจำตัว 41062021
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. อัครเดช ตีนรุ๊กัก

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	
รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์	
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	
รศ.ทวี เทศเจริญ	
รศ.อัครเดช ตีนรุ๊กัก	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 กรกฎาคม 2544 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อดชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... 11เดือน..... ๑๑๓๑ พ.ศ. ๒๕๔๔

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหล โดยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงแบบซิงเกิล โมโน โพล
นักศึกษา	นายบัญชา วิเชียรรม
รหัสประจำตัว	41062021
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.อัครเดช สีนรุ๊ก

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการศึกษา การลดเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหล โดยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงแบบซิงเกิล โมโน โพล ซึ่งมีค่าความเร็วของอากาศไหลไม่เกิน 40 m/s ที่อุณหภูมิห้อง โดยในขั้นตอนแรกจะทำการวัดระดับความดังของเสียงในท่อที่ความถี่ต่างๆ ก่อน แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับระดับความดังของเสียงรบกวนหลังจากใช้ระบบควบคุมการลดทอนเสียงรบกวนแบบป้อนไปข้างหน้า โดยในการทดลองนี้การปรับค่าระดับความดังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมและการควบคุมการเตือนเฟสของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากคลื่นเสียงรบกวนใช้การปรับด้วยมือ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระดับความดังของเสียงรบกวนที่มีความถี่ในช่วง 100 ถึง 600 Hz สามารถลดทอนลงได้ประมาณ 20 ถึง 25 dB

Thesis Title Active Noise Reduction at Low Frequency in Duct Flow using
a Single Monopole Source

Student Mr.Bancha Wichianchom

Student ID. 41062021

Degree Master of Engineering

Program Mechanical Engineering

Year 2001

Thesis Advisor Assoc.Prof. Akradech Sindhuphak

ABSTRACT

This paper describes the study of active noise control using a single monopole source based on very low frequency in duct with flow not more than 40 m/s at room temperature. In this study , at first we measured sound pressure level at each specific frequency. Then the manual adjusted feedforward controller is designed by using the phase shift basis. Experiments are carried out using the designed controller. The experimental results shown that noise reduction about 20 to 25 dB obtain over the frequency range from 100 to 600 Hz.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ก็ด้วยความหวังโย ให้กำลังใจ ชี้นำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมเสียง การควบคุมเสียง การลดเสียงรบกวน จากท่าน อาจารย์ รองศาสตราจารย์ อัครเดช สินธุภักดิ์ ซึ่งท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ได้รับจากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังใคร่ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารอ้างอิงที่ใช้ประกอบการวิจัยนี้รวมทั้งยังใคร่ขอขอบคุณ คุณวสันต์ โดยด่วน ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ในการสร้างวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และคุณวิชาญ อมรภิญโญเกียรติ ที่ได้ช่วยเหลือในการสแกนรูปภาพบางส่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งทั้งสองท่านเป็นเพื่อนร่วมงานที่บริษัทที่ผู้วิจัยอยู่

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อคุณแม่ผู้ให้กำเนิดและเป็นครูคนแรกของผู้วิจัย รวมทั้งครู-อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่เด็กจนเติบโต ส่วนความบกพร่องทั้งหลายถ้ามีผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

บัญชา วิเชียรชม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
รายการสัญลักษณ์.....	XV
ประมวลศัพท์.....	XVII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การใช้ระบบควบคุมแบบ Low-Pass Filter และ ใช้วัสดุ ดูดซับเสียงเพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับในท่อนำเสียงชนิดกลม.....	4
2.2 การใช้ระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ร่วมกับการใช้ Expansion Chamber เพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับในท่อนำเสียงชนิดกลม.....	4
2.3 การใช้ระบบควบคุมแบบ Model Matching ในภาคควบคุมแบบป้อน ไปข้างหน้าในท่อนำเสียงชนิดกลม.....	5
2.4 การใช้ระบบควบคุมสำเร็จรูป DIGISONIX dx47 กับท่อนำเสียงชนิด สี่เหลี่ยมที่มีอากาศไหล.....	6
บทที่ 3 หลักการลดทอนเสียงรบกวนในท่อด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม.....	7
3.1 แหล่งกำเนิดเสียงและการแผ่กระจายของคลื่นเสียง.....	7
3.2 การรวมกันของความดันเสียง.....	11
3.3 แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศในท่อโค้ง.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 Radiation Impedance.....	13
3.5 Acoustic Impedance.....	16
3.5 กลไกการลดทอนเสียงรบกวนในท่อ โดยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม.....	18
บทที่ 4 การออกแบบ การสร้าง และทดสอบ Controller.....	26
4.1 การออกแบบ Controller.....	26
4.2 การทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น.....	32
4.3 การทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบ ควบคุม.....	35
4.4 การวัดความเร็วเฉลี่ยของอากาศไหลในท่อนำคลื่นเสียง.....	37
บทที่ 5 การทดลอง.....	40
5.1 การจัดวางอุปกรณ์การทดลอง.....	40
5.2 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด.....	40
5.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	42
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	43
6.1 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ไม่มียากาศไหลในท่อ.....	44
6.2 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s.....	45
6.3 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s.....	46
6.4 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s.....	47
6.5 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s.....	48
6.6 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อดีเหลี่ยมและท่อกลม ในกรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.7 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลม ในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s	50
6.8 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลม ในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s	51
6.9 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลม ในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s	52
บทที่ 7 การวิจารณ์หรืออภิปรายผล.....	53
บทที่ 8 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	56
8.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
8.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก.....	58
ก. ตัวอย่างความเร็วเสียงในตัวกลางต่างๆ.....	59
ข. ตัวอย่างของเสียงที่สัมพันธ์กับระดับความดังของเสียง.....	60
ค. ระดับเสียงกับระยะเวลาในการฟัง.....	61
ง. ระดับความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	61
จ. บันทึกผลการทดลอง	62
ฉ. แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อทั้งสองชนิด ในกรณีที่มีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดัง เสียงจากอากาศไหลที่ความเร็วต่างๆเอาไว้ด้วย.....	101
ช. แสดงบทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงจำนวนของจุดวัดที่ใช้ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลม.....	39
4.2 แสดงจำนวนของจุดวัดที่ใช้ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม.....	39
6.1 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s.....	62
6.2 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s.....	63
6.3 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s.....	64
6.4 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s.....	65
6.5 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s.....	66
6.6 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 25 m/s.....	67
6.7 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s.....	68
6.8 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s.....	69
6.9 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s.....	70
6.10 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s.....	71
6.11 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s.....	72
6.12 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s.....	73
6.13 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s.....	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.14 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในห้องลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s.....	75
6.15 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในห้องลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 25 m/s.....	76
6.16 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในห้องลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s.....	77
6.17 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในห้องลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s.....	78
6.18 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในห้องลม ที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s.....	79
6.19 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงภูมิหลังในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s.....	80
6.20 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s.....	81
6.21 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s.....	82
6.22 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s.....	83
6.23 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s.....	84
6.24 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 25 m/s.....	85
6.25 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s.....	86
6.26 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s.....	87
6.27 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในห้องสี่ เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s.....	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.28 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงภูมิหลังในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s.....	89
6.29 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s.....	90
6.30 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s.....	91
6.31 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s.....	92
6.32 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s.....	93
6.33 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 25 m/s.....	94
6.34 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s.....	95
6.35 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s.....	96
6.36 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อ กลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s.....	97
6.37 บันทึกผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ระยะห่าง ต่างๆกันของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว.....	98
6.38 บันทึกผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงทิศทางของไมโคร โฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่ความถี่เสียงต่างๆ.....	99
6.39 บันทึกผลการทดสอบการตอบสนองความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบบควบคุม.....	100

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองของ [1].....	4
2.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองของ [2].....	5
2.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองของ [3].....	5
2.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองของ [3].....	6
3.1 แบบจำลองแหล่งกำเนิดเสียงชนิด Monopole.....	7
3.2 แสดงท่อโค้งแบบ Mitred ซึ่งก่อให้เกิดเสียงรบกวนเมื่อมีอากาศไหล.....	12
3.3 ลูกสูบเคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบที่มีความยาวเป็นอนันต์โดย ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในทิศทางแกน z ด้วย Velocity Amplitude u_0	14
3.4 แสดงการวางตัวและพิกัดของลูกสูบที่ใช้ในการคำนวณค่า Radiation Impedance.....	16
3.5 แสดงเส้นทางเดินของเสียงในท่อปลายเปิด ที่มีค่า Acoustic Impedance : Z_2 ที่ภาคตัด A และมีค่ารับแก้ของด้านปลายท่อเท่ากับ Z_0	17
3.6 แสดงการลดทอนเสียงรบกวน โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม ในท่อยาวกึ่งอนันต์.....	20
3.7 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของแหล่งกำเนิดเสียงแบบลูกสูบ กลมที่ติดตั้งอยู่บนผนังท่อ.....	20
3.8 แสดงการรวมกันของคลื่นเสียงสองขบวนแบบสมบูรณในการ ลดทอนเสียงรบกวน โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนในท่อนำเสียงยาวกึ่งอนันต์.....	22
4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการลดทอนเสียงรบกวน.....	26
4.2 แสดงรายละเอียดวงจรภายในของ Controller.....	26
4.3 การจัดวางไมโครโฟนรับเสียงสองตัวในแนวแกนเดียวกันคลื่นเสียงที่มีเฟส เดียวกันเมื่อเดินทางถึงไมโครโฟนพร้อมกันจะถูกหักล้างโดยวงจรขยายความแตกต่าง.....	27
4.4 แสดงวงจรของ Unidirectional Microphone.....	29
4.5 แสดงวงจรของ Automatic Volume.....	30
4.6 แสดงวงจรเลื่อนเฟส.....	31
4.7 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ ของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว.....	33
4.8 แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ทั้งสองแตกต่างกัน.....	33

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แผนภาพแสดงลักษณะเชิงทิศทางของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่ความถี่ต่างๆ.....	34
4.10 แสดงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบหาค่าการตอบสนองความถี่.....	36
4.11 แสดงผลตอบสนองความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบบควบคุม.....	36
4.12 ตำแหน่งของจุดวัดด้วยท่อปีโคคบนพื้นที่หน้าตัดของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลม.....	38
4.13 ตำแหน่งของจุดวัดด้วยท่อปีโคคบนพื้นที่หน้าตัดของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม.....	38
5.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง.....	40
6.1 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 0 m/s.....	44
6.2 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 0 m/s.....	44
6.3 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 5 m/s.....	45
6.4 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 5 m/s.....	45
6.5 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 10 m/s.....	46
6.6 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 10 m/s.....	46
6.7 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 15 m/s.....	47
6.8 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 15 m/s.....	47
6.9 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 20 m/s.....	48
6.10 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลมกรณีที่มีความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 20 m/s.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.11 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 25 m/s.....	49
6.12 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 25 m/s.....	49
6.13 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 30 m/s.....	50
6.14 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 30 m/s.....	50
6.15 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 35 m/s.....	51
6.16 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 35 m/s.....	51
6.17 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 40 m/s.....	52
6.18 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลมกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 40 m/s.....	52
6.19 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับ ความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 0 m/s.....	101
6.20 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลม โดยมีการแสดงระดับ ความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 0 m/s.....	101
6.21 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับ ความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 5 m/s.....	102
6.22 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลม โดยมีการแสดงระดับ ความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 5 m/s.....	102
6.23 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับ ความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 10 m/s.....	103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.24 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 10 m/s.....	103
6.25 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 15 m/s.....	104
6.26 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 15 m/s.....	104
6.27 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 20 m/s.....	105
6.28 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 20 m/s.....	105
6.29 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 25 m/s.....	106
6.30 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 25 m/s.....	106
6.31 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 30 m/s.....	107
6.32 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 30 m/s.....	107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.33 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 35 m/s.....	108
6.34 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 35 m/s.....	108
6.35 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 40 m/s.....	109
6.36 แสดงการลดทอนระดับความดังเสียงรบกวนในท่อกกลม โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังและระดับความดังเสียงจากอากาศไหลเอาไว้ด้วยกรณีที่ความเร็วอากาศไหลในท่อเท่ากับ 40 m/s.....	109

รายการสัญลักษณ์

- A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ
- a = รัศมีของแหล่งกำเนิดชนิดลูกสูบกลม
- c = ความเร็วเสียงในตัวกลาง (m/s)
- F_R = แรงที่กระทำบนลูกสูบ
- f_0 = ความถี่กึ่งกลางของ Octave Band
- H = ความกว้างของท่อโค้งที่มีอากาศไหลอยู่ภายใน
- I = ระดับความเข้มของเสียง W/m^2
- I_M = ความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิด Monopole
- j = ส่วนจินตภาพของจำนวนเชิงซ้อน
- k = ω/c = เลขคลื่น
- L_1 = ค่าระดับความเข้มของเสียง
- L_p = ค่าระดับความดังของเสียง
- L_w = ค่าระดับกำลังของเสียง
- L_{WB} = Octave Band Sound Power Level
- L_{ws} = ค่ากำลังของกระแสน้ำอากาศ
- M = U/c = Mach Number
- N_s = Strouhal Number
- P = ค่าความดันของเสียง
- $\langle P^2 \rangle$ = ค่าความดันยกกำลังสองเฉลี่ย
- P_A = คือคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่หนึ่งซึ่งเดินทางไปทางด้าน Downstream
- P_C = คือผลรวมของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดทั้งสองที่จุดใดๆ ทางด้าน Downstream ของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สอง
- P_B = คือคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองซึ่งเดินทางไปทางด้าน Upstream
- P_{ref} = ความดันเสียงที่ใช้เป็นค่าอ้างอิง
- Q = ค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงหรือคือค่าสูงสุดของความเร็วเชิงปริมาตร
- Q_p = ค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงหรือคือค่าสูงสุดของความเร็วเชิงปริมาตรของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งแรก
- Q_s = ค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงหรือคือค่าสูงสุดของความเร็วเชิงปริมาตรของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

- R_s = ส่วนที่เป็น Real Part ของค่า Acoustic Impedance
 R_R = ส่วนที่เป็น Real Part ของ Radiation Impedance
 r = ระยะทางในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง
 r' = ระยะทางที่อ้างอิงตามรูปที่ 3.3
 S = พื้นที่ภาคตัดขวางภายในของท่อนำคลื่นเสียง
 t = ค่าเวลา
 U = ความเร็วในการไหลเฉพาะที่เฉลี่ย
 u = ค่าความเร็วเชิงอนุภาค
 $\langle u^2 \rangle$ = ค่ากำลังสองเฉลี่ยของความเร็วเชิงอนุภาค
 W = กำลังของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงใดๆ มีหน่วยเป็น วัตต์
 W_M = กำลังของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิด Monopole
 X_s = ส่วนที่เป็น Reactive Part ของค่า Acoustic Impedance
 X_R = ส่วนที่เป็น Imaginary Part ของ Radiation Impedance
 Z_s = Acoustic Impedance
 $Z_{p,r}$ = คือ Acoustic Impedance ของแหล่งกำเนิดที่หนึ่ง โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากสนามเสียงอื่นๆ
 $Z_{p,i}$ = คือ Acoustic Impedance ของท่อที่มีความยาวเป็นอนันต์ที่กระทำต่อแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่หนึ่ง
 Z_R = Radiation Impedance
 $Z_{s,r}$ = Acoustic Impedance ที่เกิดจากคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองที่เดินทางมาตกกระทบบนผิวหน้าลูกสูบที่สมมุติให้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่หนึ่งแล้วเกิดการสะท้อนกลับที่ผิวหน้าลูกสูบ
 $Z_{s,i}$ = Acoustic Impedance ภายในท่อยาวอนันต์ของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สอง
 z = พิกัดในแนวแกน Z
 ω = ค่าความถี่เชิงมุมของคลื่นเสียง
 θ = ค่ามุมที่แสดงดังรูปที่ 3.3 หรืออาจจะใช้แทนมุมเฟสเริ่มต้นของคลื่นเสียง
 ρ = ความหนาแน่นของตัวกลางเสียง
 ϕ = ค่ามุมที่แสดงดังรูปที่ 3.4 หรืออาจจะใช้แทนฟังก์ชันศักย์ของเสียง
 ψ = ค่ามุมที่แสดงดังรูปที่ 3.4
 σ = ความยาวในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางถึงพื้นผิวเล็กๆ ds' ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลศัพท์

Acoustic Impedance	= ความต้านทานต่อการแผ่กระจายคลื่นเสียงของตัวกลาง
Broadband Noise	= เสียงรบกวนที่มีหลายความถี่ผสมกันอยู่
Control Source	= แหล่งกำเนิดเสียงที่ใช้ลดทอนเสียงรบกวน
Downstream	= ทิศทางการเดินทางของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนไป ทางด้านแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม
Error Microphone	= ไมโครโฟนที่ใช้ตรวจวัดเสียงรบกวนที่ยังหลงเหลืออยู่หลังผ่าน การลดทอนไปแล้ว
Expansion Chamber	= อุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนแบบเชิงกลแบบหนึ่ง
Feedforward Control	= การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า
Feedback Control	= การควบคุมแบบป้อนกลับ
Low-Pass Filter	= วงจรกรองที่ยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่านได้เท่านั้น
Model Matching	= การสร้างแบบจำลองเลียนแบบคลื่นบีบอัดจริง
Periodic Noise	= เสียงรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบ
Primary Source	= แหล่งกำเนิดเสียงที่จำลองเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน
Phase Shift Basis	= หลักการการเลื่อนเฟสของสัญญาณ
Random Noise	= เสียงรบกวนที่มีลักษณะไม่เป็นคาบ
Radiation Load	= ภาระที่กระทำต่อการแผ่กระจายออกไปของคลื่นเสียงจากแหล่ง กำเนิดเสียงผู้ตัวกลาง
Radiating Surface	= พื้นผิวที่เป็นแหล่งกำเนิดของการแผ่กระจายคลื่นเสียงออกไป
Radiation Impedance	= ความต้านทานต่อการแผ่กระจายออกไปของคลื่นเสียงจากแหล่ง กำเนิดเสียงผู้ตัวกลาง
Reference Microphone	= ไมโครโฟนที่ใช้ตรวจวัดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน
Secondary Source	= แหล่งกำเนิดเสียงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงหักล้างเสียงรบกวน
Sound Pressure Level	= ระดับความดังเสียง
Sound Power Level	= ระดับกำลังของเสียง
Sound Intensity	= ความเข้มของเสียง
Time Delay Basis	= หลักการการประวิงเวลา
Upstream	= ทิศทางการเดินทางของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมไป ทางด้านแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ยอมรับกันว่าเสียงรบกวนเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมประเภทหนึ่ง ซึ่งมีผลเสียต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้มีความพยายามเป็นอย่างยิ่งในการที่จะแก้ไขปัญหานี้ โดยการปรับปรุงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนให้ปลดปล่อยระดับความดังของเสียงรบกวนลงหรือกำจัดออกไป ดังนั้นในหลายประเทศจึงได้มีการออกกฎหมายและทำการกำหนดมาตรฐานในการควบคุมระดับความดังของเสียงรบกวนขึ้นมาบังคับใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในบริเวณที่มีคนทำงานอยู่

ปัจจัยที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนมีอยู่หลายประการด้วยกัน(ทั้งที่อยู่ในช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยินและไม่ได้ยิน) เช่นเสียงพูดที่อื้ออึงของกลุ่มมวลชนจำนวนมาก เสียงจากการคมนาคมขนส่งบนถนน เสียงจากการทำงานของเครื่องจักรกล เครื่องยนต์เป็นต้น เสียงที่จัดอยู่ในประเภทเสียงรบกวน เช่น เสียงที่มีระดับความดังสูงเกินไป เสียงที่ประกอบด้วยความถี่รำคาญ เสียงที่มีลักษณะที่มนุษย์รำคาญ เสียงรบกวนดังกล่าวล้วนมีผลเสียต่อมนุษย์ทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ ยกตัวอย่างเช่นระดับความดังของเสียงรบกวนที่รุนแรงมีผลถึงขนาดทำลายอวัยวะภายในของหูทำให้หูหนวกอย่างถาวรได้ นอกจากนี้เสียงรบกวนก็ยังมีผลทำให้ความดันเลือดในร่างกายสูงขึ้นรวมทั้งผลเสียอื่นๆอีกมากมาย สิ่งที่สำคัญที่สุดในการจำแนกผลเสียต่อมนุษย์จากเสียงรบกวนก็คือ เสียงรบกวนนั้นมีผลเสียต่อมนุษย์อย่างไร จากการศึกษาพบว่าคนที่ทำงานอยู่ภายในบริเวณที่มีเสียงรบกวนมากๆจะทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง

ปัญหาจากเสียงรบกวนที่มีผลเสียต่อสุขภาพมากที่สุดคือการสูญเสียการได้ยิน การสัมผัสกับเสียงรบกวนที่มีระดับความดังของเสียงที่สูงเพียงพอและเป็นเวลานานจะมีผลทำให้หูอวัยวะภายในหูได้รับความเสียหาย ยกตัวอย่างเช่นถ้ามนุษย์ได้รับเสียงที่มีระดับความดัง 85 dB(A) เป็นเวลานานประมาณ 8 ชั่วโมงทุกวันต่อเนื่องกันเป็นเวลาหลายปีจะทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยินอย่างถาวร ในทำนองเดียวกันถ้าได้รับเสียงที่มีระดับความดัง 80 dB(A) เป็นเวลานานประมาณ 24 ชั่วโมงทุกวันต่อเนื่องกันเป็นเวลานานหลายปีก็จะมีผลทำนองเดียวกันด้วย แต่ถ้าได้รับเสียงที่มีระดับความดัง 150 dB(A) เพียงช่วงเวลาสั้นๆก็จะทำให้หูหนวกอย่างถาวรได้เช่นกัน

กฎหมายสิ่งแวดล้อมเรื่องเสียงในการทำงานของลูกจ้างของกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคมหมวดที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้คือ

ข้อ 13 ภายในสถานที่ประกอบการที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงานดังต่อไปนี้

- ไม่เกินวันละ 7 ชม. ต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 90 dB(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เกินวันละ 7 ชม.แต่ไม่เกินวันละ 8 ชม.จะต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 85 dB(A)

- เกินวันละ 8 ชม.จะต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 80 dB(A)

ข้อ 14 นายจ้างจะให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีระดับเสียงเกินกว่า 140 dB(A) มิได้

ข้อ 15 ภายในสถานที่ประกอบการที่มีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันเกินกว่าที่กำหนดไว้ในข้อ 13 ให้นายจ้างแก้ไข หรือปรับปรุงสิ่งที่เป็นต้นกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียงมิให้มีระดับเสียงเกินกว่าที่กำหนดไว้ในข้อ 13

ข้อ 16 ในกรณีที่ไม้อาจปรับปรุงหรือแก้ไขตามความในข้อ 15 ได้ให้นายจ้างจัดให้ลูกจ้างสวมใส่ปลั๊กอุดเสียงหรือครอบหูลดเสียง ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในหมวด 4 ตลอดเวลาทำงาน

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าผลเสียของเสียงรบกวนที่มีต่อมนุษย์นั้นค่อนข้างจะร้ายแรง ดังนั้นการลดทอนระดับความดังหรือการกำจัดเสียงรบกวนจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง และวิธีการหนึ่ง ที่นิยมใช้กันในการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนในช่วงความถี่ต่ำในท่อนำเสียงก็คือ การใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนในท่อนำเสียง โดยการใช้อุปกรณ์ลดเสียงเชิงกลเช่น Resonator ไม่สามารถลดทอนเสียงรบกวนที่มีความถี่อยู่ในช่วงต่ำๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นมันยังมีขนาดที่ใหญ่เทอะทะและยังทำให้เกิดการสูญเสียความดันสูงในท่อนำเสียง แต่ระบบการลดทอนเสียงรบกวนแบบใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมมีข้อดีก็คือเป็นระบบที่มีขนาดเล็กที่สามารถทำการติดตั้งเอาไว้บนผนังของท่อนำเสียงได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันในท่อนำเสียงน้อยลงมากด้วย [5] ดังนั้นหากเราทราบวาระบบการลดทอนเสียงรบกวนโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมที่ใช้ระบบควบคุมแบบง่ายๆมีประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนได้ดีแล้วเราก็สามารถนำเอาระบบนี้มาใช้งานทดแทนระบบเชิงกลเดิมได้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เนื่องจากระบบลดทอนเสียงรบกวนแบบใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมมักจะถูกนำมาใช้ลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนในช่วงความถี่ต่ำโดยเฉพาะในช่วงความถี่ 100-600 Hz โดยอาศัยหลักการประวิงเวลา (Time Delay Basis) ซึ่งสามารถทำได้โดยนำสัญญาณรบกวนที่ตรวจวัดได้โดยไมโครโฟนอ้างอิงมากลับเฟสให้เปลี่ยนไป 180 องศาพร้อมกับปรับขนาดแอมพลิจูดให้เหมาะสมและหน่วงเวลาไว้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสัญญาณที่ดำเนินการดังกล่าวแล้วไปขับลำโพงควบคุมซึ่งจะทำให้คลื่นเสียงรบกวนเดิมและคลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปจากลำโพงควบคุมมีเฟสการค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงข้ามกัน 180 องศาพอดี ณ จุดที่ลำโพงควบคุมติดตั้งอยู่ จึงมีผลให้เกิดการรวมกันแบบหักล้างของคลื่นเสียงทั้งสองเกิดขึ้นซึ่งสามารถใช้ลดทอนเสียงรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบ (Periodic Noise) และไม่เป็นคาบ (Random Noise) ได้ดี สำหรับในการทดลองนี้เราจะทำการศึกษาดังกล่าวเป็นไปได้ในการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนในท่อนำเสียงที่มีลักษณะเป็นคาบในช่วงความถี่ 100-600 Hz เช่นเดียวกันแต่จะใช้หลักการของการเลื่อนเฟส (Phase Shift Basis) ของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากไมโครโฟนอ้างอิงให้เลื่อนไปจนกว่าคลื่นเสียงที่ปล่อยออกจากลำโพงควบคุมมีเฟสต่างกัน 180 องศากับคลื่นเสียงรบกวนเดิมพร้อมกับปรับขนาดของแอมพลิจูดให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการรวมกันแบบหักล้างของคลื่นเสียง ณ จุดที่ลำโพงควบคุมติดตั้งอยู่

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้หลักการและวิธีการที่ได้รับการจดสิทธิบัตรครั้งแรกโดย Lueg (1936) ซึ่งต่อมาตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษ 1950 เป็นต้นมาได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้พยายามพัฒนาระบบลดทอนเสียงรบกวนด้วยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจนถึงปัจจุบัน

หลักการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนด้วยการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม (Active Noise Control) คือหลักการที่ใช้ในการลดทอนเสียงรบกวนลงโดยอาศัยการหักล้างกันของคลื่นเสียงรบกวน (Primary Source) และคลื่นเสียงที่ได้จากแหล่งกำเนิดเสียงที่สร้างขึ้น (Secondary Source) หรือแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม (Control Source) ที่มีเฟสของคลื่นเสียงต่างกัน 180 องศากับคลื่นเสียงรบกวนเดิม

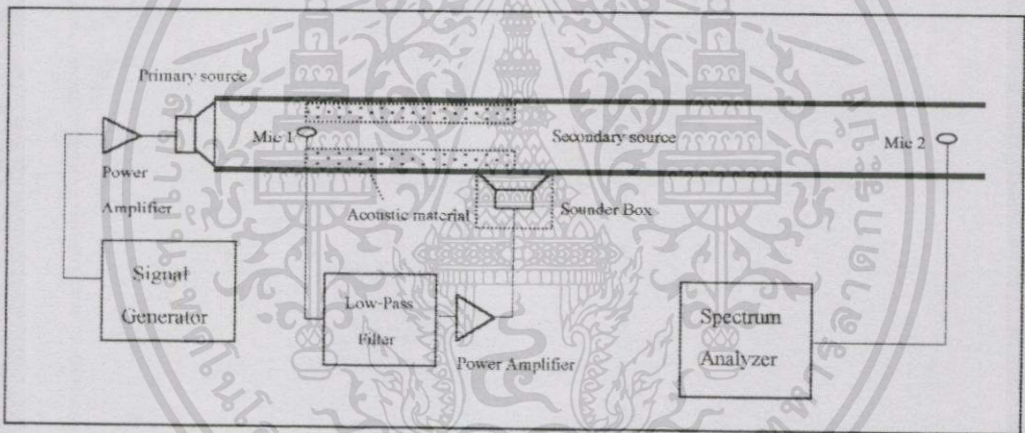
1.5 ขอบเขตการวิจัย

จะทำการศึกษารลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมในย่านความถี่ต่ำในช่วง 100-600 Hz ที่แผ่กระจายไปในท่อนำเสียงสองชนิดคือชนิดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดความกว้างของหน้าตัดภายใน 44x44 mm. และชนิดท่อกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 43 mm. โดยท่อทั้งสองชนิดมีขนาดความยาวเท่ากับ 4 m. โดยศึกษาในกรณีที่อยู่ในท่อมืออากาศไหลอยู่ในช่วง 0-40 m/s และอุณหภูมิของอากาศในท่อเท่ากับอุณหภูมิห้อง

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การใช้ระบบควบคุมแบบ Low-Pass Filter และใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับในท่อนำเสียงชนิดกลม

Zhou J. และ Shi T. [1] ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ Low Pass Filter แทนวงจรขดเคี้ยวที่ซับซ้อนที่ใช้กันทั่วไปในระบบควบคุมแบบแอนะล็อก นอกจากนี้ยังได้มีการบุผนังท่อนำเสียงในด้วยวัสดุที่ดูดซับเสียงได้ดี เพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับจากลำโพงควบคุมด้วยโดยมีรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังนี้

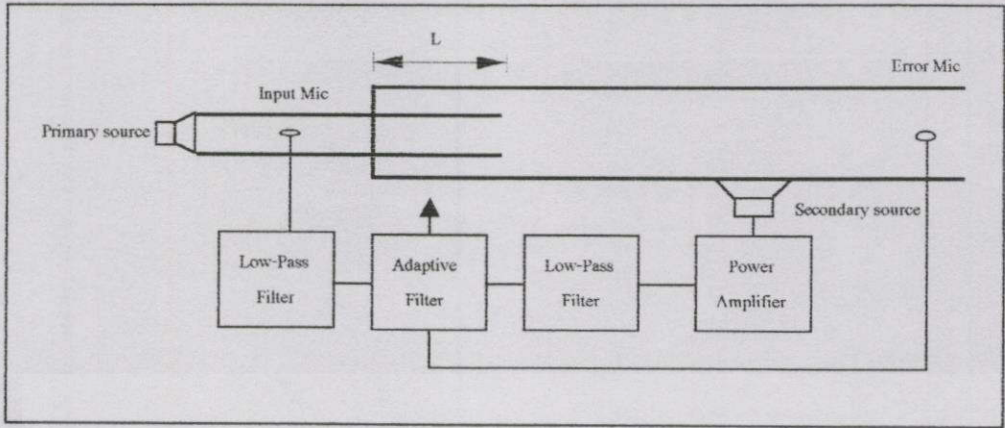


รูปที่ 2.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่าประสิทธิภาพของระบบควบคุมแบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเชิงทิศทางของไมโครโฟนอ้างอิง โดยถ้ามีคุณสมบัติเป็นไมโครโฟนรับเสียงในทิศทางเดียวแล้วจะทำให้เกิดการลดทอนเสียงรบกวนลงได้ดีจากผลการทดลองสามารถลดทอนเสียงรบกวนลงได้ประมาณ 28dB

2.2 การใช้ระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ร่วมกับการใช้ Expansion Chamber เพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับในท่อนำเสียงชนิดกลม

Chen K. T. และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการลดทอนเสียงรบกวนในท่อโดยใช้ระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ลดทอนเสียงแบบเชิงกลคือแบบ Expansion Chamber เพื่อลดอิทธิพลของเสียงป้อนกลับจากลำโพงควบคุม โดยมีรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

