การหาคุณลักษณะของตัวลดเสียงชนิด SIDE-BRANCH

ACOUSTICAL CHARACTERISTIC OF SIDE-BRANCH TYPE RESONATOR

พงษ์ศักดิ์ คำมูล

PONGSAK KUMMOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-174-4

การหาคุณลักษณะของตัวลดเสียงชนิด SIDE-BRANCH

ACOUSTICAL CHARACTERISTIC OF SIDE–BRANCH TYPE RESONATOR

T045626

พงษ์ศักดิ์ คำมูล

PONGSAK KUMMOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-324-174-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน...เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด...ห้ามมิให้ดัดแปลง...ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่.......

ทะเบียน 45626

เดือน, ปี 12 ก.พ. 2546

.b.......

.i.......

ACOUSTICAL CHARACTERISTIC OF SIDE-BRANCH TYPE RESONATOR

PONGSAK KUMMOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

เอกสารนี้เป็น ... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาคุณลักษณะของตัวลดเสียงชนิด SIDE-BRANCH
ACOUSTICAL CHARACTERISTIC OF SIDE-BRANCH TYPE RESONATOR

ชื่อนักศึกษา นายพงษ์ศักดิ์ คำมูล

รหัสประจำตัว 38621302

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.อัครเดช สินธุภัค

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	
ดร.อุนนัต	พิณโสภณ	
ผศ.จำลอง	ปราบแก้ว	
รศ.อัครเดช	สินธุภัค	
รศ.ทวี	เทศเจริญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 21 ตุลาคม 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๐ **เดือน** ธันวาคม **พ.ศ.** ๒๕๔๕

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ต้องนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาคุณลักษณะของตัวลดเสียงชนิด SIDE-BRANCH

นักศึกษา นายพงษ์ศักดิ์ คำมูล

รหัสประจำตัว 32621302

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ. 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ทวี เทศเจริญ

บทคัดย่อ

เสียงเป็นมลภาวะชนิดหนึ่งได้มีการศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับการลดเสียงหลายรูปแบบ SIDE-BRANCH RESONATOR เป็นอุปกรณ์ ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการลดเสียง ค่าความสามารถในการลดเสียงพิจารณาจากค่า Transmission Loss (TL) การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาคุณลักษณะในการลดเสียงจากการใช้ Side branch แบบ กลม และ Side branch แบบสี่เหลี่ยม ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยอาศัยท่อนำคลื่นเสียงระหว่างท่อกลมกับท่อสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกันที่ความถี่ตั้งแต่ 0 - 3600 Hz และมีความเร็วลม ตั้งแต่ 0-40 m/s ผลจากการทดลองเป็นไปตามผลจากการคำนวณทางทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้นแบบมิติเดียวแต่มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีเล็กน้อย ความเร็วลม ความยาวรูปทรงของ Side branch และชนิดของท่อนำเสียงมีผลต่อการเก็บเสียงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Acoustical characteristic of Side-Branch type Resonator
Student	Mr. Pongsak Kummol
Student ID.	32621302
Degree	Master of Engineering
Program	Machanical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Associate professor Thavee Teschareon

ABSTRACT

Noise is a pollution which has been contineusly studies and researched in many methods to reduce it. Side-Branch resonator is one equipment that can be done by analysis of Transmission loss (TL). This research was done for study the noise reduction by Side-Branch which it volume was be exchanged and then compaired the result at 0-3600 Hz frequency and velocity flow at 0-40 m/s between square and round for the main duct tube. The result are according to the basis one dimension linearized theory and has a littlebit smaller value. Velocity flow and length shape of the side-branch and main duct tube type are effected to the differ noise reduction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างยิ่ง ต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทวี เทศเจริญ และ รองศาสตราจารย์ อัครเดช สินธุภัค ที่ให้ความเมตตา ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ คุณบุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล ที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนช่วยเรียบเรียงวิทยานิพนธ์นี้จนกระทั่งสำเร็จสมบรูณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่ง โลกิจแสงทอง , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย นาคพิพัฒน์, Prof. Dr. Phuntoro Murakami , Assoc Prof. minoru Meada Sh , Prof. Dr.Toshio Ijima และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุก ๆ ท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาจนทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้นยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณนฤมล คำมูล ซึ่งเป็นผู้คอยให้กำลังใจอย่างใกล้ชิดและคอยช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณวาสนา ม่วงโพธิ์ และ คุณเกรียงศักดิ์ เครื่องนันตา ที่มีส่วนช่วยพิมพ์ผลงานวิจัยบางตอนซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบรูณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่มีส่วนร่วมในผลงานชุดนี้ ร่วมทั้งโครงการ JICA ซึ่งสนับสนุนเครื่องมือวัดและทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้อุปการะคุณ บิดา มารดา ครูและอาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนผู้วิจัยมาจวบจนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณ ลูก ๆ ที่มีส่วนผลักดันและเป็นกำลังใจอย่างดียิ่งที่มีให้ผู้วิจัยตลอดมา

พงษ์ศักดิ์ คำมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……………………………………………………………………I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…………………………………………………………………II

กิตติกรรมประกาศ……………………………………………………………………III

สารบัญ…………………………………………………………………………………IV

สารบัญตาราง…………………………………………………………………………VII

สารบัญรูป……………………………………………………………………………VIII

บทที่ 1 บทนำ…………………………………………………………………………1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา………………………………………1

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา………………………………2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา…………………………………………………………2

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย………………………………………3

1.5 ขอบเขตการวิจัย……………………………………………………………………7

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา……………………………………………………………8

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน…………………………………………………………………10

2.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียง……………………………………………………………10

2.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น……………………………………………………10

2.1.2 อากาศ และคุณสมบัติ …………………………………………………………11

2.1.3 Harmonic Motion สำหรับ Sine Wave……………………………………11

2.1.4 คลื่นเสียงในอากาศ……………………………………………………………13

2.1.5 อิสระคลื่นที่เคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Free – Progressive Waves)……..15

2.1.6 การอ้อมของคลื่นที่ผ่านวัตถุที่ขวางหน้า (Diffraction – standing wave)..26

2.1.7 ส่วนประกอบของคลื่น……………………………………………………………27

2.2 Transmission Through Ducts…………………………………………………………37

2.2.1 Acoustic Impedance (Z)…………………………………………………………37

2.2.2 The Side-Branch Resonator………………………………………………………37

2.2.3 การสะท้อนของคลื่นในท่อ…………………………………………………………41

2.2.4 ผลที่ได้ของ Side-Branch Resonator………………………………………………44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 Coefficient β..49

2.3.1 ปลายปิด..50

2.3.2 ปลายเปิด..50

บทที่ 3 การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..52

3.1 การสร้างอุปกรณ์ประกอบในการทดลอง..52

3.2 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง..52

3.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดลอง..53

3.3.1 ท่อนำเสียงแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.052 เมตร........................53

3.3.2 ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0.046 เมตร x 0.046 เมตร........................53

3.3.3 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer)........................53

3.3.4 Amplifier..53

3.3.5 Driver Unit..53

3.3.6 Probe Tube..53

3.3.7 Microphone..53

3.3.8 Pre-Amplifier..54

3.3.9 Oscillator..54

3.3.10 Blower..54

3.3.11 Inverter..54

3.3.12 Anemometer..55

3.3.13 Calibrator..55

3.4 Silencer แบบ Side-Branch Resonator..55

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล..56

4.1 วิธีการทดลอง..56

4.1.1 การทดลองโดยใช้ Side-Branch Resonator กรณีไม่มีความเร็วลม........56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การทดลองโดยใช้ Side-Branch Resonator กรณีมีความเร็วลม............56

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การบันทึกผลการทดลอง..56

4.3 ผลการทดลอง..57

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..73

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..75

5.1 สรุปผลและวิจารณ์..75

5.2 แนวทางวิจัยในอนาคต...75

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์..76

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยในอนาคต..76

บรรณานุกรม...78

ภาคผนวก ก...80

ประวัติผู้เขียน...82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...7

2. ค่าที่ได้จากการคำนวณการแก้ค่า ATTENUATION ที่ได้จากการวัด................................80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การสั่นสะเทือนของต้นกำเนิดเสียง และมีผลกระทบต่ออนุภาค ของอากาศที่มีกระทบยังแก้วหู……………………………………………2

1.2 ความเข้มของเสียงเท่ากัน เสียงดังจากลมที่เป่า หรือการดูดอากาศซึ่งจะ อยู่ในช่วงความถี่สูง…………………………………………………………..3

1.3 Transmission loss in mass controlled……………………………………………………4

1.4 แสดงเสียงที่ส่งผ่านต่อเข้ากับท่อ L1 และ L2 โดยมี Silencer สำหรับลดเสียงก่อนที่เสียงจะออกสู่สิ่งแวดล้อม……………………………………………4

1.5 อุปกรณ์สำหรับวัดการสะท้อนกลับ…………………………………………………5

1.6 การลดเสียงโดยใช้ Expansion chambers……………………………………………5

1.7 ลักษณะของ silencers หรือ Resonator………………………………………………6

1.8 ลักษณะของอุปกรณ์แบบดูดซึม…………………………………………………..6

2.1 Transmission ของ elastic wave ที่ให้กับ coil spring……………………………………10

2.2 ตัวอย่าง Harmonic motion Sine wave………………………………………………12

2.3 การแพร่ Plane-wave……………………………………………………………13

2.4 Pressure ใน Plane free progressive………………………………………………...18

2.5 แสดง Sound Pressure ใน Plane free progressive สำหรับ Blackward–raveling wave20 จุด…………………………………………………21

2.6 แสดง Sound pressure ของ Plane standing wave ที่ 20 จุด……………………....22

2.7 one และ two – Dimensional wave……………………………………………...26

2.8 การกระจายคลื่นผ่านท่อเล็ก…………………………………………………...27

2.9 การรวมสองความสัมพันธ์ Harmonically กับ Sine wave ก่อให้เกิดคลื่นที่ซับซ้อน……...29

2.10 การรวมสองความสัมพันธ์ Harmonically กับ Sine wave ที่มีผลต่างใน Phase ณ. จุดเวลาชั่วขณะเดียวก็ตาม ความดันที่ถูกวัดด้วยไมโครโฟนจะเป็น……………..30

2.11 แสดงเหมือนกับรูปที่ 2.9 และ 2.10 คลื่นสองคลื่นที่ต่าง Phase………………………...31

2.12 การแสดง line Spectrum harmonically b) แสดง line Spectrum Inharmonically c) การต่อเนื่องของ Spectrum d) การรวม line และความต่อเนื่องของ Spectrum (เกี่ยวกับการเกิดSpectrum)…………………………………………...34

2.13 กราฟแสดงการเพิ่มความเข้ม และความกว้างของเสียง…………………………….36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.14 Representation of a Side-Branch Resonator....38

2.15 การส่ง และการสะท้อนของคลื่นในท่อ....42

2.16 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดในท่อ....43

2.17 Schematic diagram of Side-Branch Resonator....45

3.1 แสดงระบบท่อที่ใช้สำหรับการทดลอง แบบ With flow และแบบ Without flow....52

3.2 Digital real-time frequency analyzer (From Bruel & Kjaer Instruments.)....53

3.3 Microphone (From Bruel & KjInstruments.)....54

3.4 แสดง Oscillator....54

3.5 Acoustic Calibrator (From Bruel & Kjaer Instruments.)....54

3.6 แสดงรูป Side-branch Resonator....55

4.1 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m, มีความยาว Lb=0.07m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2....57

4.2 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.08m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2....58

4.3 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.09m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2....59

4.4 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m, มีความยาว Lb=0.07m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2....60

4.5 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.08m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2....61

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.09m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........62

4.7 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m, มีความยาว Lb=0.07m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2........63

4.8 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.08m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2........64

4.9 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.09m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........65

4.10 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m, มีความยาว Lb=0.07m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........66

4.11 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.08m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........67

4.12 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.09m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........68

4.13 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........69

4.14 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2........70

เอกสารนี้ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2……………………………………………….……71

4.16 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาด พื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2………………………………………………………...72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

Noise หมายถึงเสียงรบกวนที่ไม่ต้องการได้ยินนั่นเอง จะมีโทษมากกว่าผลดี และทำให้มนุษย์เกิดความรำคาญ.ความดันโลหิตสูง.หลอดเลือดตีบลง.ในระยะยาวจะส่งผลต่อความผิดปกติของหัวใจ นอกจากนี้เสียงดังยังมีผลต่อการหลั่งฮอร์โมนประเภทต่างๆ การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การแปรปรวนทางอารมณ์ และจิตใจ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของมนุษย์ ปัญหาเกี่ยวกับเสียงรบกวนนี้ได้มีการศึกษาค้นคว้ามานานแล้ว เพราะเสียงรบกวนเป็นมลพิษอย่างหนึ่ง ซึ่งปัญหานี้นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น อันเนื่องมาจากการวิวัฒนาการของมนุษย์นั่นเอง จึงทำให้ในปัจจุบันนี้การแก้ปัญหาการลดมลพิษทางเสียงจึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก การลดเสียงรบกวนสามารถกระทำได้ 2 วิธี อย่างแรกคือ การลดเสียงแบบ Passive หมายถึงการควบคุมโดยอาศัยวัสดุในการดูดซับเสียง หรือใช้อุปกรณ์ในการป้องกันเสียงซึ่งวิธีนี้โดยทั่วไปสามารถลดเสียงได้ดีที่ความถี่สูง และสองเป็นการควบคุมเสียงแบบ Active (Active Noise Control)(ANC) ซึ่งแบบนี้จะเป็นการลดเสียงโดยอาศัยแหล่งกำเนิดเสียงที่สอง (Secondary Noise Source) ไปหักล้างเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลัก (Original Primary Noise Source) โดยแหล่งกำเนิดเสียงที่สองจะมีความถี่และอัมปลิจูดเท่ากับแหล่งกำเนิดเสียงหลักแต่มีเฟส (Phase) ตรงข้ามกัน ซึ่งวิธีจะลดเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ เสียงที่เข้มมากๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียการได้ยินถาวรหลังจากที่ได้รับเสียงนานเกินไปความเข้มของเสียงตามไลน์การผลิตในโรงงานหลายแห่ง การขับรถยนต์หรือมอเตอร์ไซค์ และยังอาจเกิดอันตรายให้กับชีวิตของมนุษย์ได้ ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุร้ายแรง อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดเสียงจากใบพัดขนาดใหญ่ในโรงงาน หรือเสียงลมในระบบท่อกลบเสียงเตือนภัยขณะที่อันตรายใกล้เข้ามา ทั้งหมดนี้จึงเป็นตัวอย่างที่เกิดจาก Noise

ดังนั้นงานวิจัยจึงศึกษาการลดเสียงรบกวน (Noise Reduction) ในระบบท่อโดยใช้ Single Chamber Resonator ชนิด Side-Branch เป็นแนวทางหนึ่งที่นำมาศึกษาพฤติกรรมการลดเสียง จะพิจารณาอยู่ 2 กรณี คือ กรณีแรกไม่มีความเร็วลมไหลผ่าน และกรณีที่สองมีความเร็วลม ซึ่งกรณีมีความเร็วลมไหลผ่านจะมีความเร็วลมต่างๆ กัน ผลที่ได้จากการทดลองวิจัยนี้สามารถนำไป เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ลดเสียง และประยุกต์ในการใช้งานในระบบท่อต่างๆได้ในอนาคต

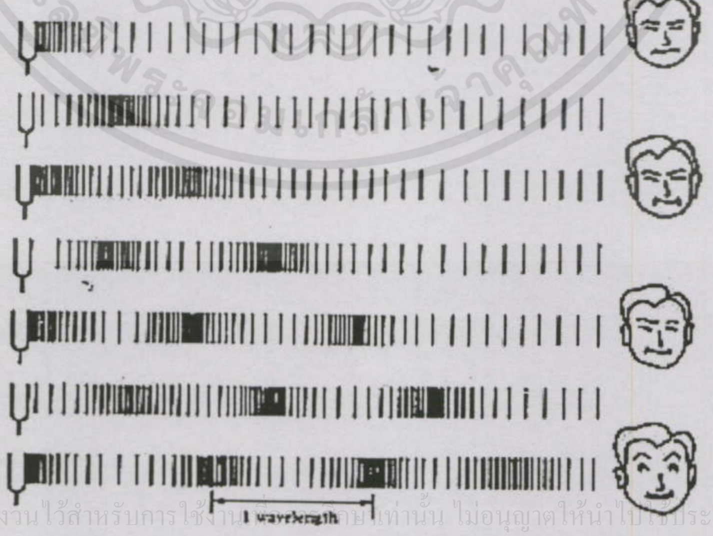
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-Branch แต่ละขนาดว่าสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ใด ซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้ในการลดเสียงได้ เช่นในระบบท่อไอเสียรถยนต์ และการลดเสียงในทางเดินของท่อ Port ID เครื่องยนต์ และระบบท่อลมไลน์ผลิตตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

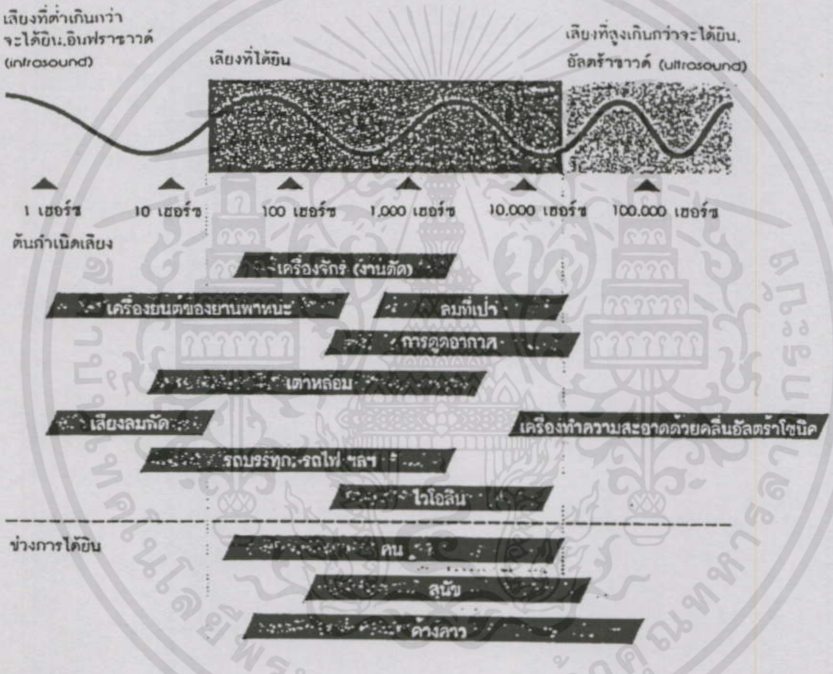
เสียง (Sound) เป็นปรากฏการณ์ประเภทคลื่นโดยพลังงานการสั่นสะเทือนจากต้นกำเนิดเสียงจะกระทบต่ออนุภาคของอากาศที่อยู่รอบๆ เคลื่อนที่ไปเป็นคลื่น และอนุภาคที่อยู่ห่างออกไปเสียงจะเดินทางไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 340 เมตรต่อวินาที ของเหลว และของแข็งจะคลื่นเร็วกว่านี้ เช่น ในน้ำ 1500 เมตรต่อวินาที และในเหล็ก 5000 เมตรต่อวินาที การสั่นสะเทือนจาก Tuning fork ที่มีลักษณะเป็นง่ามจะสั่นสะเทือนที่ความถี่คงที่ ขณะที่ง่ามเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและข้างหลัง อากาศในบริเวณใกล้เคียงกับง่าม ก็จะเกิดการกดอัด และการทำให้บางเบา (Rarefaction) เป็นช่วงๆ การรบกวนเช่นนี้จะแพร่ออกจาก Tuning Fork แสดงดังรูปที่ 1.1 หูก็จะรับเสียงต่อโดยความถี่ของการสั่นของง่าม Tuning Fork ถ้าเราขยายให้มี Tuning Fork หลายๆ อัน ให้สั่นในเวลาเดียวกัน โดยแต่ละอันจะมีความถี่แตกต่างกัน เสียงซึ่งหูของเรารับรู้ก็จะไม่เป็น Pure Tone อีกต่อไป แต่จะมีส่วนประกอบของความถี่หลายๆ อันมากกว่า โดยทั่วไปเสียงที่มาถึงหูของ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 การสั่นสะเทือนของต้นกำเนิดเสียง และมีผลกระทบต่ออนุภาคของอากาศที่มีกระทบยังแก้วหู

เราจะมีจำนวนของส่วนประกอบความถี่ที่ไม่จำกัด อย่างไรก็ตามหูของคนธรรมดาจะไว้ต่อส่วนประกอบใน Range ที่ประมาณ 20 ถึง 20,000 Hertz หรือ (รอบต่อวินาที) เท่านั้นหูจะไม่ได้ยินส่วนประกอบของเสียงถ้าตกอยู่ภายนอก Range ของความถี่นี้ เสียงเกิดขึ้นซ้ำๆ ในการวิจัยนี้จะพิจารณาเสียงที่ส่งผ่านไปในระบบท่อ คลื่นเสียงจะถูกส่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งงานวิจัยนี้จะจำกัดเสียงให้ลดน้อยลงก่อนที่เสียงจะผ่านไปยังส่วนปลายท่อโดยใช้ทฤษฎี Tranmission loss ซึ่งเสียงที่มีความถี่สูง จะรบกวนมากกว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ และเสียงบริสุทธิ์ (Pure Tone) จะรบกวนมากกว่าเสียงที่ประกอบไปด้วยเสียงหลายๆ เสียง