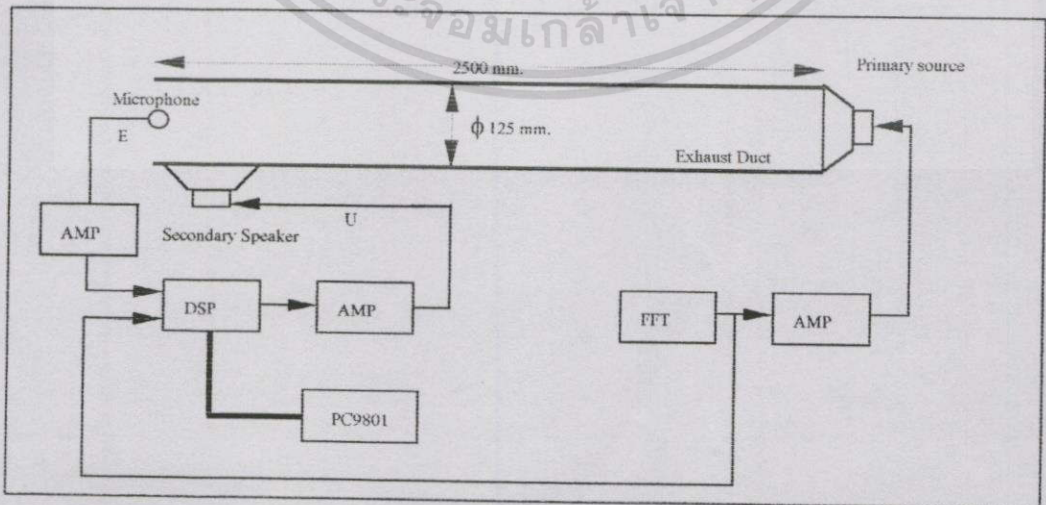


รูปที่ 2.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระบบลดทอนเสียงรบกวนนี้สามารถลดทอนเสียงรบกวนแบบ Dual-Tone ลงได้ 45 dB และสามารถลดทอนเสียงรบกวนแบบ Broadband ลงได้ 20 dB

2.3 การใช้ระบบควบคุมแบบ Model Matching ในภาคควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าในท่อนำเสียงชนิดกลม

Fan Q. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการลดทอนเสียงรบกวนในท่อ โดยการใช้ระบบควบคุมที่มีภาคควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Model Matching และใช้ H^∞ Feedback Controller ในส่วนของภาคควบคุมแบบป้อนกลับ โดยมีรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังนี้



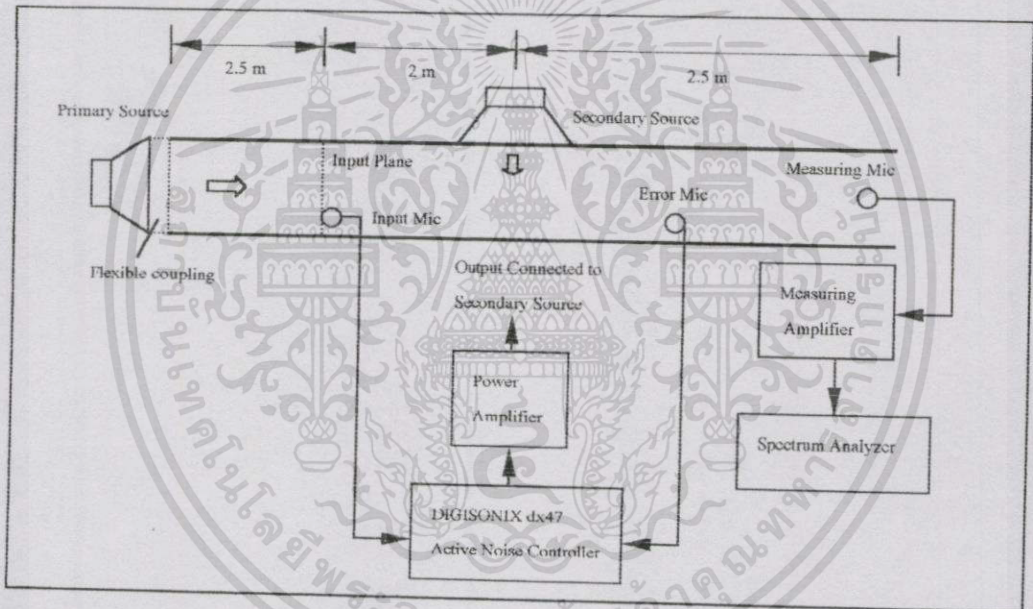
รูปที่ 2.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระบบลดทอนเสียงรบกวนนี้สามารถลดทอนเสียงรบกวนแบบ Broadband ในช่วงความถี่ 100 – 500 Hz ลงได้มากกว่า 15 dB

2.4 การใช้ระบบควบคุมสำเร็จรูป DIGISONIX dx47 กับท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมที่มีอากาศไหล

Tang S. K. และ Cheng J. S. F. [4] ได้ทำการศึกษาลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง 0.6 m สูง 0.4 m และยาว 7 m โดยมีความเร็วอากาศในท่อ 7 m/s โดยมีรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดลองดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองได้มีการศึกษาถึงตำแหน่งของการติดตั้ง Error Microphone ในระนาบพื้นที่หน้าตัดของท่อว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนอย่างไร ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่าในกรณีที่ไม่มีอากาศไหลในท่อตำแหน่งในการติดตั้ง Error Microphone ที่ดีที่สุดคือตรงจุดศูนย์กลางของท่อ รองลงมาก็คือที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของท่อและตำแหน่งที่เลวที่สุดก็คือมุมของท่อ แต่ในทางกลับกันในกรณีที่มีอากาศไหลแล้วตำแหน่งการติดตั้งของ Error Microphone ควรจะอยู่ที่มุมของท่อทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อมีอากาศไหลในท่อแล้วจะมีความแปรปรวนของความดันในท่อมาก ซึ่งเกิดจากความปั่นป่วนของการไหล นอกจากนั้นยังพบว่าสำหรับท่อที่มีอากาศไหลแล้วจะมีเพียงคลื่นเสียงระนาบเท่านั้นที่สามารถลดทอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

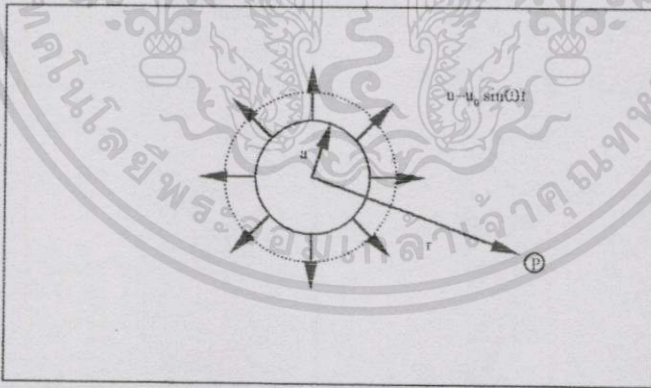
หลักการลดทอนเสียงรบกวนในท่อด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม

3.1 แหล่งกำเนิดเสียงและการแผ่กระจายของคลื่นเสียง

โดยปรกติแล้วแหล่งกำเนิดเสียงใดที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นเสียงที่มันกำเนิดออกมาหลายๆ แล้วเราจะถือว่าแหล่งกำเนิดนั้นเป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดจุดหรือแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมโนโพลที่มีขนาดเป็นศูนย์ (Zero Dimension) แต่อย่างไรก็ตามเราอาจจะจำแนกแหล่งกำเนิดเสียงตามคุณสมบัติของมันก็ได้เช่น แหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากการไหลของของไหลในท่อนำเสียงแล้วให้เสียงที่มีระดับความดังแปรผันกับอัตราการไหลยกกำลังห้าแล้ว เราจะถือว่าแหล่งกำเนิดเสียงนั้นเป็นชนิด ไคโพล ซึ่งมักจะเกิดจากการกีดขวางทางไหลของของไหลในท่อ [5]

3.1.1 แหล่งกำเนิดเสียงชนิดจุดหรือชนิดโมโนโพล

คือแหล่งกำเนิดเสียงที่ให้กำเนิดเสียงออกไปอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทางและขนาดของมันเล็กกว่าความยาวคลื่นเสียงที่มันกำเนิดออกมามากๆ คำนึงถึงเปรียบเสมือนว่าเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมโนโพล คือเสียงที่เกิดจากการสั่นของผิวทรงกลมขนาดเล็ก โดยที่ความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิดจุดหรือชนิดโมโนโพล นี้คือ



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมโนโพล

$$I_M = \frac{Q^2 k^2 \rho c}{32\pi^2 r^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ Q คือความแรงของแหล่งกำเนิดเสียง (Source Strength) หรือคือค่าสูงสุดของความเร็วเชิงปริมาตร (Volume Velocity) : (m^3/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ คือความหนาแน่นของอากาศที่เป็นตัวกลางคลื่นเสียง

c คือความเร็วของเสียงในอากาศที่เป็นตัวกลาง

r คือระยะทางในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง

$k = \omega/c = 2\pi f/c = 2\pi/\lambda$ คือเลขคลื่น (Wave Number)

ω คือความถี่เชิงมุมของคลื่นเสียง

$$Q = 4\pi a^2 u_0 \quad (3.2)$$

เมื่อ u_0 = คือแอมพลิจูดของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงชนิด โมโน โพล คังรูปที่ 3.1

และกำลังของเสียงที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิด โมโน โพล หาได้จากการอินทิเกรตความเข้มเสียงตลอดพื้นที่ผิวทรงกลมรัศมี r ใดๆ ที่ต้องการ ซึ่งจะได้กำลังของเสียงที่กำเนิดออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงชนิด โมโน โพล : W_M คือ

$$W_M = \frac{Q^2 k^2 \rho c}{8\pi} \quad (3.3)$$

และสามารถหาค่าความดันเสียงยกกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Acoustic Pressure) : $\langle P^2 \rangle$ ที่ระยะทาง r ใดๆ จากแหล่งกำเนิดเสียงได้จากสมการข้างล่างนี้คือ

$$\langle P^2 \rangle = \frac{(Qk\rho c)^2}{32\pi^2 r^2} = \frac{W_M \rho c}{4\pi r^2} \quad (3.4)$$

3.1.2 พฤติกรรมของของไหลที่กระทำเป็นตัวเป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมโนโพล

ตัวอย่างหนึ่งของของไหลที่มีพฤติกรรมเป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมโนโพล ก็คือทางเข้าหรือทางออกของปั๊มแบบลูกสูบชักหรือปากทางออกของเครื่องยนต์แบบลูกสูบชัก ในทั้งสองกรณีที่ยกตัวอย่างมานี้ ขนาดของแหล่งกำเนิดเสียงมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นเสียงที่มันเปล่งออกมามาก จากสมการที่ (3.3) เราอาจสมมุติได้ว่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียง Q แปรผันตรงกับพื้นที่ภาคตัดขวาง S ของทางเข้าหรือทางออกของเครื่องยนต์คูณกับความเร็วในการไหลเฉพาะที่เฉลี่ย (Local Mean Flow Speed : U) นั่นคือ $Q \propto SU$ และเลขคลื่น k ซึ่งมีค่าเท่ากับความถี่เชิงมุม ω หารด้วยความเร็วเสียง c ก็แปรผันตรงกับความเร็วเฉพาะที่เฉลี่ย U หารด้วย Characteristic Length ในทางกลับกันเราสามารถพิจารณาได้ว่าค่ากำลังสองของ Characteristic Length แปรผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงกับพื้นที่ภาคตัดขวางของทางเข้าหรือทางออกของเครื่องยนต์เช่นกัน ดังนั้น $k^2 \propto U^2/Sc^2$ แล้ว แทนค่าความสัมพันธ์นี้ลงในสมการ (3.3) และจากเลขมัค $M = U/c$ จะได้ว่า

$$W \propto (SpU^4/c) \propto (SpU^3)M \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.5) จะเห็นว่ากำลังของเสียงของของไหลที่มีพฤติกรรมเป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดโมนโพล จะเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสี่ของค่าความเร็วกระแสอากาศ

สำหรับท่อสี่เหลี่ยมจะมีเฉพาะคลื่นระนาบเคลื่อนที่ในท่อก็คือเมื่อขนาดของความกว้าง-สูงของท่อมีขนาดน้อยกว่า 0.5 เท่าของความยาวคลื่นเสียง [5]

สำหรับท่อกกลมจะมีเฉพาะคลื่นระนาบเคลื่อนที่ในท่อก็คือเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีขนาดน้อยกว่า 0.5861 เท่าของความยาวคลื่นเสียง [5]

3.1.3 ค่าระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level : L_p)

ความดันเป็นหน่วยทางวิศวกรรม แต่เนื่องจากหูของคนเราตอบสนองต่อพลังงานเสียงแบบลอการิทึมซึ่งพลังงานของเสียงแปรผันตรงกับค่ากำลังสองของความดัน

ความดันเสียงต่ำสุดที่มนุษย์เริ่มได้ยินคือ $20 \mu Pa$

ความดันเสียงที่สูงสุดที่มนุษย์เริ่มรู้สึกปวดหูคือ $60 Pa$

เนื่องจากช่วงความดันเสียงที่คนเราสามารถได้ยินมีช่วงกว้างมาก ดังนั้นถ้าใช้สเกลแบบเชิงเส้นธรรมดาในการแบ่งระดับความดังของเสียงจะไม่เหมาะสม จึงได้มีการใช้สเกลแบบลอการิทึมแทน และเพื่อไม่ให้สเกลมีค่าที่ชิดกันเกินไปจึงใช้การคูณ 10 เข้าไปอีกทีหนึ่งจึงทำให้ระดับความดังของเสียงมีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) ซึ่งกำหนดโดยสมการข้างล่างนี้คือ

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{\langle P^2 \rangle}{P_{ref}^2} = 10 \log_{10} \langle P^2 \rangle - 10 \log_{10} P_{ref}^2 \quad (dB) \quad (3.6)$$

เมื่อเครื่องหมาย $\langle \rangle$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่อยู่ภายในเครื่องหมายนี้ และ P_{ref} คือค่าความดันอ้างอิงและเพื่อให้ค่าระดับความดังของเสียงเป็นค่าที่สมบูรณ์ในตัวเอง จึงได้กำหนดความดันอ้างอิงให้สอดคล้องกับความดันต่ำสุดที่คนเราเริ่มได้ยิน ดังนั้นการวัดระดับความดังของเสียงจึงเป็นการวัดระดับความดังเมื่อเทียบกับค่าความดันเสียง $20 \mu Pa$ นั่นคือจะได้

$$L_p = 10 \log_{10} \langle P^2 \rangle + 94 \quad (dB) \quad (3.7)$$

ในสมการ (3.7) ความดันเสียงวัดในหน่วยปาสคาล

3.1.4 ค่าระดับกำลังของเสียง (Sound Power Level : L_w)

ค่าระดับกำลังของเสียงนิยามว่าเป็น

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{(\text{Sound Power})}{(\text{Reference Sound Power})} \quad (\text{dB}) \quad (3.8)$$

โดยระดับกำลังของเสียงใช้ค่าอ้างอิงที่ 10^{-12} W และเมื่อแทนค่านี้ลงในสมการ (3.8) จะได้ว่า

$$L_w = 10 \log_{10} W + 120 \quad (\text{dB}) \quad (3.9)$$

และกำลังของเสียง W มีหน่วยเป็นวัตต์

3.1.5 ระดับความเข้มของเสียง (Sound Intensity : L_i)

ระดับความเข้มของเสียงนิยามว่าเป็น

$$L_i = 10 \log_{10} \frac{(\text{Sound Intensity})}{(\text{Reference Sound Intensity})} \quad (\text{dB}) \quad (3.10)$$

เมื่อระดับความเข้มของเสียงใช้ค่าอ้างอิงที่ 10^{-12} Wm⁻² เมื่อแทนลงในสมการ (3.10) จะได้

$$L_i = 10 \log_{10} I + 120 \quad (\text{dB}) \quad (3.11)$$

โดยที่ $I = \langle p^2 \rangle / \rho c$ (3.12)

เมื่อ I คือความเข้มของเสียงมีหน่วยเป็น W/m² ,

ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (3.12) ลงในสมการ (3.11) ร่วมกับสมการ (3.7) จะได้

$$L_i = L_p + 26 - 10 \log_{10} (\rho c) \quad (\text{dB}) \quad (3.13)$$

3.2 การรวมกันของความดันเสียง (Combining Sound Pressures)

3.2.1 การรวมกันของความดันเสียงที่มีความถี่เท่ากัน (Addition of Coherent Sound Pressures)

โดยปรกติทั่วไปเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละแหล่งจะมีเฟสแตกต่างกันและมีลักษณะแบบเชิงสุ่มซึ่งเราเรียกว่าแหล่งกำเนิดเสียงเหล่านั้น Incoherent กัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคลื่นเสียงที่มีความถี่เท่ากันมารวมกันก็จะต้องนำเฟสที่แตกต่างกันมาพิจารณาด้วย ถ้าให้

$$p_i = P_i \cos(\omega t + \beta_i), i = 1, 2 \text{ และ } p = p_1 + p_2 \text{ แล้ว}$$

$$p^2 = P_1^2 \cos^2(\omega t + \beta_1) + P_2^2 \cos^2(\omega t + \beta_2) + 2P_1 P_2 \cos(\omega t + \beta_1) \cos(\omega t + \beta_2) \quad (3.14)$$

ใช้คุณสมบัติของตรีโกณมิติสามารถเขียนสมการ (3.14) ใหม่ได้คือ

$$p^2 = \frac{1}{2} P_1^2 (1 + \cos 2(\omega t + \beta_1)) + \frac{1}{2} P_2^2 (1 + \cos 2(\omega t + \beta_2)) + P_1 P_2 [\cos(2\omega t + \beta_1 + \beta_2) + \cos(\beta_1 - \beta_2)] \quad (3.15)$$

จากสมการที่ (3.15) เราสามารถหาค่าความดันรวมกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Sound Pressure) $\langle p^2 \rangle$ ได้โดยแทนค่าความดันในสมการ (3.15) ลงในสมการที่ (3.16) ดังนี้คือ

$$\langle p_{(r,t)}^2 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (p_{(r,t)}) (p_{(r,t)}) dt \quad (3.16)$$

เมื่อ $p_{(r,t)}$ คือค่าความดัน ณ จุดวัดที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง r ที่เวลาใดๆ และ T คือช่วงเวลาที่ทำการเฉลี่ยความดัน และเครื่องหมาย $\langle \rangle$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่อยู่ภายใน ดังนั้นสำหรับคลื่นเสียงสองขบวนที่มีความถี่เท่ากันและมีค่าความดันกำลังสองเฉลี่ย $\langle p_1^2 \rangle$ และ $\langle p_2^2 \rangle$ โดยมีความต่างเฟสเท่ากับ $\beta_1 - \beta_2$ แล้วจะสามารถหาค่าความดันรวมกำลังสองเฉลี่ย $\langle p^2 \rangle$ ได้จากสมการ

$$\langle p^2 \rangle = \langle p_1^2 \rangle + \langle p_2^2 \rangle + 2\langle p_1 p_2 \rangle \cos(\beta_1 - \beta_2) \quad (3.17)$$

และถ้าคลื่นเสียงสองขบวนใดๆที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อยเกิดการรวมกันแล้วก็ยังคงใช้สมการที่ (3.17) ได้เพียงแต่เราจะแทนที่เทอมของผลต่างเฟสด้วยค่าของผลคูณระหว่างผลต่างของความถี่กับเวลาลงไปแทนซึ่งในกรณีเช่นนี้จะได้ค่าความดันรวมกำลังสองเฉลี่ยที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักรตามเวลาซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์ลักษณะนี้ว่า การเกิดบีต (Beating)

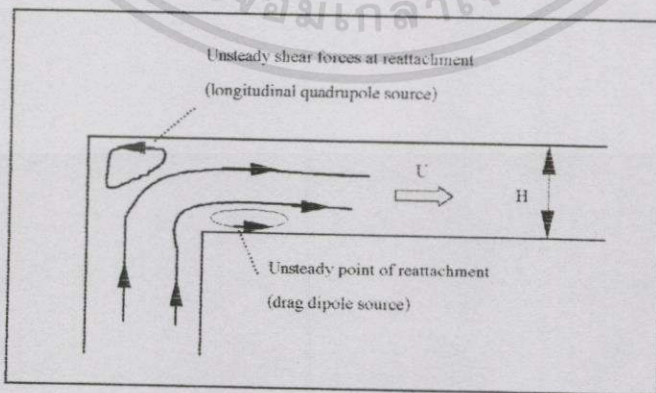
3.2.2 การรวมกันของความดันเสียงที่มีความถี่ไม่เท่ากัน (Addition of Incoherent Sound Pressures : Logarithmic Addition)

เมื่อคลื่นเสียงที่มีหลายความถี่มารวมกัน โดยที่มีเฟสเป็นแบบเชิงสุ่มแล้วสมการที่ (3.17) จะลดรูปลงมาเป็นกรณีที่มีการรวมกันของคลื่นเสียงแบบ Incoherent นั่นคือ

$$\langle p_i^2 \rangle = \langle p_1^2 \rangle + \langle p_2^2 \rangle \quad (3.18)$$

3.3 แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศในท่อโค้ง

ความไม่ต่อเนื่องใดๆ ที่เกิดขึ้นในท่อนำเสียงจะทำให้เกิดการรบกวนแก่อากาศที่ไหลในท่อนำเสียงซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่นเสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านท่อโค้ง และมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามถ้าอากาศไหลภายในท่อด้วยความเร็วต่ำแล้วเสียงรบกวนก็เกิดขึ้นน้อยมาก แต่จากการศึกษาพบว่าเสียงรบกวนจะมีความรุนแรงขึ้นด้วยอัตราของเลขมัค (Mach number) ยกกำลังสามและอัตราของความเร็วกระแสอากาศอิสระยกกำลังห้า (Free Stream) นั่นคือถ้าอากาศไหลในท่อด้วยความเร็วสูงเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากอากาศไหลจะมีมากจนเกินไป เกินกว่าที่อุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนจะควบคุมได้ [5]



รูปที่ 3.2 แสดงท่อโค้งแบบ Mitred ซึ่งก่อให้เกิดเสียงรบกวนเมื่อมีอากาศไหล

ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลในท่อเท่ากับ ρ (kg/m^3) พื้นที่ทั้งหน้าตัดของท่อเท่ากับ A (m^2) และความเร็วของกระแสอากาศอิสระเท่ากับ U (m/s) แล้ว กำลังของกระแสอากาศ L_{ws} เมื่อเทียบกับกำลังของเสียงที่มนุษย์เริ่มได้ยินเท่ากับ 10^{-12} W คือ

$$L_{ws} = 30\log_{10}U + 10\log_{10}A + 10\log_{10}\rho + 117 \quad (\text{dB}) \quad (3.19)$$

ถ้ากำหนดให้ H คือความสูงของท่อโค้ง และพิจารณาความถี่เสียงแบบ Octave Band เราจะได้ว่าตัวเลขไม่มีมิติที่เรียกว่า Strouhal Number ซึ่งนิยามขึ้นมาในเทอมของความถี่กึ่งกลางของ Octave Band f_0 (Hz) และความเร็วกระแสอากาศอิสระ U (m/s) และปริมาณ H ดังนี้คือ

$$N_s = f_0 H / U \quad (3.20)$$

และข้อมูลจากการทดลองของกำลังเสียงที่เกิดจากท่อโค้ง Mitred ที่ไม่มีการใช้ใบเบี่ยงเบนทิศทางลม (Turning Vanes) สอดคล้องกันกับสมการที่ได้จากการทดลองนี้คือ

$$L_{WB} - L_{ws} = -10\log_{10} [1 + 0.165N_s^2] + 30\log_{10} U - 103 \quad (\text{dB}) \quad (3.21)$$

เมื่อ L_{WB} คือ Octave Band Sound Power Level และ N_s คือ Strouhal Number ที่สอดคล้องกันกับความถี่กึ่งกลางของ Octave Band นั้นๆ

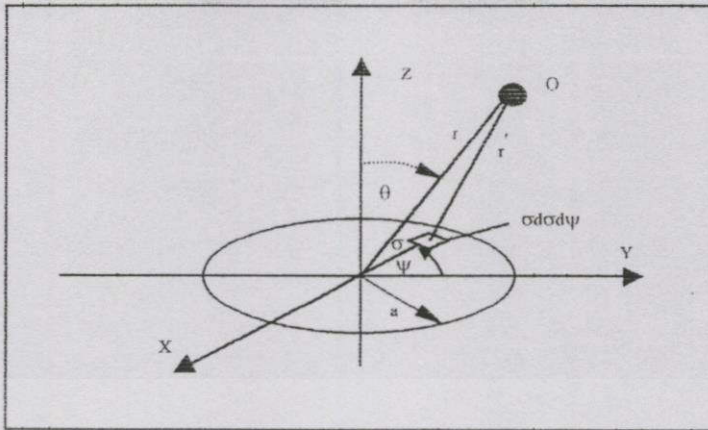
เทอมทางขวามือของสมการ (3.21) สามารถเปรียบเทียบได้กับตัววัดประสิทธิภาพของการเปลี่ยนจากกำลังของกระแสอากาศไปเป็นกำลังของเสียงรบกวน

หมายเหตุ จากสมการ (3.21) จะพบว่าสำหรับความเร็วอากาศต่ำๆ เช่น 1 m/s แล้วประสิทธิภาพนี้จะมีค่าน้อยมากๆ นั่นคือการเกิดเสียงรบกวนมีน้อยมากจนละเอียดได้ แต่ถ้าความเร็วอากาศมีค่ามากตั้งแต่ 10 m/s ขึ้นไปแล้ว ประสิทธิภาพนี้จะมีค่าสูงขึ้นคือจะทำให้เกิดเสียงรบกวนรุนแรงมากขึ้นอย่างชัดเจน [5]

3.4 Radiation Impedance

พิจารณาลูกสูบทรงกระบอกวางอยู่ภายในกระบอกสูบที่มีความเกร็ง (Rigid) มีความยาวเป็นอนันต์ดังรูปที่ 3.3 มักนิยมนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผิวที่สั้นของแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งอาจสมมุติได้เช่นเดียวกันกับการวางลำโพงไว้ในผนังกัน การสมมุติให้ความยาวของกระบอกสูบเป็นอนันต์ก็เพื่อที่จะสามารถประมาณต่อไปได้ว่า กำลังของเสียงที่แผ่ออกไปโดยลูกสูบจะกระจายเป็นรูปครึ่งทรงกลมเท่านั้น และกำหนดให้ลูกสูบรัศมี a นี้สั้นด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลูกสูบเคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบที่มีความยาวเป็นอนันต์ โดยลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในทิศ
ทางแกน z ด้วย Velocity Amplitude u_0

โดยมีแอมพลิจูดเท่ากับ u_0 และมีความถี่เท่ากับ ω (rad/s)

การหาคำตอบของการสั่นของลูกสูบนี้จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับกรณีของแหล่งกำเนิด
เสียงชนิดโมโนโพลซึ่งจะเริ่มจากการวิเคราะห์โดยกำหนดค่าคงที่ A ขึ้นมาโดยกำหนดให้

$$A = Q/(4\pi) \quad (3.22)$$

แทนสมการ (3.22) ลงในสมการของความเร็วเชิงอนุภาคในกรณีของการแผ่กระจายของคลื่นเสียง
ทรงกลมคือ

$$u = \frac{\Lambda e^{j(\omega t - kr)}}{r^2} + \frac{jk\Lambda e^{j(\omega t - kr)}}{r} \quad (3.23)$$

แล้วกำหนดให้ $r = a$ และสมมติว่า $ka \ll 1$ จะได้

$$u = \frac{(1 + jka)Qe^{j(\omega t - ka)}}{a^2 4\pi} \approx \frac{Qe^{j(\omega t - ka)}}{4\pi a^2} \quad (3.24(a,b))$$

ในสมการที่ (3.24(b)) ปริมาณ Q อาจแปลความหมายว่าเป็น การกระจัดเชิงปริมาตรของแหล่งกำเนิด
แทนสมการ (3.22) ลงในสมการของความเร็วเชิงอนุภาคในกรณีของการแผ่กระจายของคลื่นเสียงทรง
กลม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{jk\rho c A e^{j(\omega t - kr)}}{r} \tag{3.25}$$

จะได้สมการของความดันของเสียงในเทอมของความแรงของแหล่งกำเนิดเสียง คือ

$$P = \frac{jk\rho c Q e^{j(\omega t - kr)}}{4\pi r} \tag{3.26}$$

ในกรณีของเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ โดยมีการแผ่กระจายออกไปเป็นรูปครึ่งทรงกลมแล้วเทอม $Q/2$ สามารถแทนได้ด้วยเทอม $u_0 ds$ เมื่อ u_0 คือแอมพลิจูดของการสั่นของลูกสูบและ ds คือพื้นที่ผิวเล็กๆของลูกสูบ ถ้าเราสมมุติว่าการแผ่กระจายของคลื่นเสียงจากทุกๆจุดบนผิวหน้าของลูกสูบมีเฟสตรงกัน นั่นคือแหล่งกำเนิดเสียงทุกจุด Coherent กัน ดังนั้นที่จุดสังเกตที่ระยะทาง r' ใดๆ จะได้

$$dP = \frac{jk\rho c u_0 \sigma d\sigma d\psi e^{j(\omega t - kr')}}{2\pi r'} \tag{3.27}$$

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าระยะทาง r' สามารถเขียนได้ในเทอมของระยะทางจากเส้นแกนกลาง r ได้คือ

$$r' = [r^2 + \sigma^2 - 2r\sigma \sin\theta \cos\psi]^{1/2} \tag{3.28}$$

เป็นที่ทราบแล้วว่าเราสามารถหาค่า Radiation Impedance ได้จากการหารเทอมของแรงที่แปรตามเวลาสุทธิ ด้วยเทอมของความเร็วของการสั่นที่เวลาใดๆของลูกสูบ ดังนั้นถ้าเราอินทิเกรตสมการ (3.27) ทัวทั้งพื้นที่ผิวของลูกสูบจะได้เทอมของความดัน P_r ที่กระทำบนพื้นที่ผิวเล็กๆ ds และถ้าอินทิเกรตความดันที่ได้นี้ทัวทั้งพื้นที่ผิวอีกครั้งก็จะได้แรงที่กระทำต่อลูกสูบ

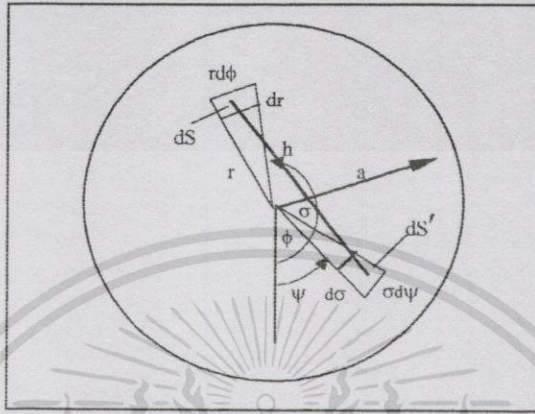
อ้างอิงพิคตจากรูปที่ 3.4 เราก็สามารถหาแรงที่กระทำบนลูกสูบได้คือ

$$F_R = \iint_s P_r ds = jk\rho c u_0 e^{j\omega t} \int_0^a r dr \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{2\pi} \sigma d\sigma \int_0^\pi e^{-jkh} d\psi \tag{3.29}$$

ดำเนินการอินทิเกรตต่อไปแล้วหารผลลัพธ์ที่ได้ด้วยเทอมของความเร็วของการสั่นที่เวลาใดๆของลูกสูบ $u_0 e^{j\omega t}$ ก็จะได้สมการของ Radiation Impedance คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_R = \frac{F_R}{u_0 e^{j\omega t}} = \rho c \pi a^2 [R_R(2ka) + jX_R(2ka)] \quad (3.30)$$



รูปที่ 3.4 แสดงการวางตัวและพิกัดของลูกสูบที่ใช้ในการคำนวณค่า Radiation Impedance

ค่า Radiation Impedance เป็นปริมาณเชิงซ้อน โดยมีส่วนจริงคือ $\rho c \pi a^2 R_R$ และเทอมจินตภาพคือ $\rho c \pi a^2 X_R$ เมื่อ R_R และ X_R คือ

$$R_R(z) = \frac{z^2}{2 \times 4} - \frac{z^4}{2 \times 4^2 \times 6} + \frac{z^6}{2 \times 4^2 \times 6^2 \times 8} - \dots \quad (3.31)$$

$$X_R(z) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{z}{3} - \frac{z^3}{3^2 \times 5} + \frac{z^5}{3^2 \times 5^2 \times 7} - \dots \right] \quad (3.32)$$

เมื่อ $z = 2ka$

ซึ่งเทอมที่เป็นส่วนจริง R_R สามารถนำไปคำนวณหาค่ากำลังของเสียงที่แผ่ออกมาได้คือ

$$W = 0.5 \text{Re}\{Z_R\} u_0^2 = 0.5 \rho c R_R \pi a^2 u_0^2 \quad (3.33)$$

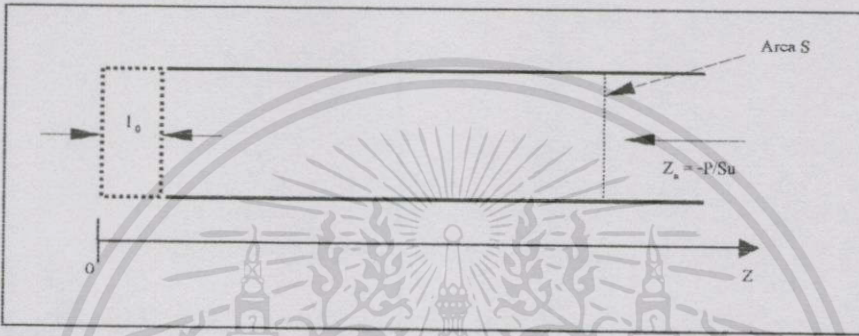
3.5 Acoustic Impedance : Z_a

ถ้าพิจารณาคลื่นระนาบในท่อนำคลื่นเสียงที่มีค่าความเร็วเชิงปริมาตรต่อเนื่องทุกๆจุดภายในท่อแล้วเรานิยามค่าความเร็วเชิงปริมาตรว่าเป็นผลคูณของค่าความเร็วเชิงอนุภาคกับขนาดพื้นที่หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดของท่อเนื่องจากค่า Acoustic Impedance มีความสัมพันธ์กันกับค่าความดันของเสียงภายในท่อ และเนื่องจากค่าความดันของเสียงภายในท่อมีความต่อเนื่องจึงทำให้ Acoustic Impedance มีความต่อเนื่องภายในท่อด้วย

พิจารณาคลื่นเสียงระนาบเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายมือของท่อนำคลื่นเสียงที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง S และปลายท่อเปิดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของเสียงในท่อปลายเปิดที่มีค่า Acoustic Impedance Z_0 ที่ภาคตัดขวาง S และมีค่าปรับแก้ของค่านปลายท่อเท่ากับ l_0

ที่ปลายด้านเปิดจะมีคลื่นเสียงสะท้อนกลับไปทางด้านขวามือเข้าไปในท่อด้านที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงอีกครั้งหนึ่ง สมมุติว่า ณ ที่จุดห่างจากปลายท่อเปิดออกไปเป็นระยะทางเท่ากับค่าปรับแก้ของค่านปลายท่อ (End Correction) : l_0 ค่าความดันของเสียงมีค่าเป็นศูนย์ และเพื่อความสะดวกเราจะตั้งจุดพิกัดเริ่มต้นที่จุดนี้ไปทางด้านขวามือดังรูป 3.5 ดังนั้นสมการของคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ไปทั้งสองด้านของท่อนำเสียงคือ

$$\phi = B_1 e^{j(\omega t - kz)} + B_2 e^{j(\omega t + kz + \theta)} \tag{3.34}$$

เมื่อ ϕ คือฟังก์ชันศักย์ของเสียงและ B_1 และ B_2 คือแอมพลิจูดของคลื่นเสียง θ คือมุมเฟสเริ่มต้น จากการที่เราสมมุติว่าด้านปลายเปิดมีคลื่นสะท้อนกลับเข้าไปในท่อใหม่อีกครั้งโดยเกิดการสูญเสียขึ้นน้อยมากดังนั้น แอมพลิจูดของคลื่นที่สะท้อนคือ B_1 จะเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่นที่ตกกระทบ B_2 นั่นคือ $B_1 = B_2 = B$ ที่จุด $x = 0$ ความดันเป็นศูนย์นั่นคือ $\theta = \pi$ และเนื่องจากเราสามารถหาค่าความดันของเสียงได้จากฟังก์ชันศักย์ของเสียงดังสมการที่ (3.35)

$$P = \rho \partial \phi / \partial t \tag{3.35}$$

แล้วเราจะได้อัตราความดันเสียงคือ

$$P = \frac{\rho \partial \phi}{\partial t} = j\omega \rho B e^{j\omega t} [e^{-jkz} - e^{jkz}] \quad (3.36)$$

ในทำนองเดียวกันจากความสัมพันธ์ของค่าความเร็วเชิงอนุภาคและฟังก์ชันศักย์ของเสียงดังสมการที่ (3.37)

$$u = -\nabla \phi \quad (3.37)$$

ก็สามารถหาค่าความเร็วเชิงอนุภาคที่จุด z ใดๆ ได้คือ

$$u = -(\partial \phi / \partial z) = jk B e^{j\omega t} [e^{-jkz} - e^{jkz}] \quad (3.38)$$

ดังนั้น Acoustic Impedance ที่จุด z ใดๆ เมื่อมองเข้าไปจากทางด้านขวามือคือ

$$Z_s = \frac{-P}{Su} = \frac{\rho c [e^{-jkz} - e^{jkz}]}{S [e^{-jkz} + e^{jkz}]} \quad (3.39(a,b))$$

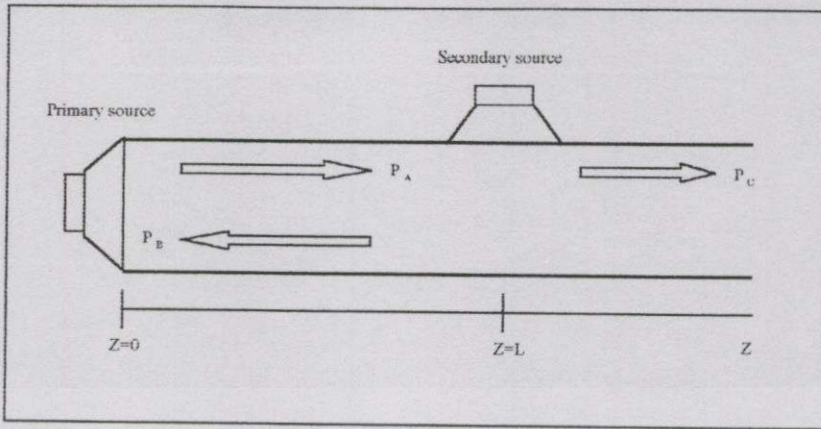
$$\text{หรือ } Z_s = \frac{j\rho c \tan(kz)}{S} \quad (3.40)$$

3.6 กลไกการลดทอนเสียงรบกวนในท่อโดยการใส่แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม

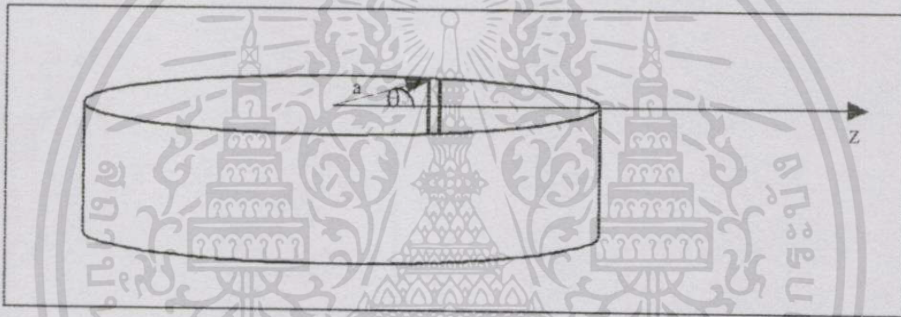
ในปี ค.ศ.1936 Lueg ได้เสนอความคิดเกี่ยวกับการลดทอนเสียงรบกวนด้วยวิธีการใช้เสียงจากแหล่งกำเนิดที่สองมาหักล้างผ่านทางสิทธิบัตรของเขาที่ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นได้มีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการวิจัยการลดทอนเสียงรบกวนด้วยวิธีการแบบเดียวกันนี้ จากหลักการของ Lueg อาจจะดูเหมือนว่าเป็นวิธีการที่ง่ายแต่ในความเป็นจริงแล้วจะพบว่าในทางปฏิบัตินั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากทั้งทางด้านของเสียงเองและกระบวนการประมวลผลของสัญญาณควบคุม

3.6.1 ความดันเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดในท่อนำเสียง

เมื่อนำแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดหรือโมโนโพลที่มีความแรง Q มาวางไว้ภายในท่อที่มีความแข็งแรงและมีความยาวอนันต์ แล้วมันจะให้กำเนิดสนามเสียงที่เป็นคลื่นเสียงแบบไม่เอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการลดทอนเสียงรบกวน โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมในท่อยาวกึ่งอนันต์



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของแหล่งกำเนิดเสียงแบบลูกสูบกลมที่ติดตั้งอยู่บนผนังท่อเสียงที่ให้กำเนิดคลื่นเสียงระนาบภายในท่อแข็งเกร็งนั้น และเขียนได้เป็น

$$Z_a = \frac{P}{U} = R_a + jX_a \tag{3.44}$$

เมื่อ R_a และ X_a คือเทอมที่เป็น Acoustic Resistance และ Acoustic Reactance ของเทอม Acoustic Impedance ตามลำดับในทำนองเดียวกันเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง Acoustic Impedance และ Radiation Impedance : Z_R ได้คือ

$$Z_a = (Z_R/A^2) \tag{3.45}$$

เมื่อ A ในที่นี้คือพื้นที่ผิวที่แผ่กระจายคลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงจากรูปที่ 3.6 เราสามารถนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองไปวางติดตั้งไว้บนผนังท่อได้ และจากรูปที่ 3.7 เราจะจำลองแหล่งกำเนิดที่สองนี้ได้โดยสมมุติให้เป็นแหล่งกำเนิดแบบลูกสูบกลม และเราสมมุติเพิ่มเติมว่ามันเป็นแหล่งกำเนิดที่ให้ความเร็วเชิงปริมาตรสม่ำเสมอ ออกมาโดยมีความเร็วเชิงอนุภาคที่ผิวหน้าคลื่นเสียงคือ u สำหรับการแผ่กระจายของคลื่นระนาบที่ความถี่ต่ำภายในท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์แล้วเราสามารถกำหนดเทอมของความดันเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองได้คือ

$$\begin{aligned}
 P(z,t) &= \int_{AS} j\rho\omega \frac{jce^{-jk(z-z_0)}}{2\omega S} dA \\
 &= \frac{\rho c u}{S} \int_{-a}^a \sqrt{a^2 - z_0^2} e^{-jk(z-z_0)} dz_0
 \end{aligned} \tag{3.46}$$

ในสมการ (3.46) a คือรัศมีของแหล่งกำเนิดชนิดลูกสูบกลมและ z_0 คือพิกัดในแนวแกน z ของจุดบนผิวหน้าของมัน เนื่องจากว่าเมื่ออินทิเกรตสมการ (3.46) จะได้เทอมที่เป็นส่วนจินตภาพและเทอมที่เป็นส่วนจริงเป็นฟังก์ชันคี่และคู่ตามลำดับ ดังนั้นส่วนที่เป็นค่าจินตภาพในสมการ (3.46) หลังจากอินทิเกรตแล้วจะคี่เท่ากับศูนย์นั่นคือจะคงเหลือเฉพาะเทอมที่เป็นส่วนจริงเท่านั้น ฉะนั้นเราสามารถเขียนสมการนี้ใหม่ได้ว่า

$$P(z,t) = \frac{\rho c u}{S} \int_{-a}^a \sqrt{a^2 - z_0^2} \cos(kz_0) e^{-jkz} dz_0 \tag{3.47}$$

แปลงตัวแปรอินทิเกรต z_0 ไปเป็น $\cos\theta$ แล้วเราสามารถเขียนสมการ (3.47) ใหม่ได้คือ

$$P(z,t) = \frac{\rho c u a^2}{S} \int_0^\pi \cos^2 \theta \cos^2(ka \cos\theta) \sin^2 \theta d\theta \tag{3.48}$$

เมื่อ θ คือมุมเอียงของขอบวงกลมที่กระทำกับทิศทางในแนวแกน z ของเอลิเมนต์สี่กัสดังแสดงในรูปที่ 3.7 จากผลลัพธ์ที่พิชุนจ์โดย Kinsler ว่า $\int_0^\pi \cos^2(ka \cos\theta) \sin^2 \theta d\theta$ เป็นฟังก์ชันเบสเซล $J_1(ka)$

ดังนั้นสมการ (3.48) จะกลายเป็น

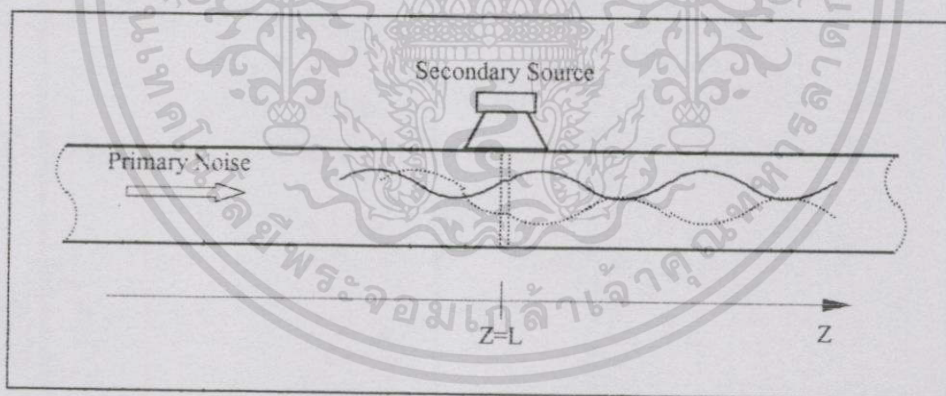
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(z,t) = \frac{\pi \rho c u a^2 e^{-jkz}}{2S} \frac{2J_1(ka)}{ka} \quad (3.49)$$

ถ้ารัศมีของแหล่งกำเนิด a มีขนาดเล็กมากจนกระทั่ง $ka \ll 1$ แล้วจะได้ว่า $[2J_1(ka)/ka] \rightarrow 1$ ทำให้ความดันเสียงในสมการ (3.49) จะมีค่าเท่ากับที่ได้จากแหล่งกำเนิดแบบจุดที่อยู่ภายในท่อยาวอนันต์ ถ้าเรานิยามให้ $Z_{s,i}$ คือ Acoustic Impedance ภายในท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์ของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองแล้ว

$$Z_{s,i} = \frac{\rho c}{2S} \frac{2J_1(ka)}{ka} \quad (3.50)$$

ในสมการ (3.50) ถ้า $ka \ll 1$ แล้ว $Z_{s,i} \approx (\rho c/2S)$ จะกลายเป็น Acoustic Impedance ของแหล่งกำเนิดแบบจุดในท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์ ถ้านำแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งแรกที่เป็นชนิดลูกสูบกลมติดตั้งเข้าไปทางด้านซ้ายมือของท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์แล้วค่า Acoustic Impedance : $Z_{s,i}$ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.8 แสดงการรวมกันของคลื่นเสียงสองขบวนแบบสมบูรณในการลดทอนเสียงรบกวนโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนในท่อนำเสียงยาวกึ่งอนันต์

จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นเสียงที่เดินทางขึ้นมาทางด้าน Upstream ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองและเกิดการสะท้อนกลับโดยผิวหน้าที่มีแฉียงเกร็งของแหล่งกำเนิดแหล่งแรกสามารถหาได้จาก การปรับปรุงสมการ (3.50) นั่นคือ

$$Z_{s,r} = Z_{s,i}(1 + e^{-j2kL}) = \frac{\rho c(1 + e^{-j2kL})}{2S} \frac{2J_1(ka)}{ka} \quad (3.51)$$

ในสมการที่ (3.51) L คือระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดทั้งสองและค่า Acoustic Impedance ที่ได้จากคลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองเดินทางไปทางด้าน Downstream จะเหมือนกันกับที่ได้ในสมการ (3.50) สำหรับในกรณีท่อยาวอนันต์

เมื่อเราพิจารณารูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นการควบคุมเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่หนึ่งด้วยแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองแล้ว เราสามารถกำหนดได้ว่า P_A คือคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่หนึ่งที่เดินทางไปทางด้าน Downstream ในขณะที่เราสามารถกำหนดได้ว่า P_C คือผลรวมของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่หนึ่งที่เดินทางไปทางด้าน Downstream กับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองที่เดินทางไปทางด้าน Upstream และ P_B คือคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองที่เดินทางไปทางด้าน Upstream เมื่อไม่มีการควบคุมเสียงรบกวนโดยใช้แหล่งกำเนิดควบคุมแล้ว P_A , P_B และ P_C จะกลายเป็น

$$P_A = P_C = Q_P Z_{P,i} e^{+jkz} \quad (3.52)$$

$$P_B = 0 \quad (3.53)$$

ในสมการ (3.52) $Z_{P,i}$ คือ Acoustic Impedance ของท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์ จากรูปที่ 3.8 เมื่อคลื่นเสียงที่เดินทางไปทางด้าน Downstream ของแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองซึ่งก็คือคลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทั้งแหล่งที่หนึ่งและแหล่งที่สอง เกิดการหักล้างกันโดยสมบูรณ์แล้วความดันเสียงจะเป็นไปตามสมการนี้คือ

$$(Q_S Z_{s,i} e^{-2jkL} + Q_P Z_{P,r} e^{-jkL}) + Q_S Z_{s,i} = P_C = 0 \quad (3.54)$$

ในสมการ (3.54) Q_S และ Q_P คือความแรงของแหล่งกำเนิดแหล่งที่หนึ่งและแหล่งที่สอง

$Z_{P,r}$ คือ Acoustic Impedance ของแหล่งกำเนิดที่หนึ่ง โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากสนามเสียงอื่นๆ

$Z_{s,i}$ คือ Acoustic Impedance ที่สอดคล้องกันของแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองภายในท่อแข็งเกร็งยาวอนันต์ นอกจากนั้นเรายังสามารถเขียนเทอม $Z_{P,r}$ โดยใช้สมการ (3.43) ได้ นั่นคือ $Z_{P,r} = \rho c/S$ แล้วเราจะได้ผลลัพธ์คือ

$$Q_s = \frac{-Q_p e^{-jkL}}{1 + e^{-2jkL}} \frac{Z_{p,r}}{Z_{s,i}} \quad (3.55)$$

หรือ

$$Q_s = \frac{Q_p}{2\cos(kL)} \frac{Z_{p,r}}{Z_{s,i}} \quad (3.56)$$

ใช้ค่า $Z_{p,r} = \rho c/S$ และ $Z_{s,i}$ ที่ได้จากสมการ (3.50) จะได้

$$\frac{Z_{p,r}}{Z_{s,i}} = \frac{(\rho c/S)}{(\rho c/2S)[2J_1(ka)/ka]} \geq 2 \quad (3.57)$$

แทนค่าสมการ (3.57) ลงในสมการ (3.56) จะได้

$$|Q_s| \geq \frac{Q_p}{2\cos(kL)} \times 2 \Rightarrow |Q_s| \geq |Q_p| \quad (3.58)$$

จากสมการที่ (3.58) แสดงให้เห็นว่าจากทฤษฎีถ้าต้องการหักล้างเสียงให้หมดโดยสมบูรณ์ในท่อ นำเสียงยาวกึ่งอนันต์แล้วขนาดของความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองจะต้องมากกว่าความแรงของแหล่งกำเนิดแหล่งที่หนึ่ง นั่นคือหลังจากที่คลื่นเสียงจากสองแหล่งเกิดการหักล้างกันโดยสมบูรณ์แล้วภายในท่อยาวกึ่งอนันต์ จะไม่มีคลื่นเสียงแผ่กระจายไปทางด้าน Downstream ของแหล่งกำเนิดที่สองอีกเลย นั่นคือจะได้สนามเสียงจากการรวมกันในบริเวณ $0 < z < L$ เป็นดังนี้

$$P(z,t) = Q_p Z_{p,r} e^{jkz} + Q_s Z_{s,i} e^{-jk(z-L)} = \frac{jQ_p Z_{p,r} \sin k(L-z)}{\cos(kL)} \quad (3.59)$$

ในสมการ (3.59) จะเห็นได้ชัดเจนว่าสนามเสียงที่เกิดจากการรวมกันจะเป็นคลื่นนิ่งและจะมีค่ามากที่สุดเมื่อ

$$k = \frac{(n+0.5)\pi}{L}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

และในขณะเดียวกันค่า Acoustic Impedance ของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งแรกจะกลายเป็น

$$Z_{p,2} = jZ_{p,r}\tan(kL) \quad (3.60)$$

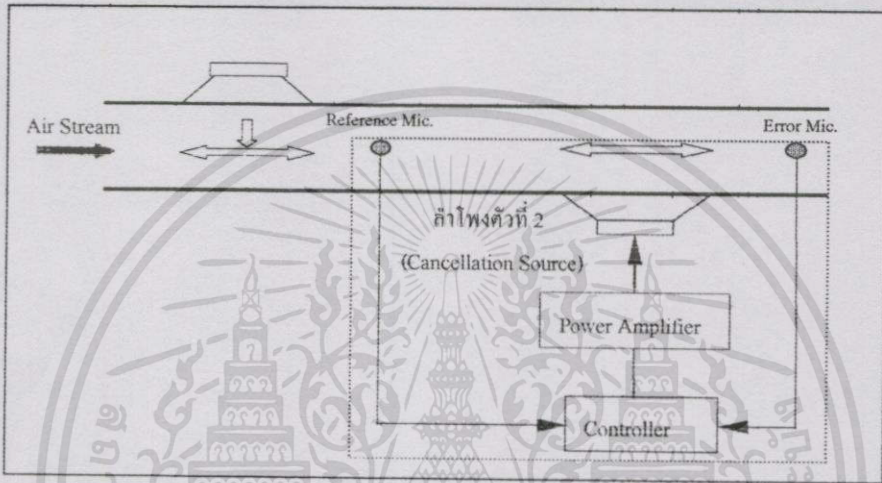
ในสมการ (3.60) เมื่อ $Z_{p,r} = (\rho c/S)$ เป็นค่าจริงล้วนๆแล้ว $Z_{p,2}$ จะต้องเป็นค่าจินตภาพเพียงอย่างเดียว เช่นกัน ผลที่ได้ก็คือแหล่งกำเนิดเสียงแรกจะไม่ปลดปล่อยกำลังของเสียงออกมาเลย

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าคลื่นเสียงสองขบวนจะมีเฟสต่างกัน 180 องศาที่ตำแหน่งที่แหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองวางอยู่ นั่นคือความดันเสียงที่ได้จากการรวมกันจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งนี้และค่า Acoustic Impedance ที่ได้จากกรรวมกันของคลื่นเสียงก็มีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุดนี้ด้วย นั่นคือแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองไม่ได้รับการกระตุ้นจากเสียงใดๆของสนามเสียงภายในท่อรวมทั้งไม่มีพลังงานเสียงใดๆแผ่มาให้แก่นั่นด้วย ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สองจะประพฤติตัวเป็นเพียงตัวสะท้อนกลับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งที่หนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถทำให้เกิดการหักล้างของเสียงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ นั่นคือแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งที่สองไม่สามารถให้กำเนิดคลื่นเสียงที่มีเฟสต่างออกไป 180 องศา กับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดแหล่งแรกได้อย่างสมบูรณ์ ฉะนั้นจึงยังคงมีความดันเสียงหลงเหลืออยู่ภายในท่อ ในทางทฤษฎีแล้วเราสามารถขับแหล่งกำเนิดแหล่งที่สองให้สร้างคลื่นเสียงที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา กับแหล่งกำเนิดแรกแต่มีแอมพลิจูดต่ำกว่าได้ ซึ่งผลที่ได้คือ Acoustic Radiation Resistance ของแหล่งกำเนิดที่สองจะมีค่าเป็นลบและงานที่กระทำบนแหล่งกำเนิดที่สองจากสนามเสียงรวมก็จะมีค่าเป็นลบด้วย ในสภาวะเช่นนี้ก็จะทำให้แหล่งกำเนิดที่สองดูดกลืนพลังงานเสียงที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแรกนั่นคือแหล่งกำเนิดที่สองจะประพฤติตัวเป็นตัวดูดกลืนพลังงานเสียงนั่นเอง

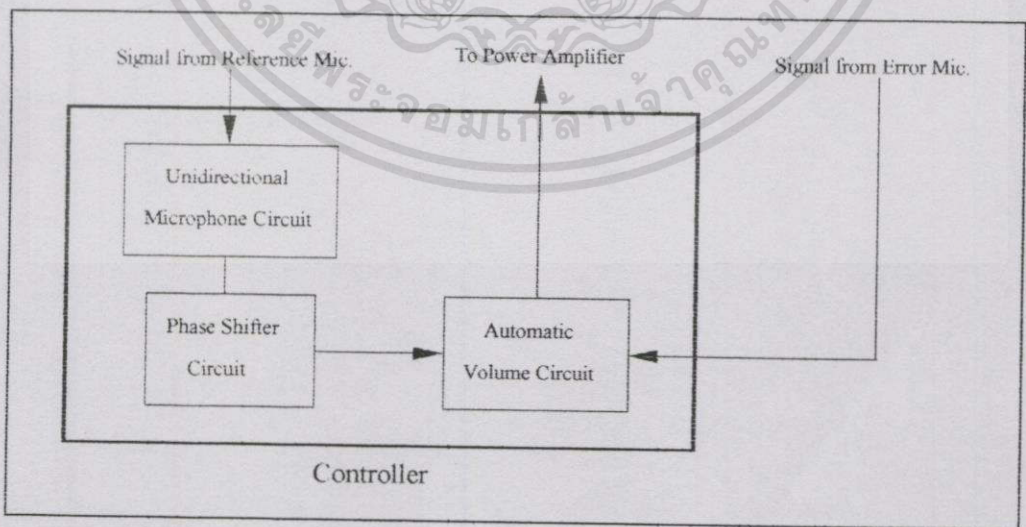
บทที่ 4

การออกแบบ การสร้าง และทดสอบ Controller

4.1 การออกแบบ Controller



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการลดทอนเสียงรบกวน



รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดวงจรภายในของ Controller

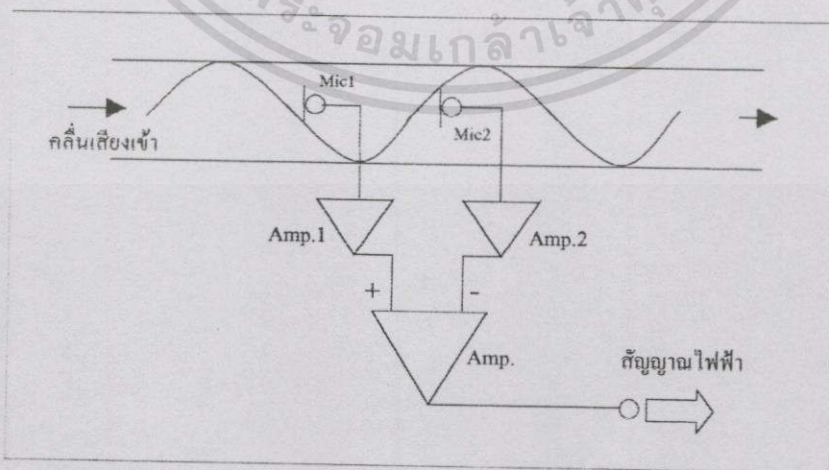
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 วงจรไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว (Unidirectional Microphone Circuit)

ไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวทำหน้าที่เป็น Reference Microphone ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีวงจรขั้วอยู่ในส่วนของ Controller ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถลดทอนเสียงรบกวนในทิศทางอื่นที่ไม่ต้องการให้มาลงแต่ยอมให้เสียงที่อยู่ในทิศทางที่เล็งไปเพื่อรับเสียงเท่านั้นเข้ามาได้โดยอาศัยหลักการทำงานของอะคูสติกเลนส์ (Acoustic Lens)

ส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวก็คือ ชุดของไมโครโฟนรับเสียงซึ่งได้รับการจัดวางเรียงในแนวเดียวกัน ดังรูปที่ 4.3 ไมโครโฟน 2 ตัววางหันหน้ารับเสียงไปทางเดียวกัน ไมโครโฟนแต่ละตัวต่ออยู่กับภาคขยายเสียง 2 ชุด ในลักษณะขยายความแตกต่าง (นำสัญญาณมาลบกัน) ดังรูปที่ 4.3 ถ้าเสียงที่เข้ามามีเฟสเดียวกันจะเกิดการหักล้างกันแต่ถ้าเสียงที่เข้ามามีเฟสตรงกันข้ามก็จะทำให้เกิดการเสริมกันมีสัญญาณเสียงออกทางเอาต์พุทของวงจร [7]

ในกรณีที่เสียงเดินทางเข้ามาทางด้านข้าง (ทิศตั้งฉากกับแนวแกนที่วางไมโครโฟน) สัญญาณเสียงที่ได้รับจะมีเฟสเหมือนกันเมื่อนำไปป้อนสู่วงจรขยายความแตกต่าง เฟสของเสียงที่เหมือนกันจะถูกวงจรขยายความแตกต่างหักล้างลดทอนขนาดลงโดยอัตราการลดทอนของเสียงจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่เสียงเดินทางมากับแนวแกนวางไมโครโฟนถ้าเบี่ยงเบนมากเฟสเสียงที่รับได้ก็จะแตกต่างกันน้อยลงทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับระยะการวางไมโครโฟนทั้งสองตัวด้วย โดยที่เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นจะทำให้ช่วงความถี่ในการรับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดมีค่าลดลง โดยระยะที่เหมาะสมจากการทดลองจะมีระยะประมาณ 30 เซนติเมตร ผลจากการคัดเลือกความถี่จากระยะการวางไมโครโฟนทำให้ช่วงความถี่ตอบสนองนี้จำกัดลงซึ่งจะทำให้เกิดผลดีอีกประการหนึ่งคือไมโครโฟนจะรับเสียงได้ดีเฉพาะในย่านความถี่ที่สอดคล้องกับระยะห่างของไมโครโฟนทั้งสองตัวเท่านั้น วงจรไมโครโฟนรับเสียงในทิศทางเดียวแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การจัดวางไมโครโฟนรับเสียงสองตัวในแนวแกนเดียวกัน คลื่นเสียงที่มีเฟสเดียวกันเมื่อ

เดินทางมาถึงไมโครโฟนพร้อมกันจะถูกหักล้างโดยวงจรขยาย ความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

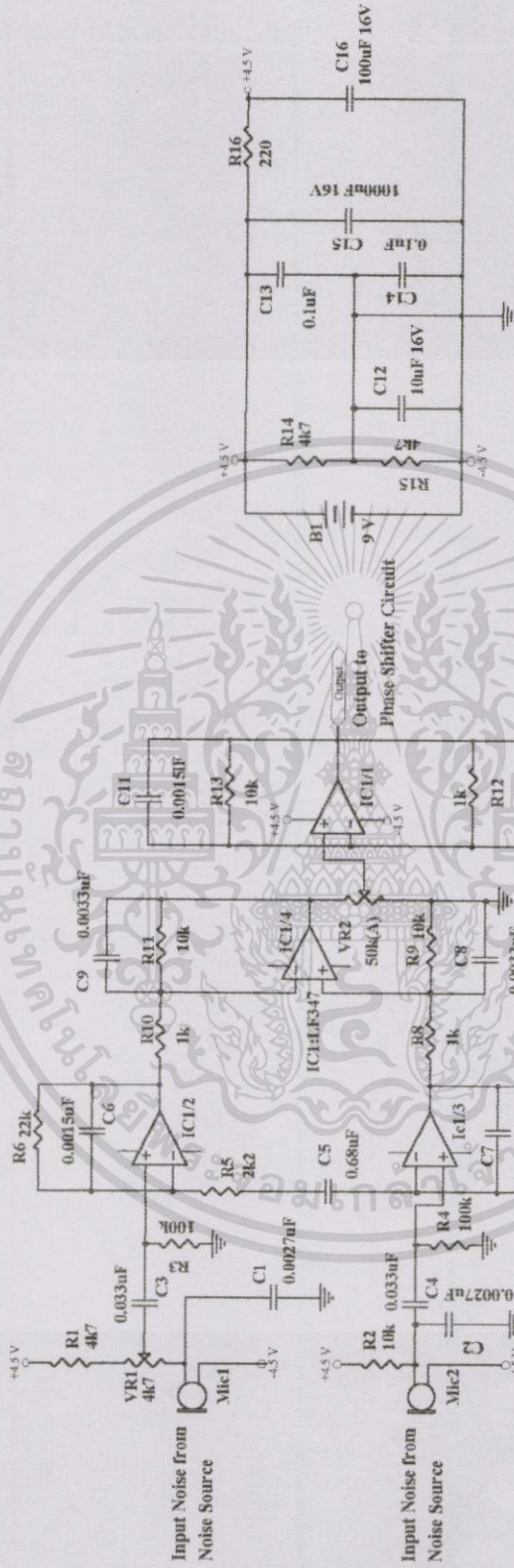
4.1.2 วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter Circuit)

จากรูปที่ 4.2 วงจรเลื่อนเฟสทำหน้าที่ในการเลื่อนเฟสของสัญญาณคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงรบกวน(ในที่นี้คือลำโพงตัวที่ 1 ในรูปที่ 4.1) ที่ได้รับการตรวจวัดโดยใช้ Reference Microphone เพื่อที่จะทำให้คลื่นเสียงที่ถูกขับออกจากลำโพงควบคุม (ในที่นี้คือลำโพงตัวที่ 2 ในรูปที่ 4.1) มีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นเสียงรบกวนอันจะส่งผลให้เกิดการหักล้างกันของคลื่นเสียงได้สูงที่สุด