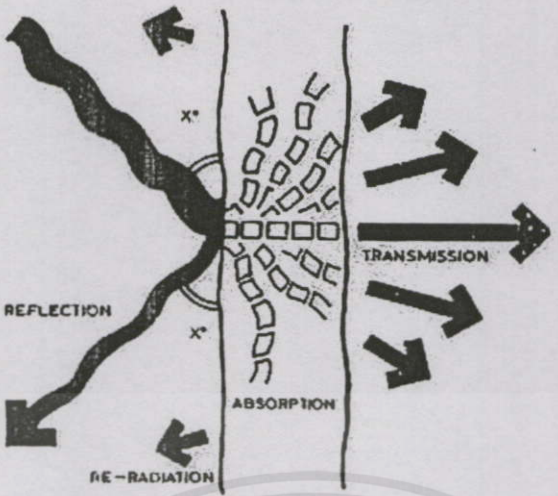


รูปที่ 1.2 ความเข้มของเสียงเท่ากัน เสียงดังจากลมที่เป่า หรือการดูดอากาศซึ่งจะอยู่ในช่วงความถี่สูง

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

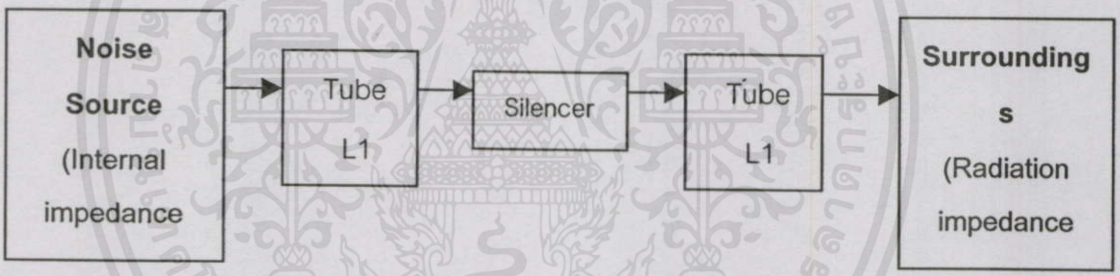
การลดเสียงรบกวนโดยทั่วๆไป จะลดเสียงจากต้นกำเนิดเสียง และทางผ่านของเสียง การพิจารณาวัสดุ และอุปกรณ์ที่สำหรับลดเสียงแนวความคิดวิธีการลดเสียงรบกวนการส่งผ่าน (Transmission), การสะท้อน (Reflection) และการดูดซึม (Absorption) แสดงในรูปที่ 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 Transmission loss in mass controlled

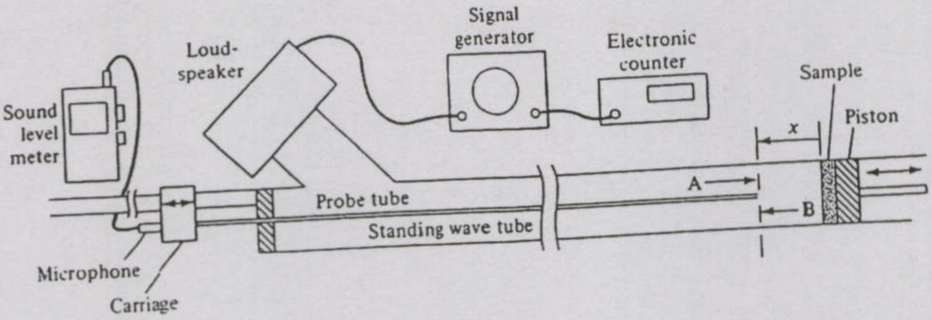
แสดงการขั้นตอนจำลองในการลดเสียงในระบบท่อโดยใช้ Silencer เป็นอุปกรณ์ลดเสียง



รูปที่ 1.4 แสดงเสียงที่ส่งผ่านต่อเข้ากับท่อ L1 และ L2 โดยมี Silencer สำหรับลดเสียงก่อนที่เสียงจะออกสู่สิ่งแวดล้อม

จากทฤษฎี Standing – Wave พิจารณาของท่อกลม และท่อสี่เหลี่ยมกำเนิดเสียงได้จาก Loudspeaker ที่จุดเริ่มต้น และใช้ Probe tube หรือ Microphone เล็กๆ ที่มีขนาดยาวแสดงในรูปที่ 1.5 โดยใช้ Sample ของ Acoustical material หรือ Silencer เพื่อศึกษาการลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 อุปกรณ์สำหรับวัดการสะท้อนกลับ

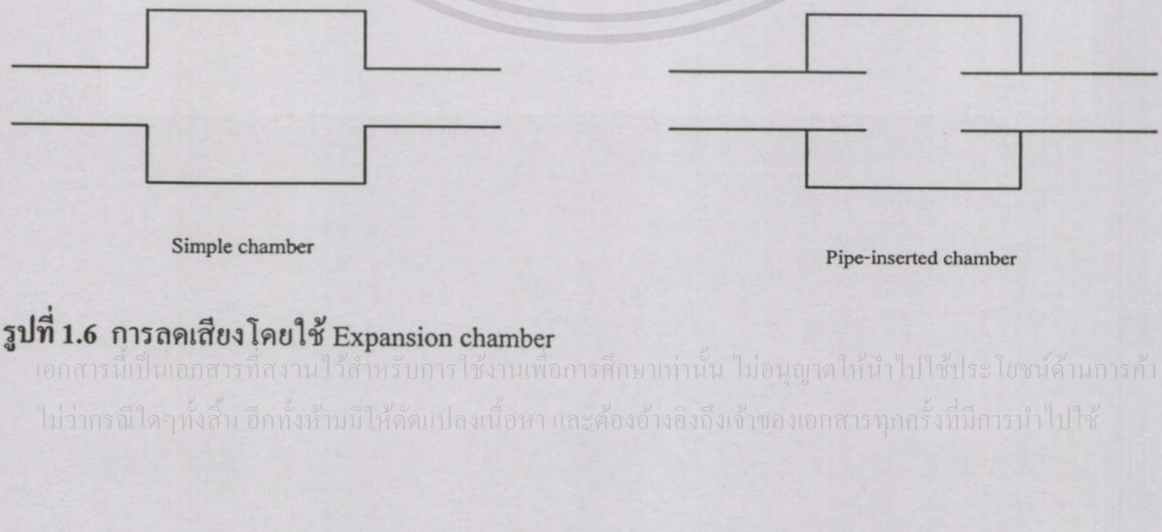
1.4.1 Silencers สำหรับลดเสียงในท่อ

Acoustic silencers และการออกแบบสำหรับอุปกรณ์ลดเสียงในระบบการไหล ชนิดแรก เช่น เสียงจากพัดลม ,เสียงจากท่อไอเสียรถยนต์ ,ระบบ intake และ ท่อลมตามไลน์ ชนิดที่สอง Silencers

Silencers จะประกอบด้วย หนึ่งชิ้น หรือ มากกว่าหนึ่งชิ้น เช่น expansion chambers, Side-branch resonator , Side-Branch resonator , Conical side branch Perforated tubes ซึ่ง silencers จะพิจารณากับความถี่ที่ทำการติดตั้งเข้ากับระบบ คือ Automotive exhaust mufflers และ Silencers สำหรับ Industrial Processes ซึ่งรวมถึง expansion chambers, Side-branch resonator , Side-Branch resonator

ชนิดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบต่างๆ

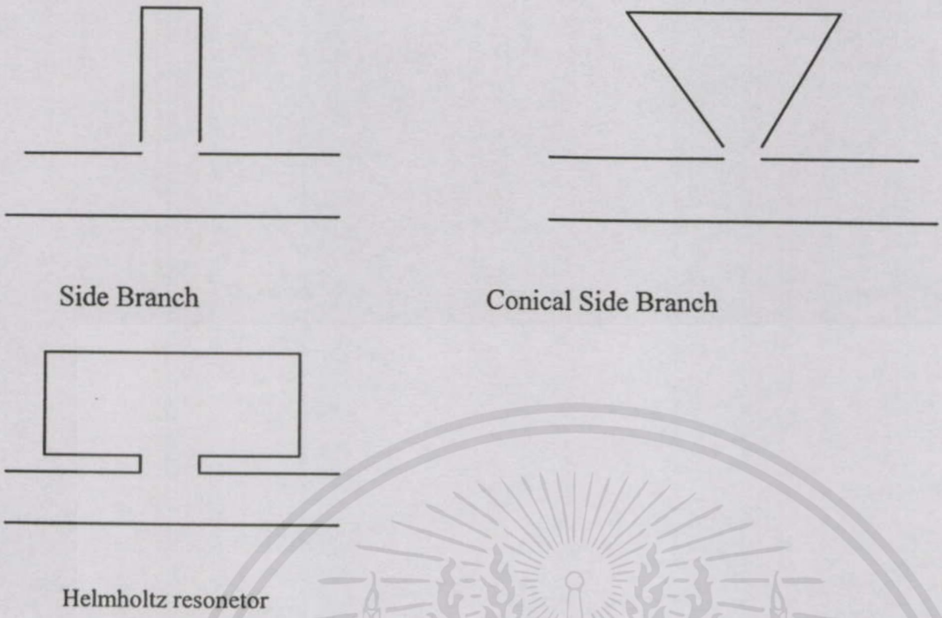
1. การลดเสียงโดยการใช้ Expansion chambers



รูปที่ 1.6 การลดเสียงโดยใช้ Expansion chamber

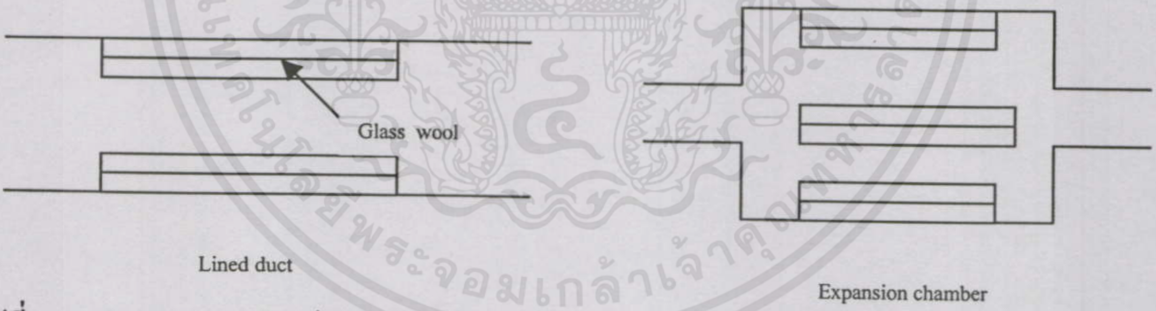
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การลดเสียงโดยใช้อุปกรณ์ลดเสียงแบบ Resonator



รูปที่ 1.7 ลักษณะของ silencers หรือ Resonator

3. การลดเสียงแบบใช้อุปกรณ์ดูดซึมเสียง



รูปที่ 1.8 ลักษณะของอุปกรณ์แบบดูดซึมเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ	ชื่อผู้ทำวิจัย	ชื่อเรื่องวิจัย
2517	M.L.Munjal	Velocity Ratio-CUM-Transeer Matrix Method For The Evaluation of a Muffler with Mean Flow
2520	Richard Oboka	Comparision of Transmission loss and Insertion loss of a Helmholtz Resonator
2520	Richard Oboka	Performance Characteristic of Combination of Element
2523	Dr.Shuntoro Murakami, Sanni Hagi and Minoru Maeda	Acoustical Performance of Conical Side - Branch Tubes
2534	รศ.อัครเดช สินธุภัค,Dr.Shuntoro Murakam และ Minuru Maede	Acoustical Performance of Helmholtz's Type Resonators
2534	รศ.อัครเดช สินธุภัค,Dr.Shuntoro Murakam และ Minuru Maede	Acoustical Performance of Side Branch Type Silencers
2534	รศ.อัครเดช สินธุภัค,Dr.Shuntoro Murakam และ Minuru Maede	Effect of flow on Transmission Loss Characteristic of Expansion Chamber Mufflers
2539	รศ.อัครเดช สินธุภัค,Dr.Shuntoro Murakam และ Minuru Maede	Effect of flow on Transmission Loss Characteristic of Helmholtz's Type Resonator
2542	บุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล	สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการเกิดเสียงรบกวนในระบบท่อที่สามารถกำหนดความถี่ของเสียงรบกวนในช่วงความถี่ได้ จากนั้นขึ้นอยู่กับสมมุติฐาน และวิธีการทั่วไปของสมการในการลดเสียงของSide-branch Resonator ไว้ดังนี้

1. ความดันของเสียงมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดันสัมบูรณ์เฉลี่ยในระบบและไม่ขึ้นกับเวลา
2. ท่อนำเสียงที่ใช้จะต้องมีลักษณะไม่สะท้อนกลับของคลื่น
3. ผนังของ Resonator ต้องไม่ดูดกลืน และนำพลังงานเสียง
4. คลื่นความดันในแนวระนาบมีการเพิ่มขึ้นภายในท่อนำเสียง
5. อิทธิพลของความหนืดโดยทั่วไปมีผลน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลการทดลองจะต้องปรับแก้การสะท้อนที่เกิดขึ้นจริง เพื่อความถูกต้องกับสภาวะข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว
7. อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองจะต้องแม่นยำและผ่านการ Calibrate

การศึกษาพฤติกรรมการลดเสียง ในระบบท่อดังนี้

1 ศึกษาโดยใช้ท่อ pipe 2 ประเภท

1.1 ท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 mmหนา 6 mm.,a =0.002124 m^2.

1.2 ท่อสี่เหลี่ยมขนาด 46 x 46 mm หนา 6 mm.,a=0.002116 m^2.

2. อุปกรณ์ในการลดเสียงแบบ Side-branch Resonator

2.1 ชนิดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40.5 mm A = 0.001289 m^2

2.2 ชนิดสี่เหลี่ยมขนาด 36x36 mm A = 0.001296 m^2

3. ความยาวของSide-branch

3.1 ความยาว 4 mm

3.2 ความยาว 5 mm

3.3 ความยาว 6 mm

3.4 ความยาว 7 mm

3.5 ความยาว 8 mm

3.6 ความยาว 9 mm

4. ทำการทดลองพฤติกรรมการลดเสียงแบบ without flow

5. ทำการทดลองพฤติกรรมการลดเสียงแบบ with flow

6. โดยใช้ความเร็วลม U=10,20,30,40 m/s

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

โดยการศึกษาว่า Side-branch Resonator แต่ละชนิดมีพฤติกรรมลดเสียงในช่วงใดและศึกษาท่อนำเสียงที่เกิดเสียงในช่วงความถี่สูง หลังจากนั้นเลือกท่อนำเสียงแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.052 m และท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0.046 m x 0.046 m และทำการตัดท่อเป็นส่วนๆขนาดความยาวส่วนละ 1 m แล้วทำการเชื่อมยึดติดกับหน้าแปลนขนาด 150 mm เพื่อสะดวกในการติดตั้งและถอดประกอบอุปกรณ์ทดลองหลังจากนั้นนำท่อดังกล่าวมาประกอบกันให้ได้ตามความต้องการ และทำการติดตั้งอุปกรณ์ Oscillator เป็นอุปกรณ์ปรับความถี่ จะต่อกับ Amplifier เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณเสียง และผ่าน Driver Unit หรือ Loudspealer เป็นอุปกรณ์จำลองเสียงเข้าในระบบท่อ จากนั้นใช้ Microphone วัดสัญญาณเสียงผ่าน Probe tube ต่อผ่าน Pre-Amplifier และต่อกับ FFT Analyzer เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณคลื่นเสียงให้เป็นสัญญาณความดันซึ่งมีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเดซิเบล เมื่อติดอุปกรณ์และนำ Side-branch resonator ติดตั้งเข้ากับผนังของท่อเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Side-branch resonator แต่ละชนิดว่าสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ใด เพื่อความสะดวกในการศึกษาโดยนำข้อมูลที่ได้จากผลทดลองมาแสดงความสัมพันธ์บนกราฟระหว่าง Transmission loss (dB) กับ Frequency (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน

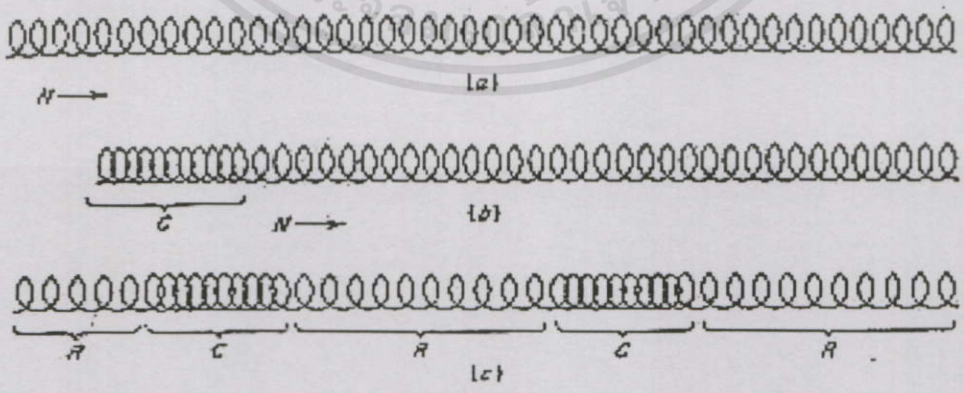
2.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียง

2.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น

จากวิชาฟิสิกส์ทุกรูปแบบของการเคลื่อนไหวของคลื่นจะเป็นไปตามคำกล่าวที่ว่าการรบกวนที่เกิดขึ้น ณ. จุดหนึ่งจะถูกส่งผ่านไปยังอีกจุดหนึ่งได้ซึ่งถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางกายภาพของภาวะคงที่ระหว่างจุดที่ทำการสังเกต

คลื่นเสียงเป็นรูปแบบเฉพาะของคลื่นระดับธรรมดา รู้จักในนามของ Elastic waves โดยสามารถเกิดขึ้นในสื่อ มีคุณสมบัติของมวล (Inertia) กับ Elasticity ซึ่ง Elasticity จะมีหน้าที่ดึงกลับมายังตำแหน่งเดิมเหมือนกับสปริง ด้วยเหตุผลนี้ Inertia ส่วนที่ถูกเคลื่อนที่ไปสามารถส่ง Momentum ไปยังส่วนที่อยู่ติดกัน

การส่งผ่าน Elastic wave ได้แสดงในรูปที่ 2.1 Coil Spring โลหะตัดปลายถูกดึงให้ยืดออก Inertia ประกอบอยู่กับมวลของ Coil Elasticity และมีแนวโน้มที่คงสภาพระยะห่างของ Coil อยู่ติดกันอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเกิดการเคลื่อนไหวที่ปลายด้านหนึ่งของสปริงที่ถูกยืดออก ในทิศทางตามแกนของ Coil พลังงานจะไม่มีการเคลื่อนไหว ผลของ Momentum เป็นเหตุให้ Coil พลังงานจะไม่มีการเคลื่อนไหว ผลของ Momentum เป็นเหตุให้ Coil ที่ถูกเปลี่ยนแรงที่ส่งไปยัง Coil ที่อยู่ไกลออกไปตามเส้น และ Elasticity ก็จะทำให้ Coil เคลื่อนที่ไปและย้อนกลับคืนมายังตำแหน่งเดิม คลื่นจะถูกแพร่ไปตามสปริงและจะแพร่ต่อไปในทิศทางที่คลื่นนั้นเคลื่อนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.1 Transmission ของ elastic wave ที่ให้กับ coil spring a) สภาพหยุดอยู่นิ่ง b) การกด spring ให้เคลื่อนที่ c) การกดให้ spring เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจากทางด้านซ้ายมือ N คือสภาพปกติ C คือ สภาพการกด และ R คือ สภาพการขยายออก

2.1.2 อากาศ และคุณสมบัติของอากาศ

นิยามเกี่ยวกับ Elastic Medium Inertia Elasticity ในการพิจารณา Inertia ถือว่า อากาศมีมวล “น้ำหนัก” สำหรับจุดประสงค์นี้ ให้สมมติว่า อากาศประกอบด้วยจำนวนโมเลกุลมากๆ ซึ่งจะคิดเฉพาะขอบเขตเล็กๆ ที่ถูกแพร่กระจายไปอย่างมีรูปแบบเดียวกันภายในที่ว่าง แต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนไหวในรูปแบบ Random Motion ถ้าล้อมรอบส่วนที่ว่างในกล่อง ก่อนอื่นจะต้องไม่มีอากาศ และจากนั้นก็เติมอากาศเข้าไป ณ.อุณหภูมิห้อง และความดันปกติ พบว่าน้ำหนักของอากาศจะประมาณ 1 lb. สำหรับทุกๆ 13 ft^3 หรือประมาณ 1 kg สำหรับทุกๆ 1 m^3 พบว่าอากาศ จะมีแรงบนพื้นผิวของกล่อง จำนวนประมาณ 14.7 lb / in^2 หรือประมาณ 100,000 Newton / m^2 แรงต่อหน่วยพื้นที่ อันนี้เป็นสิ่งที่มักจะเรียกว่า ความดันบรรยากาศ และสัมพันธ์โดยตรงกับ Density หรือจำนวนโมเลกุลของอากาศในกล่อง พบว่าคุณสมบัติรวมๆ ของอากาศระบุได้ 3 Parameters คือ 1)
ความดัน 2) Density 3) อุณหภูมิ

สามารถแสดงให้เห็นว่าอากาศมี Elasticity โดยวิธีการต่างๆ อย่างเช่น ถ้าเราปล่อยลมออกจากลูกบาสเกตบอลออก และปล่อยให้ตกลงบนพื้นลูกบาสเกตบอลก็จะไม่เด้งขึ้นมา แต่เมื่อเติมลมเข้าไปในลูกบาสเกตบอลก็จะกระเด้งเมื่อตกลงบนพื้น แม้แต่ในตัวอย่างที่ง่ายกว่านี้สมมุติว่าในขณะที่เตรียมทำให้ลูกบาสเกตบอลพอง ถ้าเราเอานิ้วไปปิดรูปั๊มลม จะทำให้เกิดความรู้สึกแบบเดียวกับการกดสปริง ในความเป็นจริงการที่เรารู้ขนาดทางกายภาพของรูปั๊ม และจำนวนของ Force ที่เราใช้มือกดสามารถกำหนด “Spring Constant” หรือ Compressibility ของก๊าซได้ รวมทั้งให้คำอธิบายในเชิงปริมาณของ Elasticity ของอากาศได้