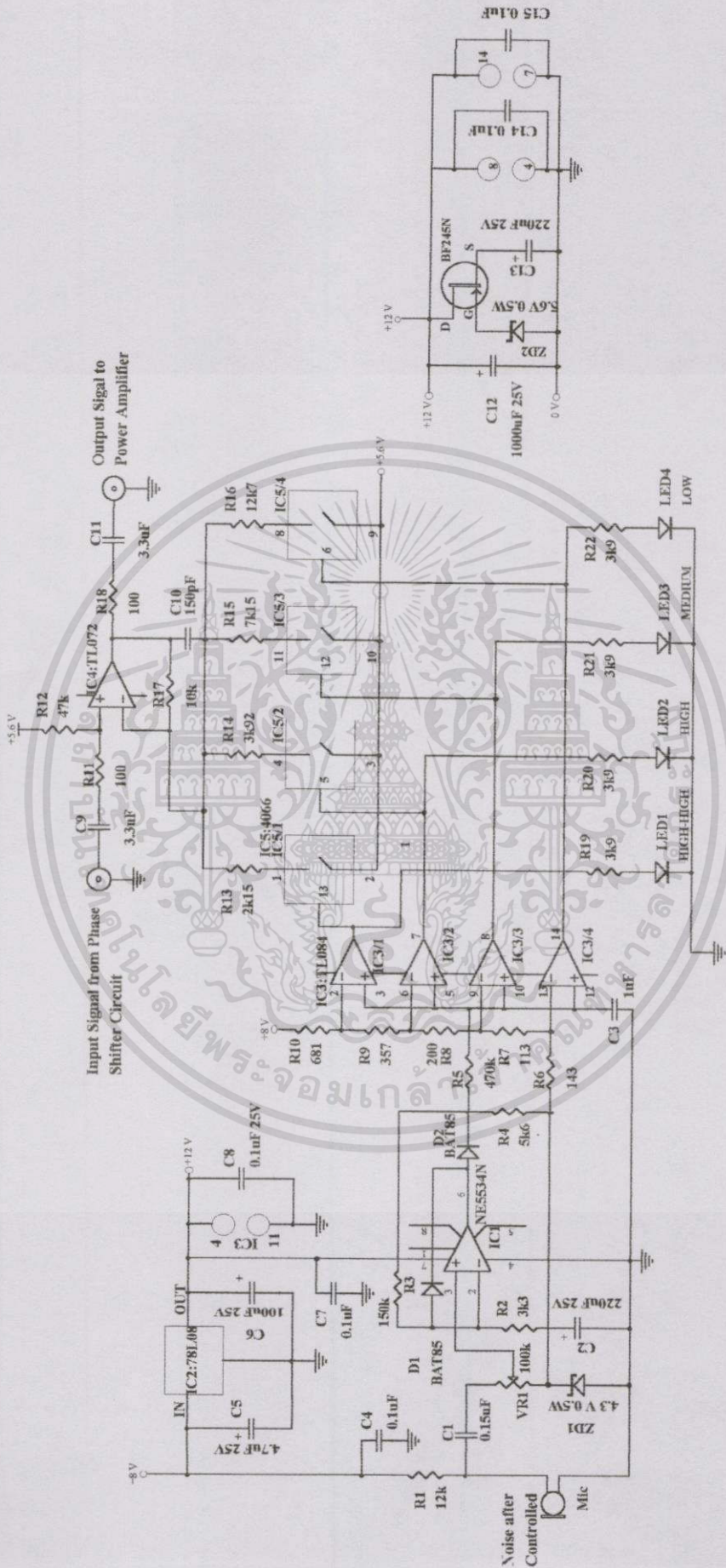
เนื่องจากวงจรเลื่อนเฟสไม่มีการขยายสัญญาณอินพุทที่รับเข้ามา อัตราการขยายจึงขึ้นอยู่กับอัตราการขยายรวมของวงจรทั้งหมด ตัวต้านทานปรับค่าได้ P1 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราขยายทางอินพุทของวงจร และถ้าปรับ P1 ในระดับสูงเกินไป (ขึ้นอยู่กับระดับของสัญญาณอินพุทด้วย) อาจทำให้มีการขลิบยอดสัญญาณเกิดขึ้นได้ และทำให้ส่วนประกอบของสัญญาณฮาร์โมนิกเพิ่มขึ้นด้วยการเลื่อนเฟสของสัญญาณสามารถปรับเลื่อนได้โดยการปรับหมุนที่ P2 โดยสามารถเลื่อนเฟสได้ถึง 360 องศา [9] วงจรเลื่อนเฟสแสดงไว้ในรูปที่ 4.6

4.1.3 วงจรควบคุมอัตราขยายสัญญาณเสียงอัตโนมัติ (Automatic Volume Circuit)

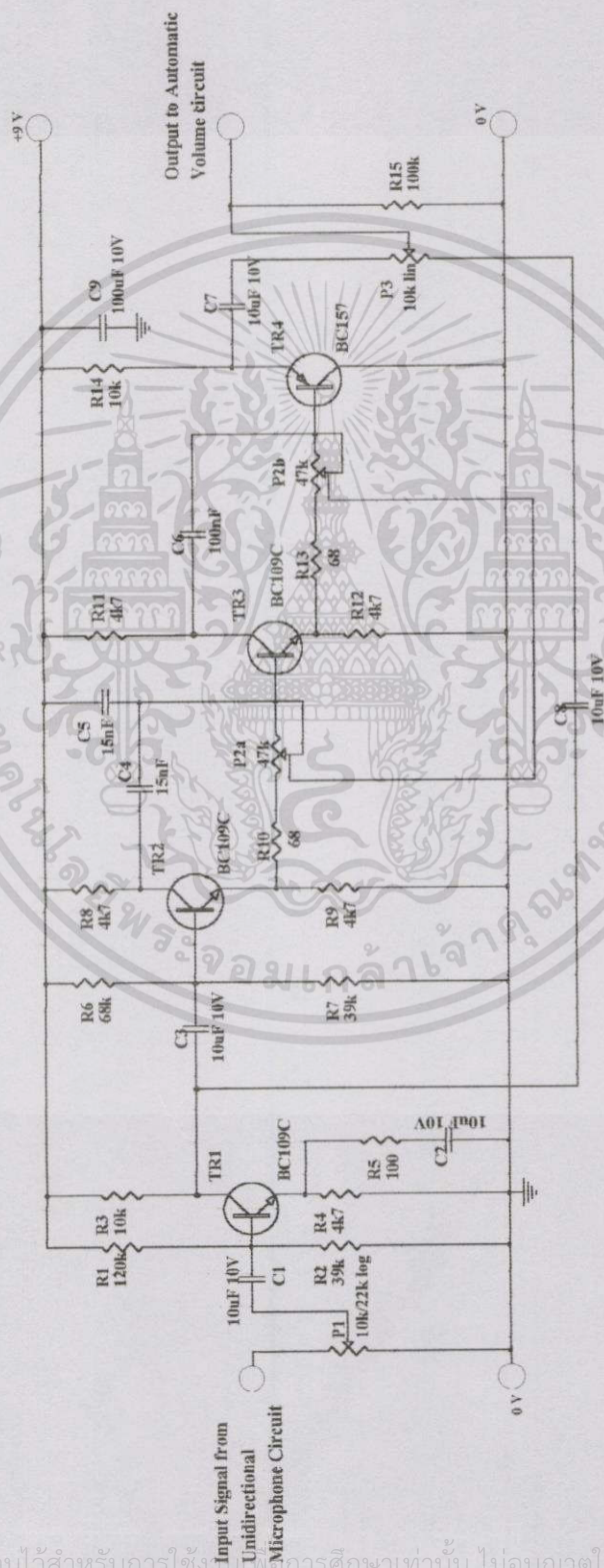
ทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราการขยายสัญญาณเสียงของวงจรขยายสัญญาณเสียงให้เหมาะสมและสอดคล้องกันกับระดับความดังของเสียงรบกวนที่เข้ามา นั่นคือถ้าเสียงรบกวนมีระดับความดังสูงขึ้นก็จะทำให้อัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นด้วย แต่หากเสียงรบกวนลดลงสัญญาณเสียงที่ใช้งานอยู่ก็จะลดตามลงมา [8] วงจรควบคุมอัตราขยายสัญญาณเสียงอัตโนมัติแสดงไว้ดังรูปที่ 4.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรของ Unidirectional Microphone
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรของ Automatic Volume
 ไม่ว่าจะเห็นที่ไหนสงวน ออกทางห้ามมิให้เด็ดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่รูปที่ 4.6 แสดงวงจรเลื่อนเฟสให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

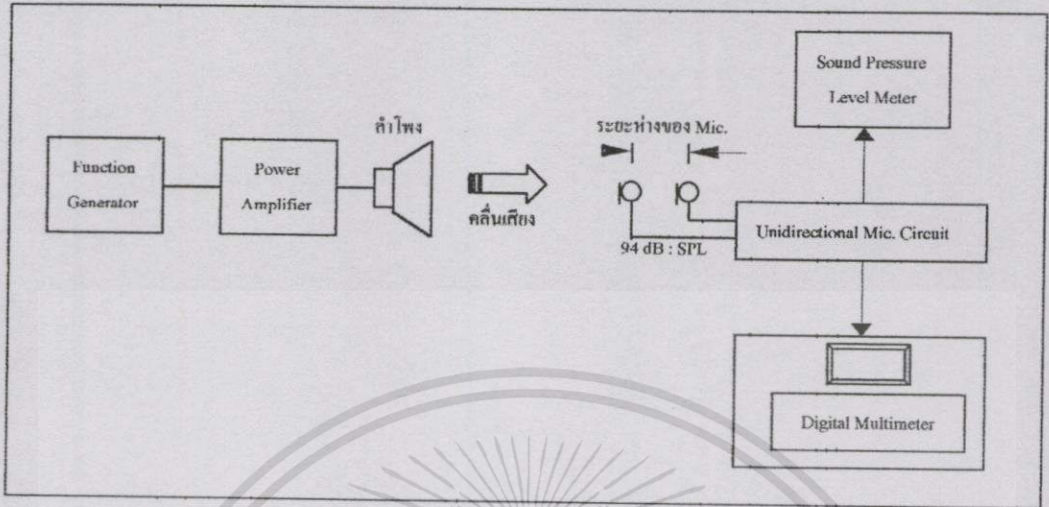
4.2 การทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

เนื่องจากในระบบควบคุมเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมสิ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดที่ต้องคำนึงถึงประการหนึ่งก็คือการป้องกันไม่ให้เสียงป้อนกลับจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามารบกวนการตรวจวัดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนที่แท้จริง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพการทำงานของไมโครโฟนรับเสียงในทิศทางเดียวมาก โดยสิ่งที่จะทำการทดสอบคือ การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนในช่วงที่สนใจคือ 100 Hz ถึง 600 Hz เท่านั้นและเนื่องจากว่าโครงสร้างของไมโครโฟนรับเสียงในทิศทางเดียวที่ประกอบขึ้นจากไมโครโฟน 2 ตัวที่วางห่างกันในแนวแกน ดังนั้นสิ่งที่เราต้องการทราบก็คือระยะห่างของไมโครโฟนทั้งสองที่ทำให้การตอบสนองความถี่ที่ดีที่สุดและลักษณะเชิงทิศทางของไมโครโฟนชนิดนี้ด้วย

4.2.1 การทดสอบหาระยะห่างที่เหมาะสมของไมโครโฟน : ผลตอบสนองเชิงความถี่

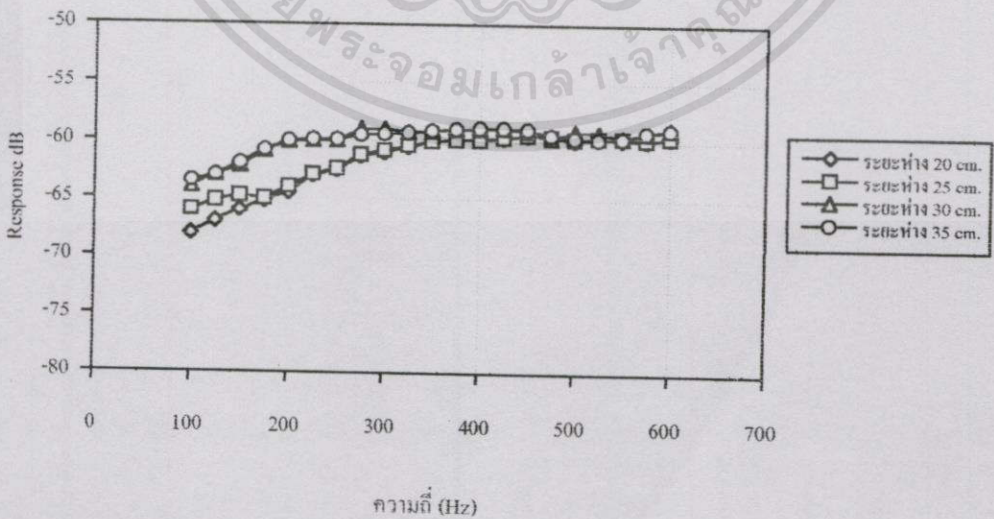
การทดสอบหาระยะห่างที่เหมาะสมของไมโครโฟนหรือผลตอบสนองเชิงความถี่ จะมีการจัดวางรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 4.7 และมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้คือ [10]

1. วางไมโครโฟนที่ต้องการทดสอบที่ต่ออยู่กับเครื่องวัดระดับความดังเสียง (SLM) ให้ห่างจากลำโพง ทดสอบประมาณ 5-6 ฟุต
2. เลือกรูปสัญญาณของเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นคลื่น Sine และตั้งความถี่เริ่มต้นไว้ที่ 100 Hz
3. ปรับอุปกรณ์ของระบบจน SLM อ่านค่าระดับความดัง : L_p ได้ 94 dB
4. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของไมโครโฟน : E_{OUT} จาก Digital Multimeter ในหน่วยมิลลิโวลต์และบันทึกค่า สำหรับข้อมูลผลการทดสอบที่ได้แสดงไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6.37 ในภาคผนวก จ.
5. นำค่าที่ได้ไปแทนลงในสมการ $S_v = 20 \log_{10} E_{OUT} - L_p + 74$ dB/V/1 dyn/cm² โดยที่ E_{OUT} มีหน่วยเป็นโวลต์
6. เพิ่มความถี่สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณทีละ 20 Hz เป็น 120 Hz แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอน 3 ถึง 4 ใหม่ จนได้ค่าความถี่สุดท้ายเท่ากับ 600 Hz
7. นำผลการทดสอบที่ได้ไปเขียนกราฟโดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นค่า S_v และแกนนอนเป็นค่าความถี่ ผลที่ได้คือกราฟของผลตอบสนองเชิงความถี่ของไมโครโฟนที่ต้องการทดสอบ



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว

ผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนทั้งสองต่างกันมีค่าคือ 20 cm. , 25 cm. , 30 cm. และ 35 cm. แสดงไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6.37 ในภาคผนวก จ. และสามารถนำมาแสดงผลในรูปกราฟได้ดังรูปที่ 4.8



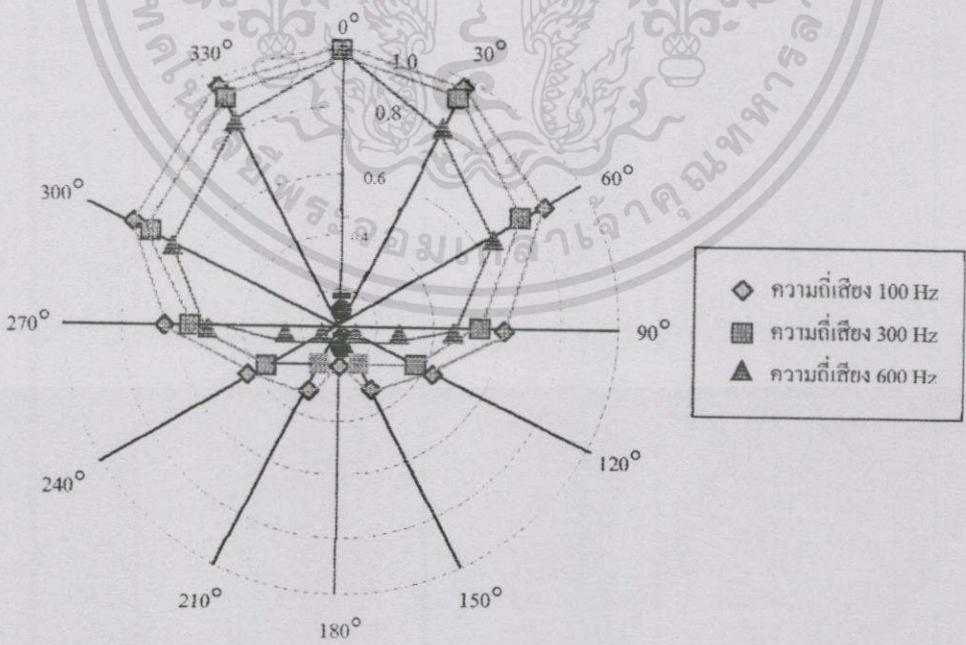
รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนทั้งสองแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าถ้าวางไมโครโฟนทั้งสองไว้ใกล้กันแล้วจะทำให้ผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ความถี่ต่ำมากไม่ดีเช่นที่ระยะห่าง 20 และ 25 cm. แต่เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ความถี่ต่ำๆจะดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยที่ระยะห่าง 30 และ 35 cm. จะให้ผลการตอบสนองเชิงความถี่ที่คล้ายกันมาก ดังนั้นในการทดลองต่อไปนี้จะเลือกใช้ระยะห่างของไมโครโฟนทั้งสองเท่ากับ 30 cm. ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมกับความยาวท่อनाเสียงท่อที่ใช้ในการทดลองนี้ที่มีความยาวจำกัด เราจึงต้องเลือกใช้ระยะห่างที่น้อยที่สุดที่ยังคงให้ผลตอบสนองเชิงความถี่ที่คืนนั่นเอง

4.2.2 การทดสอบหาลักษณะเชิงทิศทางของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวก็คือลักษณะเชิงทิศทางซึ่งก็คือการศึกษากิริยาผลของมุมตกกระทบของเสียงที่กระทำต่อแนวแกนของไมโครโฟนทั้งสองที่ประกอบกันขึ้นเป็นไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว สำหรับในการทดลองนี้ผลของการทดสอบคุณสมบัติเชิงทิศทางของไมโครโฟนที่สร้างขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 ซึ่งเราทำการทดสอบที่ความถี่เสียงเท่ากับ 100 Hz , 300 Hz และ 600 Hz ซึ่งครอบคลุมเฉพาะช่วงความถี่ที่เราจะทำการทดลองเท่านั้น สำหรับข้อมูลผลการทดลองที่ได้ แสดงไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6.38 ในภาคผนวก จ.



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงลักษณะเชิงทิศทางของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพในรูปที่ 4.9 จะพบว่าไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติในการรับเสียงเชิงทิศทางได้ดีตามที่ต้องการ

4.3 การทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบบควบคุม

ผลตอบสนองเชิงความถี่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องขยายเสียง โดยค่าที่ระบุจะแสดงอยู่ในรูปกราฟที่ได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (dB) กับค่าความถี่ต่างๆซึ่งจะมองเห็นการตอบสนองเชิงความถี่ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น [11]

4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Power Amplifier ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง เครื่องขยายเสียงที่ต้องการทดสอบ ออสซิลโลสโคปชนิดรอยแสงคู่ Digital Multimeter และความต้านทานโหลด

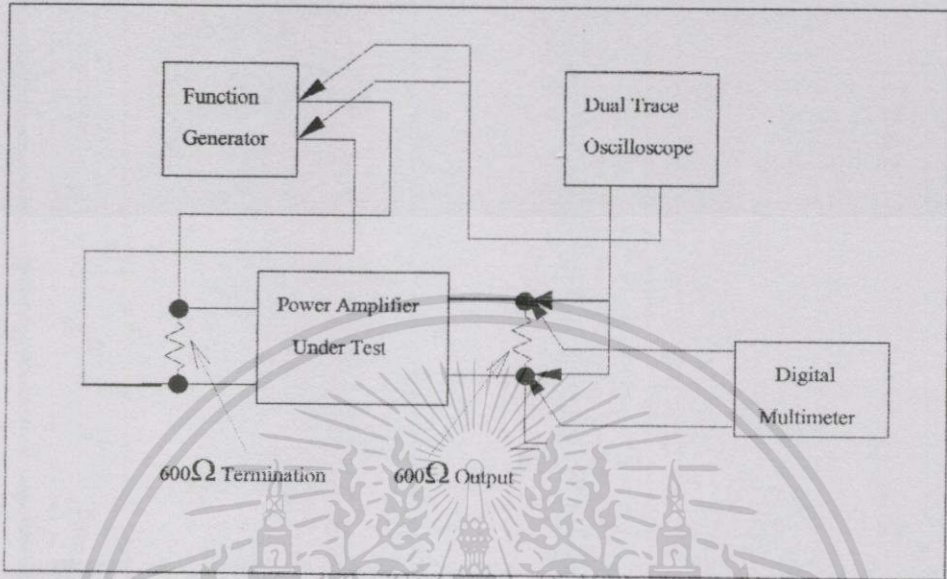
4.3.2 วิธีการทดสอบ

ต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.10 จากนั้นเปิดเครื่องขยายเสียง ปรับตั้งออสซิลโลสโคปให้เรียบร้อย ต่อมาให้ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยตั้งความถี่ไว้ที่ 100Hz แล้วค่อยๆปรับเพิ่มขนาดของสัญญาณอินพุท จนกระทั่งรูปคลื่นเอาท์พุทปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปสูงสุด (ไม่ถูกขริบ) บันทึกค่าแรงดันอินพุทและเอาท์พุทที่ได้จากออสซิลโลสโคป ทั้งนี้เพื่อให้สัญญาณอินพุทที่ป้อนมีความแรงสม่ำเสมอเท่ากันทุกค่าความถี่ จะส่งผลให้การทดสอบมีความผิดพลาดน้อยลง

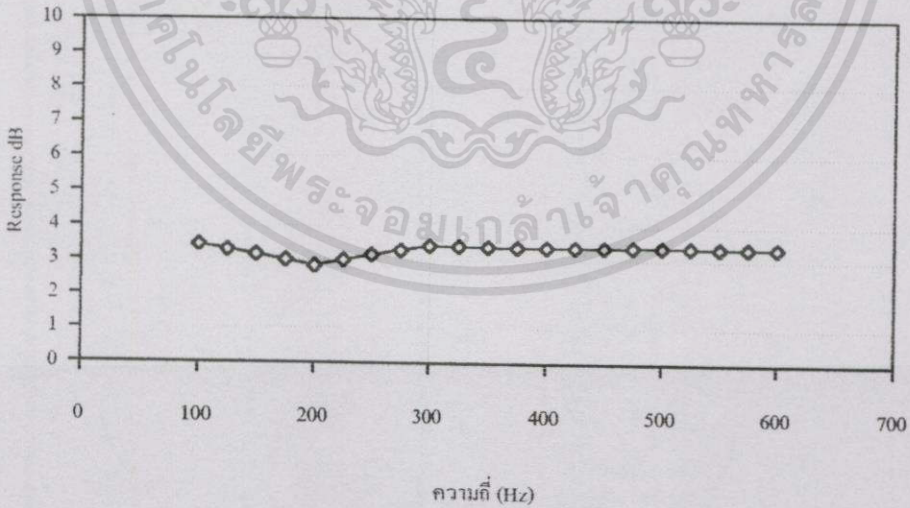
ขั้นตอนต่อไปให้เปลี่ยนค่าความถี่ขึ้นทีละ 25 Hz เป็น 125, 150, 175 Hz เรื่อยไปจนถึง 600 Hz ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ให้บันทึกค่าแรงดันอินพุท (V_i) และเอาท์พุท (V_o) เพื่อนำมาคำนวณหาค่า dB จากสูตร

$$\text{dB} = 20\log(V_o / V_i)$$

เมื่อทดลองได้ทุกค่าของความถี่ที่ต้องการแล้ว ให้นำค่า dB และค่าของความถี่มาเขียนกราฟโดยแกนนอนเป็นค่าของความถี่ ส่วนแกนยืนแทนค่าด้วยอัตราขยาย dB ก็จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.11 และสำหรับข้อมูลผลการทดลองที่ได้ แสดงไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6.39 ในภาคผนวก จ.



รูปที่ 4.10 แสดงการจ้งควางเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบหาค่าการคอบสนองความถี่



รูปที่ 4.11 แสดงผลคอบสนองความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบคควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบการตอบสนองความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบบควบคุมนี้พบว่ามีการตอบสนองความถี่ที่ค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอในย่านความถี่เสียงที่เราสนใจ ดังนั้น Power Amplifier นี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

อย่างไรก็ตามลำโพงที่ใช้ในการทดลองนี้ก็จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบหาการตอบสนองความถี่ด้วย แต่เนื่องจากว่าข้อมูลของผลการทดสอบการตอบสนองความถี่ของบริษัทผู้ผลิตลำโพงให้มาทำให้เราทราบว่ามันมีการตอบสนองความถี่ที่ดีในช่วงความถี่ที่เราจะใช้ทดลอง ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการทดสอบการตอบสนองความถี่ของลำโพงนี้อีก

4.4 การวัดความเร็วเฉลี่ยของอากาศไหลในท่อนำคลื่นเสียง

สำหรับการทดลองนี้ในการวัดค่าความเร็วของอากาศไหลภายในท่อนำคลื่นเสียงจะใช้ท่อปีโตต์ (Pitot Tube) โดยในขณะที่ทำการวัดความเร็ว จะหันปลายเปิดด้านหน้าไปทางเหนือลม (ทางที่อากาศไหลมา) ส่วนรูเปิดด้านข้างจะขนานไปกับทิศทางการไหล ปลายเปิดด้านหน้าจะทำหน้าที่วัดค่าความดันรวมของกระแสอากาศไหล ส่วนปลายเปิดด้านข้างจะวัดความดันสถิตย์ (Static Pressure) ผลต่างระหว่างความดันรวมและความดันเชิงพลวัต (Dynamical Pressure) หรือความดันของความเร็ (Velocity Pressure) ซึ่งอ่านค่าได้จากมาโนมิเตอร์ (Manometer) ที่ต่อเข้ากับปลายด้านบนทั้งสองข้างของท่อปีโตต์ จากนั้นคำนวณความเร็วของอากาศไหลได้จากสมการต่อไปนี้

$$v = C\sqrt{2(\Delta P/\rho)} \quad (\text{m/s})$$

เมื่อ C คือค่าสัมประสิทธิ์ของท่อปีโตต์ที่ใช้ ซึ่งสามารถดูค่าได้จากคู่มือของอุปกรณ์จากบริษัทผู้ผลิต สำหรับในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1.00

ΔP คือผลต่างของความดันที่อ่านค่าได้จากมาโนมิเตอร์มีหน่วยเป็น ปาสคาล (Pa)

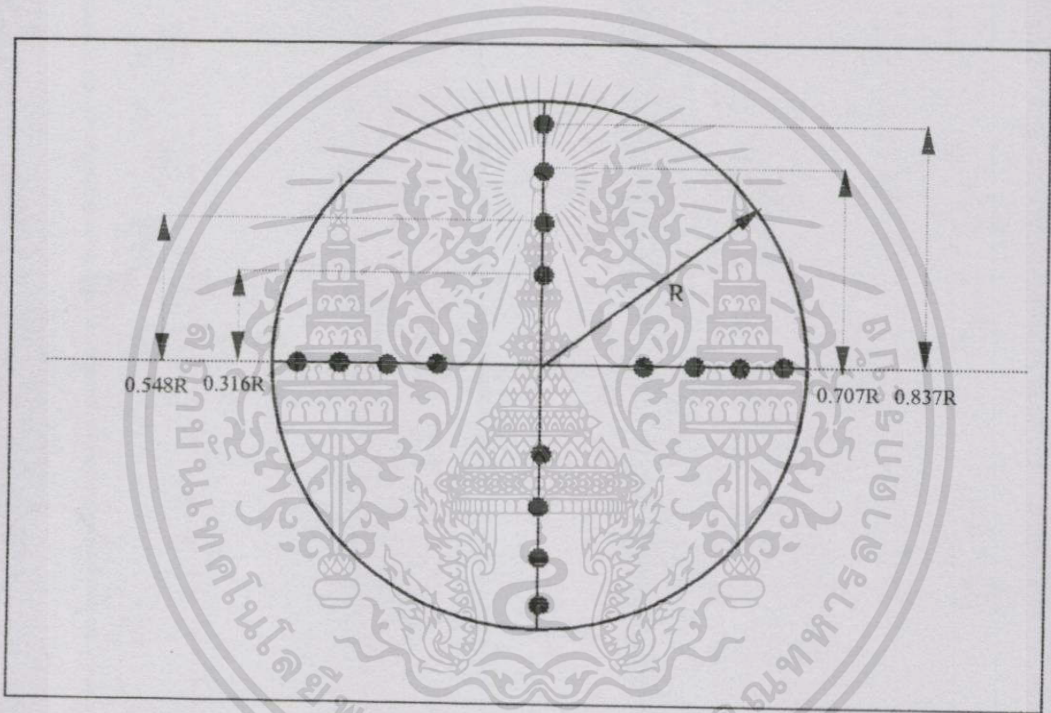
ρ คือความหนาแน่นของอากาศที่ 27 °C สำหรับการทดลองนี้มีค่าประมาณ 1.774 kg/m³

ตำแหน่งที่วัดความเร็วในท่อนำคลื่นเสียงควรจะอยู่ได้ลมห่างจากจุดที่มีสิ่งรบกวนการไหล (เช่น ข้องอ ทางแยก วาล์ว) ประมาณ 5-10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ และอยู่เหนือลมของจุดที่มีการไหลปั่นป่วนในท่อนองเดียวกันประมาณ 3-5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง เนื่องจากความเร็วที่วัดได้เป็นความเร็วของอากาศที่เฉพาะจุดนั้น การหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศในท่อนำคลื่นเสียงจะต้องกระทำที่หลายๆจุดของพื้นที่หน้าตัดของท่อ ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดทอกลมควรวัดค่าที่ตำแหน่งต่างๆของเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เส้นที่ลากตั้งฉากกันและตำแหน่งบนเส้นผ่าศูนย์กลางที่วัดควรเป็นจุดศูนย์กลาง (จุดศูนย์กลาง) ของเสี้ยววงแหวนแต่ละชิ้น ที่มีพื้นที่เท่าๆกันบนพื้นที่หน้าตัดของท่อ (ดูรูปที่ 4.12)

ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม ควรแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นสี่เหลี่ยมเล็กที่มีพื้นที่เท่าๆกันแล้วทำการวัดความเร็วที่จุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมเล็กเหล่านั้น (ดูรูปที่ 4.13) จำนวนของจุดวัดที่ควรใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของท่อนำคลื่นเสียงชนิดทอกลมและชนิดท่อสี่เหลี่ยม ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

หมายเหตุ สำหรับท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมให้ทำการวัดที่ใจกลางของสี่เหลี่ยมเล็กอย่างน้อย 9 จุด โดยมีอย่างน้อย 3 แถว

หมายเหตุ • หมายถึงตำแหน่งที่เหยื่อท่อปีโตคั้ง



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของจุดวัดด้วยท่อปีโตคั้งบนพื้นที่หน้าตัดของนำคลื่นเสียงชนิดทอกลม

•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

รูปที่ 4.13 ตำแหน่งของจุดวัดด้วยท่อปีโตคั้งบนพื้นที่หน้าตัดของนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนของจุดวัดที่ใช้ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลม

เส้นผ่าศูนย์กลาง ของ ท่อนำคลื่น เสียง 2R (m)	จำนวนของ จุดวัดทั้ง หมด Z	คาร์ซีมี (จำนวนคาร์ซีมี n)				
		n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
< 1	4	0.707R	-	-	-	-
1-2	8	0.500R	0.806R	-	-	-
2-4	12	0.408R	0.707R	0.913R	-	-
4-4.5	16	0.354R	0.612R	0.791R	0.936R	-
> 4.5	20	0.316R	0.548R	0.707R	0.837R	0.949R

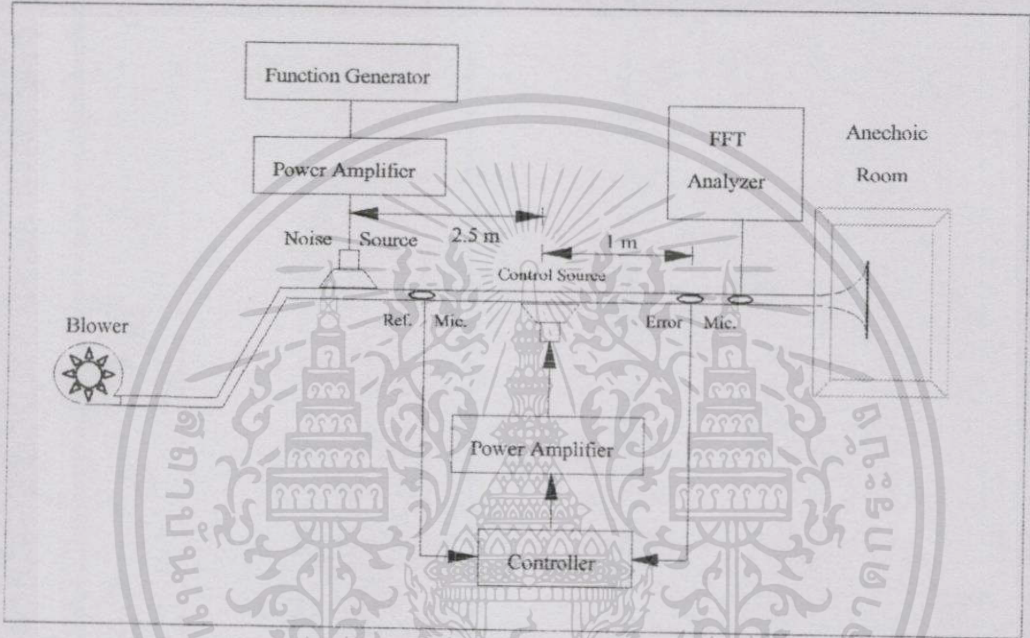
ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนของจุดวัดที่ใช้ในกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม

พื้นที่หน้าตัดของท่อนำคลื่นเสียง (m^2)	ความยาวของเส้นรอบวงของสี่เหลี่ยมเล็ก L (m)
< 1	$L \leq 0.5$
1-4	$L \leq 0.667$
4-20	$L \leq 1.0$

บทที่ 5

การทดลอง

5.1 การจัดวางอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 5.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง

5.2 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัด

5.2.1 ท่อนำเสียง ท่อนำเสียงมีสองชนิดคือท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดความกว้างภายใน 44x44 mm มีความยาว 4 m และท่อกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 43 mm มีความยาว 4 m

5.2.2 ลำโพง ที่มีกำลังขับขนาด 50 w ของ TOA รุ่น TU-50 จำนวน 2 ตัวโดยตัวหนึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและอีกหนึ่งตัวใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม

5.2.3 Controller ที่ประกอบด้วยส่วนของวงจรมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว วงจรเลื่อนเฟสและวงจรถ่ายเสียงอัด โนมัติใช้เพื่อสร้างสัญญาณเสียงควบคุมที่มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณเสียงรบกวน

5.2.4 พัดลม ที่สามารถปรับความเร็วรอบได้เพื่อใช้สร้างความเร็วอากาศที่ไหลในท่อนำเสียง

โดยพัดลมที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นพัดลมชนิดใบพัดโค้งไปด้านหลัง (Backward Type Blade) ดัชนีเอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเป็นรายปี การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด 8 ใบ และต่อตรงเข้ากับมอเตอร์ที่ปรับค่าความเร็วรอบได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยที่ความเร็ว 100 เปอร์เซ็นต์มีค่าความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 2910 rpm และที่ความเร็ว 0 เปอร์เซ็นต์พัลลัมไม่หมุน

5.2.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT Analyzer ใช้ในการวัดค่าระดับความดังเสียง (dB) ที่ความถี่ต่างๆ โดยในการทดลองนี้ใช้เครื่อง FFT Analyzer ชนิดสัญญาณเข้า 2 ช่องของ ONO SOKKI รุ่น CF-350

5.2.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปไซน์เพื่อป้อนให้แก่ลำโพงกำเนิดเสียงรบกวน ในการทดลองนี้ใช้ของ Iwatsu รุ่น SG-4111

5.2.7 Power Amplifier ขนาด 50 w จำนวน 2 เครื่อง ใช้เพื่อขยายสัญญาณเสียงไปขับลำโพงทั้งสอง

5.2.8 Pitot Tube เพื่อใช้วัดค่าความแตกต่างของความดันระหว่างความดันสถิตและความดันรวม เพื่อนำไปใช้คำนวณค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อนำเสียงจากสมการ $v = \sqrt{2(\Delta P/\rho)}$ เมื่อ v คือความเร็วของอากาศ ΔP คือผลต่างของความดันและ ρ คือความหนาแน่นของอากาศ สำหรับในการทดลองนี้ใช้ค่าความหนาแน่นของอากาศเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 27 °C นั่นคือจะใช้ค่า $\rho \approx 1.1774 \text{ kg/m}^3$

5.2.9 Digital Multimeter ใช้เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Vol) ในการทดสอบคุณสมบัติของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่สร้างขึ้น ในการทดลองนี้ใช้ของ Iwatsu รุ่น VDAC 7412

5.2.10 เครื่องมือที่ใช้สอบเทียบระดับความดังเสียง (Sound Pressure Level Calibrator) ใช้เป็นเครื่องมือในการสอบเทียบไมโครโฟนที่ใช้วัดระดับความดังเสียงที่ต่ออยู่กับ FFT Analyzer โดยในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือสอบเทียบของ ACO รุ่น 2124 A หมายเลข 991503 โดยใช้ค่ามาตรฐานในการสอบเทียบที่ 124 dB ที่ความถี่เสียง 250 Hz

5.2.11 ไมโครโฟน ที่ใช้วัดค่าระดับความดังเสียงใช้ของ Bruel & Kjaer โดยใช้ Preamplifier รุ่น 2804

5.2.12 Oscilloscope ชนิดสัญญาณเข้า 2 ช่อง ความถี่ 40 MHz ของ Iwatsu รุ่น DS-6411

5.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 5.1 โดยใช้ท่อนำคลื่นเสียงชนิดโคซนิกหนึ่งจากสามชนิดแล้วเปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ตั้งความถี่ที่ 100 Hz ผ่านเครื่องขยายสัญญาณเสียงขนาด 50 w ไปขับลำโพงที่จำลองเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน (noise source) แล้วอ่านค่าระดับความดังเสียง (dB) จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT บันทึกค่าที่อ่านได้ ซึ่งค่าที่อ่านได้นี้คือระดับความดังเสียงรบกวนก่อนเกิดการลดทอน
2. เปิดสวิตซ์ให้ชุดควบคุมเสียงรบกวนทำงานและปรับตั้งวงจรเลื่อนเฟสโดยใช้โหมมุน P2 จนกระทั่งค่าระดับความดังเสียงที่อ่านได้จากเครื่อง FFT มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าที่อ่านได้นี้คือเสียงรบกวนที่เหลืออยู่หลังจากเกิดการลดทอนแล้วและบันทึกค่าที่อ่านได้
3. ปิดสวิตซ์ชุดควบคุมเสียงรบกวนไม่ให้ทำงานแล้วเพิ่มความถี่สัญญาณเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงขึ้นทีละ 12.5 Hz เป็น 112.5 Hz แล้วอ่านค่าระดับความดังเสียงที่ได้จากเครื่อง FFT บันทึกค่าที่อ่านได้
4. กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่โดยในครั้งนี้อาจไม่ต้องทำการปรับตั้งวงจรเลื่อนเฟสใหม่
5. ทำขั้นตอนที่ 3 และ 2 ตามลำดับวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนได้ค่าความถี่สุดท้ายเท่ากับ 600 Hz
6. เดินพัดลมและปรับความเร็วรอบเพื่อให้อากาศที่ไหลในท่อมมีความเร็วเท่ากับ 5m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอน 1 ถึง 5 ใหม่
7. เพิ่มความเร็วอากาศที่ไหลในท่อขึ้นทีละ 5 m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ใหม่ จนได้ความเร็วอากาศในท่อค่าสุดท้ายคือ 40 m/s
8. นำผลการทดลองที่ได้ทั้งก่อนและหลังจากการใช้ระบบควบคุมเสียงรบกวนในท่อนำเสียงแต่ละชนิดมาเขียนกราฟที่แต่ละค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อเพื่อดูผลที่ได้จากการลดทอนเสียงรบกวน

บทที่ 6

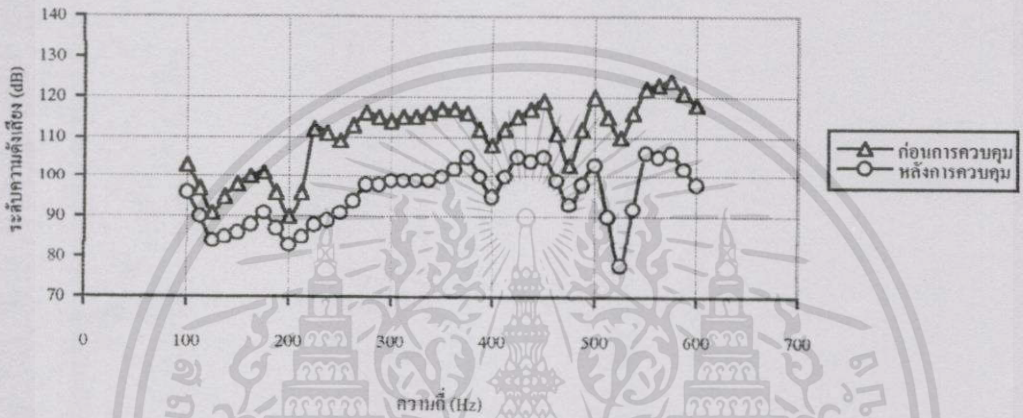
ผลการทดลอง

ผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำเสียงทั้งสองชนิดทั้งกรณีที่ไม่มีอากาศไหลและกรณีที่มีอากาศไหลในท่อที่ความเร็วต่างๆ จะบันทึกไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 - 18 ในภาคผนวก จ. โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละกรณีจะนำมาแสดงในรูปกราฟเพื่อให้สามารถเห็นลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 6.1 - 6.18 โดยจะแสดงผลการลดทอนเสียงรบกวนที่แต่ละค่าความเร็วของอากาศไหล

สำหรับผลการทดลองของระดับความดังเสียงภูมิหลัง หรือคือระดับความดังเสียงในกรณีทั้งที่ลำโพงกำเนิดเสียงรบกวนและลำโพงของระบบควบคุมยังไม่ทำงาน แสดงไว้ในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 19 - 36 ในภาคผนวก จ. รวมทั้งผลการทดลองในรูปกราฟของการลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำคลื่นเสียงทั้งสองชนิด ทั้งกรณีที่ไม่มีอากาศไหลและกรณีที่มีอากาศไหลในท่อที่ความเร็วต่างๆ โดยได้แสดงผลของระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ด้วยได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.19 - 6.36 ในภาคผนวก ฉ. ทั้งนี้เพราะว่าวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะแสดงให้เห็นถึงผลของการลดทอนเสียงรบกวนโดยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงเท่านั้นจึงไม่ได้มีการแสดงผลของระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ในรูปกราฟด้วย โดยได้แยกการแสดงผลการทดลองที่ได้มีการเปรียบเทียบระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ในรูปกราฟด้วย ในภาคผนวก ฉ.

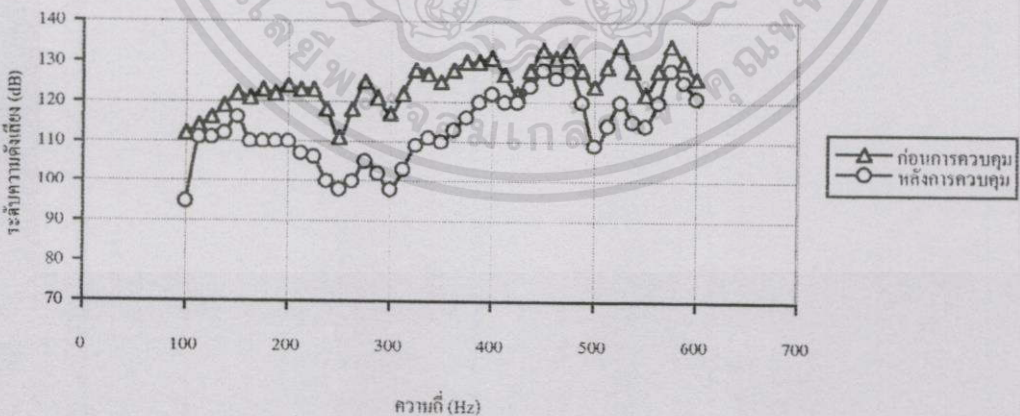
6.1 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณีที่ไม่มีความเร็วอากาศในท่อ จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.1 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.1 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.10 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.2

ท่อสี่เหลี่ยม



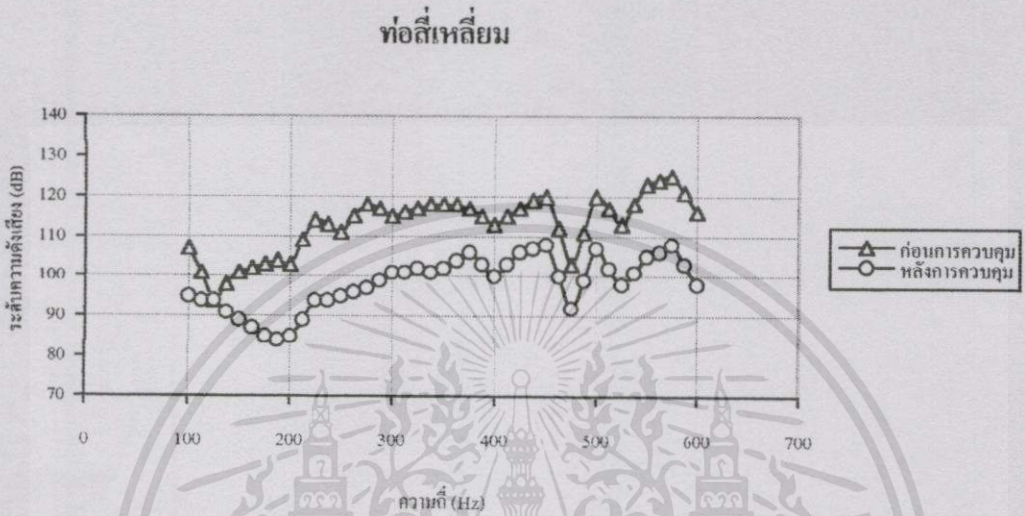
รูปที่ 6.1 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s

ท่อกลม

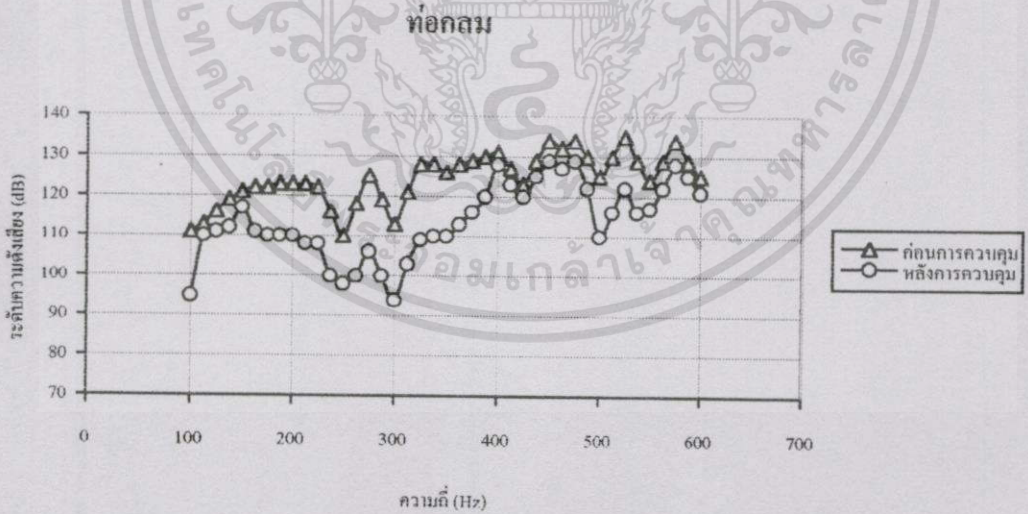


รูปที่ 6.2 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s

6.2 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
 ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.2 (ภาคผนวก) นำมา
 เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.3 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.11 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.4



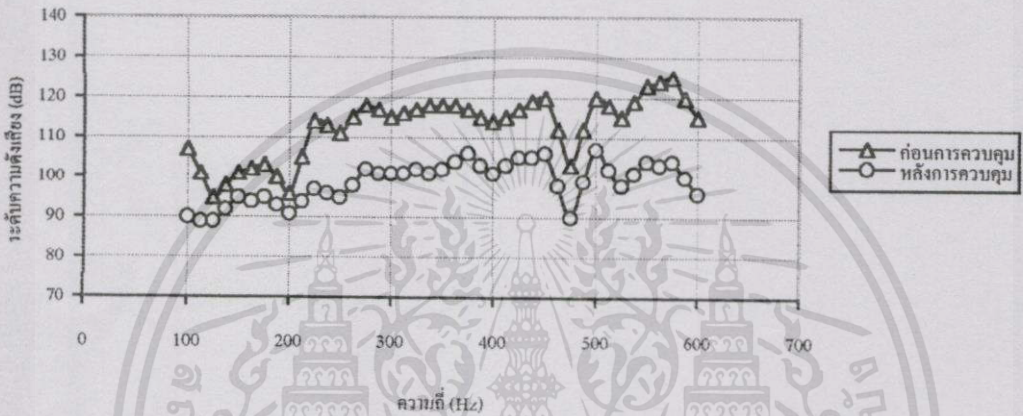
รูปที่ 6.3 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s



รูปที่ 6.4 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s

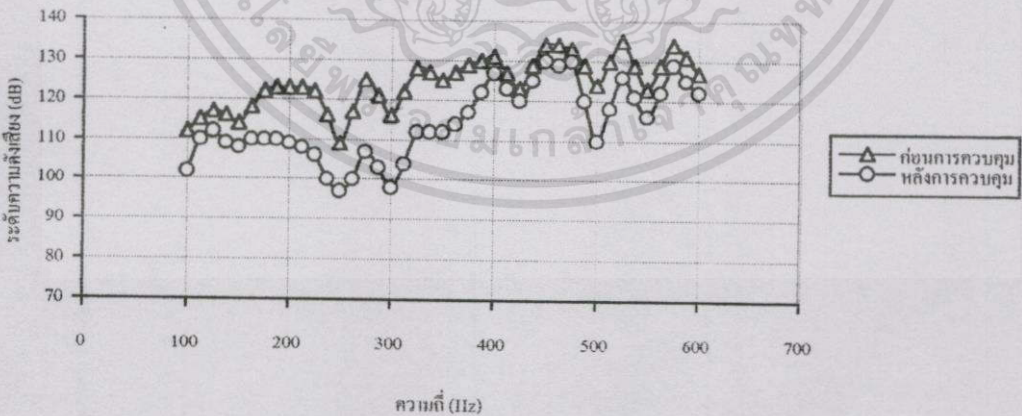
6.3 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.3 (ภาคผนวก) นำมา
เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.5 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.12 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.6

ท่อสี่เหลี่ยม



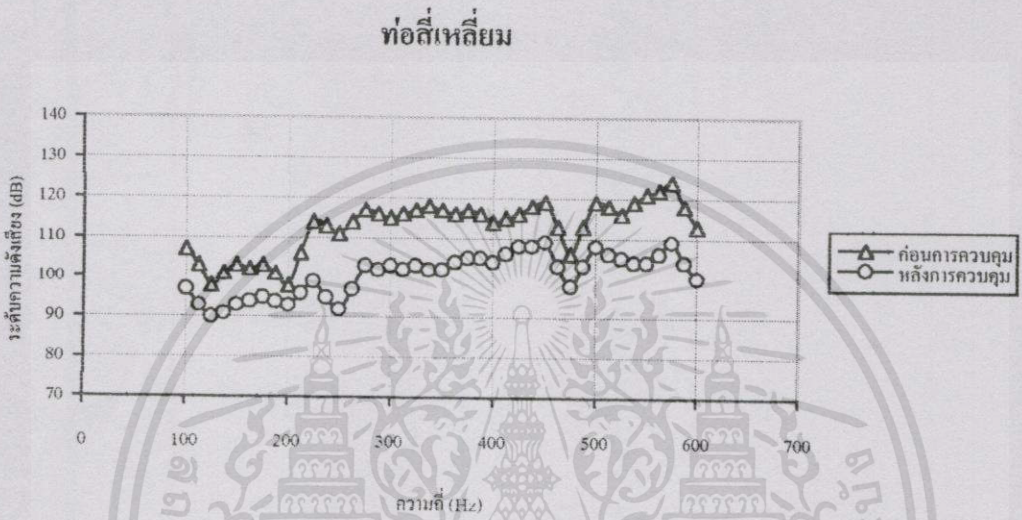
รูปที่ 6.5 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s

ท่อกลม

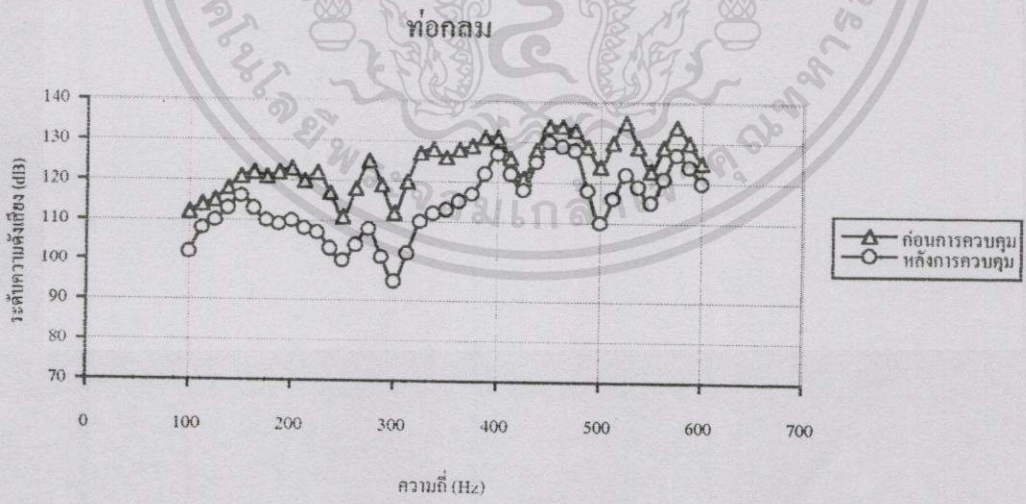


รูปที่ 6.6 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s

6.4 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.4 (ภาคผนวก) นำมา
เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.7 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.13 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.7 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s

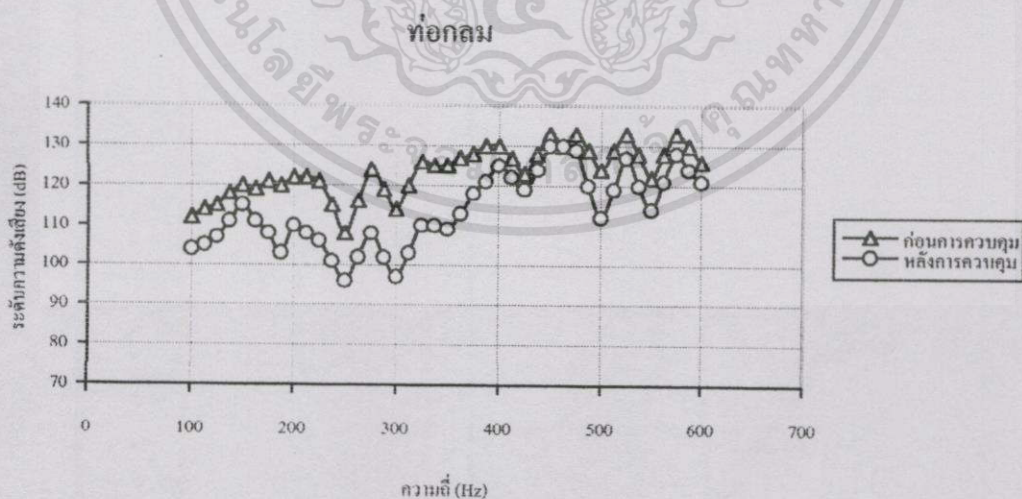


รูปที่ 6.8 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s

6.5 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.5 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.9 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.14 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.9 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s

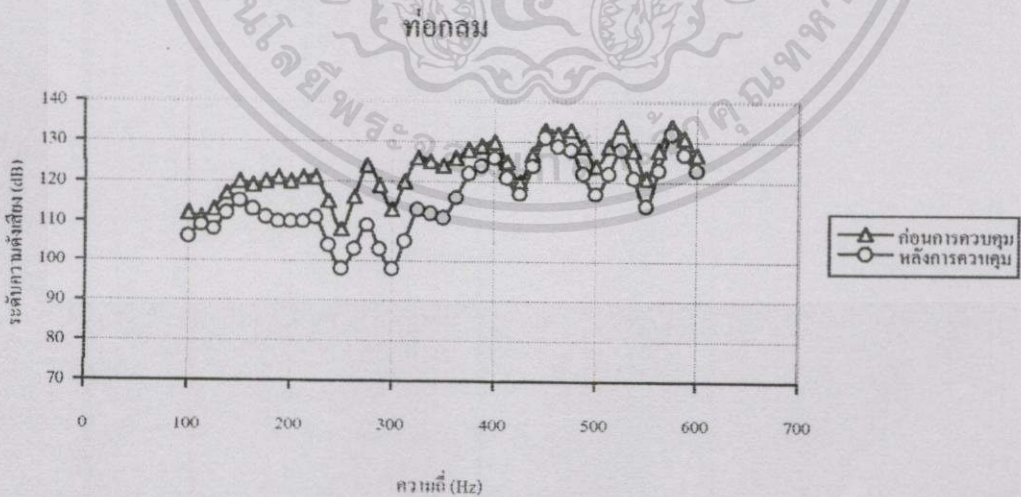


รูปที่ 6.10 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s

6.6 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลมในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.6 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.11 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.15 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.11 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s

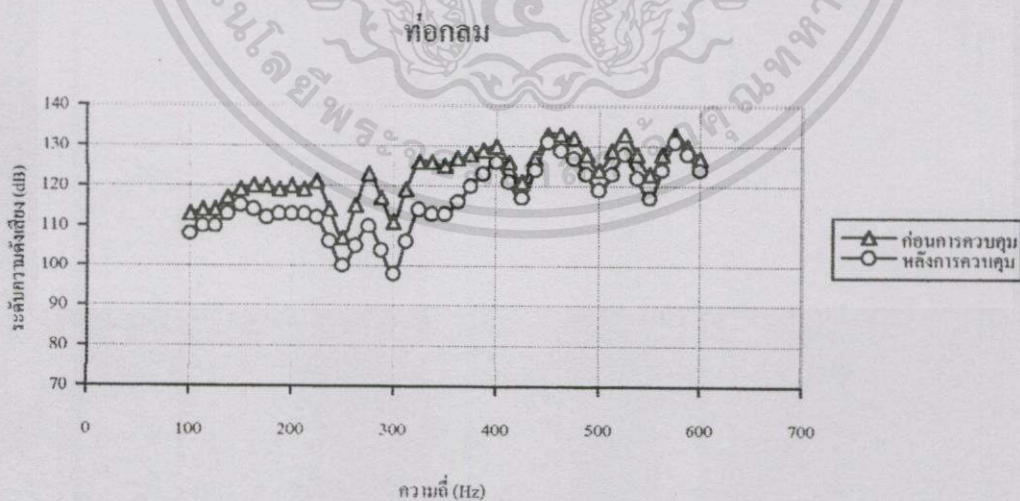


รูปที่ 6.12 กรณีทอกกลมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s

6.7 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลมในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.7 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.13 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.16 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.13 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s

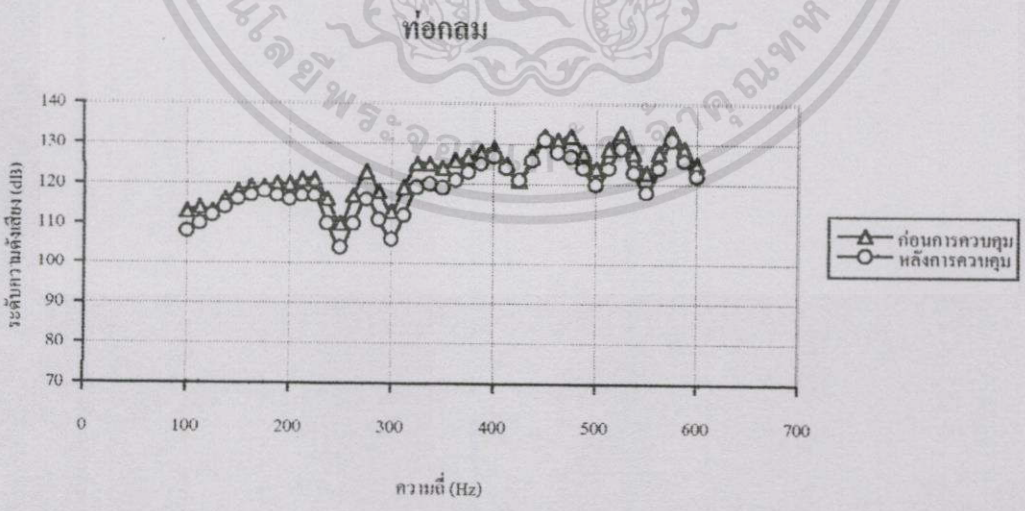


รูปที่ 6.14 กรณีทอกกลมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s

6.8 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.8 (ภาคผนวก) นำมา
เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.15 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.17 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.16



รูปที่ 6.15 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s



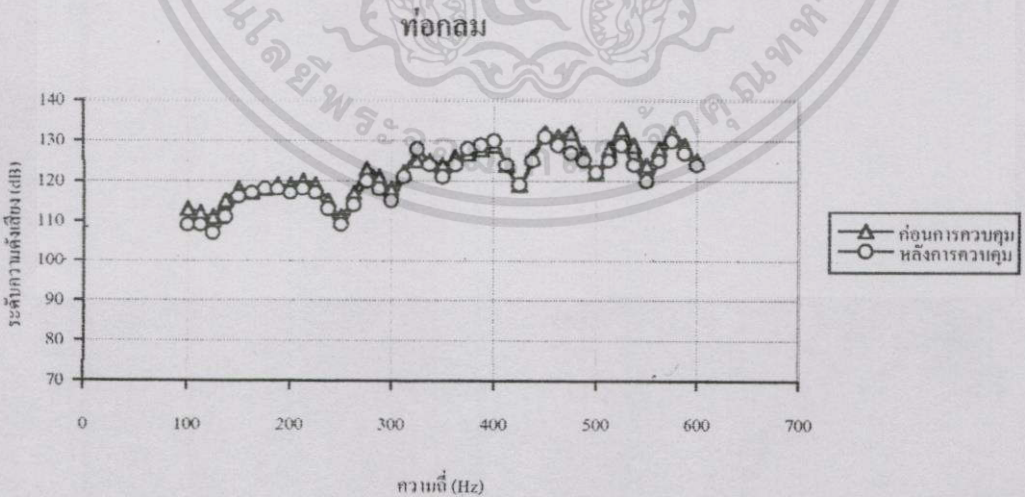
รูปที่ 6.16 กรณีทอกกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.9 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณีที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.9 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.17 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.18 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.17 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s



รูปที่ 6.18 กรณีท่อกลมที่มีความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s

บทที่ 7

การวิจารณ์หรืออภิปรายผล

กรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมพบว่าประสิทธิภาพการลดทอนเสียงรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบ โดยการใส่ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าที่ออกแบบขึ้นโดยอาศัยหลักการเคลื่อนเฟสของคลื่นเสียงรบกวนที่ตรวจวัดได้โดยการใช้ไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวสำหรับในกรณีที่ไม่มีอากาศไหลในท่อ สามารถลดทอนเสียงรบกวนลงได้สูงสุดประมาณ 20-25 dB ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6.1 แต่เมื่อความเร็วของอากาศไหลในท่อมามีค่าสูงขึ้นจะพบว่าประสิทธิภาพการลดทอนเสียงรบกวนจะลดลงนั่นคือประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนของระบบควบคุมจะแปรผกผันกับความเร็วของอากาศไหลในท่อ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6.3, 6.5, 6.7, 6.9, 6.11, 6.13, 6.15 และ 6.17 โดยเฉพาะที่ความเร็วของอากาศไหลในท่อที่ 35 m/s และ 40 m/s ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6.15 และ 6.17 ตามลำดับ แล้วจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนลดลงเป็นศูนย์นั่นคือไม่สามารถลดทอนเสียงรบกวนได้เลย