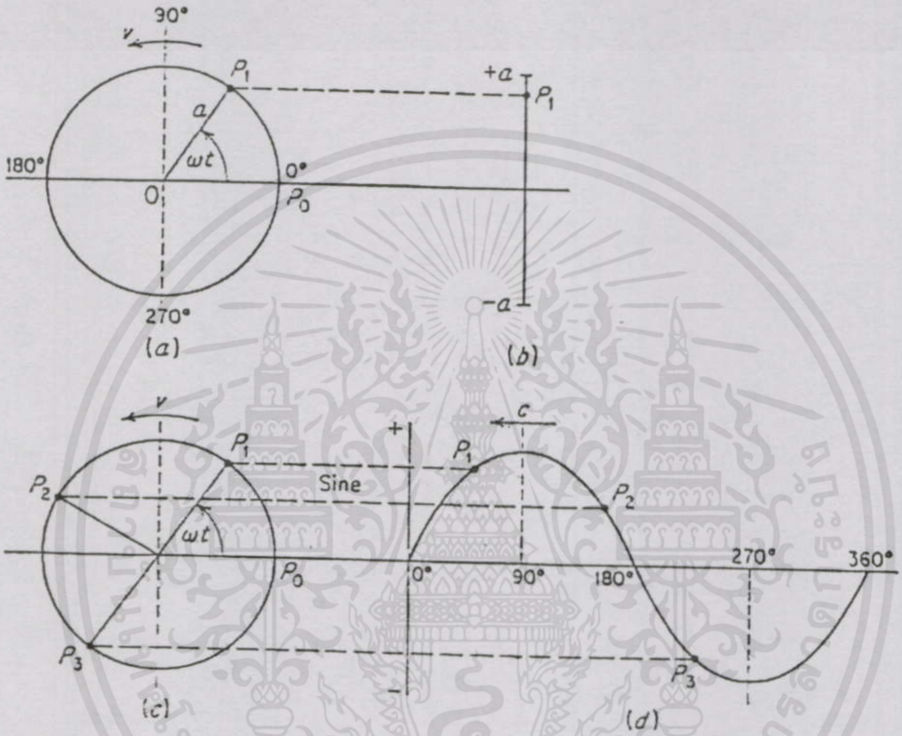
สรุปได้ว่า เพราะน้ำหนักของอากาศจึงมี Inertia เพราะ “Springiness” จึงมี Elasticity และเพราะอากาศทั้ง Inertia Elasticity คลื่นจึงสามารถแพร่ไปได้ในอากาศ

2.1.3 Harmonic Motion สำหรับ Sine Wave

มาถึงตรงนี้ได้กล่าวถึง Density, Elasticity, ความดัน และอุณหภูมิของอากาศ อธิบายได้ว่า จะสามารถแพร่คลื่นเสียงผ่านได้ ขณะที่ในเรื่องของเสียงที่ซับซ้อนมากๆ เหมือนจะมีประโยชน์มากกว่าพิจารณารูปแบบที่ง่ายของเสียงเป็นอันดับแรก คือ Pure Tone ในการจำแนกแยกแยะ Pure Tone ในการจำแนกแยกแยะ Pure Tone เกิดขึ้นมาจากชนิดของ Motion นี้เรียกว่า Sine wave พิจารณาดูว่าคลื่นเกิดขึ้นได้อย่างไร

Simple Harmonic Motion มักถูกอธิบายว่าเป็น Projection บนพื้นราบทางเดินของจุดที่กำลังเคลื่อนที่ไปรอบวงกลม ณ.ความเร็วเดียวกัน ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.2 (a) สมมุติว่า จุดเคลื่อนไหว P1 เดินทางไปรอบๆ วงกลม ณ ความเร็วคงที่ Projection ของจุดนี้บนพื้นราบ ก็จะลากกลับและลากไปตามเส้นทางเหมือนกับจุดที่ไปรอบๆ วงกลม (ดังรูปที่ 2.2 b) สมมุติได้เคลื่อนที่พื้นที่ราบลงบนที่ซึ่ง Plot Projection ไปทางซ้าย ณ. ความเร็วเดียวกัน c (เหมือนที่ระบุไว้ในรูปที่ 2.2 (d))

แทนที่จะลากซ้อนๆ กันไปตามเส้นทางแสดงดังในรูปที่ 2.2 (b) ผลการลากเส้นก็คือรูปแบบของกราฟ Trigonometric Function ซึ่งรู้จักกันในนามของมุมเป็น อัตราของด้านที่ตรงข้ามกับมุมในสามเหลี่ยมทางขวาต่อด้านยาวที่สุดของสามเหลี่ยม Simple Harmonic Motion เป็น Motion ซึ่งจะเปลี่ยนใน Magnitude กับเวลาตามลักษณะที่อธิบายไว้ในรูปที่ 2.2 (c) กับ (d) เคลื่อนที่ทำให้เกิดPlot ของเคลื่อนที่เหมือนกับ Function ของเวลาที่คล้ายกับ Sine wave ดังที่ระบุไว้ในรูปที่ 2.2 (d)

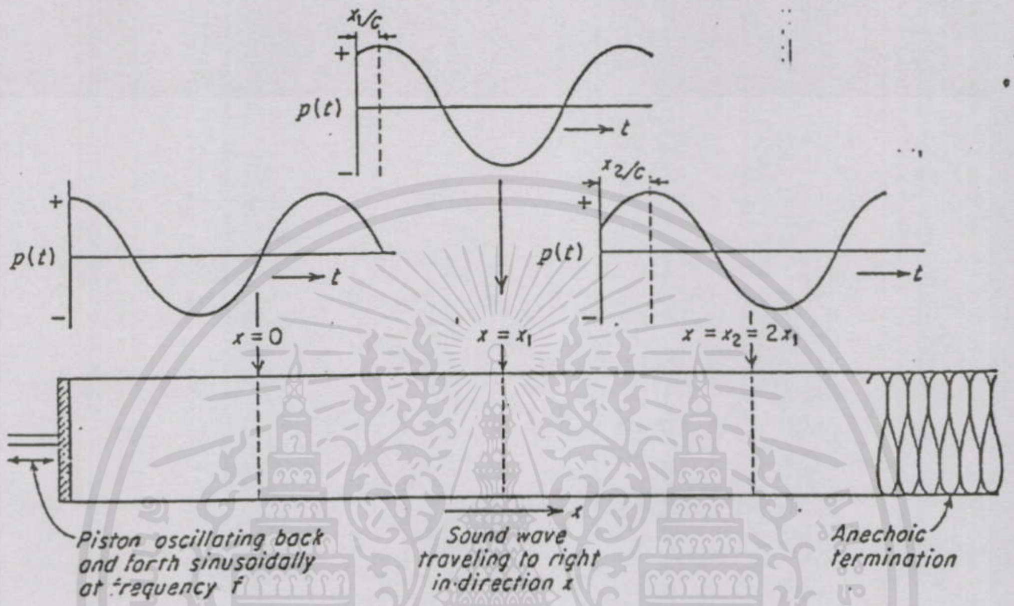


รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง Harmonic motion Sine wave,a) จุด P1 เคลื่อนที่เป็นวงกลมคงที่เท่ากับความเร็ว V และ ,b) เคลื่อนที่ขึ้น และลงระหว่าง +a และ –a , c) จะเหมือนกับ Projection d) เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ซึ่งที่ความเร็ว c

พิจารณา long Tube ที่บรรจุไปด้วยอากาศที่มี Movable Piston ที่ปลายด้านหนึ่ง (รูปที่ 2.3) สมมุติว่า Piston ถูกทำให้เคลื่อนที่ไป และกลับใน Simple Harmonic Motion ของ Piston นี้จะทำให้โมเลกุลอากาศที่อยู่ชิดติดกันกับ Piston จับกลุ่มอยู่ด้วยกันหรือกดอัด จากนั้นจะเคลื่อนแยกออกจากกันหรือจางไป Action สลับกันระหว่าง Alternate Compression กับ Rarefaction จะเคลื่อนที่ตาม Tube ขึ้นอยู่กับ Elasticity ของตัวกลาง คลื่นที่มีรูปทรง Sine จะถูกก่อให้เกิดขึ้นซึ่งความถี่เป็นอัตรา (จำนวนของครั้งต่อวินาที) ที่ Piston เคลื่อนกลับและไป Strength ของคลื่น ถูกกำหนดโดย Magnitude ของการเคลื่อนที่ของ Piston

2.1.4 คลื่นเสียงในอากาศ

ในที่นี้ Simple Sound wave ของ Single Frequency ถูกกำหนดขึ้นมาได้อย่างไร พิจารณาว่าคลื่นนี้เคลื่อนที่ผ่านอากาศได้อย่างไร แล้ว Parameter ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะต่อไป



รูปที่ 2.3 การแพร่ Plane-wave ซึ่งจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปทางขวาของท่อ คลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงในใน Sound wave 3 จุด x=0, x=x1 และ x=x2=2x1

Strength หรือ Amplitude ของคลื่นเสียงจะถูกกำหนดโดยตรงด้วยการเคลื่อนที่ ซึ่งโมเลกุลเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว และในการย้อนกลับ ซึ่ง Parameter สามารถใช้ในการอธิบายคลื่นเสียงจะมี Particle Velocity กับความดันเสียง

Particle Velocity เป็นอัตราการเคลื่อนที่เกิดขึ้น หรือเป็นการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลา ถ้า การเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาเพิ่มขึ้น Amplitude ของคลื่นเสียงที่จะเพิ่มขึ้น และ Particle Velocity ก็จะเพิ่มตามกันไปด้วย อุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งต่อการใช้ Particle Velocity ในการอธิบาย Magnitude ของคลื่นเสียง คือ การขาดแคลนเครื่องมือที่เหมาะสม ซึ่งมีขนาดเล็ก และไม่มีความคงทนเพียงพอสำหรับใช้ในการวัดพื้นที่จริง

ความจริงที่โมเลกุลอยู่ในชนิดของ Motion ซึ่งจะเปลี่ยนทิศทางโดยปริมาณ เมื่อเกิด Particle Acceleration หรือ Momentum Change เมื่อ Force เป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงของ Momentum เปลี่ยนไป การวัด Force จะทำให้โมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่จากสภาพคงที่ ซึ่งจะทำให้ทิศทางของ Amplitude ของคลื่นเสียง การวัด Force ที่ถูกใช้บนพื้นที่ขนาดใหญ่ เกี่ยวข้องกับความสามารถจะหา

Force ต่อหน่วยพื้นที่ หรือความดันได้ ความดันคงที่ถูกบันทึกไว้ในคลื่นเสียง มักจะมีการผันแปรเล็กน้อยจากความดันบรรยากาศปกติ การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยนี้เรียกว่า Excess Sound Pressure หรือเรียกว่า Sound Pressure ก่อนหน้านี้บอกว่าความถี่เป็นอัตราซึ่ง Piston ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไป และกลับ อันนี้จะหมายถึงจำนวนครั้งต่อวินาที ที่ Piston เคลื่อนที่จากตำแหน่งสภาพคงที่ จะกระโดดผ่านตำแหน่ง Equilibrium ไปยังจุดที่เคลื่อนที่สูงสุด ซึ่งอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ตอนแรก และจากนั้นก็จะเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่ง Equilibrium คือ ความถี่ของคลื่นเป็นจำนวนรอบต่อวินาที ที่มุมเป็นวงกลมครบ 1 รอบของ Sine wave เวลาที่ต้องการสำหรับแต่ละรอบ เรียกว่า Period ของคลื่นเป็นการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันของความถี่ ถ้า Piston สั่นที่ความถี่ 100 รอบ / วินาที (cps), Period ของการสั่นเป็น 0.01 วินาที

Motion ของ Piston ใน Tube เป็นสาเหตุให้โมเลกุลของอากาศกดอัดและขยายคลื่นไปตามท่อ ซึ่งห่างจาก Tube พอสมควร และ Piston เริ่มเคลื่อนไหว เราสามารถวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมว่าจะต้องใช้ Period ของเวลาที่แน่นอนก่อนที่คลื่นเสียงจะเริ่มต้นที่จุด Piston จะไปถึงจุดที่ทำการสังเกตความยาวของเวลาเป็นที่จำเป็นต่อการส่งผ่านคลื่นไปตาม Tube จะเป็น Function Elasticity ของอากาศ และ Density

โดยการทดลองสามารถกำหนดได้ว่า Elasticity ของอากาศคงที่ Static Pressure ของอากาศนั่นคือ ความกดอากาศนั่นเอง การคงที่จะกลายเป็นอัตราส่วนของ Specific Heat ของอากาศ ณ. ความดันคงที่ Specific Heat ของอากาศ ณ.ความดันคงที่ จนถึง Specific Heat ปริมาตรคงที่ อุณหภูมิส่วนใหญ่ ซึ่งนำมาเกี่ยวข้องกับอัตราส่วนจะเป็น 1.4 ด้วยเหตุนี้ความเร็วของเสียงในอากาศได้จากสมการ

$$c = \sqrt{\frac{1.4P_0}{\rho_0}} \tag{2.1}$$

ซึ่ง P_0 เป็นความกดอากาศ และ ρ_0 เป็น Density ของอากาศ

สันนิษฐานว่า อากาศมีพฤติกรรมเหมือน Ideal Gas การสันนิฐานอุณหภูมิ และ Density ส่วนใหญ่ เกี่ยวข้องสามารถแสดงให้เห็นว่า ความเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเท่านั้น

ในหน่วยของอังกฤษ สมการสำหรับความเร็วของเสียงในรูป ft / sec จะได้เป็น

$$c = 49.03\sqrt{R}\ ft/\sec \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ซึ่ง R เป็นอุณหภูมิใน Degrees Rankine นั่นคือ 459.7 ^{0} บวกอุณหภูมิใน Degrees Fahrenheit สมการสำหรับความเร็วของเสียงในรูปของ เมตรต่อวินาที จะได้

$$c = 20.05\sqrt{T}\ m/\sec \tag{2.3}$$

ซึ่ง T เป็นอุณหภูมิสมบูรณ์ Degrees Kelvin นั่นคือ 273.2 ^{0} บวกอุณหภูมิใน Degrees Centigrade

ความถี่ และความเร็วเสียงจะสัมพันธ์กันโดยผ่านทางความยาวคลื่น ความยาวของคลื่นเสียงเป็นระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่าง 1 Period หรือ Cycle คลื่น 100 cps จะเคลื่อนไปในระยะ 1.13 ft ใน 1 cycle เมื่อความเร็วของเสียงเป็น 1130 ft / sec ด้วยเหตุนี้ ความเร็วของเสียงจะเท่ากับผลคูณของความถี่กับความยาวคลื่น

$$c = f\lambda \tag{2.4}$$

ซึ่ง c = ความเร็วของเสียง ft / sec หรือ m /sec

f = ความถี่ cps

λ = ความยาวคลื่น ft หรือ m

ความเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอากาศเท่านั้น และคงที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้ หรือ อีกนัยหนึ่งความยาวคลื่นจะลดลงในขณะที่ความถี่จะเพิ่มขึ้น ถ้าความถี่เป็น 1000 cps ในตัวอย่างที่ 2.1 และความยาวคลื่นก็จะเป็น 1.13 ft

2.1.2 อิสระคลื่นที่เคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Free – Progressive Waves)

ระดับทิศทาง ตามที่กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับ Particular Sound Wave ที่เคลื่อนที่ไปตามท่อโดยที่ Motion จะเกิดขึ้นโดยการสั่น Piston ที่ปลายด้านหนึ่งของท่อ (รูปที่ 2.3) สมมุติให้ Tube ยาวไปไม่มีที่สิ้นสุด หรือว่ามีส่วนปลายแบบไม่มีการสะท้อนกลับ ดังนั้นผลที่เกิดขึ้น ณ. ปลายท่อก็จะนำมากล่าวถึงคลื่นเสียงถูกทำให้เกิดขึ้นโดย Piston ที่เคลื่อนไปตามท่อ คุณสมบัติทั้งหมดของคลื่นได้ ดังรูปที่ (2.3) ระยะห่างจาก Piston เคลื่อนไปตามท่อ กับ Action ของตัว Piston เอง คลื่น รูปแบบนี้รู้จักในนามของ One – Dimensional Plane ,Free Progressive wave ลักษณะ One – Dimensional จะสัมพันธ์กับรายละเอียดของตัวแปรในทางสถิติในรูปของ Single Distance และPlaner หมายถึง คลื่นที่เคลื่อนไปข้างหน้าโดยจะขนานกับคลื่นอื่นๆ และ Free Progressive หมายถึง การเลื่อนตำแหน่งไปข้างหน้าของคลื่นซึ่งไม่มีรบกวนจากคลื่นอื่นๆ หรือเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเคลื่อนที่ คลื่นไม่ได้เป็นอิสระซึ่งถูกล้อมรอบด้วยผนังของท่อสำหรับจุดประสงค์ในทางปฏิบัติ Motion จะคล้ายกันระหว่าง Tube กับ Piston

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตเห็นได้ว่า ณ.จุดใดๆ ตามท่อ สามารถวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นๆ ลงๆ บนและล่าง ความกดอากาศ นั่นหมายถึง สามารถวัดความดันเสียงและอัตราความเร็ว Particle ของอากาศที่ผันแปรร่วมกับ

to-and Motion ของโมเลกุลอากาศหน่วยความดันเสียง โดยทั่วไปจะเป็นเดซิเบล (dB) หรือ Newton's / m^2 หน่วยของอัตราความเร็ว Particle โดยทั่วไปจะเป็น cm / sec หรือft /sec

อธิบาย One – Dimensional Free Progressive wave อันอื่นได้ คือ Spherical wave สมมุติว่าให้สิ่งที่เป็นรูปร่างทรงกลม เช่น Balloon มีการขยายตัว และหดตัวเป็นจังหวะในขนาดที่สมดุลย์ นั่นหมายถึง ผิวหน้าของ Balloon จะหดตัวและขยายตัวเช่นเดียวกันใน Motion วิธีเดียวกันกับ Piston โมเลกุลจาก Balloon จะถูกกดและขยาย วิธีการเหมือนกับรูปแบบของคลื่นเสียง ซึ่งถ่ายทอดออกไปจาก Balloon ในกรณีนี้จะอยู่ในรูปของ Spherical wave ความเร็วที่คลื่นถ่ายทอด ออกไปจะเหมือนกับใน Plane wave มีความสัมพันธ์เดียวกันระหว่างความถี่กับความยาวคลื่นแม้ว่าคลื่นจะเคลื่อนไปด้านนอก โดยมีด้านหน้าคลื่นเป็นลักษณะวงกลม ยังคงเป็น One – Dimensional ในเมื่อตัวแปรทางสถิติทั้งหมดของคลื่นสัมพันธ์กับ One – Distance คือ Radial Distance ของหน้าคลื่นจากศูนย์ กลางวงกลม คลื่นรูปแบบนี้ รู้จักในนาม One – Dimensional ,Spherical, Free Progressive wave

คลื่นเสียง free Progressive จะถ่ายทอดพลังงาน นั่นคือ คลื่นเสียงจะถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งไปสู่จุดที่อยู่ไกลกว่า ซึ่งมาจากโมเลกุลในอากาศที่มีอยู่ตามเส้นทางของคลื่นเสียงถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปในเส้นทางที่ได้อธิบาย พลังงานคือ ความสามารถในการทำงาน และงานเป็น Forde Time Distance ที่ว่าคลื่นเสียงบังคับโมเลกุลให้เคลื่อนตัวมีความหมายว่า คลื่นมีพลังงานรวมอยู่ในตัว

วิธีการทั่วๆ ไปที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดพลังงานได้อธิบายไว้ในรูปของ Intensity หมายถึง พลังงานที่ไหลผ่านพื้นที่หน่วยหนึ่งในเวลาหนึ่ง หน่วยของ Intensity จะเป็น Watts / cm^2 หรือ m^2 หรือ ft^2 ในรูปของตัวแปรทางสถิติจะอธิบายคลื่นเสียง Free Progressive ,Intensity เฉลี่ยในทิศทางการถ่ายทอดคลื่น เป็น Time Average ของผลผลิตของความดันเสียง กับ Particle Velocity ที่วัดได้ในทิศทางที่คลื่นแพร่ไป

Quantitative Aspects ในที่สุดพบว่าการอธิบายคุณสมบัติพฤติกรรมของคลื่นเสียงยังไม่เป็นที่เพียงพอสำหรับความต้องการหลักทางคณิตศาสตร์มาเป็นตัวนำทางสำหรับการคิดอย่างมีเหตุผล และเพื่อป้องกันเกิดความผิดพลาดเมื่อมีการนำไปใช้ในทางปฏิบัติในเรื่อง Acoustics

Plane wave กล่าวมาแล้วว่า คลื่นเสียงเดินทางผ่าน Elastic Medium ซึ่ง Particles ของมันมี Inertia กับ Elasticity ก่อนหน้านี้ Force ที่ต้องการเพื่อใช้เคลื่อน Position ของ Gas จะเท่ากับ Mass Times การเพิ่มความเร็วของ Particles จากกฎของ (Neston's Second law) ความดันที่ต้องการสำหรับกด หรือ Rarefy ตัว Position ของ Gas จะต้องทำตาม Boyle – Charles law (PV – mRT) ต่อจากนั้นก็เพิ่มเข้าไปอีกว่าคลื่นเสียงจะแกว่งอย่างรวดเร็ว เพียงพอทำให้การกดอัดของ ldeal Gas เป็น ldeal Gas เป็น Adiabatic ($PV^{1.4}$ = Constant) ในที่สุด ถ้าเราสังเกตว่า กฎของการรักษามวลคงที่ ก็จะมี Material สำหรับใช้ตั้งสมการที่เหมือนกัน 3สมการ (Newton's ,Adiabatic-Boycle – Charles และ Conservation) เมื่อนำมารวมกันก็จะได้สมการคลื่น สำหรับพื้นราบ One – Dimensional Sound – Pressure wave ของ Angular Frequency ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รายงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} p \qquad (2.5)$$