สำหรับประสิทธิภาพการลดทอนเสียงรบกวนภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลมแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 6.10, 6.12, 6.14, 6.16 และ 6.18 จากรูปจะเห็นว่าความสามารถในการลดทอนเสียงรบกวนจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อความเร็วอากาศไหลในท่อไม่เกิน 25 m/s เช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในท่อสี่เหลี่ยม โดยการลดทอนเสียงรบกวนสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลมนี้มีค่าประมาณ 20 dB และสามารถลดทอนเสียงรบกวนได้ดีในช่วงความถี่ 150-400 Hz อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าการลดทอนเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลมนี้ต่ำกว่าที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมอยู่เล็กน้อยทั้งๆที่พื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลภายในของท่อทั้งสองชนิดมีขนาดเกือบเท่ากัน ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ดังนี้คือ

เราจะกลับไปพิจารณาสมการ (3.60) นั่นคือ

$$Z_{p,2} = jZ_{p,f} \tan(kL)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าค่า Acoustic Impedance ที่กระทำต่อแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน ณ จุดที่มันติดตั้งอยู่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก $Z_{p,f}$ ไปเป็น $Z_{p,2}$ โดยที่ $Z_{p,f} = \rho c/S$ ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าค่า $Z_{p,f}$ ยังมีค่าสูงก็จะทำให้ $Z_{p,2}$ มีค่าสูงตามไปด้วยซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวน

กวนดีขึ้นด้วย และถ้าเรากลับไปพิจารณาขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นเสียงทั้งสองชนิดแล้วพบว่า

สำหรับท่อสี่เหลี่ยมที่มีขนาดความ กว้างxยาว ของภาคตัดขวางภายในคือ 44×44 mm แต่เนื่องจากว่าภายในท่อสี่เหลี่ยมมีอากาศไหล ดังนั้นในการหาค่าพื้นที่ภาคตัดขวางในการไหลของของไหลในท่อเราจึงต้องใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อสี่เหลี่ยมในการคำนวณ

เราสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อสี่เหลี่ยมได้จากสมการนี้คือ

$$D_h = 4A/P$$

เมื่อ A คือขนาดของพื้นที่ภาคตัดขวางภายในของท่อสี่เหลี่ยม

P คือความยาวเส้นรอบรูปของภาคตัดขวางภายในท่อสี่เหลี่ยม

สำหรับในการทดลองนี้ท่อสี่เหลี่ยมที่ใช้มีค่า $A = 44 \times 44 = 1936 \text{ mm}^2$ และ $P = 44 \times 4 = 176 \text{ mm}$ นั่นคือจะได้ $D_h = 44 \text{ mm}$ หรือรัศมีไฮดรอลิกของท่อสี่เหลี่ยมนี้คือ 22 mm นั่นคือจะได้พื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลภายในของท่อสี่เหลี่ยมคือ $\pi(44)^2/4 = 1520.53 \text{ mm}^2$

สำหรับกรณีของท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลมจะได้พื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลภายในเท่ากับ $\pi(43)^2/4 = 1452.20 \text{ mm}^2$

ดังนั้นเมื่อนำค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของการไหลภายในของท่อทั้งสองชนิดไปแทนค่าลงในความสัมพัทธ์ $Z_{p,r} = \rho c/S$ โดยที่เราสามารถประมาณได้ว่าเทอม ρc ของท่อทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากันแล้วจะได้ว่า $Z_{p,r}$ ของท่อทั้งสองชนิดมีค่าเกือบเท่ากันและทำให้ค่า $Z_{p,2}$ ที่กระทำต่อแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายในท่อทั้งสองชนิดมีค่าเกือบเท่ากันด้วย ดังนั้นควรจะได้ประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนในท่อทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน แต่จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมดีกว่าที่เกิดขึ้นภายในท่อนำเสียงชนิดท่อกลม ซึ่งอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเช่นนั้นนั่นคือ ถ้าโพรงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมจะให้ค่าความเร็วเชิงปริมาตรมากกว่าเป็นสองเท่าถ้านำไปใช้กับท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมเมื่อเทียบกับเมื่อนำไปใช้กับท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลมนั่นคือ

$$\text{กรณีท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยม [5]} \quad U = 2PS/\rho cS_p$$

$$\text{กรณีท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อกลม} \quad U = PS/\rho cS_p$$

เมื่อ U คือค่าความเร็วเชิงปริมาตร, P คือค่าความดันเสียง, S คือค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นเสียงและ S_p คือพื้นที่ของกรวยลำโพรง $= \pi d^2/4$ เมื่อ d คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวยลำโพรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นเมื่อความเร็วเชิงปริมาตรมีค่าสูงขึ้นก็จะทำให้ค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงควมสูงขึ้น
ด้วยดังสมการ

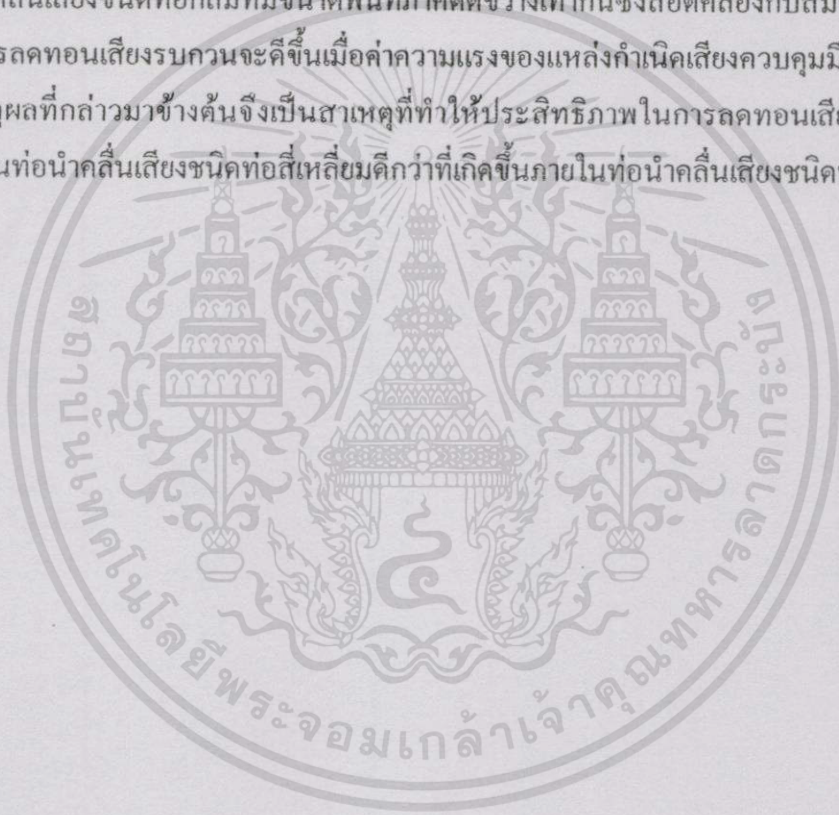
$$Q = U_{\text{MAX}}$$

เมื่อ U_{MAX} คือค่าสูงสุดของความเร็วเชิงปริมาตร

และ Q คือค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงดังนั้นจะเห็นว่าลำโพงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงควม
ควมจะให้ค่าความแรงสูงกว่าเมื่อนำไปใช้กับท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมเมื่อเทียบกับการนำไป
ใช้กับท่อนำคลื่นเสียงชนิดทอกลมที่มีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากันซึ่งสอดคล้องกับสมการ (3.58)

ที่กล่าวว่าการลดทอนเสียงรบกวนจะดีขึ้นเมื่อค่าความแรงของแหล่งกำเนิดเสียงควมมีค่าสูงขึ้น

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนที่
เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมดีกว่าที่เกิดขึ้นภายในท่อนำคลื่นเสียงชนิดทอกลม



บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าการลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำคลื่นเสียงโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมกับคลื่นเสียงรบกวนที่มีลักษณะเป็นคาบ โดยใช้ระบบควบคุมที่อาศัยหลักการเลื่อนเฟสแทนหลักการประวิงเวลาเดิมที่ใช้กันทั่วไป สามารถลดทอนเสียงรบกวนได้ดีในช่วงที่ความเร็วของอากาศไหลในท่อนำคลื่นมีค่าไม่สูงมาก โดยประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนขึ้นอยู่กับค่าความเร็วเชิงปริมาตรของลำโพงควบคุมที่ใช้ด้วย นั่นคือถ้าลำโพงควบคุมที่ใช้ให้ค่าความเร็วเชิงปริมาตรยิ่งสูงก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการลดทอนสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งค่าของการลดทอน (dB) และช่วงความเร็วของอากาศไหล

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าข้อดีของการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมในการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนนั้นประการหนึ่งก็คือ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าจะมีอากาศไหลในท่อนำคลื่นด้วยความเร็วสูงถึง 30 m/s ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าอุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนแบบเชิงกล (resonator) ที่สามารถลดทอนเสียงรบกวนได้ดีในช่วงที่ความเร็วอากาศในท่อนำคลื่นเสียงไม่เกิน 10 m/s เท่านั้น[5]

8.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

สำหรับงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคตควรมีการวิจัยการลดทอนเสียงรบกวนที่มีลักษณะไม่เป็นคาบ (Broadband Noise) ในท่อนำคลื่นเสียง โดยใช้ระบบควบคุมที่มีการประมวลสัญญาณแบบดิจิทัล (DSP) แทนระบบควบคุมแบบแอนะล็อกที่ใช้ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhou J., Shi T. "A Study of Low-Pass Filter Compensating Monopole System for Active Attenuation of Noise in a Duct.", *Applied Acoustics*, vol. 31, 1990. pp. 281-293
- [2] Chen K. T., Chen Y. H., Hsueh W. J., Wang J. N. and Liu Y. H. "The Study of an Adaptively Active Control on the Acoustic Propagation in a Pipe.", *Applied Acoustics*, vol. 55, 1998. pp. 53-66
- [3] Fan Q., Nonami K., Nakano M. "Active Noise Control of Exhaust Duct Using Two-Degree-Freedom Control System with Model Matching.", *JSME International Journal*, vol. 40, 1997. pp. 203-208
- [4] Tang S. K., Cheng J. S. F. "On the Application of Active Noise Control in an Open End Rectangular Duct with and without Flow.", *Applied Acoustics*, vol. 53, 1998. pp. 193-210
- [5] David Bies A., Colin H. Hansen. **Noise Control Theory and Practice**. 2nd Ed. UK., London, E & FN SPON, An Imprint of Chapman & Hall. 1996.
- [6] Chen K. T., Liu Y. H. "A Physical Insight of the Active Control on Sound Source in a Pipe.", *Applied Acoustics*, vol. 61, 2000. pp. 133-148
- [7] อรรถนพ พีรชาติ. "โคเรกชันนอลไมโครโฟน.", *Hobby Electronics*, ฉบับที่ 76, ตุลาคม-พฤศจิกายน 2540. หน้า 22-25
- [8] สุรพล เสดฐาน. "ควบคุมโวลุ่มอัตโนมัติ.", *Hobby Electronics*, ฉบับที่ 88, พฤษภาคม 2542. หน้า 24-28
- [9] กฤษณา ณ ตะกั่วทุ่ง, ธนาวุฒิ ไกรฤทธิกุล, กฤษณ กอวัฒนา และ สมยศ โลหะวิทย์วิกรานต์. **300 วงจร**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น. 1979.
- [10] Don Davis, Carolyn Davis. **Sound System Engineering**. 2nd Ed. Howard W. Sam & Co., A division of Macmillan, Inc. 1987.
- [11] ธนกร คิริพิทักษ์. **ทฤษฎีเครื่องเสียง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สกายบุ๊กส์. 2542
- [12] สมชาย ทองพร. "การศึกษาประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนโดยการสร้างความถี่มาหักล้างกับความถี่เดิมแบบพีคแบคคอนโทรล." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงความเร็วเสียง [12]

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
อากาศ	0	331.3
ไฮโดรเจน	0	1286
ออกซิเจน	0	317.2
น้ำ	15	1450
ตะกั่ว	20	1230
อลูมิเนียม	20	5100
ทองแดง	20	3560
เหล็ก	20	5130
แกรนิต	-	6000
ยางวัลคาไนซ์	0	54

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงตัวอย่างของเสียงที่สัมพันธ์กับระดับความดังของเสียง

ระดับความดังเสียง (เดซิเบล) (Sound Pressure Level : dB)	ตัวอย่าง
0	เสียงค่อนที่สุดที่หูสามารถรับฟังได้
20	ในห้องอัดเสียง
30	เสียงกระซิบเบาๆ (ห่าง 5 ฟุต)
40	สถานที่ทำงานที่เงียบสงบ
50	เขคบ้านพักทั่วไป
60	เสียงสนทนาปรกติ (ห่าง 3 ฟุต)
80	ในภัตตาคารที่จอแจ
100	เครื่องทอผ้าในโรงงานทอผ้า
110	โรงเลื่อยไม้
140	เครื่องบินไอพ่น

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงระดับเสียง (Sound Level) กับระยะเวลาในการฟัง

ระดับความดังเสียงที่น้อยกว่า	ระยะเวลาที่ยอมให้รับเสียง
90 เดซิเบล (เอ)	ไม่เกินวันละ 7 ชั่วโมง
85 เดซิเบล (เอ)	มากกว่า 7 ชั่วโมงและ ไม่เกิน 8 ชั่วโมง
80 เดซิเบล (เอ)	มากกว่า 8 ชั่วโมง

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (dB)
เสียงเบาที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน	0
เสียงลมหายใจ	10
เสียงใบไม้กระทบกันเมื่อถูกลมพัด	20
เสียงคนตรีแผ่วเบา	30
เสียงพูดระหว่างคนสองคน	60
เสียงขูดยานบนถนน	70-90
เสียงเครื่องบินใบพัดขึ้นจากสนามบิน	120
เสียงเครื่องบินไอพ่นขึ้นจากสนามบิน	140

ภาคผนวก จ.

ตารางที่ 6.1 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	103	96	362.5	117	102
112.5	97	90	375	116	105
125	91	84	387.5	112	100
137.5	95	85	400	108	95
150	98	86	412.5	112	100
162.5	100	88	425	115	105
175	101	91	437.5	117	104
187.5	96	87	450	119	105
200	90	83	462.5	111	99
212.5	101	85	475	103	93
225	112	88	487.5	112	98
237.5	111	89	500	120	103
250	109	91	512.5	115	90
262.5	113	94	525	110	78
275	116	98	537.5	116	92
287.5	115	98	550	122	106
300	114	99	562.5	123	105
312.5	115	98	575	124	106
325	115	99	587.5	121	102
337.5	116	100	600	118	98
350	117	100			

ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	107	95	362.5	118	104
112.5	101	94	375	117	106
125	94	94	387.5	115	103
137.5	98	91	400	113	100
150	101	89	412.5	115	103
162.5	102	89	425	117	106
175	101	89	437.5	119	107
187.5	102	87	450	120	108
200	103	85	462.5	112	100
212.5	109	89	475	103	92
225	114	94	487.5	112	99
237.5	113	95	500	120	107
250	111	95	512.5	117	102
262.5	115	96	525	113	98
275	118	97	537.5	118	101
287.5	116	99	550	123	105
300	115	101	562.5	124	106
312.5	116	101	575	125	108
325	117	102	587.5	121	103
337.5	118	101	600	116	98
350	118	102			

ตารางที่ 6.3 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	107	90	362.5	118	104
112.5	101	89	375	117	106
125	95	89	387.5	116	103
137.5	98	92	400	114	101
150	101	95	412.5	116	103
162.5	102	94	425	117	105
175	103	95	437.5	119	105
187.5	100	93	450	120	106
200	96	91	462.5	112	98
212.5	105	94	475	103	90
225	114	97	487.5	113	98
237.5	113	96	500	120	107
250	111	95	512.5	118	102
262.5	115	98	525	115	98
275	118	102	537.5	119	101
287.5	117	101	550	123	104
300	115	101	562.5	124	103
312.5	116	102	575	125	104
325	117	102	587.5	120	100
337.5	118	101	600	115	96
350	118	102			

ตารางที่ 6.4 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	107	97	362.5	116	103
112.5	103	93	375	117	105
125	98	90	387.5	116	105
137.5	101	91	400	114	104
150	103	93	412.5	115	106
162.5	104	94	425	116	108
175	103	95	437.5	117	108
187.5	101	94	450	119	109
200	98	93	462.5	113	103
212.5	106	96	475	106	98
225	114	99	487.5	113	103
237.5	113	95	500	119	108
250	111	92	512.5	118	107
262.5	114	97	525	116	105
275	117	103	537.5	119	105
287.5	116	102	550	121	104
300	115	103	562.5	123	106
312.5	116	103	575	124	109
325	117	103	587.5	119	104
337.5	118	102	600	113	100
350	117	102			

ตารางที่ 6.5 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	107	101	362.5	117	105
112.5	104	96	375	116	106
125	101	92	387.5	115	105
137.5	102	93	400	114	104
150	103	94	412.5	115	106
162.5	104	99	425	116	109
175	104	104	437.5	117	110
187.5	103	101	450	119	111
200	102	98	462.5	113	104
212.5	108	99	475	107	98
225	114	98	487.5	113	103
237.5	113	94	500	119	109
250	111	90	512.5	118	107
262.5	114	96	525	117	106
275	116	102	537.5	119	104
287.5	116	102	550	120	102
300	115	101	562.5	122	107
312.5	116	100	575	123	112
325	117	101	587.5	118	103
337.5	117	102	600	112	95
350	116	104			

ตารางที่ 6.6 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วลมเท่ากับ 25 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	111	99	362.5	117	104
112.5	107	98	375	116	106
125	102	97	387.5	116	107
137.5	103	95	400	115	105
150	104	94	412.5	114	106
162.5	105	95	425	115	106
175	105	94	437.5	117	108
187.5	105	93	450	119	110
200	104	92	462.5	114	104
212.5	109	94	475	109	99
225	114	96	487.5	114	103
237.5	112	97	500	118	107
250	111	97	512.5	118	107
262.5	113	98	525	117	106
275	114	97	537.5	118	104
287.5	115	99	550	119	103
300	115	101	562.5	121	107
312.5	116	102	575	123	110
325	115	102	587.5	118	104
337.5	116	103	600	113	98
350	117	102			

ตารางที่ 6.7 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	110	98	362.5	116	109
112.5	107	95	375	115	103
125	104	92	387.5	115	103
137.5	105	93	400	114	102
150	105	92	412.5	115	105
162.5	105	94	425	116	108
175	104	96	437.5	118	109
187.5	105	96	450	119	107
200	105	95	462.5	115	108
212.5	109	96	475	111	108
225	113	97	487.5	115	107
237.5	112	98	500	118	105
250	111	98	512.5	117	111
262.5	112	106	525	118	117
275	113	113	537.5	119	109
287.5	114	114	550	119	101
300	114	113	562.5	121	104
312.5	115	108	575	123	107
325	115	102	587.5	118	102
337.5	116	109	600	113	97
350	116	115			

ตารางที่ 6.8 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	109	104	362.5	115	111
112.5	108	105	375	115	114
125	106	105	387.5	114	114
137.5	107	106	400	113	113
150	106	105	412.5	114	114
162.5	106	106	425	115	115
175	105	106	437.5	117	117
187.5	105	105	450	118	119
200	106	102	462.5	115	113
212.5	109	103	475	110	106
225	113	104	487.5	114	109
237.5	113	112	500	118	111
250	112	112	512.5	119	112
262.5	112	112	525	119	113
275	113	113	537.5	118	109
287.5	114	110	550	117	104
300	115	107	562.5	120	108
312.5	115	111	575	123	112
325	115	115	587.5	119	112
337.5	116	111	600	114	112
350	116	107			

ตารางที่ 6.9 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	101	362.5	115	112
112.5	110	103	375	114	111
125	109	103	387.5	114	112
137.5	108	104	400	114	112
150	107	104	412.5	114	113
162.5	108	105	425	113	113
175	107	103	437.5	114	114
187.5	109	105	450	116	113
200	108	103	462.5	114	112
212.5	110	106	475	112	111
225	113	108	487.5	115	113
237.5	112	110	500	118	114
250	112	109	512.5	119	113
262.5	112	109	525	119	112
275	112	107	537.5	118	114
287.5	114	109	550	116	116
300	115	111	562.5	120	120
312.5	115	112	575	123	123
325	115	112	587.5	120	120
337.5	114	112	600	117	117
350	115	111			

ตารางที่ 6.10 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	95	362.5	128	113
112.5	114	111	375	130	116
125	116	111	387.5	130	120
137.5	119	112	400	131	127
150	122	116	412.5	127	123
162.5	121	110	425	122	120
175	123	110	437.5	128	124
187.5	122	110	450	133	128
200	124	110	462.5	131	126
212.5	123	107	475	133	128
225	123	106	487.5	128	120
237.5	118	100	500	124	109
250	111	98	512.5	129	114
262.5	118	100	525	134	120
275	125	105	537.5	128	115
287.5	121	102	550	122	114
300	117	98	562.5	128	120
312.5	122	103	575	134	128
325	128	109	587.5	130	125
337.5	127	111	600	126	121
350	125	110			

ตารางที่ 6.11 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	111	95	362.5	128	113
112.5	113	110	375	129	116
125	116	111	387.5	130	120
137.5	119	112	400	131	128
150	121	117	412.5	127	123
162.5	122	111	425	123	120
175	122	110	437.5	129	125
187.5	123	110	450	134	129
200	123	110	462.5	132	127
212.5	123	108	475	134	129
225	122	108	487.5	130	122
237.5	116	100	500	125	110
250	110	98	512.5	130	116
262.5	118	100	525	135	122
275	125	106	537.5	129	116
287.5	119	100	550	124	117
300	113	94	562.5	129	122
312.5	121	103	575	134	128
325	128	109	587.5	129	125
337.5	128	110	600	125	121
350	126	110			

ตารางที่ 6.12 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	102	362.5	127	114
112.5	115	110	375	129	117
125	117	112	387.5	130	122
137.5	116	109	400	131	127
150	114	107	412.5	127	123
162.5	118	110	425	123	120
175	122	110	437.5	129	125
187.5	123	110	450	134	130
200	123	109	462.5	134	129
212.5	123	108	475	133	130
225	122	106	487.5	129	120
237.5	116	110	500	124	110
250	109	97	512.5	130	118
262.5	117	100	525	135	126
275	125	107	537.5	129	121
287.5	121	103	550	123	116
300	116	98	562.5	129	122
312.5	122	104	575	134	129
325	128	112	587.5	131	125
337.5	127	112	600	127	122
350	125	112			

ตารางที่ 6.13 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	102	362.5	128	115
112.5	114	108	375	129	117
125	115	110	387.5	131	122
137.5	118	113	400	131	127
150	121	116	412.5	126	122
162.5	122	113	425	121	118
175	121	110	437.5	128	125
187.5	122	109	450	134	130
200	123	110	462.5	134	129
212.5	120	108	475	133	128
225	122	107	487.5	129	118
237.5	117	103	500	124	110
250	111	100	512.5	130	116
262.5	118	104	525	135	122
275	125	108	537.5	129	119
287.5	119	101	550	123	115
300	112	95	562.5	129	121
312.5	120	102	575	134	127
325	127	110	587.5	130	124
337.5	128	112	600	125	120
350	126	113			

ตารางที่ 6.14 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	104	362.5	127	113
112.5	114	105	375	128	118
125	115	107	387.5	130	121
137.5	118	111	400	130	125
150	120	115	412.5	127	122
162.5	119	111	425	123	119
175	121	108	437.5	128	124
187.5	120	103	450	133	130
200	122	110	462.5	130	130
212.5	122	108	475	133	129
225	121	106	487.5	129	120
237.5	115	101	500	124	112
250	108	96	512.5	129	119
262.5	116	102	525	133	127
275	124	108	537.5	128	120
287.5	119	102	550	122	114
300	114	97	562.5	128	121
312.5	120	103	575	133	128
325	126	110	587.5	130	124
337.5	125	110	600	126	121
350	125	109			

ตารางที่ 6.15 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 25 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	112	106	362.5	126	116
112.5	111	109	375	128	122
125	113	108	387.5	129	124
137.5	117	112	400	130	126
150	120	115	412.5	125	121
162.5	119	113	425	120	117
175	120	111	437.5	127	124
187.5	121	110	450	133	131
200	120	110	462.5	132	129
212.5	121	110	475	133	128
225	121	111	487.5	129	122
237.5	115	104	500	124	117
250	108	98	512.5	129	122
262.5	116	103	525	134	128
275	124	109	537.5	128	121
287.5	119	103	550	121	114
300	113	98	562.5	128	123
312.5	120	105	575	134	132
325	126	113	587.5	131	127
337.5	125	112	600	127	123
350	124	111			

ตารางที่ 6.16 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	113	108	362.5	127	116
112.5	114	110	375	128	120
125	114	110	387.5	129	123
137.5	117	113	400	130	126
150	119	115	412.5	126	121
162.5	120	114	425	121	117
175	120	112	437.5	127	124
187.5	119	113	450	133	131
200	120	113	462.5	133	129
212.5	119	113	475	132	127
225	121	112	487.5	128	123
237.5	114	106	500	124	119
250	107	100	512.5	129	123
262.5	115	105	525	133	128
275	123	110	537.5	128	122
287.5	117	104	550	123	117
300	111	98	562.5	128	124
312.5	119	106	575	133	131
325	126	114	587.5	130	128
337.5	126	113	600	127	124
350	125	113			

ตารางที่ 6.17 บันทึกผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	113	108	362.5	126	121
112.5	114	110	375	127	123
125	113	112	387.5	128	125
137.5	116	114	400	129	127
150	118	116	412.5	125	124
162.5	119	117	425	121	121
175	119	118	437.5	127	126
187.5	120	117	450	132	131
200	120	116	462.5	131	128
212.5	121	117	475	132	127
225	121	117	487.5	128	124
237.5	116	110	500	124	120
250	110	104	512.5	129	124
262.5	117	110	525	133	129
275	123	116	537.5	128	123
287.5	118	111	550	123	118
300	113	106	562.5	128	124
312.5	119	112	575	133	131
325	125	119	587.5	129	126
337.5	125	120	600	125	122
350	124	119			

ตารางที่ 6.18 บันทึกรูปผลการทดลองการลดทอนเสียงรบกวนในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s

ข้อมูลในตาราง “ ก่อนการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนก่อนทำการลดทอนและ “ หลังการควบคุม (dB) ” หมายถึงระดับความดังเสียงรบกวนหลังทำการลดทอนแล้ว

ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ก่อนการควบคุม (dB)	หลังการควบคุม (dB)
100	113	109	362.5	126	124
112.5	112	109	375	127	128
125	111	107	387.5	128	129
137.5	115	111	400	129	130
150	118	116	412.5	124	124
162.5	117	117	425	119	119
175	118	118	437.5	126	125
187.5	119	118	450	132	131
200	119	117	462.5	131	129
212.5	120	118	475	132	127
225	119	117	487.5	127	125
237.5	115	113	500	122	122
250	111	109	512.5	128	125
262.5	117	114	525	133	129
275	123	120	537.5	129	124
287.5	121	118	550	124	120
300	118	115	562.5	128	125
312.5	122	121	575	132	130
325	125	128	587.5	129	127
337.5	125	124	600	125	124
350	124	121			

ตารางที่ 19 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงภูมิหลังในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศไหล
เท่ากับ 0 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิด
จากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่ง
กำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)
100	48	362.5	30
112.5	44	375	30
125	40	387.5	31
137.5	40	400	31
150	40	412.5	29
162.5	40	425	26
175	41	437.5	25
187.5	40	450	23
200	39	462.5	24
212.5	38	475	26
225	36	487.5	27
237.5	36	500	27
250	36	512.5	26
262.5	35	525	25
275	33	537.5	25
287.5	33	550	24
300	34	562.5	23
312.5	34	575	22
325	34	587.5	31
337.5	31	600	20
350	29		

ตารางที่ 20 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 5 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	67	362.5	44
112.5	65	375	42
125	62	387.5	41
137.5	62	400	40
150	63	412.5	38
162.5	63	425	37
175	63	437.5	38
187.5	60	450	40
200	57	462.5	38
212.5	56	475	36
225	55	487.5	34
237.5	55	500	31
250	54	512.5	31
262.5	52	525	31
275	50	537.5	32
287.5	50	550	33
300	49	562.5	31
312.5	49	575	29
325	49	587.5	28
337.5	48	600	26
350	46		

ตารางที่ 21 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 10 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	82	362.5	80
112.5	82	375	78
125	82	387.5	79
137.5	82	400	80
150	81	412.5	80
162.5	82	425	80
175	82	437.5	80
187.5	81	450	80
200	80	462.5	79
212.5	83	475	78
225	85	487.5	78
237.5	83	500	77
250	82	512.5	78
262.5	81	525	78
275	80	537.5	77
287.5	80	550	75
300	81	562.5	77
312.5	82	575	78
325	82	587.5	77
337.5	81	600	76
350	81		

ตารางที่ 22 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 15 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	88	362.5	86
112.5	90	375	87
125	91	387.5	87
137.5	92	400	86
150	93	412.5	86
162.5	92	425	86
175	90	437.5	86
187.5	90	450	85
200	89	462.5	85
212.5	89	475	85
225	89	487.5	85
237.5	89	500	86
250	88	512.5	86
262.5	88	525	86
275	88	537.5	87
287.5	88	550	88
300	88	562.5	86
312.5	87	575	85
325	85	587.5	86
337.5	85	600	87
350	85		

ตารางที่ 23 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 20 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	98	362.5	91
112.5	97	375	90
125	96	387.5	90
137.5	96	400	90
150	96	412.5	91
162.5	97	425	92
175	97	437.5	92
187.5	97	450	91
200	96	462.5	91
212.5	96	475	91
225	95	487.5	90
237.5	94	500	89
250	93	512.5	90
262.5	93	525	90
275	92	537.5	89
287.5	92	550	88
300	91	562.5	88
312.5	93	575	88
325	94	587.5	89
337.5	93	600	89
350	91		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 24 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 25 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	98	362.5	97
112.5	98	375	97
125	98	387.5	95
137.5	99	400	93
150	99	412.5	93
162.5	99	425	92
175	99	437.5	93
187.5	97	450	93
200	95	462.5	93
212.5	95	475	93
225	95	487.5	93
237.5	95	500	93
250	95	512.5	93
262.5	96	525	92
275	96	537.5	93
287.5	96	550	94
300	95	562.5	92
312.5	95	575	90
325	95	587.5	90
337.5	96	600	90
350	96		

ตารางที่ 25 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 30 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	102	362.5	97
112.5	102	375	96
125	102	387.5	96
137.5	102	400	96
150	101	412.5	96
162.5	100	425	96
175	99	437.5	97
187.5	99	450	97
200	99	462.5	97
212.5	99	475	97
225	99	487.5	97
237.5	100	500	97
250	100	512.5	97
262.5	99	525	97
275	98	537.5	96
287.5	98	550	95
300	97	562.5	95
312.5	97	575	94
325	96	587.5	95
337.5	97	600	95
350	98		

ตารางที่ 26 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 35 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่มีความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	104	362.5	101
112.5	105	375	101
125	105	387.5	101
137.5	105	400	101
150	105	412.5	100
162.5	104	425	99
175	102	437.5	99
187.5	103	450	99
200	103	462.5	99
212.5	103	475	98
225	102	487.5	99
237.5	102	500	99
250	101	512.5	99
262.5	101	525	99
275	100	537.5	100
287.5	100	550	100
300	100	562.5	100
312.5	100	575	99
325	100	587.5	98
337.5	100	600	97
350	100		

ตารางที่ 27 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็ว
อากาศไหลเท่ากับ 40 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	105	362.5	103
112.5	104	375	102
125	103	387.5	102
137.5	104	400	102
150	105	412.5	103
162.5	105	425	103
175	105	437.5	102
187.5	105	450	101
200	104	462.5	101
212.5	104	475	100
225	103	487.5	101
237.5	103	500	101
250	103	512.5	102
262.5	104	525	103
275	104	537.5	102
287.5	103	550	101
300	101	562.5	101
312.5	101	575	101
325	101	587.5	100
337.5	102	600	98
350	103		

ตารางที่ 28 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงภูมิหลังในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 0 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงภูมิหลัง (dB)
100	45	362.5	26
112.5	44	375	25
125	43	387.5	28
137.5	39	400	30
150	39	412.5	30
162.5	37	425	31
175	40	437.5	27
187.5	36	450	25
200	35	462.5	25
212.5	31	475	23
225	30	487.5	23
237.5	30	500	23
250	31	512.5	24
262.5	29	525	21
275	28	537.5	20
287.5	30	550	25
300	27	562.5	22
312.5	26	575	17
325	29	587.5	19
337.5	25	600	19
350	26		

ตารางที่ 29 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 5 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	56	362.5	28
112.5	58	375	28
125	59	387.5	31
137.5	54	400	29
150	52	412.5	26
162.5	49	425	29
175	47	437.5	26
187.5	45	450	24
200	44	462.5	26
212.5	43	475	22
225	41	487.5	26
237.5	37	500	27
250	30	512.5	26
262.5	31	525	24
275	36	537.5	20
287.5	34	550	23
300	28	562.5	21
312.5	30	575	19
325	31	587.5	17
337.5	31	600	20
350	25		