ซึ่ง p = ความดันเสียง

c = ความเร็วของเสียงในอากาศ

ω = 2π, Radians/sec

f = ความถี่ของคลื่น , cps

x = Coordinate system ทางที่คลื่นจะเดินทางไป

Forward-traveling wave ตอนนี้จินตนาการว่า Piston ในท่อเกิดคลื่นเสียงซึ่งเดินทางไปทางขวา และไม่สะท้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.3 หรือกล่าวอีกในหนึ่งคือ ปลายด้านขวามือของท่อเป็น Anechoic (เสียงสะท้อน) ดังนั้น พลังงานทั้งหมดที่ถูกผลิตออกมาโดย Piston ก็จะถูกดูดกลืนที่ส่วนปลาย

กำหนดพื้นราบไปตามท่อเป็น x = 0 Plane ณ.พื้นราบนี้ความดันเสียงจะผันแปร sinusoidally ที่ความถี่เดียวกันเหมือน piston และจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ P_R ดังนั้น

$$[p(t)]_{x=0} = P_R \cos \omega t \qquad (2.6)$$

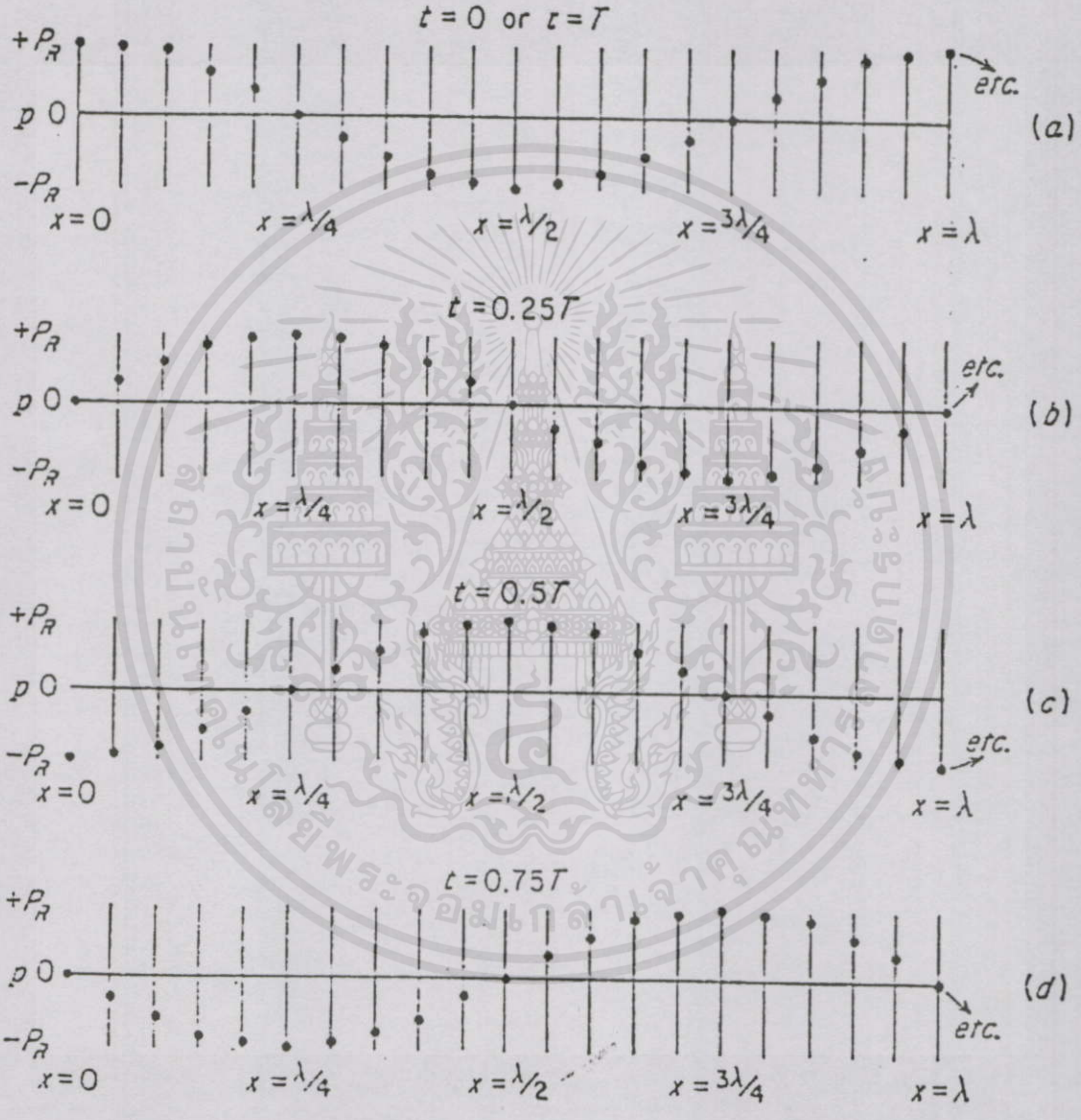
ตอนนี้เมื่อดูรูปที่ 2.4 เราจะสังเกตแผนภาพ 4 ซึ่ง Plot ความดันเสียงเปรียบเทียบกับความผันแปรของระยะทาง X เราจะสังเกตได้ว่า แผนภาพแต่ละอันมีเส้น vertical ลากไป 20 แห่ง ไปตามทิศทาง X เส้นเหล่านี้จะช่วยในการรวมจุดไปที่ตำแหน่งตามเส้นทางของ Free Progressive Wave ที่กำลังเดินทางออกด้านนอก ในทางปฏิบัติคลื่นที่เดินทางแบบนี้อาจมีอยู่จริงสำหรับความถี่ที่ต่ำกว่า 500 pcs ในท่อขนาดยาวซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm (2 in.) ตัว loudspeaker จะถูกวางไว้ที่ปลายด้านซ้ายของท่อและส่วนปลายของท่อ (ไม่สะท้อน) ที่ปลายด้านขวา ความถี่ของแหล่งกำเนิดเป็น 100 pcs ดังนั้น ความยาวคลื่นจะเป็น

$$\lambda = \frac{c}{100} = \frac{344}{100} = 3.44m \quad (11.28\,ft) \qquad (2.7)$$

ซึ่ง c คือ ความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 344 m/sec (1,128 ft/sec) เวลาที่ใช้สำหรับให้คลื่นเดินทาง 1 ความยาวคลื่น (3.44 m) นั่นคือ Period จะเป็น

$$T = \frac{\lambda}{c} = \frac{3.44}{c} = \frac{3.44}{344} = 0.01\,\text{sec} = \frac{1}{f} \qquad (2.8)$$

ก่อนอื่น ดูที่กราฟรูป 2.4 (a) ที่แต่ละแห่งของทั้ง 20 จุดตลอดทางของคลื่น ตำแหน่งของจุดจะแสดงความดันเสียง



รูปที่ 2.4 แสดง Sound Pressure ใน Plane free progressive สำหรับ Forward – traveling wave 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันเสียงนี้จะอยู่เหนือเส้นศูนย์ ใกล้ๆกับปลายด้านซ้ายและขวาจะอยู่ต่ำกว่าเส้นศูนย์ที่ระหว่างเส้นศูนย์กลางจะเป็นเส้น เครื่องวัดความต้าน (Barometric – pressure) กราฟ (a) ของรูป

2.4 คือ “ถ่ายรูปโดยใช้ไฟแฟลช” ที่เวลา t=0 ของการกระจายความดันเสียงไปในช่องว่างเหนือระยะทางซึ่งถูกเลือกให้เป็นความยาวคลื่น

ตอนนี้ในเวลาสั้นๆ ต่อมา ที่เท่ากับ 0.0025 sec นั่นคือ T / 4 sec คลื่นได้เดินทางไปทางขวา ระยะทางเท่ากับ ¼ ความยาวคลื่น [ดูกราฟ (c) และ (d) ในรูปที่ 2.4] คลื่นได้เดินทางไปอีก 0.86 m. และในที่สุด ภายหลัง 0.01 sec = T คลื่นก็เดินทางได้เต็มความความคลื่น และกราฟ (a) ก็จะนำมาใช้อีกครั้งหนึ่ง จากนั้น Sequence ทั้งหมดของกราฟทั้ง 4 เคลื่อนที่ซ้ำตัวเองครั้งแล้วครั้งเล่าเหมือนกับที่คลื่นจะยังคงเดินทางไปทางขวาจากแหล่งกำเนิด

จะเห็นว่า ณ.แต่ละตำแหน่ง ความดันเสียงจะเปลี่ยนแปลงไปตามเส้น Vertical ที่แสดงไว้ ความดันคลื่นใดๆ ที่มีอยู่ที่เส้น Vertical อันหนึ่งที่ให้ไว้ชั่วคราวจะเกิดขึ้น ณ.ตำแหน่งถัดไปทางขวา ที่ T/20 = 0.01/20 = 0.005 sec เป็นสิ่งอธิบายกล่าวที่ว่า คลื่นเดินทาง (wave motion) ประเภทนี้อธิบายในทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$p(x,t) = P_R \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right] \tag{2.9}$$

ซึ่ง P_R = จุดยอดของระดับความดันเสียง, newtons / m^2

X = ระยะทางที่คลื่นเดินทางไป, m

T = เวลา, sec

C = ความเร็วของเสียง = 344 m / sec

ω = $2\pi f$ = angular frequency, radians /sec

สมการนี้ถูกต้อง สามารถเห็นได้โดยการแทนที่ P ในสมการ (2.5) ที่ด้านขวามือของสมการ (2.9) และสังเกตดูว่าเป็นการแก้ปัญหา

สรุปสมการ (2.9) กับรูป 2.4 จะได้ว่า :

1. คลื่นเสียงแบบ plane, pregressive, forward-traveling จะเคลื่อนไปทางขวาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความดันจุดยอด นั่นคือ P_R ไม่เป็น function ของ x

2. ณ.จุดใดๆของ x ความดันเสียงจะ veries ด้วยความถี่มุม (angular frequency) ω เดียวกันมันก็คืออยู่ที่ x = 0

ไปดูที่รูป 2.4 เหนือจุด x = 0 จะเห็นว่า ความดันจะ varies เหมือนที่ให้ไว้ใน สมการที่ 2.6 จุดที่ $x = \lambda / 4$ ฟังก์ชันเดียวกันจะปรากฏขึ้น ยกเว้นว่าความดันจะไปถึงสุดสูงสุดของมัน ณ.ช่วง เวลาที่ t = 0.25 T = $(\lambda / 4) / c$ sec ภายหลัง (สมการที่ 2.9) เราอาจจะพูดได้ว่า phase shift ของ $\omega x / c$ = $\omega (\lambda / 4) / c \; \pi/2$ radians ได้เกิดขึ้นที่จุด $x = \lambda / 2$ ความดันเสียงจะไปถึงจุดสูงสุดที่ $t = (\lambda / 2) / c = 0.05$ T PHASE Shift ในตอนนี้จะเป็น π radians

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในของรูปที่ 2.4 ซึ่ง f = 100 cps จะได้

$$p(x,t) = P_R \cos\left[628\left(t - \frac{x}{344}\right)\right] \tag{2.10}$$

Backward – Traveling wave คลื่นที่เดินทางไปข้างหลังเป็นคลื่นหนึ่ง ซึ่งเดินทางไปในทิศทางตรงข้ามของ x สามารถเกิดขึ้นได้โดยการตั้งแหล่งกำเนิดเสียงไว้ที่ปลายด้านขวามือของท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และให้การแผ่รังสีไปทางซ้ายและสะท้อนกลับไปทางด้านขวามือของท่อ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีเสียงสะท้อนกลับ และด้วยวิธีนั้นมันจะหันเหคลื่นที่เดินทางไปข้างหน้าในการเคลื่อนที่ไปรอบๆ

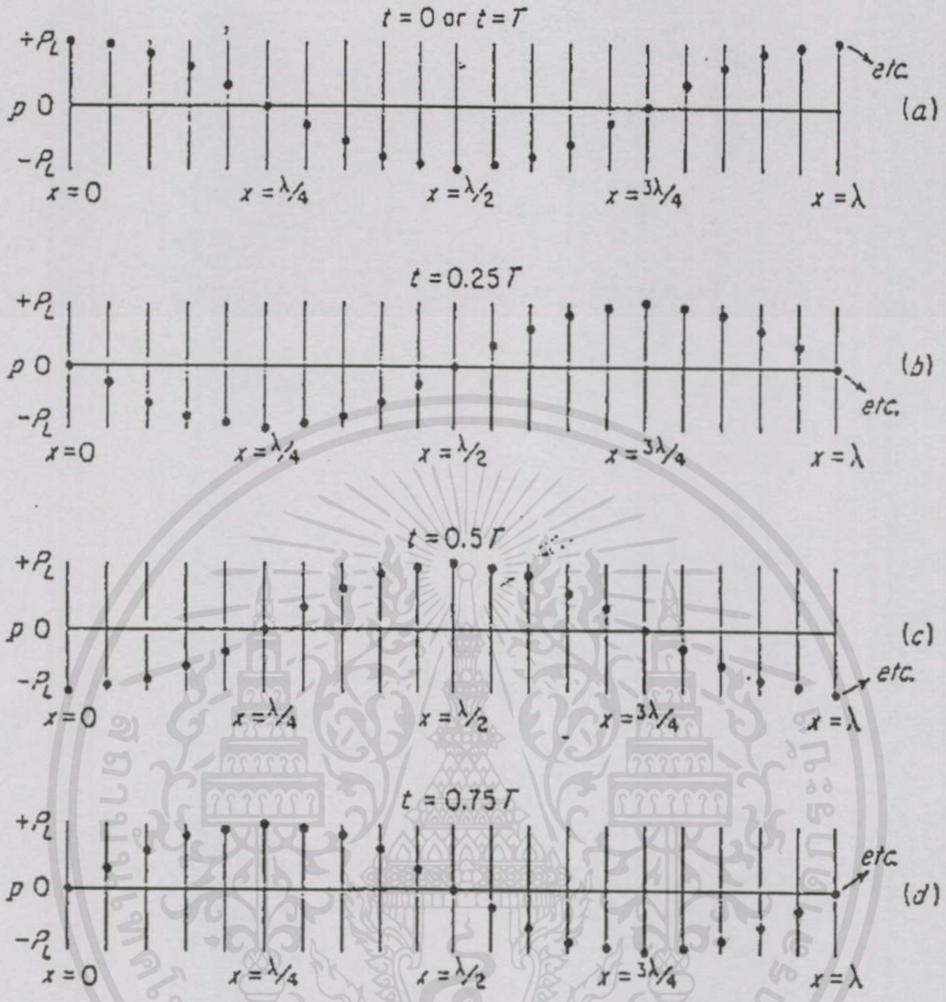
$$p(x,t) = P_L \cos\left[\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right] \tag{2.11}$$

การเปลี่ยนแปลงเพียงอย่างเดียวจากสมการที่ 2.9 จะอยู่ในสัญลักษณ์ที่ตามหลังตัวด้วย t ในสมการ กรณีการเดินทางไปข้างหลังได้ถูกแสดง ไว้ใน รูปที่ 2.5 จะเห็นว่าความดันเสียงใด ๆ ซึ่งมีอยู่ที่เส้นใดเส้นหนึ่ง ก็จะมีอยู่ที่เส้นทางถัดไปทางซ้ายภายหลัง t /20 secเรียกว่า Phase Shift ของ 18^0 (2π / 20 Radians) จะมีอยู่ระหว่างเส้นที่อยู่ประชิดกันและนี่เป็นความจริงตามรูปที่ 2.4

คลื่นที่เดินทางไปทั้งข้างหน้า และข้างหลัง (Combined Forward และ Backward Traveling waves) และ (Standing wave) ในขั้นตอนถัดไป ได้โดยการบวกสมการที่ 2.4 กับ 2.5 เข้าด้วยกัน จะได้สมการที่ 2.12 สำหรับ f = 100 cps

$$p(x,t) = P_R \cos\left[628\left(t - \frac{x}{344}\right)\right] + P_L \cos\left[628\left(t + \frac{x}{344}\right)\right] \tag{2.12}$$

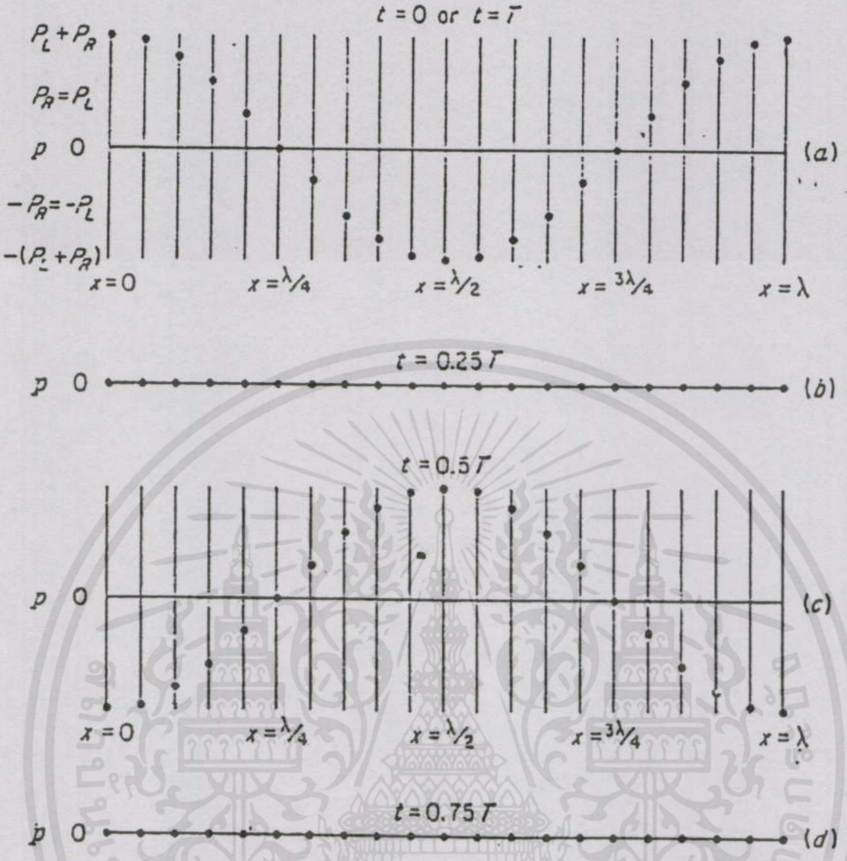
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดง Sound Pressure ใน Plane free progressive สำหรับ Blackward – traveling wave 20 จุด

การรวมสมการเข้าด้วยกันจะเห็นได้ว่าคลื่นทั้ง 2 ตัวที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ รูปที่ 2.6 เป็นการรวมทางพีชคณิตอย่างง่ายๆ ของรูปที่ 2.4 และ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดง Sound pressure ของ Plane standing wave ที่ 20 จุด

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ความดันเสียงที่จุดหนึ่งจะเกิดขึ้น ณ.จุดถัดไปทางด้านขวาหรือทางด้านซ้าย ในช่วงเวลาเล็กน้อยคลื่นก็จะเดินทางต่อไปอีก เห็นว่าที่แต่ละจุดในช่องว่างความดันเสียงจะเพิ่มขึ้น และลดลงเป็นเส้นโค้งตรงกับเวลา ยกเว้นที่จุด $x = \lambda / 4$ กับ $x = 3\lambda / 4$ ที่นั่นความดันจะเป็นศูนย์เสมอค่าสูงสุดของการผันแปรความดัน ณ. จุดที่แตกต่างจะมากที่สุดที่ $x = 0$,
$x = \lambda / 2$ และ $x = \lambda$ ความดันเสียงที่จุดทั้ง 9 จุด ระหว่าง $x = \lambda / 4$ กับ $x = 3\lambda / 4$ จะ Vary พร้อมกันเสมอ นั่นคือ เพิ่มขึ้นหรือลดลงใน Phase แม้ว่าจำนวนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแตกต่างกันความดันเสียงสำหรับจุด 5 จุด ทางซ้ายของ $x = \lambda / 4$ และทางด้านขวาของ $x = 3\lambda / 4$ จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงพร้อมกันด้วยนั้นใน Phase แต่เปลี่ยนแปลงจะเป็น ½ cps หรือ 180^0 ออกมาจาก Phase ซึ่งมีความดันเสียงสำหรับจุด 9 จุด อยู่ระหว่าง $x = \lambda / 4$ และ $x = 3\lambda / 4$

สมมุติว่า $P_R = P_L = P$ สามารถแสดงโดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์ได้ว่า จำนวนเทอม 2 เทอม ในสมการที่ 2.12 คือ

$$p(x,t) = 2P\left[\cos 2\pi\left(1-\frac{x}{\lambda}\right)\right]\cos\omega t \tag{2.13}$$

ตอนนี้จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างคลื่น Standing กับ Traveling ใน Traveling wave (สมการ 2.9 กับ สมการ 2.11) เวลา t กับ x / c จะเกิดขึ้นเหมือนจำนวนรวมหรือจำนวนที่แตกต่างภายในข้อสรุปของ Cosine ดังนั้น สำหรับ Traveling wave ที่ปรับทั้งเวลาและระยะทาง (ตามความเร็วของเสียง) ในข้อสรุปของ Cosine จะสามารถรักษาข้อสรุปนั้นไว้ และ ยังให้ความสำคัญกับ Cosine เหมือนเดิมในสมการ 2.13 เวลา และ x / c จะไม่ปรากฏพร้อมกันภายในข้อสรุปของ Single Cosine ดังนั้นความดันเสียงแบบเดียวกันก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นที่จุดที่อยู่ประชิดกันในช่องว่างในเวลาหลังจากนั้น

Particle Velocity คือ Particle Velocity จากสมการ Newtonian สามารถแก้ปัญหาสำหรับ Particle Velocity (u) ในฐานของความดันเสียง p เราจะพบว่าในกรณี Free –Progressive – Plane – wave ของรูปที่ 2.3 และ 2.4 นั้น

$$u = \frac{P}{\rho_0 c} \tag{2.14}$$

ซึ่ง u คือ Particle Velocity และ ρ_o คือ Density ของอากาศผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ 2.9 เราจะเห็นว่า

$$u(x,t) = \frac{P_R}{\rho_0 c}\cos\left[\omega\left(t-\frac{x}{c}\right)\right] \tag{2.15}$$

กำลังเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ นั่นคือ Intensity ที่ถูกถ่ายทอดไปยังด้านขวามือในรูปที่ 2.3 จะเท่ากับ

$$\text{Average Intensity} \qquad I = \overline{\rho u} \tag{2.16}$$

ซึ่งเส้นที่อยู่บนจะระบุเวลาเฉลี่ยของผลคูณ ระหว่างสมการที่ 2.9 และ 2.15 ลงในสมการที่ 2.16 จะให้ผลกับ Intensity ทันทีทันใด (P_R คือจุดยอดหรือค่าสูงสุดของความดันเสียง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I(t) = \frac{P_{\max}^2}{\rho_0 c}\left[\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2\varpi\left(t-\frac{x}{c}\right)\right] \tag{2.17}$$

เนื่องจากเวลาเฉลี่ยของ Cosine เป็นศูนย์ Average Intensity จึงเป็น

$$I = \left[\frac{P_{max}}{\sqrt{2}}\right]^2 \frac{1}{\rho_0 c} \qquad (2.18)$$

ให้สังเกตความจริงที่ว่าค่า Root – mean – square (rms) ของ Sine wave เท่ากับ 1 / 2 เท่า| ของค่าที่จุดยอดจะได้

$$I = \frac{p_{rms}^2}{\rho_0 c} \qquad (2.19)$$

เครื่องวัดระดับเสียงทุกตัวจะถูก Calibrate เพื่อที่จะอ่านค่า rms (ถูกเรียกว่า ค่า ''Effective ด้วย เช่นกัน) ของคลื่นเสียง ดังนั้น Intensity I อาจถูกคำนวณได้อย่างง่ายๆ จาก P_{rms} สำหรับคลื่นประเภทนี้

Spherical wave โดยไม่ต้องลงไปในรายละเอียด เราจะพบว่าสำหรับรูปทรงกลม 1 มิติ Free Progressive wave

$$P(r,t) = \frac{A_{max}}{r} \cos\omega\left(t - \frac{r}{c}\right) \qquad (2.20)$$

สมการนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.9

1. ในฐานะที่เป็นรูปทรงกลม Progressive wave จะเดินทางออกไปจากแหล่งกำเนิดช่วงกว้างของคลื่นความดันจะลดลงในอัตราส่วนที่ตรงกันข้ามกับ r
2. ณ.จุด r ใด ๆ คลื่นเสียงจะมีความถี่เหมือนกันกับแหล่งกำเนิดรูปทรงกลมที่ผลิตขึ้นมา
3. นอกจากผลลัพธ์ของบนช่วงกว้างของคลื่นแล้ว ระยะทาง r จะทำให้เกิด Time Delay (Phase shift) ในคลื่นด้วยเช่นกัน

ในกรณีของคลื่นรูปทรงกลม อาจใช้แสดง Average Intensity ที่ระยะทาง r จากแหล่งกำเนิดที่ให้ในสมการที่ 2.19 ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่ง P_{rms} คือความดัน rms ที่ระยะทาง r อย่างไรก็ตาม สังเกตว่า ณ. จุดนี้ P_{rms} ลดลงในอัตราส่วนที่ตรงกันข้ามกับ r และทางตรงข้าม P_{rms} จะคงที่
สำหรับ Plane wave

ความคล้ายคลึงกันระหว่างสูตรของ Acoustic power flow กับ Electrical power ใน watts, E อยู่ใน Volts และ R เป็นความต้านทานในรูป ohms ถ้าระบุ $\rho_o c$ เป็นชนิดหนึ่งของ Acoustic Resistance จะมีสูตรที่คล้ายคลึงกันสำหรับ Power ในทุกกรณี

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง Plane wave กับ Spherical waves กลายเป็นสิ่งที่เห็นได้เด่นชัดเมื่อพิจารณา Intensity ของคลื่นเสียง ณ. จุดใดหนึ่งที่ถูกให้มา ถ้าสมมุติว่าแหล่งกำเนิด
ได้แจกจ่าย Constant Energy ให้กับคลื่นโดยไม่มีการลดน้อยลงใน Plane Wave, Intensity ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะได้มาจากแหล่งกำเนิดไกล เมื่อพื้นที่ Wave Front อยู่คงที่ (ท่อมีหน้าตัดคงที่) ใน Spherical wave พื้นที่ของ Wave Front เพิ่มขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางไปข้างหน้าไกลออกไปเรื่อยๆ จากแหล่งกำเนิดในความเป็นจริง พื้นที่นี้เพิ่มขึ้นพร้อมกับ Square ของระยะทางจากแหล่งกำเนิด เมื่อพื้นที่ของ Sphere เท่ากับ 4π เท่ากับ Square ของรัศมีเพราะฉะนั้นใน Spherical Wave ที่มีแหล่งกำเนิดของพลังงานต่อวินาทีคงที่ (นั่นคือ กำลังคงที่) Intensity ก็ต้องลดลงเหมือนSquare ของระยะทางจากแหล่งกำเนิด เมื่อผลคูณของ Intensity กับพื้นที่ที่ผ่านมีค่าเท่ากันกับพลังงานที่ถูกส่งผ่านโดยคลื่น นี่เป็นที่มาของ Inverse Square law อาจกล่าวง่ายๆ ว่า

$$I(\text{ที่รัศมี } r) = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2 rms(at\ r)}{\rho_0 c} \qquad (2.21)$$

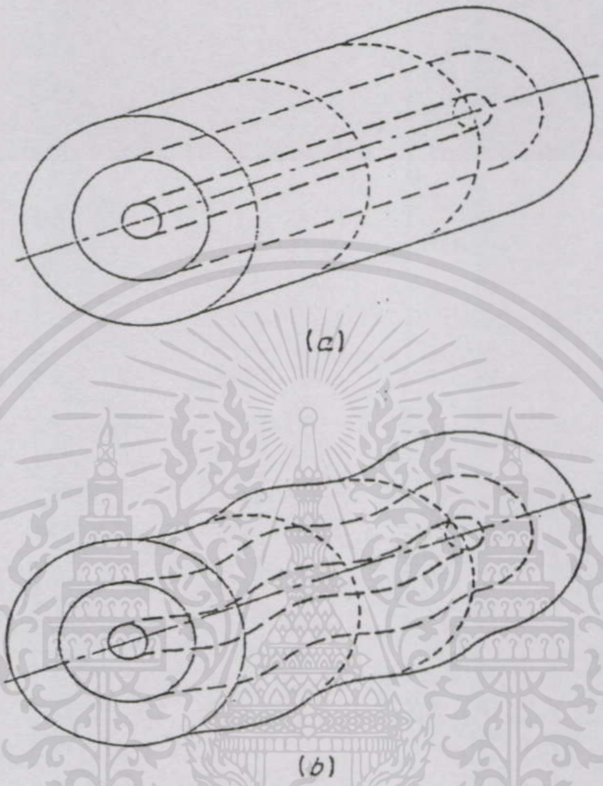
ซึ่ง W คือ Total Acoustic Power ที่ถูกปล่อยออกจากจุดศูนย์กลางที่แหล่งกำเนิดของเสียง

จะเห็นว่า สำหรับระยะทาง 10 เท่า ความดันเสียงถูกทำให้ลดลงด้วย Factor 10 และ Sound Intensity ถูกทำให้ลดลงด้วย Factor 100 เปรียบเทียบตัวอย่างนี้กับตัวอย่าง 2.3 สำหรับ Plane Free Progressive Wave

ในวิธีการกระทำคล้ายคลึงกันกับการสร้างคลื่นแบบ Plane กับ Spherical, สามารถทำให้เกิดคลื่นที่มีธรรมชาติซับซ้อนกว่านี้ได้ ตัวอย่างอีกอันหนึ่งของคลื่น Free Progressive Wave 1 มิติ สามารถได้มาโดยการพิจารณากระบอกสูบที่ยาวมากๆ หรือท่อ Tube ลักษณะตรงที่เต็มไปด้วยอากาศ สมมติว่า ให้พื้นผิวหน้าของ tube เต้นเป็นจังหวะสม่ำเสมอในทิศทางที่แพร่รัศมี คลื่นเสียงจะแพร่ออกไปจากกระบอกสูบ คลื่นนี้ตัดสลับกันระหว่าง Plane Wave กับ Spherical Wave ที่จุดใดจุดหนึ่งคลื่นจะมีคุณสมบัติเหมือนกันกับจุดอื่นที่ระยะห่างเดียวกันจากกระบอกสูบ แต่จะมี 2 จุด ที่มีระยะห่างจากกระบอกสูบแตกต่างกันคลื่นก็จะแตกต่างกันสามารถแสดงให้เห็นว่า intensity ที่ระยะห่างจากกระบอกสูบแตกต่างกันคลื่นก็จะแตกต่างกันสามารถแสดงให้เห็นว่า intensity ที่ระยะห่างใดๆ จากแหล่งกำเนิดจะตรงกันข้ามกับ Power แรกสุดของรัศมีมากกว่า Power อันที่สองเมื่ออยู่ในกรณีของ Spherical Wave คลื่นชนิดนี้ถูกเรียกว่า Cylindrical Wave 1 มิติ เหมือนดังเช่นตัวอย่างในคลื่น 2 มิติที่สมมติให้เพิ่มเข้าไปใน Uniform Radial Motion ของ กระบอกสูบถูกกำหนดให้มีคลื่นอันอื่นตลอดทั้งแกนของตัวกระบอกสูบ ผลก็คือคลื่นเสียงที่ถูกแผ่รังสีจากกระบอกสูบ ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับระยะทางการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดเท่านั้น แต่ยังต้องขึ้นอยู่กับระยะทางตลอดแกนของแหล่งกำเนิด รูปที่ใกล้เคียงกับคลื่นทั้ง 2 อธิบายมาข้างต้นจะถูกแสดงไว้ในรูป 2.7 คลื่นถูกแสดงด้วยลักษณะต่อเนื่องของพื้นผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า "Wave Front" Wave Front ถูกเรียกเป็นพื้นผิวที่มี Phaseเท่ากัน หมายความว่า ดันเสียงที่แต่ละพื้นผิวจะมีความทนทานกับความดันเสียงที่พื้นผิวอื่นนั่นก็ คือ ถ้าความดันเสียงอยู่ที่จุดสูงสุด ณ.พื้นหนึ่งก็จะอยู่ที่จุดสูงสุด ณ.พื้นผิวอื่นทุกที่ที่มี phase เหมือนกัน



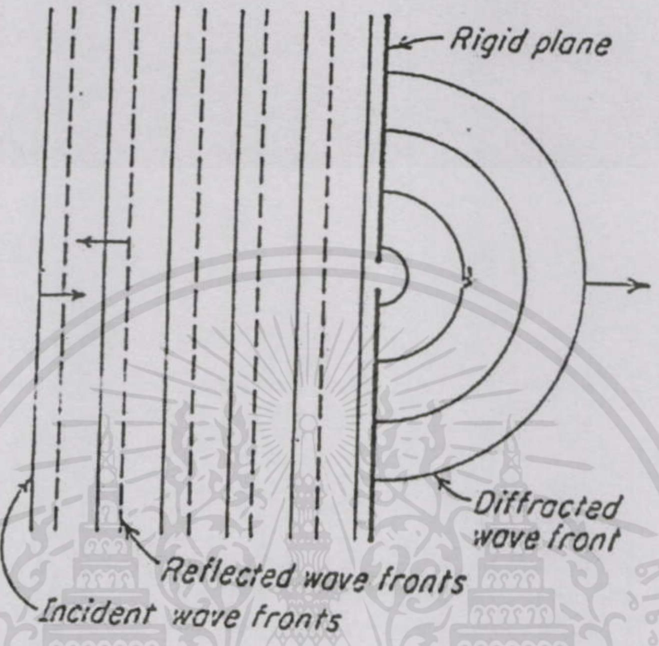
รูปที่ 2.7 one และ two – Dimensional wave

2.1.6 การอ้อมของคลื่นที่ผ่านวัตถุที่ขวางหน้า (Diffraction – standing wave)

Free Progressive Waves ถูกอธิบายไว้ว่าไม่มีอุปสรรคหรือการเปลี่ยนแปลงในตัวกลางที่ถ่ายทอด คลื่นเหล่านี้สามารถอยู่ได้เฉพาะในช่องว่างอิสระ (Fred Space) เท่านั้นทันทีที่ปิดช่องว่างนั้น หรือ วางสิ่งกีดขวางในเส้นทางคลื่นรูปร่างของคลื่นก็จะถูกเปลี่ยนไป การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องการทำปฏิกิริยาของคลื่นกับสิ่งกีดขวาง เป็นสิ่งที่ซับซ้อนมากแต่ก็เป็นเรื่องที่ง่ายที่สุดสิ่งที่เป็นตัวบอกว่า Wave Front สามารถถูกทำให้เปลี่ยนได้ก็อาจตรวจสอบกรณีของ Plane Wave ที่ปะทะกับพื้นผิวหน้าเรียบขนาดใหญ่ ซึ่งเติมไปด้วยรูเล็กๆ เสียงจะทะลุผ่านรูเล็กๆ รูปแบบของ Spherical Wave เสียงนั้นที่กระทำตัวในลักษณะที่อธิบายไว้สามารถแสดงได้ทั้งทางการวิเคราะห์ และทางการทดลอง การวิเคราะห์ซึ่งศึกษาปรากฏการณ์นี้รู้จักกันในนามของทฤษฎี Diffraction และคลื่นเสียงอันใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นมาจะรู้จักกันในนามของ Diffraction Wave

Standing Wave จะอยู่ในสถานที่ปิด ซึ่งมีพื้นผิวหน้าขนานกันและกัน ในห้องรูปสี่

เหลี่ยมมุมฉากอาจจะมี Standing Wave ความถี่ Resonant Standing Waves สามารถคงอยู่ได้จะสัมพันธ์กับการแบ่งแยกระหว่างพื้นผิวที่มีการสะท้อน ,ความถี่ที่ต่ำที่สุดสำหรับ Resonant Standing Wave ในระบบ 1 มิติจะได้



รูปที่ 2.8 การกระจายคลื่นผ่านท่อเล็ก

$$f = \frac{c}{2d} \qquad (2.22)$$

ซึ่ง f = ความถี่ที่ต่ำที่สุดสำหรับ Resonant standing wave

c = ความเร็วเสียง

d = ระยะทางที่แยกพื้นผิวที่มีการสะท้อน 2 ผิวหน้า

Resonant Standing waves จะสามารถคงอยู่ได้เช่นกันในทุก ๆ ผลคูณจำนวนเต็ม

$$f = \frac{nc}{2d} \qquad (2.23)$$

ซึ่ง n เป็นจำนวนเต็ม : 1,2,3……...

2.17 ส่วนประกอบของคลื่น

ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การรวมกันของคลื่นที่สัมพันธ์กันอย่าง Harmonically และ Inharmonically ในการอธิบายถึงปัจจุบัน ได้พิจารณาคลื่นที่มีความถี่ Single เพียงอย่างเดียวเท่านั้น คลื่นเสียงจะถูกเรียกว่า Pore Tone ในธรรมชาติ Pore Tone โดยปกติจะไม่มีผลลัพธ์เป็น Complex Wave ด้วย

เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fourier Analysis สามารถแสดงให้เห็นว่าคลื่นเสียงใดๆ ซึ่งซ้ำตัวเองเป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอสามารถนำมาพิจารณาเป็นการรวมตัวอย่างเหมาะสมของ Sine Waves ซึ่งความถี่ต่างๆ เป็นผลคูณของบางความถี่ที่ถูกเรียกว่า Fundamental Frequency Component ที่มีความถี่สองครั้งในขั้นต้นจะถูกเรียกว่า Second Harmonic และอันอื่นๆ ต่อไป Component Wave ที่ให้มา รูปแบบคลื่นของ Resultant Periodic Wave สามารถได้มาโดยใช้กระบวนการของ Superposition นั่นก็หมายถึง ณ.เวลาใดๆ ที่ให้มา Amplitudes ของ Indivedual Component จะถูกเพิ่มเป็นแนวยาว เพื่อจะให้ Amplitude ของ Periodic Complex Wave คลื่นที่ถูกรวมตัวกันซ้ำๆทับตัวเองจากแต่ละช่วงเวลา T ที่เท่ากับ 1 / f1 ซึ่ง f1 เป็น Fundamental Frequency การรวมกันของหลายๆ Sine waves แนวคิดของ Phase ที่เกี่ยวข้องระหว่าง Individual components ทำให้สมบูรณ์ได้ตามจำนวนของวิเคราะห์วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการอ้างอิง Phase ที่สัมพันธ์กันของ Harmonics ที่บางจุดซึ่งกำหนดไว้ในเวลา (อ้างอิงเป็น t = 0) จนถึง Phase ของ Fundamental เวลาถูกเลือกขึ้นมาดังนั้น Fundamental จะมีทั้ง Zero value (Fundamental) สามารถแทนได้เป็น (sin ωt) หรือมีทั้ง Positive maximum value (Fundamental สามารถ แทนด้วย (cos ωt) Harmonics ก็สามารถเขียนได้เป็น Cn Sin n (ωt + θn) หรือ Cn Sin n (ωt + θn) ในที่นี้ n คือ ลำดับของ Harmonic นั่นคือ 2,3,4 และอื่นๆ Cn คือ Amplitude ของ "n^{th}" Harmonic และ θn คือ Phase ของ n^{th} Harmonic ที่สัมพันธ์กับ Fundamental ตัวอย่างของการรวมตัวของหนึ่ง Sine wave กับอันอื่นเพื่อก่อให้เกิด Complex Wave ได้ถูกระบุไว้ในรูปที่ 2.9 ซึ่ง Sine wave และ Second Harmonic ถูกรวมเข้ากับ Zero Phase Difference ที่ t = 0 เพื่อจะให้เกิด Third wave การรวมกันของ Sines 2 ตัวที่เหมือนกันเหล่านี้กับ Phase Phase Difference π/4 Radians ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ตัวอย่างคลื่นที่สามที่ถูก Plot ไว้ในรูปที่ 2.11 จะแสดงผลเมื่อ Phase Difference π/2 Radians ถูกนำเข้ามาระหว่างคลื่นทั้งสอง

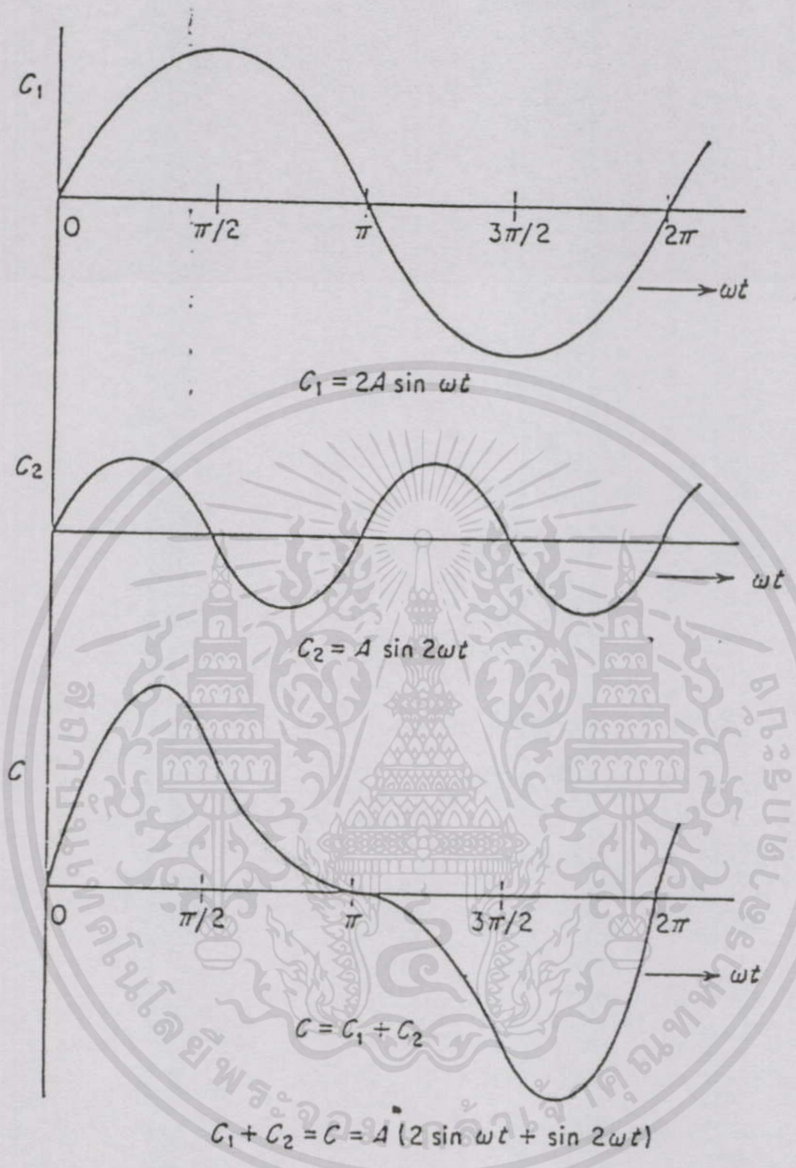
การเพิ่ม Component waves เพื่อจะทำให้เกิด Complex wave กำหนดรายละเอียดคุณสมบัติอื่นๆ ของคลื่น ตัวอย่างเช่น Peak value ของ Complex waves ที่ถูกประกอบด้วย Component ที่สัมพันธ์กันอย่างกลมกลืนกับ Amplitude ของ Individual Component เท่านั้นแต่ต้องอาศัย Phase ที่สัมพันธ์กันระหว่าง Component ซึ่งสามารถสังเกตได้ในรูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 โดยทั่วไป Peak-To-Peak value จะเป็น Maximum ก็ต่อเมื่อ Harmonics ที่สูงกว่าทั้งหมดอยู่ใน Phase ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญนั่นคือ θn = 0 นี่สันนิษฐานได้ว่าทั้งหมดนี่ถูกแสดงเป็น Cosine Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนหน้านี้ได้ระบุไว้ว่า Effective (rms) value ของความดันคลื่นเสียงเป็นปริมาณที่มีประโยชน์ที่สุด ในเมื่อกำลัง (Power) ที่ถูกส่งผ่านโดยคลื่นมีความสัมพันธ์กับ Mean – Square Pressure ในคลื่นนั้นจากสมการ 2.19

สมมติว่าใช้เครื่องวัดระดับเสียง (Sound – Level Meter) ที่สามารถกำหนด Effective

(rms) ความดันเสียงได้ ทำการวัดคลื่นเสียงทั้ง 2 ที่ปล่อยออกมาจาก 2 แหล่งให้ความดันของคลื่นเป็น



รูปที่ 2.9 การรวมสองความสัมพันธ์ Harmonically กับ Sine wave ก่อให้เกิดคลื่นที่ซับซ้อน

$$P_1(t) = P_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) \tag{2.24a}$$

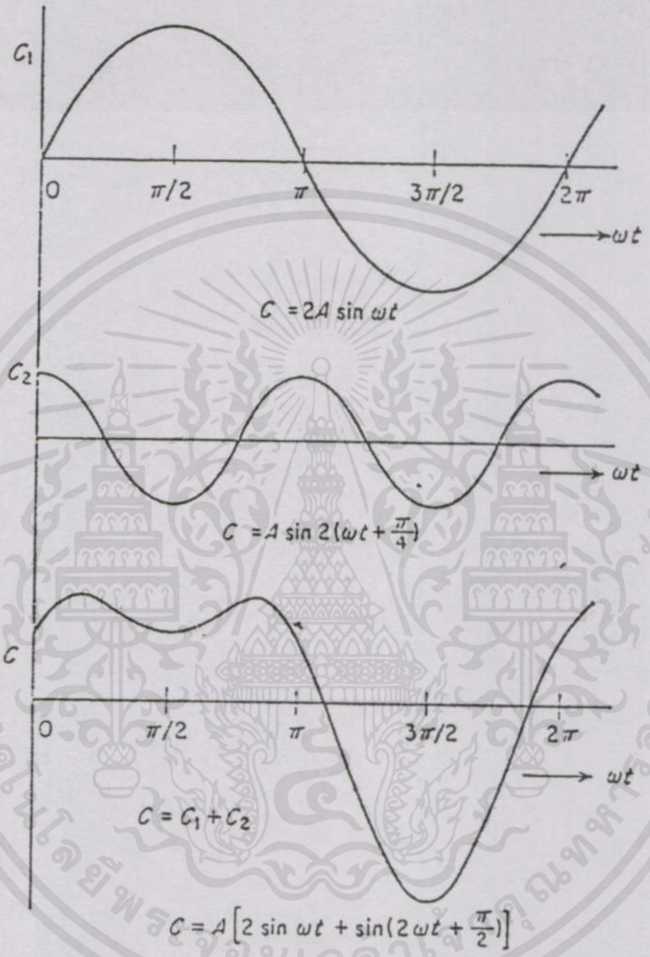
$$P_2(t) = P_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \tag{2.24b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง ω_1 กับ ω_2 เป็นความถี่มุม (Angular) และ θ_1 กับ θ_2 เป็น Phase ตามลำดับ

$$p(t) = P_1(t) + P_2(t) = P_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + P_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \tag{2.25}$$

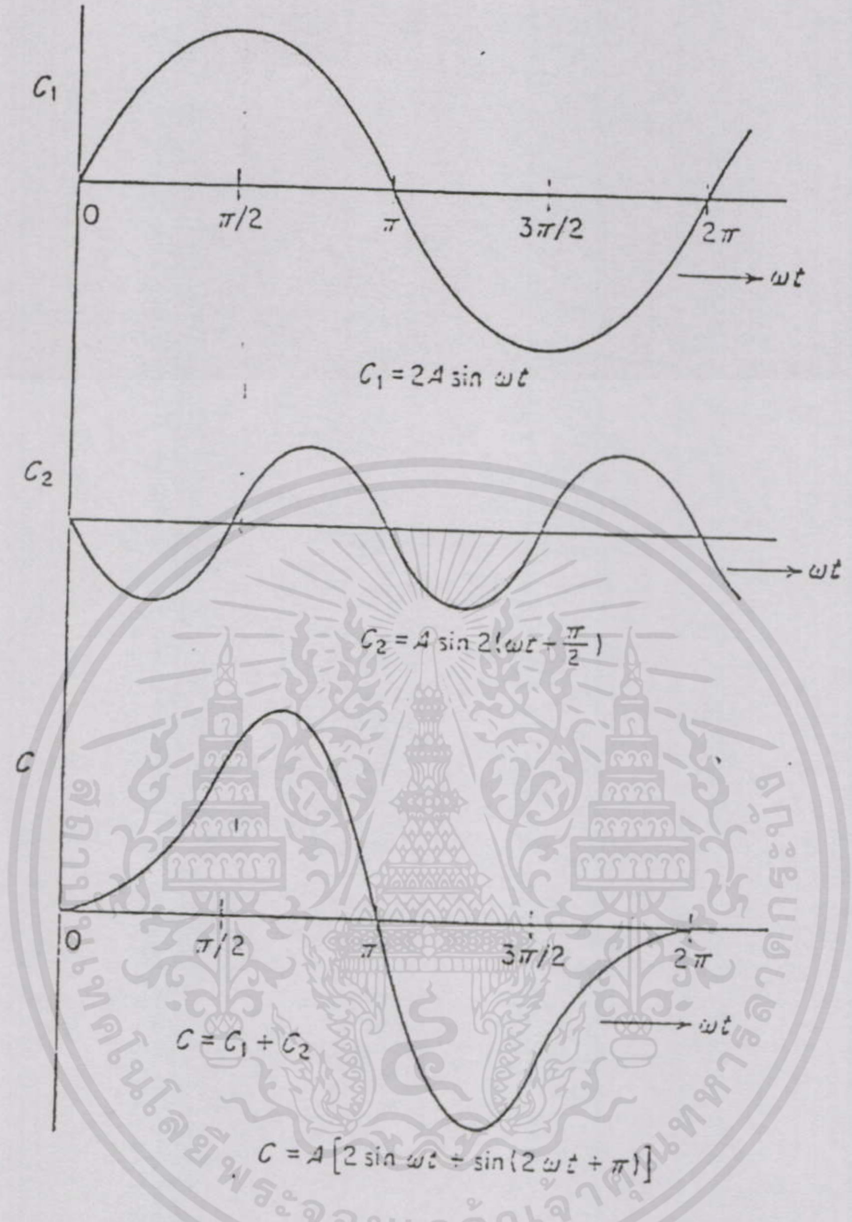
ในการตัดสินค่า Effective ของผลบวกนี้ วงจรใน Ideal sound – level meter จะเป็น Square p(t) ใช้เวลาเฉลี่ยแสดง Square Root ของผลลัพธ์ (ถูกเปลี่ยนเป็นเดซิเบล) บนเครื่องแสดงผล เมื่อ p(t) ถูกทำให้เป็น square จะได้



รูปที่ 2.10 การรวมสองความสัมพันธ์ Harmonically กับ Sine wave ที่มีผลต่างใน Phase ณ. จุดเวลาชั่วขณะเดียวก็ตาม ความดันที่ถูกวัดด้วยไมโครโฟนจะเป็น

$$[p(t)]^2 = \frac{P_1^2 + P_2^2}{2} + \frac{P_1^2 \cos 2(\omega_1 t + \theta_1)}{2} + \frac{P_2^2 \cos 2(\omega_2 t + \theta_2)}{2} + 2P_1P_2 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงเหมือนกับรูปที่ 2.9 และ 2.10 คลื่นสองคลื่นที่ต่าง Phase

รู้ว่าเวลาเฉลี่ยของแต่ละ Single Cosines เป็นศูนย์สามารถนำมาแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ได้ว่าเวลาเฉลี่ยของผลคูณของ 2 Cosines ก็เป็นศูนย์ด้วยในทุกๆ ยกเว้นเฉพาะที่มีความถี่เหมือนกันผลที่ได้สามารถเขียนความสัมพันธ์ของ Mean – Square Pressure (ด้วย $\omega_1 \neq \omega_1$) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p^2 = \left[\frac{P_1}{\sqrt{2}}\right]^2 \left[\frac{P_2}{\sqrt{2}}\right]^2 \tag{2.27}$$

จะเห็นว่า P1 / √ 2 = ความดันเสียงจริงของคลื่นแรก และ P2 / √2 = ความดันเสียงจริงของคลื่นที่

สองเพราะค่า rms ของ sine wave เป็นที่รู้กันว่าเป็น 1 / √ 2 เท่าของค่า Peak ดังนั้นสำหรับคลื่น 2 คลื่นที่มีความถี่แตกต่างกัน

$$P = \sqrt{p_{1+}^2 p_2^2} \tag{2.28}$$

ซึ่ง p, p_1 และ p_2 เป็น Effective (rms) Magnitudes

ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ปริมาณ 2 อัน p1 กับ p2 จะประกอบด้วย Sine wave ที่สามความถี่เดียวกัน ซึ่งต่างกันที่ Amplitude กับ Phase

$$p(t) = p_1(t) + p_2(t)$$

$$= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos(\theta_1 - \theta_2)} \quad \cos(\omega t + \theta_3)$$

$$= P_3\cos(\omega t + \theta_3) \tag{2.29}$$

ซึ่ง θ_3 เป็นมุม Phase ใหม่ ความดัน rms จะเป็น

$$P = \frac{P_3}{\sqrt{2}} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos 2(\theta_1 - \theta_2)} \tag{2.30}$$

ซึ่ง p, p_1 และ p_2 เป็นค่า rms การเปรียบเทียบสมการ 2.30 และ 2.28 แสดงให้เห็นความสำคัญของ Phase เมื่อทำการประกอบคลื่น sine ทั้งสองตัวที่มีความถี่เหมือนกัน ถ้า Phase Difference (θ_1 - θ_2) เป็นศูนย์ คลื่นทั้งสองใน Phase และความดันรวม ก็จะอยู่ที่ Maximum ถ้า (θ_1 - θ_2) = $^+$ 180° ความดันรวมก็จะอยู่ที่ Minimum

ในทางปฏิบัติความดังของเสียงจริงคลื่นทั้งหมดที่ซึ่งมีความถี่แตกต่างกัน ซึ่งคลื่นทั้งสองถูกเพิ่มเข้ามารวมด้วยกันตามสมการที่ 2.30 เพื่อจะให้ได้ความดังจริงอันใหม่ ดังนั้นความดังนี้กับความดังส่วนที่เหลืออยู่ของ Component จะถูกรวมยอดตามสมการที่ 2.28

หนึ่งในปริมาณต่อไปที่น่าสนใจ คือ ค่าเฉลี่ยที่ถูกปรับให้ถูกต้องของคลื่น หมายถึง Negative loop ของคลื่นถูกทำให้เป็น Positive และค่าเฉลี่ยนั้นที่อยู่ใต้ loops ทั้งหมดก็จะถูกกำหนด สำหรับ Sine wave ของค่า Peak เนื่องจาก Effective value ของ Sine wave ของจุดยอด ค่าเฉลี่ยที่ถูกปรับให้ถูกต้องของ Effective value

สำหรับ Complex Wave ที่มี Wave ที่มีหลายๆ ส่วนประกอบที่สัมพันธ์กันอย่างกลมกลืน

ค่าเฉลี่ยที่ถูกปรับให้ถูกต้องจะขึ้นอยู่กับ Relative Amplitudes และ Phases ของส่วนประกอบเฉพาะตัวนั้น

แสดงให้เห็นว่า Phases ไม่ใช่สิ่งสำคัญในการตัดสินใจ Effective (rms) value ของการรวมตัวของ Sine Wave ที่มีความถี่แตกต่างกัน ผลที่ได้มักจะได้ข้อมูล Amplitudes จากกราฟในรูปที่ 2.12 Spectra 4 ลำดับขั้นได้ถูกแสดงไว้

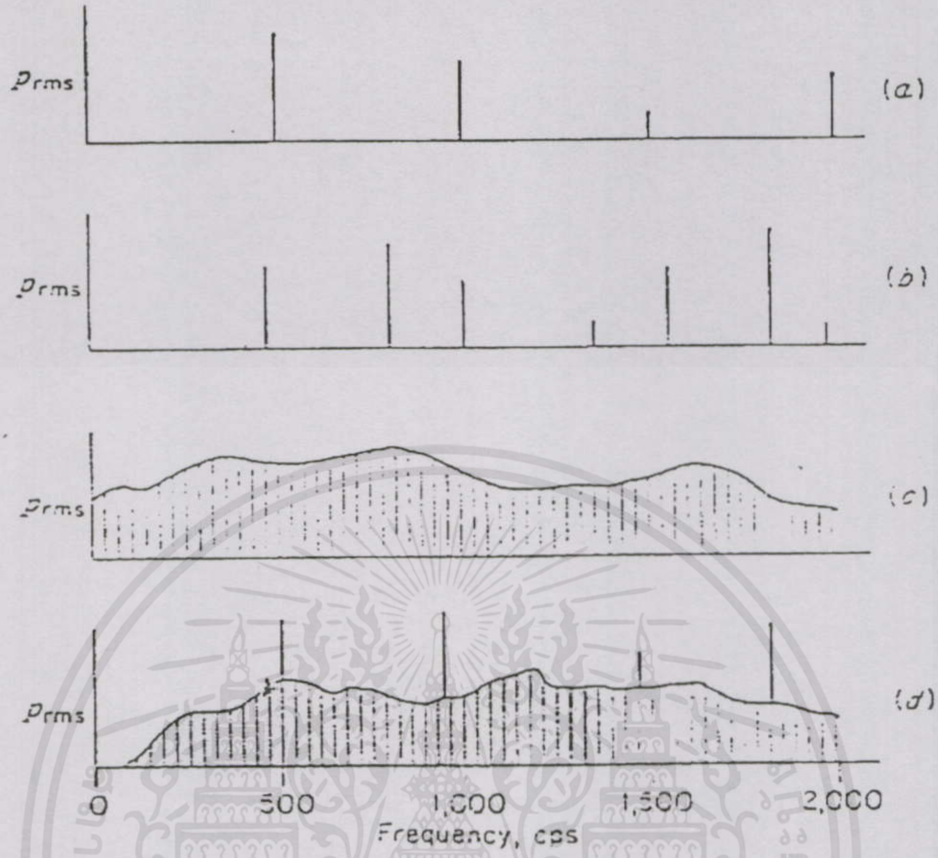
Line Spectrum sound กราฟบนสุด (a) แสดง Effective sound – pressure Spectrum สำหรับกลุ่มของส่วนประกอบทั้ง 4 สัมพันธ์กับความถี่ Fundamental และ Effective sound Pressure ของแต่ละส่วนประกอบจะถูกระบุโดยความสูงแนวตั้งของเส้นเหนือความถี่ กราฟเช่นนี้จะถูกเรียกว่า Line Spectrum

การรวมกันของจำนวนคลื่นที่มีความสัมพันธ์อย่างไม่กลมกลืนกัน จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ของคลื่นที่ไม่เป็นช่วงๆ หรือ อีกอย่างหนึ่งได้ว่าสามารถคาดการณ์ Amplitudes ของคลื่นได้เพียงแค่บนพื้นฐานทางสถิติเท่านั้น ที่ว่า Peak Amplitude ไม่สามารถที่จะเกิดขึ้นกว่ายอดรวมของ Amplitudes ของส่วนประกอบทั้งหมด แต่ในขณะที่จำนวนของส่วนประกอบถูกทำให้เพิ่มขึ้น ความเป็นไปได้ในการบรรลุ Maximum Peak Amplitude กลับน้อยมาก

ตัวอย่างของ Line Spectrum ที่ทำขึ้นจาก Pure Tone ที่มีความสัมพันธ์อย่างไม่กลมกลืนได้แสดงไว้ในกราฟ (b) ของรูปที่ 2.12

การต่อเนื่อง Spectrum sound (Noise) รูปแบบที่ธรรมดาของเสียงอันหนึ่งก็คือ สร้างขึ้นมาจากส่วนที่ต่อเนื่องกันของส่วนประกอบการรวมความต่อเนื่องของเสียงประเภทนี้ถูกสร้างขึ้นมา เช่น การปล่อยไอเสียออกจากเครื่องยนต์ หรือฐานของน้ำตกใน Niagara หรือโดยเสียงเดือดของอากาศและไอน้ำที่พ่นออกมาหรือโดยการเทหินจากรถบรรทุกลงไปเหนือหน้าผาที่มีกองหินอยู่ หรือระบบท่อลม และอื่นๆ ในการสร้าง Noise แบบนี้ขึ้นจาก Pure – Tones จำเป็นต้องมีจำนวนที่ไม่มีที่สิ้นสุดของคลื่น ซึ่งแต่ละคลื่นจะมี Infinitesimal Amplitude

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การแสดง line Spectrum harmonically b) แสดง line Spectrum Inharmonically c) การต่อเนื่องของ Spectrum d) การรวม line และความต่อเนื่องของ Spectrum (เกี่ยวกับการเกิด Spectrum)

ตัวอย่างของความต่อเนื่อง Spectrum ได้แสดงไว้ในกราฟ (c) ในรูปที่ 2.12 เมื่อประกอบเข้ากับ Line Spectrum ก็จะทำให้เกิด Complex Spectrum ในรูปแบบที่แสดงไว้ในกราฟ (d)

การวัด และระบุรายละเอียด Continuous Spectrum sound ได้อย่างไร วิธีที่ง่ายที่สุดคือไม่มีเครื่องวัดที่จะให้ผลอย่างเดียวกัน ด้วยเหตุนี้วิธีการนี้จึงไม่ค่อยดีนัก เพราะฉะนั้น จึงควรจะอธิบาย Continuous Spectrum Noise โดยการ Plot (เป็น Function ของความถี่) Effective Sound Pressure (หรือ Intensity) ที่มีอยู่ในการเพิ่มขึ้นของความถี่ตลอด Frequency scale ในทุกๆ ความกว้างที่มีการเพิ่มขึ้น 1 cps เพราะนั้น กราฟ (c) กับ (d) ในรูปที่ 2.12 จะระบุ Effective sound Pressure ในช่วงความถี่กว้าง 1 cps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความยุ่งยากอย่างหนึ่งในวิธีการอธิบาย Continuous Spectrum Noise คือไม่มีเครื่องมือใดๆ ที่จะสามารถใช้วัด Effective Sound Pressure ซึ่งมีความกว้าง Band แคบเท่ากับ 1 cps ดังนั้น ต้องวัดที่ความกว้าง Band ที่กว้างขึ้น และเปลี่ยนให้เป็นวิธีการมาตรฐานในการนำเสนอข้อมูล

ในการที่จะพัฒนาระบบหลักการของการเปลี่ยนแปลงจาก Bandwidth ที่กว้างขึ้น ให้แคบลง ให้จินตนาการว่า มีเครื่องจักรที่ผลิต Intensity 10^{-6} watt / m^2 ในช่วงกว้าง 1 cps ระหว่าง 999 และ 1000 cps (แสดงรูปที่ 2.13 a) ตอนนี้จินตนาการดูว่าเดินเครื่องจักรที่สองซึ่งจะผลิต Intensity เดียวกันระหว่าง 1000 กับ 1001 cps (แสดงรูปที่ 2.13 b) เมื่อ Noise ทั้ง 2 เครื่องจักร ถูกนำมารวมกันจะได้ Spectrum ของรูปที่ 2.13 c เนื่องจากเครื่องจักรทั้ง 2 จะผลิตสองครั้ง ซึ่งมี Power มากเท่ากับ 1 ครั้ง Intensity ก็ต้องเป็นสองเท่าเหมือนกับในรูปที่ 2.13 เครื่องจักรแบบนี้ 10 เครื่องจะผลิต Intensity เป็น 10 เท่า

กล่าวอีกนัย หนึ่งคือ ถ้าความต่อเนื่อง Spectrum เป็น "Flat" (มีความเข้มเหมือนกับในทุกๆ 1 cps Band) Total Intensity จะได้โดย