ตารางที่ 30 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 10 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	79	362.5	79
112.5	78	375	79
125	79	387.5	79
137.5	81	400	76
150	79	412.5	79
162.5	76	425	80
175	79	437.5	77
187.5	80	450	77
200	80	462.5	76
212.5	81	475	77
225	78	487.5	77
237.5	80	500	74
250	80	512.5	76
262.5	80	525	75
275	80	537.5	75
287.5	80	550	74
300	80	562.5	72
312.5	79	575	70
325	79	587.5	73
337.5	80	600	73
350	77		

ตารางที่ 31 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 15 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่มีความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	83	362.5	83
112.5	83	375	84
125	82	387.5	85
137.5	83	400	85
150	83	412.5	84
162.5	83	425	86
175	82	437.5	85
187.5	84	450	85
200	83	462.5	85
212.5	83	475	82
225	86	487.5	86
237.5	84	500	84
250	83	512.5	85
262.5	84	525	87
275	85	537.5	86
287.5	84	550	85
300	85	562.5	83
312.5	84	575	84
325	82	587.5	84
337.5	87	600	84
350	85		

ตารางที่ 32 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 20 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	89	362.5	90
112.5	89	375	89
125	89	387.5	88
137.5	89	400	87
150	89	412.5	88
162.5	90	425	89
175	88	437.5	89
187.5	87	450	89
200	87	462.5	89
212.5	89	475	90
225	90	487.5	90
237.5	89	500	88
250	89	512.5	89
262.5	88	525	90
275	87	537.5	89
287.5	88	550	89
300	89	562.5	88
312.5	90	575	87
325	90	587.5	88
337.5	89	600	88
350	89		

ตารางที่ 33 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศ
ไหลเท่ากับ 25 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อ
ที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจาก
แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจาก อากาศไหล (dB)
100	90	362.5	89
112.5	90	375	90
125	89	387.5	90
137.5	90	400	91
150	90	412.5	90
162.5	92	425	91
175	91	437.5	90
187.5	91	450	88
200	91	462.5	89
212.5	90	475	89
225	91	487.5	91
237.5	91	500	90
250	91	512.5	90
262.5	90	525	91
275	89	537.5	91
287.5	89	550	90
300	90	562.5	90
312.5	92	575	89
325	91	587.5	91
337.5	90	600	90
350	90		

ตารางที่ 34 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 30 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	91	362.5	92
112.5	93	375	91
125	93	387.5	89
137.5	90	400	92
150	94	412.5	92
162.5	93	425	91
175	90	437.5	92
187.5	91	450	91
200	90	462.5	90
212.5	91	475	91
225	92	487.5	90
237.5	92	500	91
250	91	512.5	92
262.5	90	525	92
275	89	537.5	92
287.5	92	550	91
300	94	562.5	90
312.5	93	575	91
325	92	587.5	92
337.5	93	600	91
350	92		

ตารางที่ 35 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 35 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	95	362.5	96
112.5	96	375	94
125	95	387.5	93
137.5	93	400	93
150	94	412.5	93
162.5	94	425	94
175	94	437.5	94
187.5	93	450	94
200	94	462.5	92
212.5	95	475	93
225	94	487.5	93
237.5	94	500	91
250	93	512.5	91
262.5	92	525	93
275	92	537.5	94
287.5	92	550	94
300	92	562.5	93
312.5	93	575	94
325	94	587.5	95
337.5	94	600	95
350	94		

ตารางที่ 36 บันทึกผลการทดลองระดับความดังเสียงจากอากาศไหลในท่อกลมที่ความเร็วอากาศไหลเท่ากับ 40 m/s

ข้อมูลในตาราง “ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)” หมายถึงระดับความดังของเสียงภายในท่อที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ความเร็วต่างๆ โดยที่ไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมเข้ามาเกี่ยวข้อง

ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)	ความถี่เสียง (Hz)	ระดับเสียงจากอากาศไหล (dB)
100	98	362.5	94
112.5	97	375	93
125	97	387.5	92
137.5	97	400	93
150	95	412.5	93
162.5	95	425	95
175	95	437.5	95
187.5	96	450	93
200	96	462.5	93
212.5	94	475	94
225	92	487.5	94
237.5	92	500	93
250	92	512.5	93
262.5	93	525	93
275	93	537.5	93
287.5	92	550	94
300	92	562.5	94
312.5	92	575	94
325	94	587.5	94
337.5	93	600	93
350	93		

ตารางที่ 6.37 บันทึกผลการทดสอบผลตอบแทนเชิงความถี่ที่ระยะห่างต่างๆกันของไมโครโฟน
ชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว

ความถี่เสียง (Hz)	แรงดันไฟฟ้าที่ ระยะห่างของ ไมโครโฟน 20 cm (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่ ระยะห่างของ ไมโครโฟน 25 cm (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่ ระยะห่างของ ไมโครโฟน 30 cm (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่ ระยะห่างของ ไมโครโฟน 35 cm (mV)
100	3.98	5.01	6.31	6.68
125	4.47	5.49	7.08	7.08
150	5.01	5.75	7.76	7.94
175	5.49	5.62	9.02	9.12
200	5.96	6.31	9.88	10.00
225	7.08	7.16	10.00	10.01
250	7.50	7.58	10.00	10.01
275	8.61	8.71	11.22	10.59
300	8.91	9.12	11.22	10.72
325	9.44	9.55	10.96	10.84
350	10.00	10.00	11.09	11.09
375	10.01	10.01	11.22	11.22
400	10.02	10.01	11.22	11.35
425	10.03	10.03	11.35	11.35
450	10.59	10.59	11.09	11.22
475	10.05	10.05	10.03	10.59
500	10.01	10.02	11.09	10.03
525	10.03	10.03	10.96	10.02
550	10.02	10.03	10.05	10.03
575	10.01	10.02	10.96	10.96
600	10.05	10.05	11.35	11.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.38 บันทึกผลการทดสอบผลตอบสนองเชิงทิศทางของไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวที่ความถี่เสียงต่างๆ

ทิศทางเชิงมุม (องศา)	แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 100 Hz (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ 300 Hz (mV)	แรงดันไฟฟ้าที่ ความถี่ 600 Hz (mV)
0	3.00	3.50	4.50
30	2.85	3.15	3.69
60	2.55	2.62	2.97
90	1.86	1.89	2.12
120	1.29	1.33	1.35
150	0.9	0.80	1.04
180	0.6	0.74	0.99
210	0.9	0.80	1.04
240	1.29	1.33	1.35
270	1.86	1.89	2.12
300	2.55	2.62	2.97
330	2.85	3.15	3.69
360	3.00	3.50	4.50

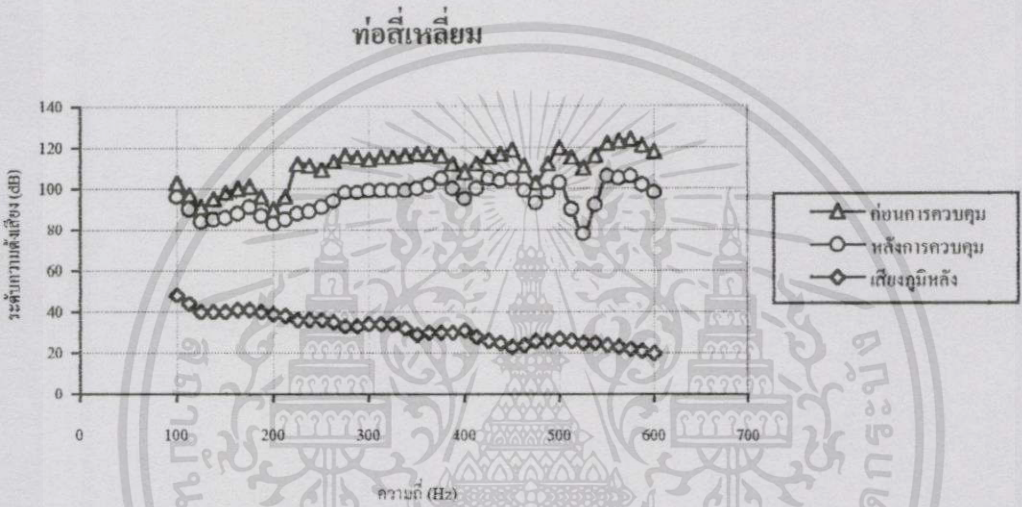
ตารางที่ 6.39 บันทึกผลการทดสอบการตอบสนองความถี่ของ Power Amplifier ที่ใช้ในระบบควม

คุม

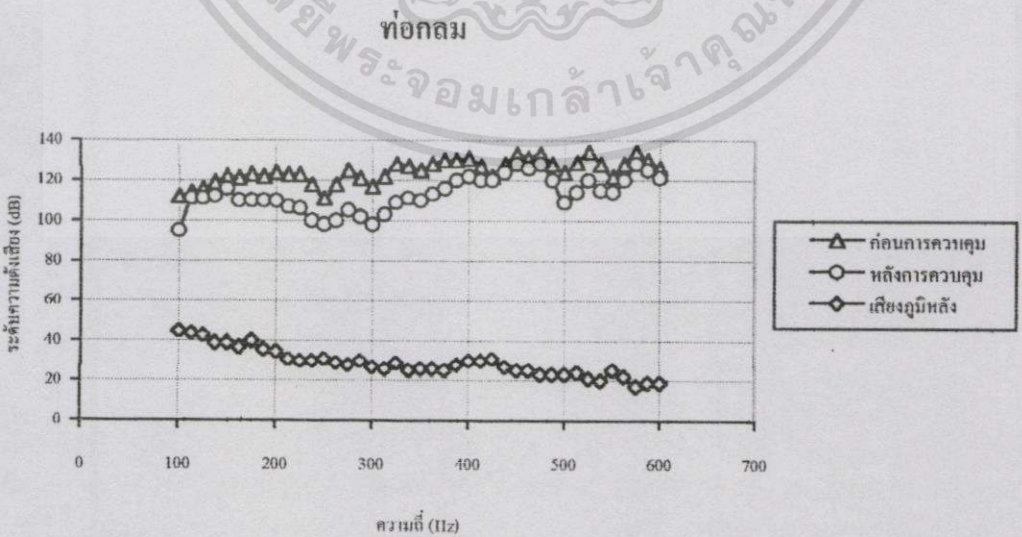
ความถี่เสียง (Hz)	แรงดันอินพุท (V)	แรงดันเอาต์พุท (V)
100	8.00	11.90
125	8.00	11.70
150	8.00	11.50
175	8.00	11.30
200	8.00	11.10
225	8.00	11.30
250	8.00	11.50
275	8.00	11.70
300	8.00	11.88
325	8.00	11.86
350	8.00	11.84
375	8.00	11.82
400	8.00	11.80
425	8.00	11.80
450	8.00	11.82
475	8.00	11.84
500	8.00	11.84
525	8.00	11.84
550	8.00	11.82
575	8.00	11.80
600	8.00	11.80

ภาคผนวก ฉ.

6.10 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและทอกกลมในกรณี
ที่ไม่มีอากาศไหลในท่อโดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ด้วย จากบันทึก
ผลการทดลองตารางที่ 6.1 และ 6.19 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.19 และจากบันทึก
ผลการทดลองตารางที่ 6.10 และ 6.28 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.20



รูปที่ 6.19 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s



รูปที่ 6.20 กรณีทอกกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

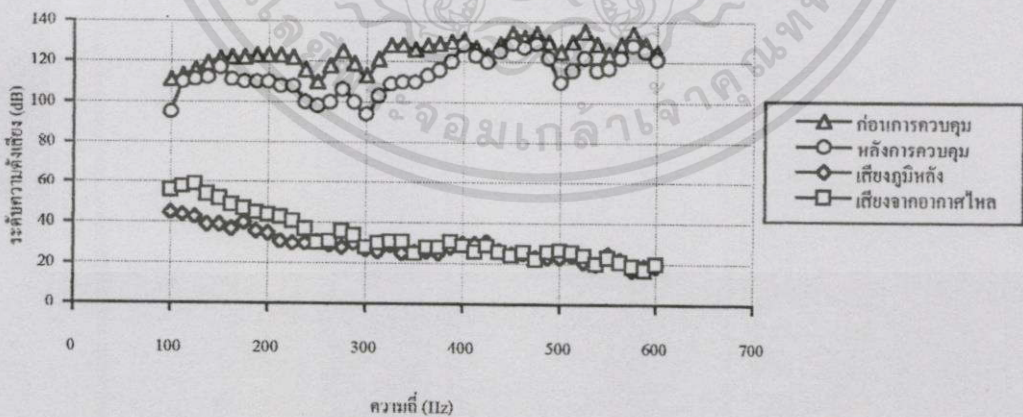
6.11 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.2 , 6.19 และ 6.20 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.21 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.11 , 6.28 และ 6.29 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.22

ท่อสี่เหลี่ยม



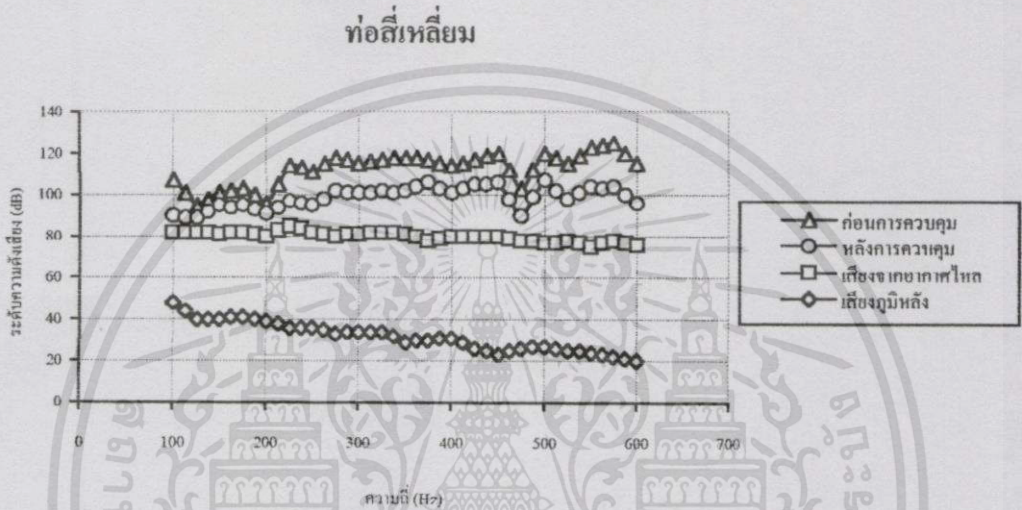
รูปที่ 6.21 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s

ท่อกลม

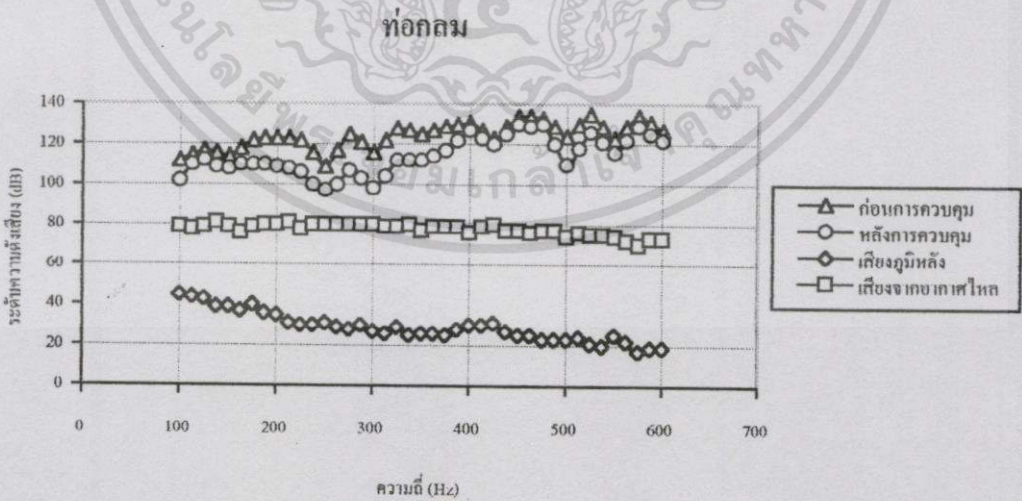


รูปที่ 6.22 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s

6.12 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากนั้นที่ผลการทดลองตารางที่ 6.3 , 6.19 และ 6.21 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.23 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.12 , 6.28 และ 6.30 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.24



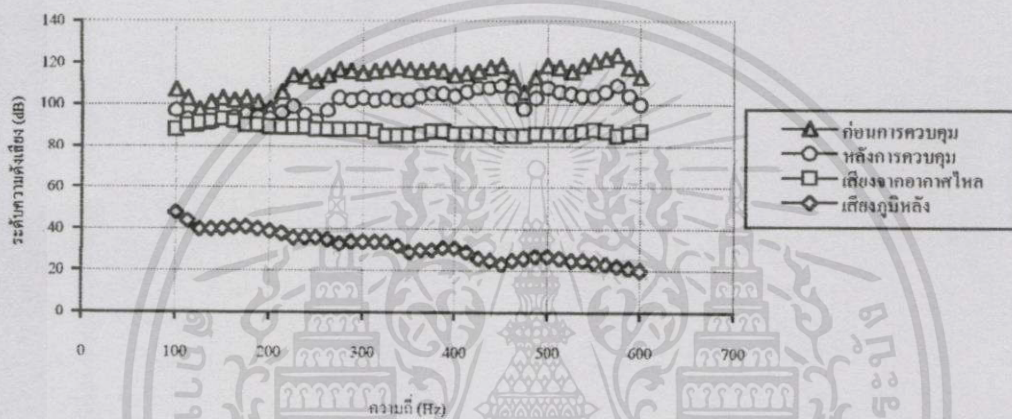
รูปที่ 6.23 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s



รูปที่ 6.24 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s

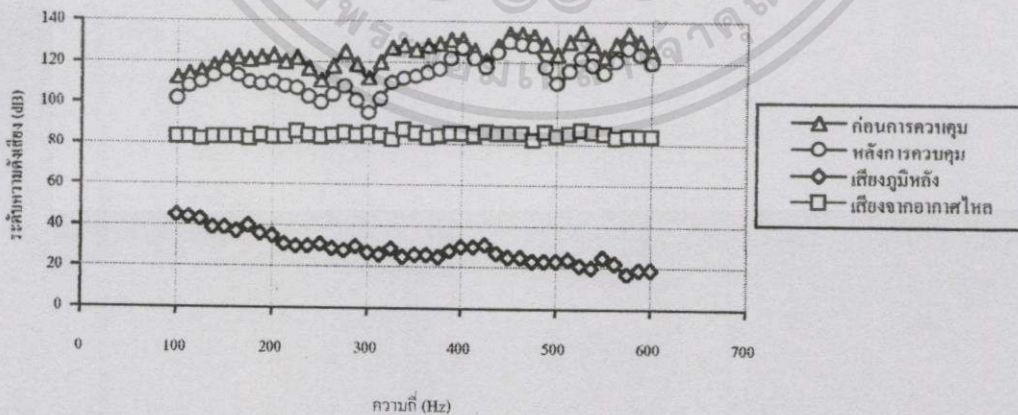
6.13 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.4 , 6.19 และ 6.22 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.25 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.13 , 6.28 และ 6.31 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.26

ท่อสี่เหลี่ยม



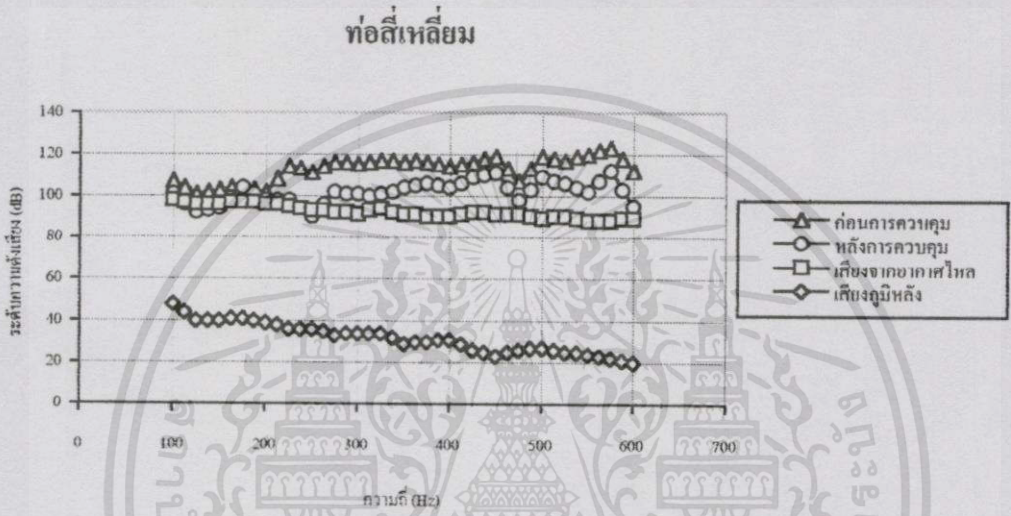
รูปที่ 6.25 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s

ท่อกลม

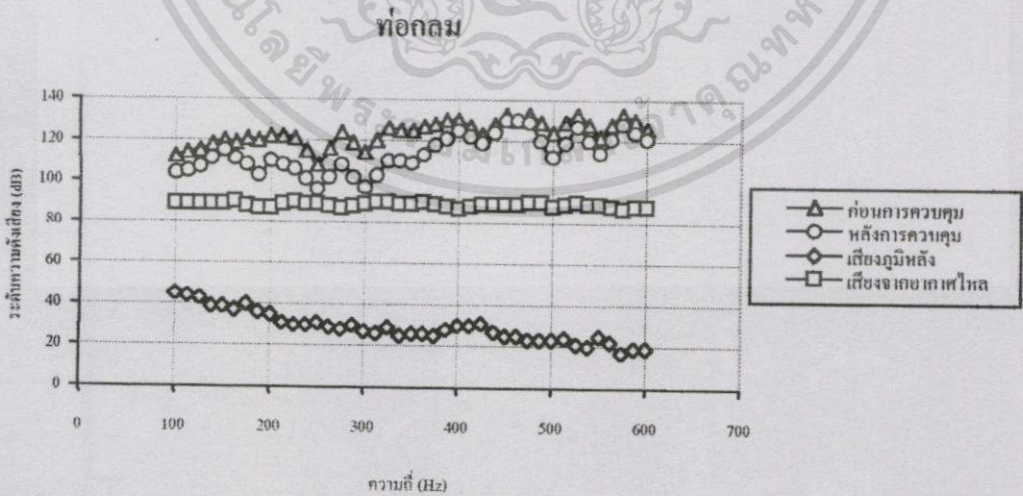


รูปที่ 6.26 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s

6.14 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.5 , 6.19 และ 6.23 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.27 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.14 , 6.28 และ 6.32 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.28

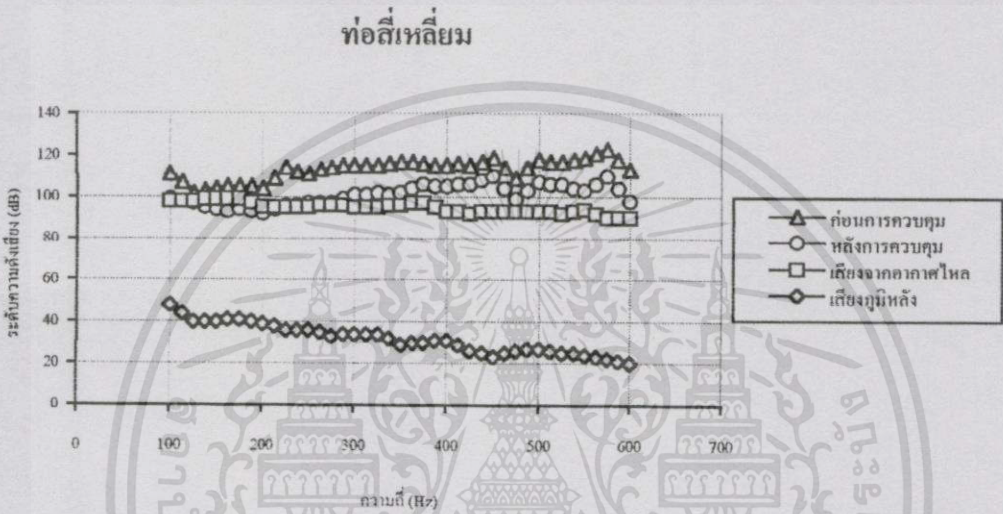


รูปที่ 6.27 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s

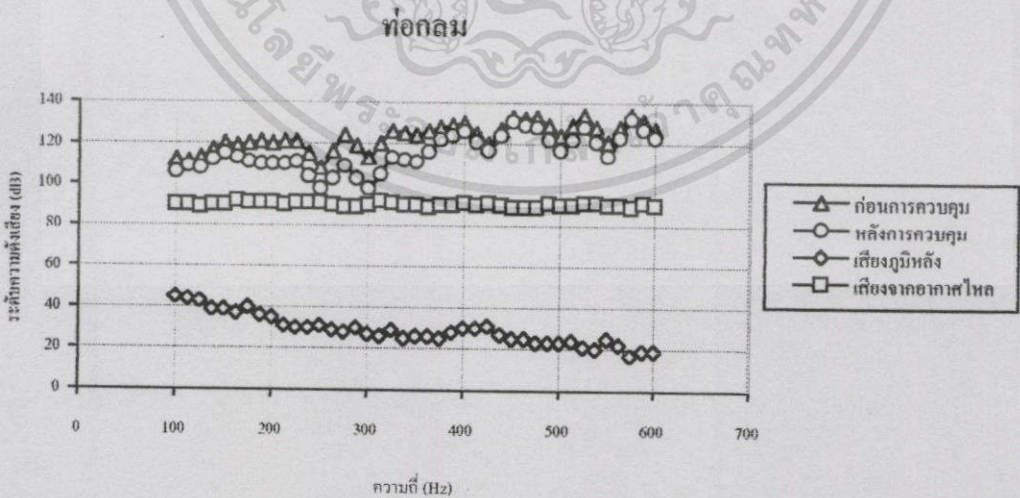


รูปที่ 6.28 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s

6.15 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.6 , 6.19 และ 6.24 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.29 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.15 , 6.28 และ 6.33 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.30



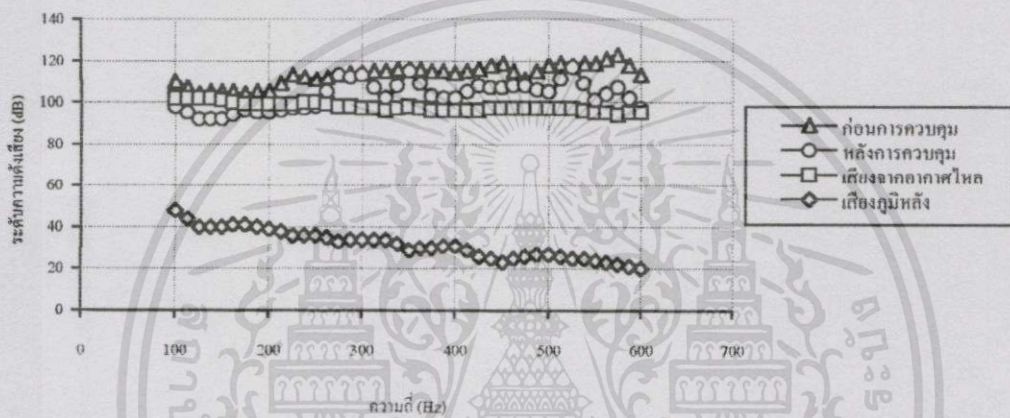
รูปที่ 6.29 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s



รูปที่ 6.30 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s

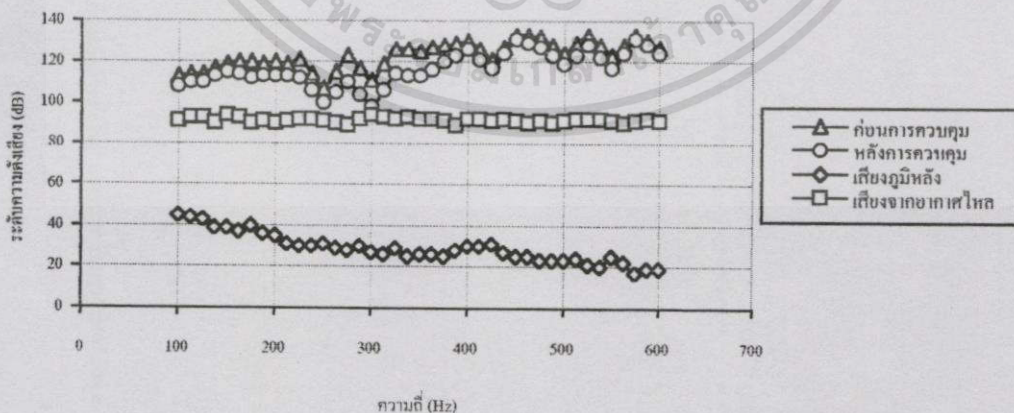
6.16 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.7 , 6.19 และ 6.25 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.31 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.16 , 6.28 และ 6.34 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.32

ท่อสี่เหลี่ยม



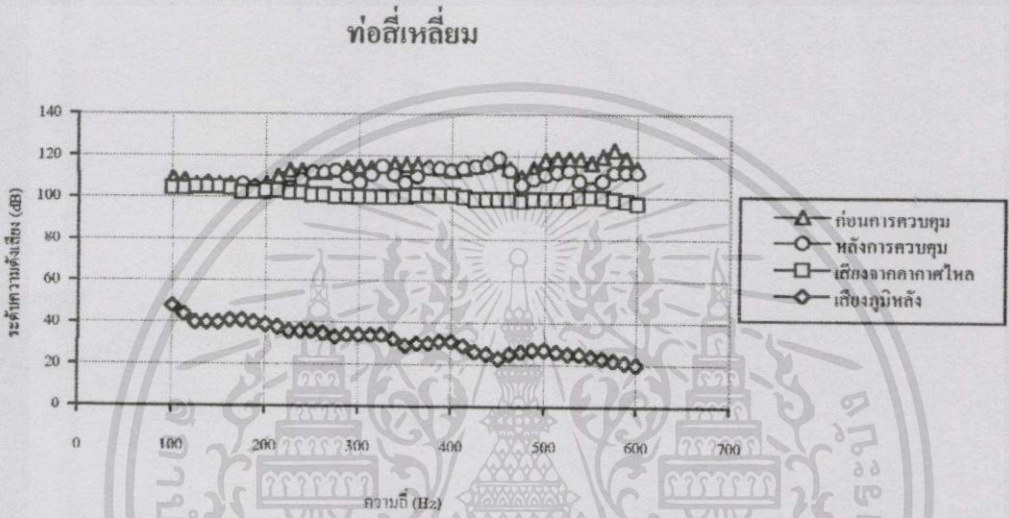
รูปที่ 6.31 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s

ท่อกลม

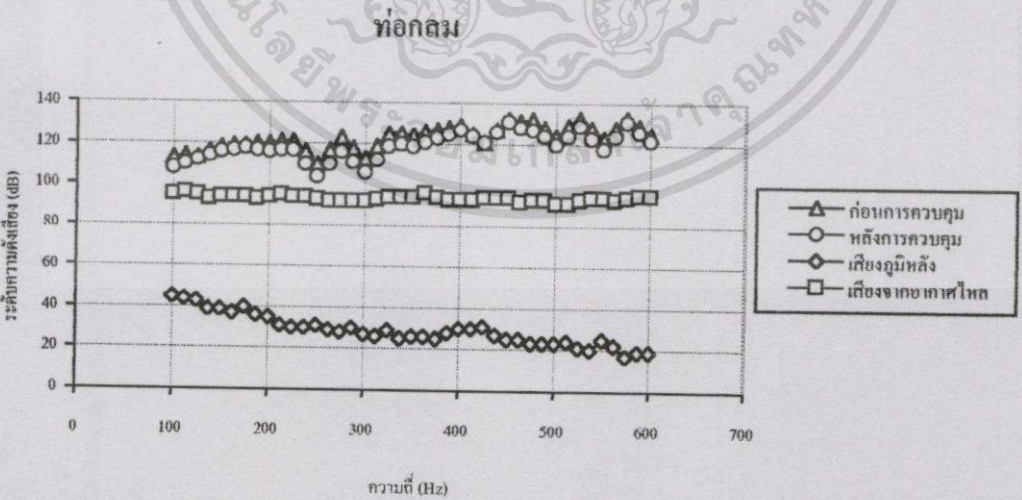


รูปที่ 6.32 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s

6.17 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้ ด้วย จากนั้นที่ผลการทดลองตารางที่ 6.8 , 6.19 และ 6.26 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.33 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.17 , 6.28 และ 6.35 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.34

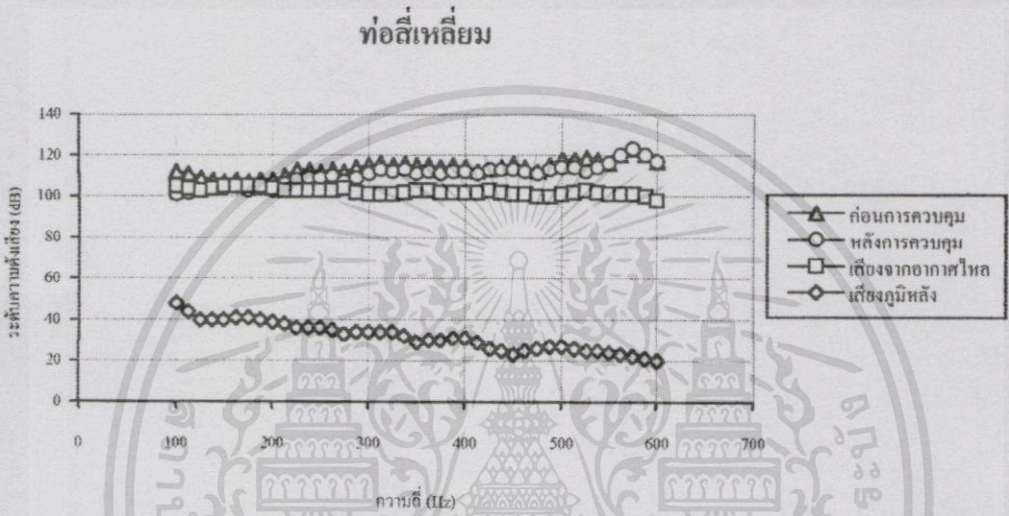


รูปที่ 6.33 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s

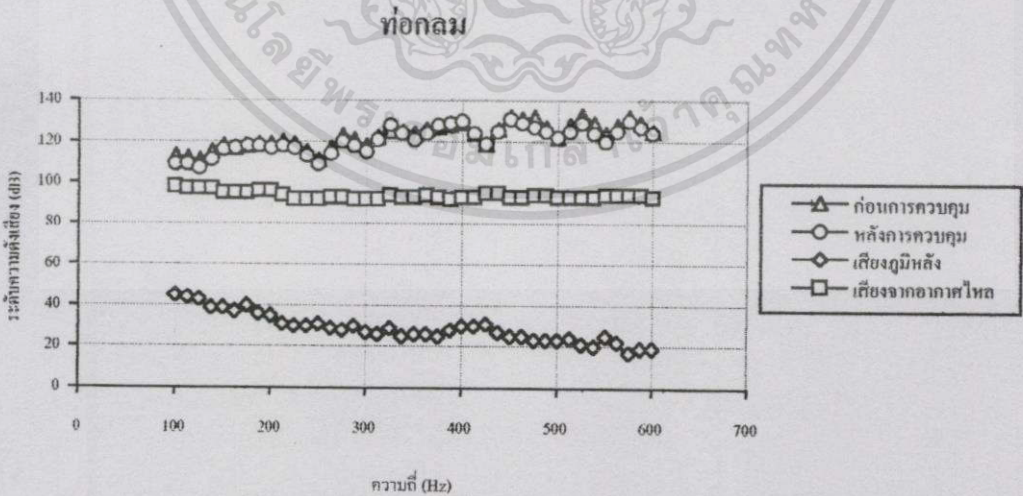


รูปที่ 6.34 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s

6.18 การเปรียบเทียบลักษณะการลดทอนเสียงรบกวนในท่อสี่เหลี่ยมและท่อกลมในกรณี
ที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s โดยมีการแสดงระดับความดังเสียงภูมิหลังเอาไว้
ด้วย จากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.9 , 6.19 และ 6.27 (ภาคผนวก) นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่
6.35 และจากบันทึกผลการทดลองตารางที่ 6.18 , 6.28 และ 6.36 นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 6.36



รูปที่ 6.35 กรณีท่อสี่เหลี่ยมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s



รูปที่ 6.36 กรณีท่อกลมที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s

ภาคผนวก ข.

แสดงบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 14 ณ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม

Active Noise Reduction of Low Frequency in Duct Flows Using a Single Monopole Source

อัครเดช สินธุภัก , ทวี เทศเจริญ และ บัญชา วิเชียรชม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 02- 7392393 , โทรสาร 02- 326-9053 , E-Mail : ksakrade@kmitl.ac.th

Akradech Sindhuphak , Thavee Teschareon and Bancha wichianchom

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand

Tel : 02- 7392393 , Fax : 02- 326-9053

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการศึกษาการลดเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลด้วยความเร็วไม่เกิน 40 m/s ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการวัดระดับความดังของเสียงในท่อที่ความถี่ต่างๆก่อน แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับระดับความดังของเสียงรบกวนเมื่อใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงแหล่งเดียวกัน จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระดับความดังของเสียงรบกวนที่มีความถี่ในช่วง 100 ถึง 600 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 20 ถึง 25 dB

Abstract

This paper describes the study of active noise control using a single monopole source based on very low frequency in duct with flow not more than 40 m/s at room temperature. In this study, at first we measured noise intensity at each specific frequency. Then the feedforward controller is designed by using the phase shifted basis. Experiments are carried out using the

designed controller. The experimental results shown that noise reduction about 20 to 25 dB obtain over the frequency range from 100 Hz to 600 Hz.

1. บทนำ

การลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมใช้หลักการของการทับซ้อนกันของคลื่นเสียง(superimposing sound wave)ตั้งแต่สองขบวนการขึ้นไปโดยมีการออกแบบระบบควบคุมที่แตกต่างกันออกไปหลายวิธีเช่นระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า(feedforward controller)และระบบควบคุมแบบป้อนกลับ(feedback controller)แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งระบบควบคุมจะเป็นแบบปรับตั้งได้(adaptive control system)อย่างไรก็ตามในระบบควบคุมเพื่อลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าในปัจจุบันมักจะใช้ระบบควบคุมแบบดิจิทัลโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมซึ่งสามารถลดทอนระดับเสียงรบกวนลงได้ประมาณ 15 dB สำหรับความถี่เสียงรบกวนในช่วง 100 ถึง

500 Hz [1] แต่เนื่องจากเสียงรบกวนที่ไหลในท่อนำเสียงมักจะเป็นเสียงรบกวนที่มีลักษณะสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ระบบควบคุมเสียงรบกวนที่ปรับตั้งได้โดยใช้ระบบควบคุมที่ง่ายและไม่ซับซ้อนโดยอาศัยหลักการการเลื่อนเฟสของคลื่นเสียงแทนการใช้หลักการหน่วงเวลาที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งหัวใจหลักของระบบนี้อยู่ที่การออกแบบชุดไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว (unidirectional microphone) ทั้งนี้ก็เพื่อให้ไมโครโฟนที่ใช้ตรวจจับสัญญาณเสียงรบกวนตรวจจับเฉพาะเสียงรบกวนจริงๆ เท่านั้นไม่ให้ไปตรวจจับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมที่สร้างขึ้นด้วย ซึ่งจากระบบควบคุมที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถลดทอนระดับเสียงรบกวนลงได้ประมาณ 20 ถึง 25 dB

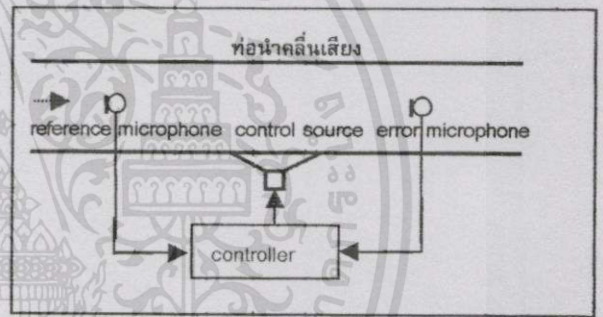
2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 กลไกการลดทอนเสียงรบกวน

กลไกที่ทำให้เกิดการลดทอนเสียงรบกวนลงได้ประกอบด้วย 3 กลไกที่อาจจะเกิดขึ้นเพียงกลไกเดียวหรือเกิดร่วมกันไปพร้อมๆกันก็ได้คือ 1.กลไกการหักล้างกันของสนามเสียง 2.กลไกการกีดความสามารถในการกำเนิดเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนให้ต่ำลง 3.กลไกการดูดกลืนคลื่นเสียงโดยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม แต่กลไกหลักที่สำคัญในการลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำคลื่นเสียงแบบหนึ่งมิตินี้คือกลไกที่สองซึ่งอาศัยหลักการที่ว่า ถ้าเราสามารถสร้างสนามเสียงควบคุมทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดให้มีเฟสต่างกัน 180 องศา กับสนามเสียงรบกวนแล้วจะทำให้การแผ่คลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถูกกักจัดออกไป สิ่งที่น่าสงสัยที่เกิดขึ้นก็คือว่าพลังงานของคลื่นเสียงรบกวนหายไปไหน ซึ่งคำตอบก็คือกลไกการควบคุมเสียงรบกวนแบบนี้ การหักล้างไม่ได้เกิดขึ้นจริง เพียงแต่ว่าสนามเสียงที่ถูกสร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมจะมีผลทำให้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอยู่ในสภาวะปลดภาระ(unload)ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ค่าความต้านทานในการแผ่คลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้มันแผ่คลื่นเสียงรบกวนได้น้อยลง ซึ่งในกรณีนี้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมจะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการแผ่กำลังคลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนโดยการสร้างค่าความต้านทานการแผ่คลื่นเสียงชนิดรีแอกทีฟเกือบทั้งหมดโดยมีค่าความต้านทานชนิดค่าจริงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.1 ระบบควบคุมการลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าทางด้านแสดงในรูปที่ 1 นั้นเป็นระบบควบคุมที่ใช้กันมากในการลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม โดยระบบควบคุมแบบนี้จะต้องทำการวัดสิ่งรบกวน(disturbance)ที่เกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปสังเคราะห์สัญญาณควบคุมเพื่อส่งไปขับแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งการควบคุมชนิดนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมเพื่อลดทอนเสียงรบกวนทั้งแบบเป็นคาบ(periodic noise)และไม่เป็นคาบ(random noise)ในท่อนำคลื่นเสียง ในทางปฏิบัติระบบควบคุมนี้จะสามารถปรับตั้งได้เพื่อความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆเช่น อุณหภูมิ ความเร็วของคลื่นเสียง และรวมทั้งความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้วัดเสียง เป็นต้น



รูปที่ 1 ระบบลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมชนิดป้อนไปข้างหน้า

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าในการควบคุมแบบนี้สัญญาณอ้างอิง(reference signal)จะได้มาจากไมโครโฟนที่วางในท่อนำขึ้นเหนือ(upstream)ของแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมซึ่งลักษณะการวางไมโครโฟนแบบนี้จะทำให้สัญญาณขาเข้าของระบบควบคุมมีค่าผิดพลาดไปจากความเป็นจริง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวหรือด้วยการใช้ลำโพงแบบคู่หรือแบบหลายตัว และใช้การปรับตั้งชดเชยตามลักษณะเฉพาะนั้น ๆตามคำแนะนำของ La Fontaine et al.(1985)[3] นอกจากนั้นไมโครโฟนวัดค่าความผิดพลาด(error microphone)ที่ติดตั้งอยู่ในระบบควบคุมนี้มักจะใช้สำหรับการลดผลกระทบจากเสียงรบกวนที่มาจากภายนอกท่อนำเสียงเท่านั้น[3]

2.2 ความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง (acoustic impedance)

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงระนาบ (plain wave) ในท่อนำคลื่นเสียง ถ้ากำหนดให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในทิศทาง +x แล้วค่าอัตราส่วนระหว่างความดันของคลื่นเสียงต่อความเร็วของอนุภาคจะนิยามว่าคือค่าลักษณะจำเพาะของความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง $\rho_0 c$ ของตัวกลางเมื่อ ρ_0 คือความหนาแน่นของอากาศที่เป็นตัวกลางของคลื่นเสียงนั้น ดังนั้นเราสามารถหาค่าความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง Z ที่หน้าตัด S ใดๆภายในท่อนำเสียงได้จากสมการ

$$Z = p/U = p/S \cdot u = \rho_0 c/S \tag{1}$$

เมื่อ p คือค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียง, U คือความเร็วเชิงปริมาตรของตัวกลาง (อากาศ) ภายในท่อนำคลื่นเสียง, u คือความเร็วเชิงอนุภาคของตัวกลางและ c คือความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ เนื่องจาก acoustic impedance ขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นเสียง ดังนั้นทำให้กำลังของเสียงทั้งหมด (total acoustic power) มีความสำคัญมากกว่าความเข้มของเสียง (acoustic intensity) โดยที่กำลังของเสียงในกรณีของคลื่นเสียงระนาบ (plain wave) คือ

$$W_s = I_s \cdot S = \frac{p^2}{\rho_0 c} \cdot S = \frac{p^2}{Z_0} \tag{2}$$

2.3 การสะท้อนของคลื่นเสียงในท่อนำคลื่นเสียง

ถ้ามีคลื่นเสียงขบวนเดียวเดินทางไปในทิศทาง +x ผ่านท่อนำคลื่นเสียงที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ S แล้ว acoustic impedance ของคลื่นเสียงนั้นคือ $\rho_0 c/S$ ถ้าสมมุติว่าในขณะนี้มีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นในท่อยกตัวอย่างเช่นมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไปแล้วโดยปรกติจะทำให้ส่วนหนึ่งของคลื่นเสียงที่ตกกระทบเกิดการสะท้อนกลับและ acoustic impedance ของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับนี้คือ $-\rho_0 c/S$ ความดันและความเร็วเชิงปริมาตรของคลื่นทั้งสองคือ

$$p_i = Ae^{j(\omega t - kx)} ; U_i = \frac{p_i}{\rho_0 c/S} \tag{3}$$

$$p_r = Be^{j(\omega t + kx)} ; U_r = \frac{-p_r}{\rho_0 c/S} \tag{4}$$

จากคลื่นเสียงทั้งสองจะได้ acoustic impedance รวมที่จุด x ใดๆคือ

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{p_i + p_r}{U_i + U_r} = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{p_i + p_r}{p_i - p_r} \\ &= \frac{\rho_0 c}{S} \frac{Ae^{-jkx} + Be^{jkx}}{Ae^{-jkx} - Be^{jkx}} \end{aligned} \tag{5}$$

เนื่องจากต้องมีความต่อเนื่องทั้งความดันและความเร็วเชิงปริมาตร ดังนั้น acoustic impedance จะต้องมีความต่อเนื่องที่ทุกๆจุดในท่อนำเสียงด้วยเพราะฉะนั้นถ้าเราทราบค่า acoustic impedance ที่จุดใดจุดหนึ่งแล้วเราก็สามารถหาค่า Z_x ในสมการ (5) ได้เพื่อความสะดวกเราจะสมมุติว่าเราทราบค่า acoustic impedance ที่จุด $x=0$ มีค่าเท่ากับ Z_0 แล้วจะได้

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{A + B}{A - B} \tag{6}$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_0 - \rho_0 c/S}{Z_0 + \rho_0 c/S} \tag{7}$$

2.4 เสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศในท่อนำคลื่นเสียง

ความไม่ต่อเนื่องใดๆที่เกิดขึ้นในท่อนำคลื่นเสียงจะทำให้เกิดการรบกวนต่ออากาศที่ไหลในท่อนำซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นด้วย ยกตัวอย่างเช่นเสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านท่อโค้งและมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามถ้าอากาศไหลในท่อด้วยความเร็วต่ำแล้วเสียงรบกวนก็เกิดขึ้นน้อยมาก แต่จากการศึกษาพบว่าเสียงรบกวนจะมีความรุนแรงขึ้นโดยแปรผันตรงกับเลขมัค (mach number) ยกกำลังสามและความเร็วของกระแสอากาศอิสระ (free stream) ยกกำลังห้า นั่นคือถ้าอากาศไหลในท่อด้วยความเร็วสูงแล้วเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีมาก

เกินกว่าอุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนจะควบคุมได้ ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลในท่อคือ $\rho(\text{kg/m}^3)$, พื้นที่หน้าตัดของท่อ $A(\text{m}^2)$, และความเร็วของกระแสอากาศอิสระ $U(\text{m/s})$ แล้วกำลังของกระแสอากาศ L_{ws} เมื่ออ้างอิงกับค่า 10^{-12} W คือ

$$L_{ws} = 30\log_{10}U + 10\log_{10}A + 10\log_{10}\rho + 117 \text{ (dB)} \quad (8)$$

ถ้ากำหนดให้ H คือความกว้างของท่อโค้งและพิจารณาความถี่เสียงแบบ octave band เราจะได้ตัวเลขไม่มีมิติที่เรียกว่า Strouhal number ซึ่งนิยามขึ้นมาในเทอมของความถี่กึ่งกลางของ octave band $f_0(\text{Hz})$ และความเร็วกระแสอากาศอิสระ $U(\text{m/s})$ และค่า H ดังนี้คือ

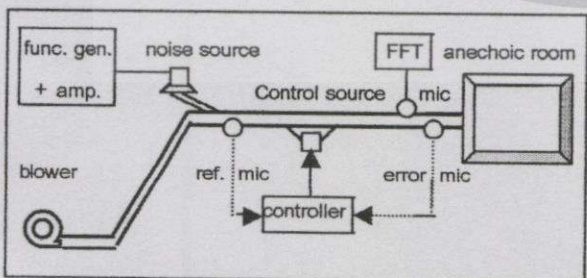
$$N_s = f_0 H / U \quad (9)$$

และข้อมูลจากการทดลองของกำลังของเสียง L_{wb} ที่เกิดจากท่อโค้งที่ไม่มีกระแสไหลเบี่ยงเบนทิศทางลม(turning vane)สอดคล้องกันกับสมการที่ได้จากการทดลองนี้คือ

$$L_{wb} - L_{ws} = -10\log_{10}[1 + 0.165N_s^2] + 30\log_{10}U - 103 \text{ (dB)} \quad (10)$$

เมื่อ L_{wb} คือ octave band sound power level และ N_s คือ Strouhal number ซึ่งสอดคล้องกันกับความถี่กึ่งกลางของ octave band นั้นๆ เทอมทางขวามือของสมการที่(10) สามารถเปรียบได้ตัววัดประสิทธิภาพของการเปลี่ยนจากกำลังของกระแสอากาศไปเป็นกำลังของเสียงรบกวน

3. การจัดวางอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ทดลอง

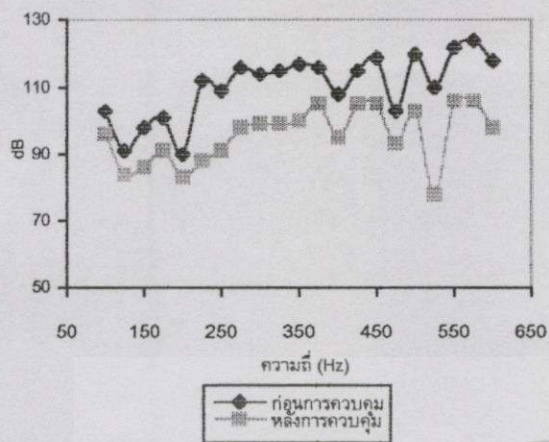
อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย 1.ท่อนำเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 47x47 มม.ยาว 4 เมตร 2. ลำโพงขนาด 50 w จำนวน 2 ตัว 3.ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่ประกอบด้วยส่วนของวงจรไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว, วงจรเลื่อนเฟสและวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ 4. พัดลมที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ 5.เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT 6.เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปซายน์ (function generator) 7.power amplifier ขนาด 50 w จำนวน 2 เครื่อง 8.pitot tube เพื่อใช้วัดค่าความเร็วอากาศ

4. วิธีการทดลอง

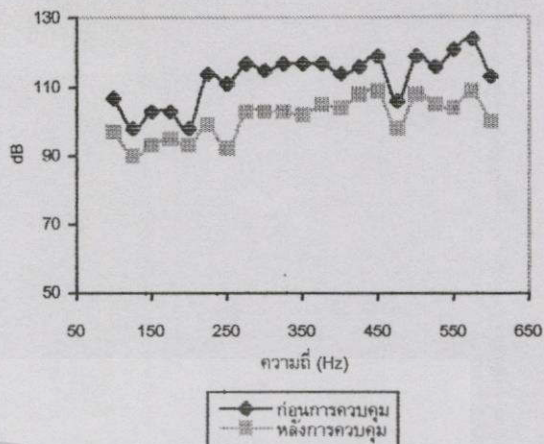
- 1.จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 2 แล้วเปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปซายน์ตั้งความถี่ที่ 100 Hz ผ่านเครื่องขยายสัญญาณเสียงขนาด 50 w ไปขับลำโพงที่จำลองเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน(noise source)แล้วอ่านค่าระดับความดังของเสียง (dB) จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFTบันทึกค่าที่ได้
- 2.เปิดสวิตซ์ให้ชุดควบคุมเสียงรบกวนทำงานแล้วอ่านค่าระดับความดังของเสียง (dB) จากเครื่อง FFT บันทึกค่าที่ได้
- 3.ปิดสวิตซ์ชุดควบคุมเสียงรบกวนไม่ใหทำงานแล้วเพิ่มความถี่สัญญาณเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงขึ้นทีละ 12.5 Hz เป็น 112.5 Hz แล้วอ่านค่าที่ได้จากเครื่อง FFT บันทึกค่าที่ได้
- 4.แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่
- 5.ทำขั้นตอนที่ 3 และ 2 ตามลำดับวนซ้ำไปเรื่อยๆจนได้ค่าความถี่สุดท้ายเท่ากับ 600 Hz
- 6.เดินพัดลมและปรับความเร็วรอบเพื่อให้อากาศที่ไหลในท่มีความเร็วเท่ากับ 5m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอน 1 ถึง 5 ใหม่
- 7.เพิ่มความเร็วอากาศที่ไหลในท่อขึ้นทีละ 5 m/s เป็น 10 m/s ,15 m/s ,20 m/s ,25 m/s ,30 m/s ,35 m/s ,และ 40 m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ใหม่
- 8.นำผลการทดลองที่ได้ทั้งก่อนและหลังจาการใช้ระบบควบคุมเสียงรบกวนมาเขียนกราฟในแต่ละค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อเพื่อดูผลที่ได้จากการลดทอนเสียงรบกวน

5. ผลการทดลอง

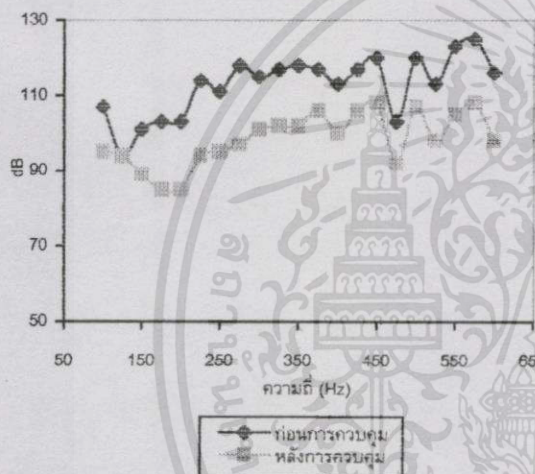
ผลการทดลองจะแสดงในรูปกราฟในแต่ละค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อดังนี้



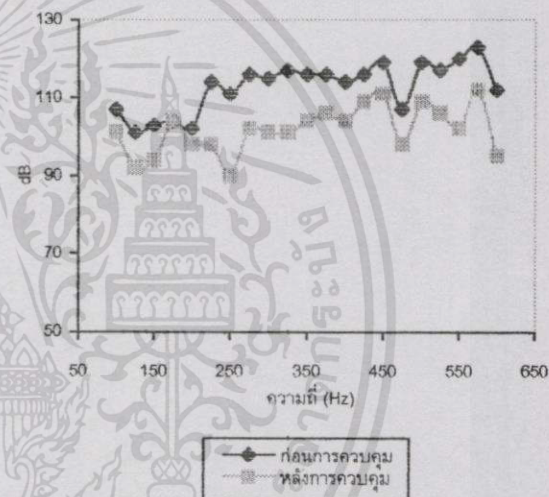
รูปที่ 3 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s



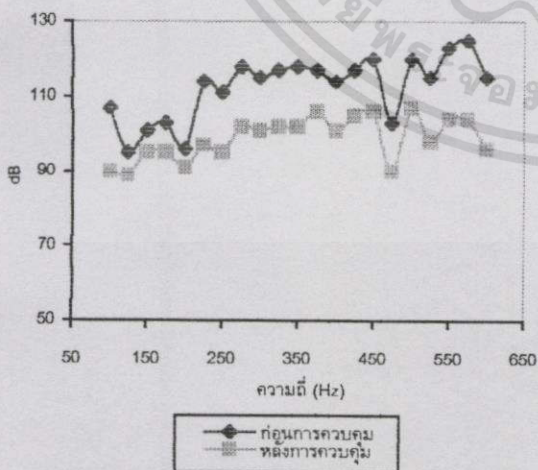
รูปที่ 6 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s



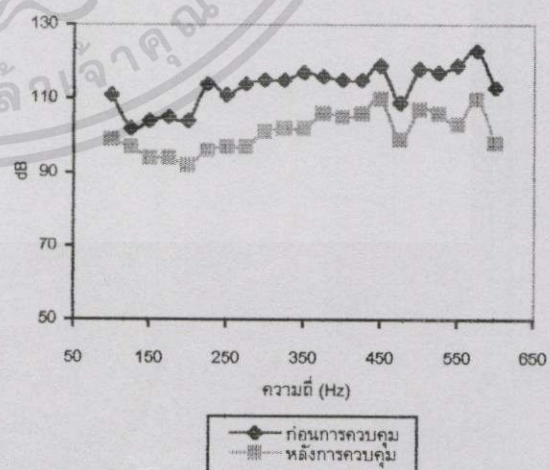
รูปที่ 4 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s



รูปที่ 7 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s

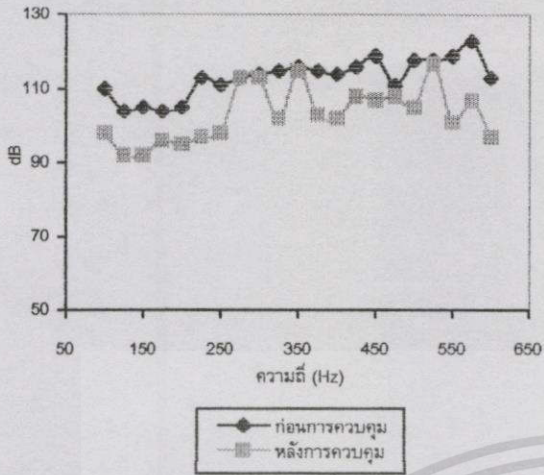


รูปที่ 5 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s

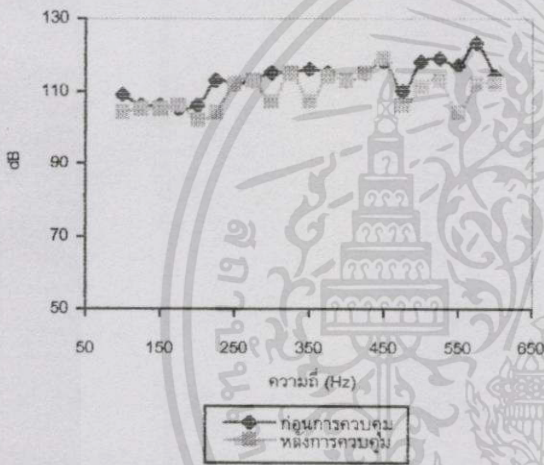


รูปที่ 8 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s

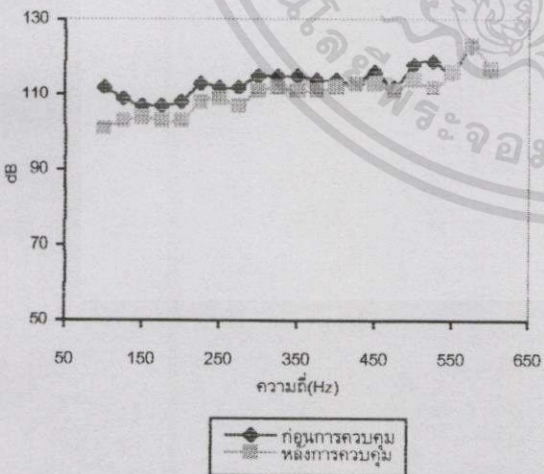
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s



รูปที่ 10 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s



รูปที่ 11 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s

6.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่แสดงในกราฟรูปที่ 3 ถึง 11 จะพบว่าการลดทอนเสียงรบกวนที่มีลักษณะสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลามากนักโดยการใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าที่ออกแบบขึ้นโดยอาศัยหลักการของการเลื่อนเฟสของคลื่นเสียงรบกวนที่ตรวจจับได้โดยไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวมีประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนลงได้ถึง 20 - 25 dB ในช่วงที่ความเร็วของอากาศในท่อนำคลื่นเสียงไม่เกิน 25 m/s เมื่อความเร็วของอากาศมีค่ามากกว่า 25 m/s ขึ้นไปแล้วจะพบว่าค่าระดับความดังของเสียง (dB) ที่อ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT จะมีการแกว่งกวัดมากและค่าสูงสุด-ต่ำสุดของการแกว่งกวัดทั้งก่อนและหลังใช้ระบบควบคุมจะมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าเมื่ออากาศไหลด้วยความเร็วสูงแล้วจะก่อให้เกิดเสียงรบกวน เนื่องจากการไหลผ่านส่วนโค้งของท่อซึ่งท่อนำเสียงที่ใช้ในการทดลองนี้มีบริเวณส่วนโค้งของท่อถึง 8 จุดด้วยกันซึ่งโดยปกติแล้วพบว่าเมื่ออากาศในท่อกมีความเร็วสูงกว่า 10 m/s ขึ้นไปก็ก่อให้เกิดเสียงรบกวนที่รุนแรงจนอุปกรณ์ลดทอนเสียงแบบเชิงกล (resonator) ธรรมดาไม่สามารถจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ[1] ดังนั้นจะเห็นว่าข้อดีของการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมในการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนนั้นประการหนึ่งก็คือสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าจะมีอากาศไหลในท่อนำเสียงด้วยความเร็วสูงถึง 25 m/s นอกจากนั้นความสามารถในการลดทอนเสียงรบกวนในย่านความถี่ต่ำก็มีลักษณะสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่ที่ทดลองด้วย

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] David A. Bies and Colin H. Hansen ,Engineering Noise Control Theory and Practice ,(1996) ,E&FN Spon ,London ,UK
- [2] Lawrence E.Kinsler ,Austin R.Frey ,Fundamentals of Acoustics ,(1962) ,second edition ,John Wiley & Sons Inc. ,New York
- [3] M.O.Tokhi ,R.R.Leitch ,Active Noise Control ,(1992) Clarendon Press ,Oxford
- [4] R.D.Ford ,Introduction to Acoustics ,(1970) ,Elsevier Publishing Company Limited ,New York

ประวัติผู้เขียน

นายบัญชา วิเชียรชม เกิดเมื่อวันที่ 13 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2512 ที่อำเภอทุ่งสง จังหวัด นครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับสอง (ฟิสิกส์) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เมื่อปีการศึกษา 2533 ต่อมาในปีการศึกษา 2538 ได้สมัครเข้าเป็นนักศึกษาทดลอง วิจัยระดับปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และได้รับการปรับสภาพเป็นนักศึกษาสามัญระดับปริญญา โทเมื่อปีการศึกษา 2541

สำหรับผลงานทางวิชาการที่ผ่านมาในขณะที่ศึกษาอยู่ในหลักสูตรนักศึกษาดอกตองวิจัยระดับ ปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เคยได้รับการตีพิมพ์บทความทางวิชาการเรื่อง “การหาประ สติธิภาพของเครื่องลดเสียงแบบ Helmholtz ที่ความถี่ย่านกลาง” ลงในวารสารเทคโนโลยีฉบับ วิศวกรรมสาร ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ฉบับเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540 นอกจากนั้นบทความวิจัยเรื่อง “การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อ นำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลโดยการใส่แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม” ซึ่งเป็นงานวิจัยเรื่องเดียวกับวิทยา นิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้รับการตีพิมพ์ลงในหนังสือ รวบรวมบทความทางวิชาการ ของการประชุมวิชา การเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 ประจำปี พ.ศ. 2543 ณ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อีกด้วย

สำหรับประวัติอาชีพการงานนั้น หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้วในเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2534 ได้เข้าร่วมงานกับบริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน) อำเภอแก่งคอย จังหวัด สระบุรี ซึ่งบริษัทได้ดำเนินธุรกิจด้านการผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่รายหนึ่งของประเทศ เรื่อยมาจน ถึงปัจจุบัน โดยในปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้ควบคุมงาน สังกัดฝ่ายผลิต