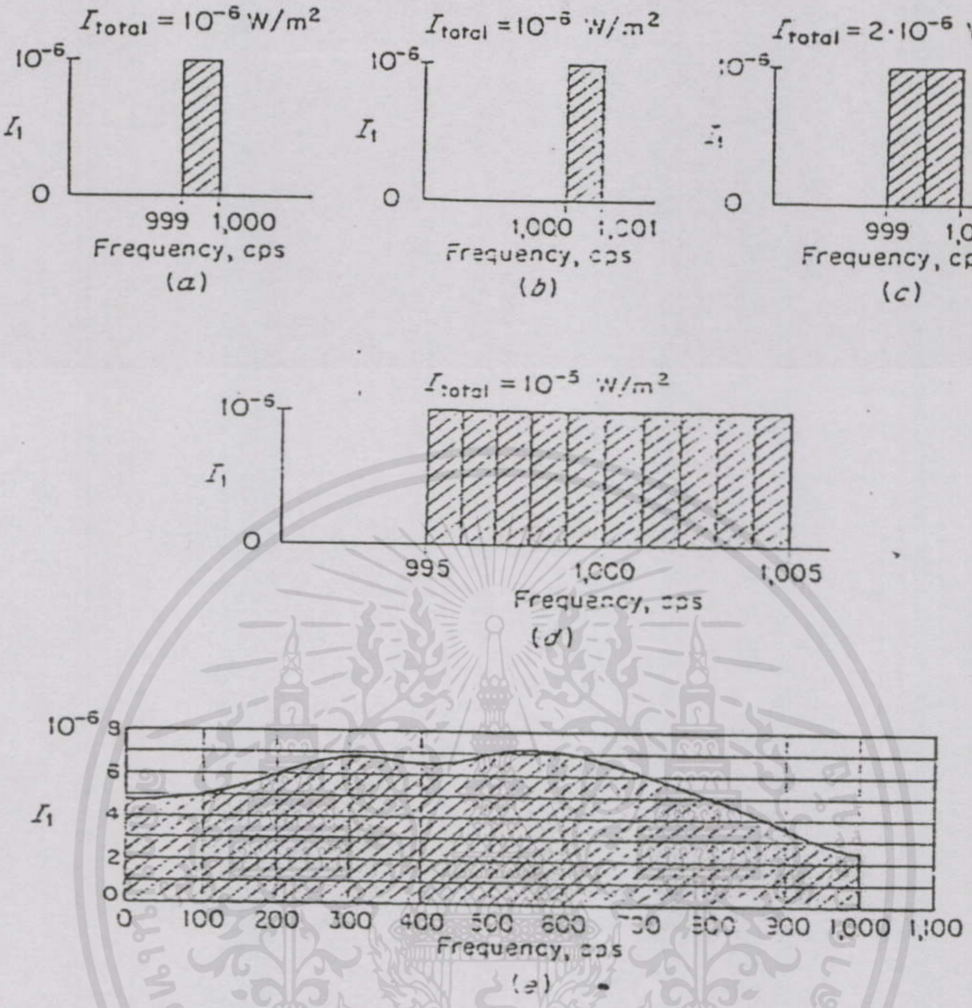
$$I_{total} = I_1 \Delta_f \tag{2.31}$$

หรือ Total Intensity เท่ากับผลคูณของ Intensity ใน 1 cps Band ที่ถูกคูณด้วยความกว้างของ Total Band ในรอบต่อวินาที เหตุผลนี้จะดีมากถ้า Spectrum เป็น Flat แต่สิ่งที่จะทำให้ Spectrum เป็นสิ่งที่แตกต่างกัน ความถี่ที่แตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 e ซึ่งจะแทนที่ Actual I_1 ของตัวเลขนั้น ค่าเฉลี่ย I_1 เข้าไปใน Band ที่สนใจในทางกลับกัน ถ้าวัด I_1 พร้อมกับ Analyzer ที่มี Bandwidth Δf Average Spectrum Intensity I_1 (1 cps Band) ที่อยู่ใน Band นั้นจะได้มาจากสมการ

$$I_1 = \frac{I_T}{\Delta_f} \tag{2.32}$$

เนื่องจากสามารถวัด Effective sound pressure ได้ง่าย แต่ไม่สามารถวัด Sound Intensity ซึ่งจะใช้จากสมการ 2.31 กับสมการที่ 2.32 ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อถูกแสดงในรูป Effective sound pressure การแทนที่สมการที่ 2.19 เข้าไปในสมการที่ 2.31 จะให้การตัดค่าของ $\rho_o c$ และหาค่า Square root นำไปสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการเพิ่มความเข้ม และความกว้างของเสียง

$$\left[\frac{p_{rms}^2}{\rho_0 c}\right]_{total} = \left[\frac{p_{rms}^2}{\rho_0 c}\right]_1 \Delta f \tag{2.33}$$

การตัดค่าของ $\rho_0 c$ และหาค่า Square root นำไปสู่

$$(p_{rms})_{total} = (p_{rms})_1 \sqrt{\Delta f} \tag{2.34}$$

ซึ่ง $(p_{rms})_1$ เป็น Effective sound pressure ในความกว้าง 1 cps

กล่าวคือการเพิ่ม Bandwidth ของ Flat Continuous Spectrum Noise ขึ้นสองเท่าจะทำให้เพิ่ม Intensity ขึ้นด้วย Factor เป็น 2 และ Effective Sound Pressure ด้วย Factor คือ 1.41

2.2 Transmission Through Ducts

2.2.1 Acoustic Impedance (Z)

อ้างถึง One - Dimensional Sound Waves ส่งผ่านท่อปกติจะไม่มีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัด (Cross – Sectional area) หรือ Side Branch และเมื่อเกิดการไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้น บางครั้งเสียงจะมีการสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิด ไปถึงการกำหนดขนาด (Magnitudes) ของ Transmitted และคลื่นเสียง จะต้องพิจารณาเงื่อนไขคลื่นเสียงที่ต้องการประการแรก คือ เงื่อนไขของความดัน และประการที่สอง เงื่อนของความเร็ว เมื่อความเร็ว คือ Partical velocity time ของ Cross Sectional area ซึ่งรวมถึงการพิจารณา Acoutic Impedance เกี่ยวกับการป้องกันเสียงสะท้อน

$$Z = \frac{P}{U} = \frac{p}{s.u} = \frac{z}{s} \tag{2.35}$$

เมื่อ s คือ Cross Sectional Area

เนื่องจากต้องขึ้นอยู่กับ Cross – Sectional Area ดังนั้น Total Acoustic Power ความสำคัญมากกว่า Acoustic Intensity ตัว Power Plan wave เป็น

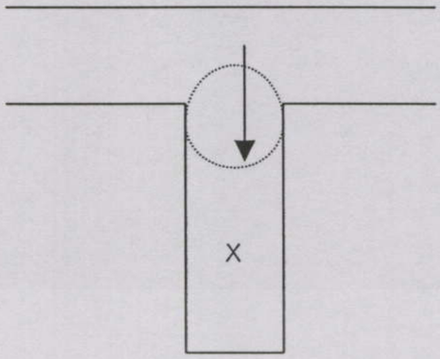
$$W = IxS = \left[\frac{p^2}{\rho_0 c}\right] \quad S = \left[\frac{p^2}{Z_0}\right] \tag{2.36}$$

และยังสะดวกต่อการใช้ Acoustic Impedance

2.2.2 The Side-Branch Resonator

Side-Branch Resonator เป็นเรื่องที่น่าสนใจเพราะถูกใช้ในเรื่อง Acoustic นำไปประยุกต์ใช้ ในสิ่งที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นมากล่าวถึงเรื่อง Acoustic Impedance และยังจะแนะนำแนวคิดในเรื่อง Acoustic Stiffness กับ Mass รูปแบบง่ายๆ จะประกอบด้วย Volume ที่เชื่อมเข้ากับ Main Ducts Fluid ด้วยท่อกลมเล็กๆ ที่มีความยาว 1 และมีพื้นที่ S = πa^2 สันนิษฐานได้ว่าขนาด ทุกๆ ขนาดจะน้อยกว่าความยาวคลื่นเสียงอย่างมาก ซึ่งจะจำกัดการใช้ เมื่อเป็นความถี่ต่ำ Resonator ปัจจุบันจะเหมือนกับ Mechanical Mass Spring Damper System ที่มี Plug อยู่ใน Neck โดยทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Representation of a Side-branch Resonator

Mass และตัว Volume ของ Fluid ที่มาด้วย ก็จะทำหน้าที่เป็นเหมือน Spring และหน้าที่ของ Frictional Force บน Plug ของ Fluid ที่อยู่ใน Neck คือสิ่งที่ไม่ต้องเอาคำนึงถึงก็ได้ เว้นแต่ช่องจะเล็กมากหรือถูกจำกัดโดยเจตนาในทางใดทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อ Plug สั่นสะเทือนก็สามารถส่งกระจายเสียงเข้าไปใน Main Ducts และพลังงานจะสูญหายไปยัง Resonator ถ้าข้อ จำกัดที่มีอยู่ใน Neck หายไป จำนวนการกระจายเสียงนี้ ก็ต้องนำมาคำนวณด้วย ในการตั้งสมการ Motion ,Plug ของ Fluid ถูกสมมติแทนที่ด้วย x ตาม External Force และจะได้ 4 Term ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 ความแข็งของมวลภายในปริมาตรถังปิด(Stiffness of enclosed volume)

การแกว่งที่เร็วเพียงพอสำหรับการขยาย และทำให้ความร้อนคงที่ จะได้สมการ

$$p = \frac{\gamma P_0 S}{V} \quad x = \rho_0 c^2 \left(\frac{S}{V}\right) x \tag{2.37}$$

แรงในแกน $+x = -pS = -\rho_0 c^2 (S^2 / V) x$ (2.38)

2.2.2.2 มวลของ Plug Fluid

Plug ของ Moving Fluid จะใหญ่กว่า Actual Volume , S1 และมักจะถูกเขียนเป็น Effective volume $S1' = S(1 + 2\Delta)$. S Δ1 จะเหมือนกับ Volume ของอากาศซึ่งจะเคลื่อนที่ไปเหมือนกับลูกสูบกลมของพื้นที่ S ที่กำลังสั่นสะเทือนอยู่ใน Infinite Baffle และ จะปรากฏขึ้น 2 ดังนั้นมวลทั้งหมดของ fluid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$= \rho_0 S1'$$

$$= \rho S(1+2\Delta 1) \tag{2.39}$$

2.2.2.3 ความต้านทานการแผ่รังสี (Radiation Resistance force)

การแผ่รังสีจาก Plug ของอากาศจะเหมือนกับการแผ่รังสีจากลูกสูบกลมที่อยู่ใน Rigid baffle เพื่อความสะดวกเขียนในรูปแบบของ R คงที่

$$F_{RAD} = -RS^2 \frac{dx}{dt} \tag{2.40}$$

2.2.2.4 แรงเคลื่อนที่ (Driving force)

ถ้า Resonator ถูกขับโดยคลื่นเสียง Harmonic ฉะนั้น

$$\begin{aligned} F &= Sp \\ &= SA\, e^{j\omega t} \end{aligned} \tag{2.41}$$

สมการของการเคลื่อนที่จะได้

$$\rho_0 1' S \frac{d^2 x}{dt^2} + RS^2 \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_0 c^2}{V} S^2 x = SA\, e^{j\omega t} \tag{2.42}$$

อัตราความเร็วเชิงอนุภาค

$$U = \frac{dx}{dt}$$

และอัตราความเร็วเชิงปริมาตร

$$U = S\frac{dx}{dt}$$

ดังนั้น

$$\frac{\rho_0 1'}{S}\frac{dU}{dt} + RU + \frac{\rho_o c^2}{V}\int U dt = Ae^{j\omega t}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$M\frac{dU}{dt} + RU + K\int Udt = Ae^{j\omega t} \tag{2.43}$$

เมื่อ M = $\rho_0 1'/S$ คือ มวลของ Acoustic

และ K = $\rho_0 1'/V$ คือความแข็งแรงของ Acoustic (2.44)

การแก้ปัญหา Harmonic ของสมการ 2.43 คือ

$$U = \frac{Ae^{j\omega t}}{R + j(\omega M - K/\omega)} = \frac{p}{Z} \tag{2.45}$$

Resonator จะถูกกำหนดเป็นการเกิดขึ้นเมื่อ U ไปถึงจุดสูงสุด ซึ่งหมายถึง เมื่อ Imaginary หรือ Reactive Part ของ Acoustic เป็น 0

$$\omega_0^2 = \frac{K}{M} = \frac{\rho_o c^2/V}{\rho_o 1'/S} = \frac{c^2 S}{1'V}$$

$$f_o = \frac{c}{2\pi}\left[\frac{S}{V1'}\right]^{1/2} = \frac{c}{2\pi}\left[\frac{\pi a^2}{V(1' + 2\Delta 1)}\right]^{1/2} \tag{2.46}$$

ณ. ความถี่ Resonant การตอบรับของ Resonator จะถูกควบคุมไว้ทั้งหมดด้วยความชื้นในระบบในกรณีนี้มาจาก Radiation term และถ้าความชื้นมีเล็กน้อยความดัน Acoustic จำนวนมากจะถูกผลิตขึ้นภายใน Resonator ณ.ความถี่อื่นจะน้อยและความดัน Acoustic ภายใน Resonator ก็น้อย Resonator อาจกล่าวได้ว่าเป็น Tuned Filter ซึ่งความถี่จะถูกกำหนดโดยขนาด และความกว้างแถบคลื่นถูกกำหนดโดยความชื้น

สมการที่ 2.44 จะเป็นสมการที่สำคัญเพราะว่าจะให้รูปแบบทั่วๆ ไปสำหรับ Acoustic Mass กับ Acoustic Stiffness ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะถูกใช้ภายหลัง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบ Lumped Acoustic

จาก Acoustic Impedance ของ Resonator ซึ่งอาจเขียนใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำการดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = R + j(\omega M - K/\omega)$$

$$= R + j\frac{\omega\rho_0}{S}(1 + 2\Delta 1) - \frac{\rho_0 c^2}{\omega V} \tag{2.47}$$

เมื่อ Acoustic Resistance R ของ Piston

$$R = \frac{\rho_0 c}{\pi a^2} R_1(2ka)$$

ถ้า $2ka < 0.5$

$$R = \frac{\rho_0 c k^2}{2\pi}$$

และ Acoustic Resistance คือ

$$X = \frac{\rho_0 c}{\pi a^2} X_1(2ka)$$

Acoustic Impedance ของ Acoustic Mass กับ Acoustic Stiffness ให้เป็น $j\omega M$ กับ $-jk/\omega$ ตามลำดับ จะพิจารณาได้ว่า Acoustic Impedance ของลูกสูบกลมรัศมี $a << \lambda$ สั่นสะเทือนใน Rigid Infinite Baffle ควรจะประกอบด้วย Radiation Term R และ Term Mass จะตอบสนองไปยังปลายด้านหนึ่งที่ถูกต้อง

$$Z =_{piston} = R + \frac{j\omega\rho_0}{S}\Delta 1 \tag{2.48}$$

แต่ Radiation Impedance กับ Acoustic Impedance จะแตกต่างกันโดยนิยมใช้ Factor S^2 และการเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นว่า

$$Z =_{piston} = \frac{\rho_0 c k^2}{2\pi} + \frac{j\omega\rho_0}{S}\left(\frac{8a}{3\pi}\right) \tag{2.49}$$

ปลายด้านที่ถูกต้อง $\Delta 1 = 8a/3\pi$ เกี่ยวกับคลื่นเสียงใน Open – Ended pipe

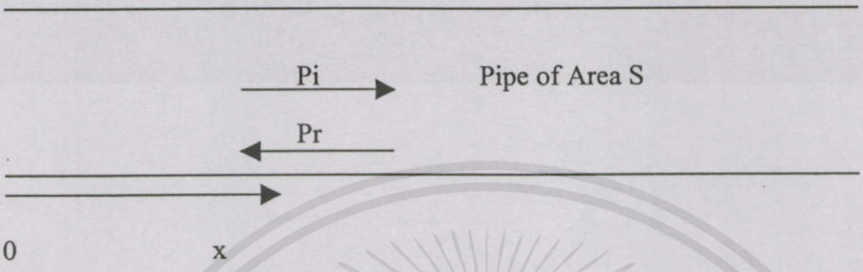
2.2.3 การสะท้อนของคลื่นในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า Single wave เดินทางอยู่ในทิศทาง Positive x ไปตามท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ S ซึ่งเป็น Acoustic Impedance ที่ได้จากคลื่นนั้น ก็จะเป็น $\rho_o c/S$ สมมติว่ามีความไม่ต่อเนื่องในท่อ ปริมาตรของ Individual wave 2 คลื่น จะได้

$$P_i = A\ e^{j(\omega t - kx)}; U_i = \frac{P_i}{\rho_0 c / S} \tag{2.50}$$

$$P_r = B\ e^{j(\omega t - kx)}; U_r = \frac{P_r}{-\rho_0 c / S} \tag{2.51}$$



รูปที่ 2.15 การส่ง และการสะท้อนของคลื่นในท่อ

คลื่นทั้งคู่จะแสดง Total Acoustic Impedance ณ.จุด x ใดๆ ซึ่งจะได้

$$Z_x = \frac{P_i + P_r}{U_i + U_r} = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{P_i + P_r}{P_i + P_r}\right)$$

คลื่นทั้งคู่จะแสดง Total Acoustic Impedance ณ.จุด x ใดๆ ซึ่งจะได้

$$Z_x = \frac{P_i + P_r}{U_i + U_r} = \frac{\rho_0 c}{S}\ \frac{P_i + P_r}{P_i + P_r}$$

$$= \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{A\ e^{-jjkx} + B\ e^{jkx}}{A\ e^{-jkx} - B\ e^{jkx}}\right) \tag{2.52}$$

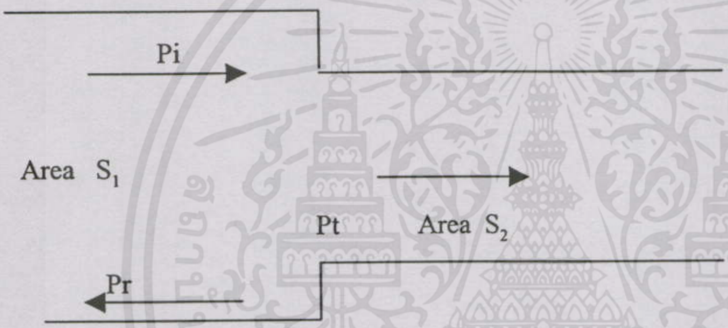
เนื่องจากความต้องการต่อเนื่องของความดัน และการต่อเนื่องของอัตราความเร็วเชิงปริมาตรจึงต้องมีความต่อเนื่องของ Acoustic Impedance ณ.จุดใดๆ ภายในท่อฉะนั้นถ้าบางจุดรู้ว่า Acoustic Impedance มีค่าเฉพาะดังนั้น Z_x ที่ได้มาจากสมการที่ 2.62 ก็ต้องได้ค่านั้น เพื่อความสะดวกสมมติว่า Acoustic Impedance เป็น Z_0 ณ. $X = 0$
ดังนั้น

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{A+B}{A-B}\right) \tag{2.53}$$

ซึ่งอาจนำมาจัดใหม่ เพื่อที่จะให้เป็น

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_0 - \rho_0 c / S}{Z_0 - \rho_0 c / S} \tag{2.54}$$

สมการ 2.54 ถูกนำมาใช้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในพื้นที่หน้าตัดของท่อ แสดงไว้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดในท่อ

โดยมีเงื่อนไขมีเพียง Single wave Pt เท่านั้นที่อยู่ในท่อของพื้นที่ S2 นั่นคือจะไม่มีการสะท้อนไปตามท่อ ซึ่ง Acoustic Impedance ณ.จุดเริ่มต้น ก็จะเป็น $\rho_o c / S_2$
ดังนั้น

$$\frac{B}{A} = \frac{\rho_0 c / S_2 - \rho_0 c / S}{\rho_0 c / S_2 + \rho_0 c / S} \tag{2.55}$$

$$= \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่คำนวณว่า พลังงานที่ปรากฏขึ้นถูกสะท้อนไปมากเท่าไร และถูกส่งผ่านไปเท่าไร จะเขียนการสะท้อนกับสัมประสิทธิ์การส่งผ่านได้ดังต่อไปนี้

$$\alpha_r = \frac{W_r}{W_i} = \frac{|B|^2 / 2\rho_0 c / S_1}{|A|^2 / 2\upsilon_0 c / S_1} = \left|\frac{B}{A}\right|^2 \tag{2.56}$$

$$= \frac{(S_1 - S_2)}{(S_1 + S_2)^2}$$

$$\alpha_t = 1 - \alpha_r = \frac{4S_1\ S_2}{(S_1 + S_2)^2} \tag{2.57}$$

ดังนั้น αr กับ αt จะขึ้นอยู่กับ Ratio S1 : S2 หรือ S2 : S1 เท่านั้นและไม่ขึ้นกับการลดหรือเพิ่มพื้นที่หน้าตัด นอกจากนี้ Ratio ก็ต้องใหญ่พอที่จะสร้าง Substantial Reduction ในพลังงานที่ถูกส่งผ่าน เช่น ถ้า S2 : S1 = 10 (หรือ 0.1) , αr = 0.33

2.2.4 ผลที่ได้ของ Side-Branch Resonator

Main pipe ที่มีพื้นที่ S จะมี Side-Branch Resonator ของ Acoustic Impedance Z_b ที่ตำแหน่ง X = 0 จะไม่มีคลื่นถูกสะท้อนไปข้างหลังของ Side Branch และ Acoustic Impedance ของ Main pipe ที่ X = 0 จะเป็น ρ_0c / S ซึ่ง Side Branch เป็นต้นเหตุให้เกิดการสะท้อนของคลื่นที่ปรากฏขึ้น และที่ X = 0 อาจเขียนสมการความดันกับอัตราความเร็วได้ 4 ตัวแปรคือ

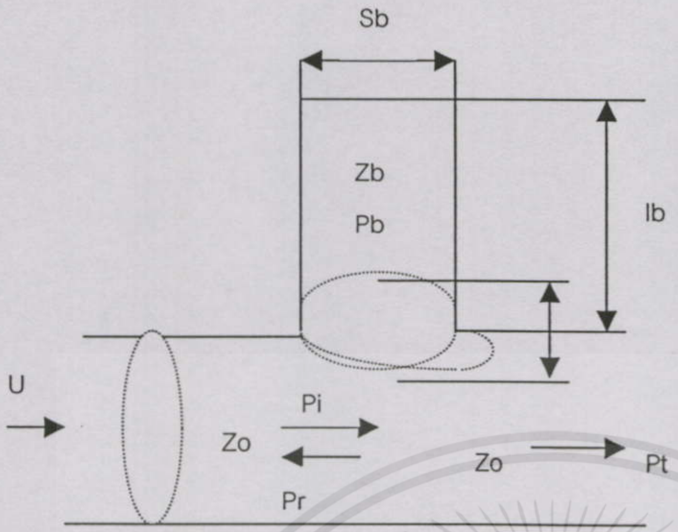
$$P_i = A_1\ e^{j\omega t} \qquad U_i = \frac{P_i}{\rho_0 c / S} \tag{2.58}$$

$$P_r = B_1\ e^{j\omega t} \qquad U_r = \frac{P_r}{\rho_0 c / S} \tag{2.59}$$

$$P_t = A_2\ e^{j\omega t} \qquad U_t = \frac{P_t}{\rho_0 c / S} \tag{2.60}$$

$$P_b = A_3\ e^{j\omega t} \qquad U_b = \frac{P_b}{\rho_0 c / S} \tag{2.61}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 Schematic diagram of Side-Branch Resonator

ต้องการพิจารณาเงื่อนไขความดันและอัตราความเร็วปริมาตรแยกจากกัน

(1) ความต่อเนื่องของความดัน

$$P_i + P_r = P_t = P_b \tag{2.62}$$

(2) ความต่อเนื่องของอัตราความเร็ว

$$U_i + U_r = U_t = P_b \tag{2.63}$$

รวมสมการ 2.62 กับ 2.63 เข้าด้วยกันจะได้

$$\frac{U_i + U_r}{P_i + P_r} = \frac{U_t + U_b}{P_t + P_b}$$

หรือ

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_t} + \frac{1}{Z_b} \tag{2.64}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$Z = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1}\right) \text{ และ } Zt = \frac{\rho_o c}{S}$$

สมการ 2.65 จะถูกเขียนใหม่ จะได้

$$\frac{B_1}{A_1} = -\frac{\rho_0 c / 2S}{\rho_0 c / 2S + Z_b} \tag{2.65}$$

ดังนั้นจากสมการ 2.66 จะได้

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{A_3}{A_1} = \frac{Z_b}{\rho_0 c / 2S + Z_b} \tag{2.66}$$

โดยทั่วไป Acoustic Impedance ของ Side-Branch Resonator จะซับซ้อน อาจเขียนได้เป็น

$$Z_b = R_b + j\,X_b \tag{2.67}$$

และสำหรับที่ให้ไว้ในสมการที่ 2.57 จะรวมเทอมของ Radiation เข้าด้วยกัน เมื่อใช้ Side-Branch พลังงานที่ส่งกระจายรังสีออกมาจะถูกย้อนกลับไปยัง Main pipe และด้วยเหตุนี้ Impedance ของ Resonator ก็จะเป็น

$$Z_b = \frac{j\rho_0 \omega}{S_b} - \frac{j\rho_0 c}{S_b \cot(kl)} \qquad \text{เมื่อ } l_b' = l_b + \Delta lb \tag{2.68}$$

ณ.ความถี่ Resonance ของ Resonator นั่นคือเมื่อ $f = f_o = (c/2\pi)(S_b / lb' V)^{1/2}$

โดย

P_i คือ ความดันเสียงที่เข้าด้านหน้า Resonator

P_r คือ ความดันเสียงสะท้อนกลับไปด้านหน้า Resonator

P_t คือ ความดันเสียงที่ผ่านไปด้านหลัง Resonator

P_b คือ ความดันเสียงที่เข้าตัว Resonator

U_0 คือ ความเร็วเสียง Resonator

เมื่อพิจารณาผลกระทบของ Side-Branch resonator ที่ความหน่วง Z = R + Ix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_i = Z_0 U_i = \frac{\rho_0 c}{S_0} \quad U_i = A_1^{ejwt} \tag{2.69}$$

$$P_r = Z_0 U_r = \frac{\rho c}{S_0} \quad U_r = B_1^{ejwt} \tag{2.70}$$

$$P_t = Z_0 U_t = \frac{\rho c}{S_0} \quad U_t = A_2^{ejwt} \tag{2.71}$$

$$P_b = Z_b U_b = \frac{\rho c}{S_b} \quad U_b = A_b^{ejwt} \tag{2.72}$$

โดย

Z_o คือ Characteritic Impedance ของท่อ เทอมของความดัน และความเร็ว

Z_b คือ Characteritic Impedance ของ Resonator ที่ทางเข้า

ดังนั้นสมการที่ 2 จะได้

$$U_i S_0 - U_r S_0 = U_b S_b + U_t S_0 \tag{2.73}$$

$$\frac{1}{Z_o}(P_i - P_r) = \frac{1}{Z_b}P_b + \frac{1}{Z_0}Pt = \left(\frac{P_i}{Z_0} - \frac{P_r}{Z_0}\right) = \left[\frac{P_b}{Z_b} + \frac{P_t}{Z_0}\right] \tag{2.73a}$$

ซึ่ง $P_b = P_t$ จะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

สมการ (2.72) X 1 / Z_o + (2.83a) จะได้

$$\frac{1}{Z_0}P_i + \frac{1}{Z_0}P_r = \frac{1}{Z_0}P_t \tag{2.74}$$

$$\frac{1}{Z}P_i + \frac{1}{Z_0}P_r = \left[\frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_0}\right]P_t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้ต้องได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{Z}(P_i - P_r) = \left(\frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_0}\right)P_t$$

$$\frac{2}{Z_0}P_i = \left[\frac{1}{Z_b} + \frac{2}{Z_0}\right]P_t$$

$$\frac{P_i}{P_t} = \frac{Z_0}{2}\left\{\frac{1}{Z_b} + \frac{2}{Z_0}\right\} = 1 + \frac{Z_0}{2S_b} = 1 + \left\{\frac{\dfrac{\rho c}{S_0}}{\dfrac{\rho c}{2S_b}}\right\} \tag{2.75}$$

$$= 1 + \frac{Z_0}{2(R_b + iX_b)} = 1 + \frac{Z_0(R_b - iX_b)}{2(R_b^2 + X_b^2)}$$

$$\left\{1 + \frac{Z_0 R_b}{2(R_b^2 + iX_b^2}\right\} + i\left\{\frac{-Z_0 X_b}{2(R_b^2 + X_b^2}\right\}$$

$$TL = 10\log\left|\frac{P_i}{P_t}\right|^2 = 1 + \left\{\frac{Z_0 R_b}{2(R_b^2 + iX_b^2}\right\} + i\left\{\frac{-Z_0 X_b}{2(R_b^2 + X_b^2}\right\} \tag{2.76}$$

$$= 10\log\frac{4(R_b^2 + X_b^2) + 4(R_b^2 + X_b^2)Z_0 R_b + Z_0^2 R_b^2 + Z_0^2 X_b^2}{4(R_b^2 + X_b^2)}$$

$$= 10\log\frac{4(R_b^2 + X_b^2) + 4Z_0 R_b + Z_0^2}{4(R_b^2 + X_b^2)}$$

$$= 10\log\frac{(R_b^2 + X_b^2) + Z_0 R_b + (Z_0^2/4)}{R_b^2 + X_b^2}$$

$$= 10\log\left(\frac{R_b + Z_0^2}{R_b^2 + X_b^2}\right)^2 + X_b^2$$

$$= 10\log\left(\frac{R_b + Z_0/2)^2 + X_b^2}{R_b^2 + X_b^2}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TL = 10\log\left(1 + \frac{Z_0^2}{4X_b^2}\right) \tag{2.77}$$

แทนค่า X_b และ Z_o ลงในสมการ 2.77 จะอยู่ในรูป

$$\frac{X_b}{Z_0} = \cot^2 kl = \frac{1}{\tan^2 kl} \tag{2.78}$$

และ Resonance Frequency คือ

$$fr = \frac{c}{4lb'} \tag{2.79}$$

และสำหรับ with flow

$$TL = 10\log\left[\frac{\left\{M(1+M)^2 + \left(\frac{X_b}{Z_0}\right)^2\right\}^2 - \frac{(1-M)^4}{4}\left(\frac{X_b}{Z_0}\right)^2}{\left\{4M^2 + \left[\frac{X_b}{Z_0}\right]^2\right\}^2}\right] \tag{2.80}$$

โดยที่ M คือ Mach Number

2.3 Coefficient β

Resonance ในท่อ และแนวคิดของ Acoustic Impedance สามารถนำมาใช้ในการหาพฤติกรรมของท่อที่มีความยาวแน่นอน พิจารณาท่อที่มีรูปแบบพื้นที่หน้าตัดแบบเดียว $S = \pi a^2$ และมีความยาว L สมมติว่า Acoustic Impedance เป็น Z_o ที่ $X = 0$ และ Z_L ที่ $X = L$ ดังนั้นจาก สมการ 2.62

$$Z_L = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{A\ e^{jkl} + B\ e^{ijkL}}{A\ e^{-jkL} - B\ e}\right) \tag{2.81}$$

และ

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S}\left[\frac{A+B}{A-B}\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมสองสมการเข้าด้วยกันเพื่อกำจัด A และ B จะได้

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{Z_L + j(\rho_0 c/S)\tan kL}{(\rho_0 c/S) + jZ_L \tan kL} \tag{2.82}$$

ถ้าพิจารณา Impedance ZL ซึ่งท่อมีความยาว L และ Wavelength Constant k Resonant frequency ของท่อที่มีปลายปิดก่อน แล้วจากนั้นก็พิจารณาที่มีปลายเปิด ก็จะได้เงื่อนไขสำหรับ Resonance ในท่อ

2.3.1 ปลายปิด

$$ZL = \infty$$

และ

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{1}{\alpha + jB}\right)$$

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S} \quad \frac{\alpha + j(\tan kl + \beta)}{(1-\beta \tan kl) + j\alpha + \tan} \tag{2.83}$$

พิจารณา X = 0 จะได้

$$\beta \tan 2kl + (\beta 2 + \alpha 2 - 1)\tan kl - \beta = 0) \tag{2.84}$$

ในกรณี low frequencies α และ β จะค่าน้อยๆ ดังนั้นจากสมการที่ 2.94 สามารถเขียนใหม่ได้

$$\tan \ kl = -\beta$$

2.3.2 ปลายเปิด

จากสมการ 2.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S} \quad \frac{1}{\alpha + j\beta}$$

และ

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S}\left(\frac{\alpha + j(\tan kl + \beta)}{(1-\beta\tan kl) + j\alpha\tan}\right) \quad (2.85)$$

เมื่อ ท่อนำเสียงมีความยาว $X = 1$ จะได้

$$\beta \approx 8ka/3\pi \quad (2.86)$$

และเงื่อนไข tan kl = - 8ka / 3π

$$\tan\ (n\pi - kl) = \frac{8ka}{3\pi} \approx \tan\left[\frac{8ka}{3\pi}\right]$$

เมื่อ n คือ Integer ได้จาก

$$n\pi - kl = \frac{8ka}{3\pi} \quad (2.87)$$

และกำหนด Resonance frequency ให้ n = 1 จะได้

$$f = \frac{c}{2(1 + 8a/3\pi)} \quad (2.88)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

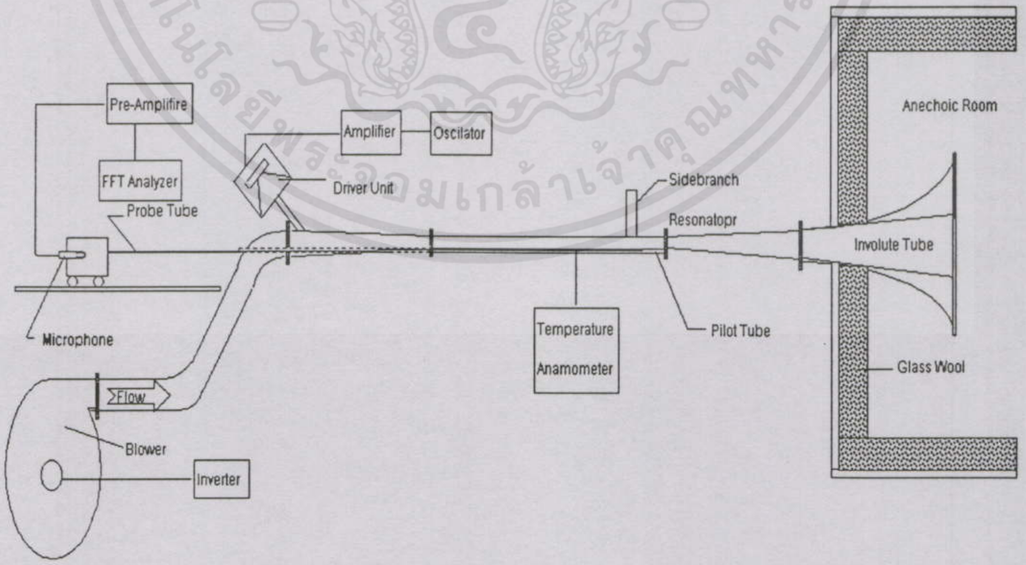
3.1 การสร้างอุปกรณ์ประกอบในการทดลอง

อ้างอิงจากทฤษฎี Standing – Wave (หรือ Impedance) ในท่อ ซึ่งประกอบด้วยท่อกลม และท่อสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย Loudspeaker หรือ Driver Unit ที่ติดตั้งตำแหน่งส่วนปลายของระบบท่อ และ Probe – tube ที่เปรียบเสมือน microphone เล็กๆ สอดผ่านเข้าไปตลอดความยาวของระบบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และส่วนปลายทั้ง 2 ด้านของระบบท่อจะบุอัดด้วย acoustical material คือ Glass wool เพื่อใช้คุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นเสียง (Absorption) และป้องกันเสียงสะท้อนกลับ (Refection) ในท่อกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 0.052 m และ ท่อสี่เหลี่ยมขนาด W x L = 0.046 m x 0.046 m ซึ่งมีความยาว 8 m

3.2 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง

3.2.1 การทดลองแบบ Without flow

3.2.2 การทดลองแบบ With flow ตามทฤษฎี Standing – Wave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบ Without flow และแบบ With flow

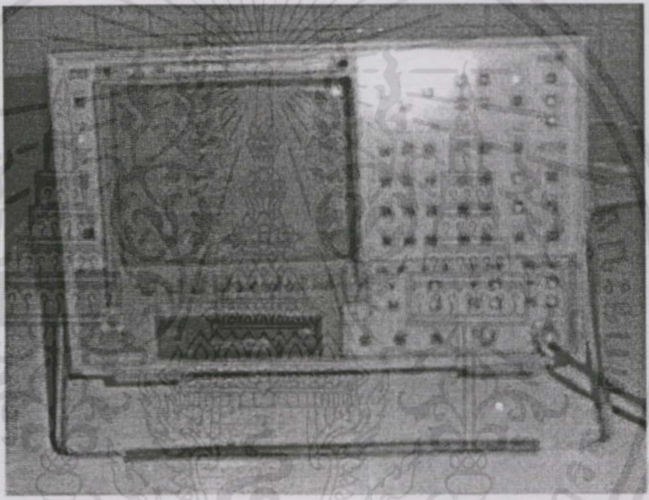
3.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดลอง

3.3.1 ท่อนำเสียงแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.052 เมตร

3.3.2 ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0.046 เมตร x 0.046 เมตร

3.3.3 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer)

เครื่องมือวัดแปลงสัญญาณความดังของเสียงให้มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่ง FFT สามารถวัดค่าความถี่ที่ต้องการ ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของคลื่นเสียงที่เกิด Peak ตำแหน่งนั้นๆ และอ่านค่า Output จาก FFT



รูปที่ 3.2 Digital real-time frequency analyzer (From Bruel & Kjaer Instruments.)

3.3.4 Amplifier

ตัวขยายสัญญาณความถี่คลื่นเสียง

3.3.5 Driver Unit

เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งส่งคลื่นเสียงผ่านเข้าในระบบท่อนำเสียง

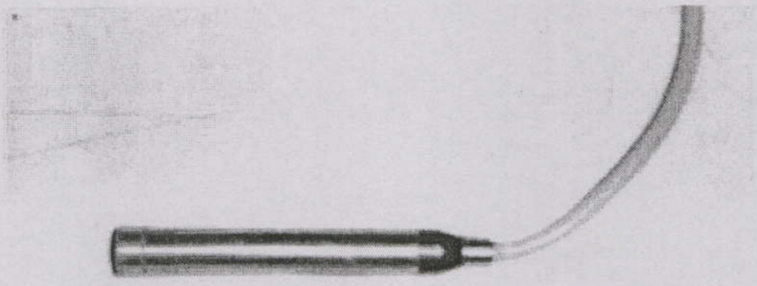
3.3.6 Probe Tube

ท่อนำเสียงจะถูกสอดอยู่ในท่อนำเสียงและวัดสัญญาเสียงโดยผ่านมายัง Microphone

3.3.7 Microphone

ใช้ ในการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นสามารถวัดความถี่สูงได้ดี ซึ่งจะมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



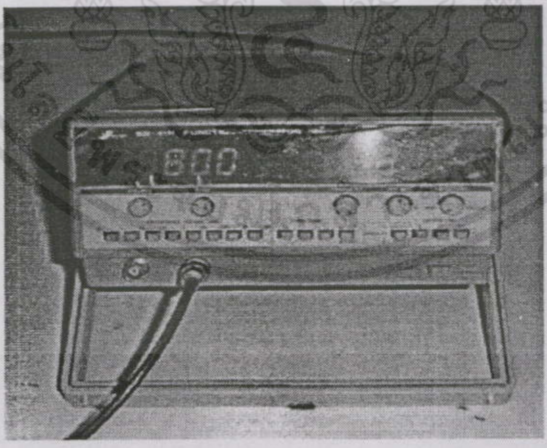
รูปที่ 3.3 Microphone (From Bruel & Kjaer Instruments.)

3.3.8 Pre-Amplifier

ตัวขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจาก microphone

3.3.9 Oscillator

แหล่งกำเนิดความถี่ของคลื่นเสียงสูง และเสียงต่ำ โดยการปรับค่าความถี่



รูปที่ 3.4 แสดง Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10 Blower

ต้นกำเนิดของความเร็วลมสำหรับอุปกรณ์ในระบบท่อแบบมีความเร็วลม

3.3.11 Inverter

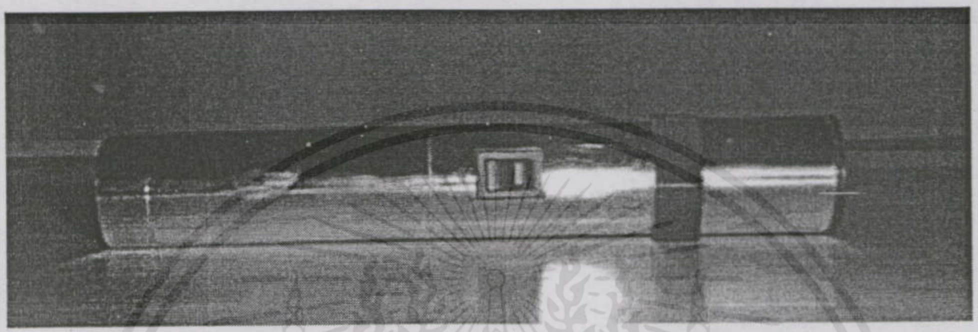
อุปกรณ์สำหรับปรับค่าความเร็วลม

3.3.12 Anemometer

เครื่องมือวัดความเร็วลมในระบบท่อ

3.3.13 Calibrator

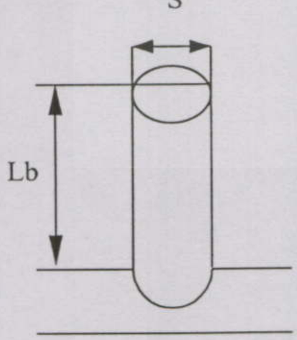
เครื่องมือสำหรับ Calibrated microphone เปรียบเทียบกับ FFT Analysis ให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการ Calibrated จะต้องดูจากคู่มือผู้ผลิต



รูปที่ 3.5 Acoustic Calibrator (From Bruel & Kjaer Instruments.)

3.4 Silencer แบบ Sidebranch Resonator

Sidebranch Resonator เป็นอุปกรณ์สำหรับลดเสียงให้น้อยลงในระบบท่อ ซึ่งมีลักษณะรูปทรงกระบอก และมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ เชื่อมต่อระหว่างท่อ กับ Resonator ถูกเรียกว่า Sidebranch Resonator สามารถปรับปริมาตรได้เพื่อความสะดวกไม่ต้องเปลี่ยน Sidebranch Resonator บ่อยๆ และศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของปริมาตรได้



S คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Sidebranch Resonator

Lb คือ ความยาวของ Sidebranch Resonator

รูปที่ 3.6 แสดงรูป Sidebranch Resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 การทดลองโดยใช้ Side-branch Resonator กรณีไม่มีความเร็วลม

4.1.1.1 ติดตั้ง Side-branch Resonator เข้ากับผนังท่อกลม และท่อสี่เหลี่ยม

4.1.1.2 ทำการ Set อุปกรณ์เครื่องมือวัดความดันเสียง

4.1.1.3 เลื่อน Microphone เพื่อหาระยะที่มีระดับความดันเสียงมากที่สุด การวัดก่อนผ่าน Side-branch Resonator และหลังผ่าน Side-branch Resonator

4.1.1.4 เปลี่ยนค่าความถี่คลื่นทีละน้อย และทำการวัดระดับความดันเสียงตามข้อที่ 4.1.13 เพื่อหาว่า Side-branch Resonator สามารถลดเสียงได้มากที่สุดในช่วงใด

4.1.1.5 ทำการเปลี่ยน Side-branch Resonator ขนาดต่างๆ และทำการวัดตามข้อ 1 ถึง 4

4.1.2 การทดลองโดยใช้ Side-branch Resonator กรณีมีความเร็วลม

4.1.2.1 ติดตั้ง Side-branch Resonator เข้ากับผนังท่อกลม และท่อสี่เหลี่ยม

4.1.2.2 เปิด Blower เพื่อให้ความเร็วลมไหลเข้าระบบของท่อที่ทำการทดลอง

4.1.2.3 ปรับอัตราความเร็วลมที่ Inventor โดยอ่านค่าความเร็วลม Anemometer

4.1.2.4 ทำการ Set อุปกรณ์เครื่องมือวัดความดันเสียง

4.1.2.5 เลื่อน Microphone เพื่อหาระยะที่มีระดับความดันเสียงมากที่สุด โดยการวัดก่อนผ่าน Side-branch Resonator และหลังผ่าน Side-branch Resonator

4.1.2.6 เปลี่ยนค่าความถี่คลื่นทีละน้อย และทำการวัดระดับความดันเสียงตามข้อที่ 4.1.2.5 เพื่อหาว่า Side-branch Resonator สามารถลดเสียงได้มากที่สุดในช่วงใด

4.1.2.7 ทำการเปลี่ยน Side-branch Resonator ขนาดต่างๆ และ ทำการวัดตามข้อ 1 ถึง 6

4.2 การบันทึกผลการทดลอง

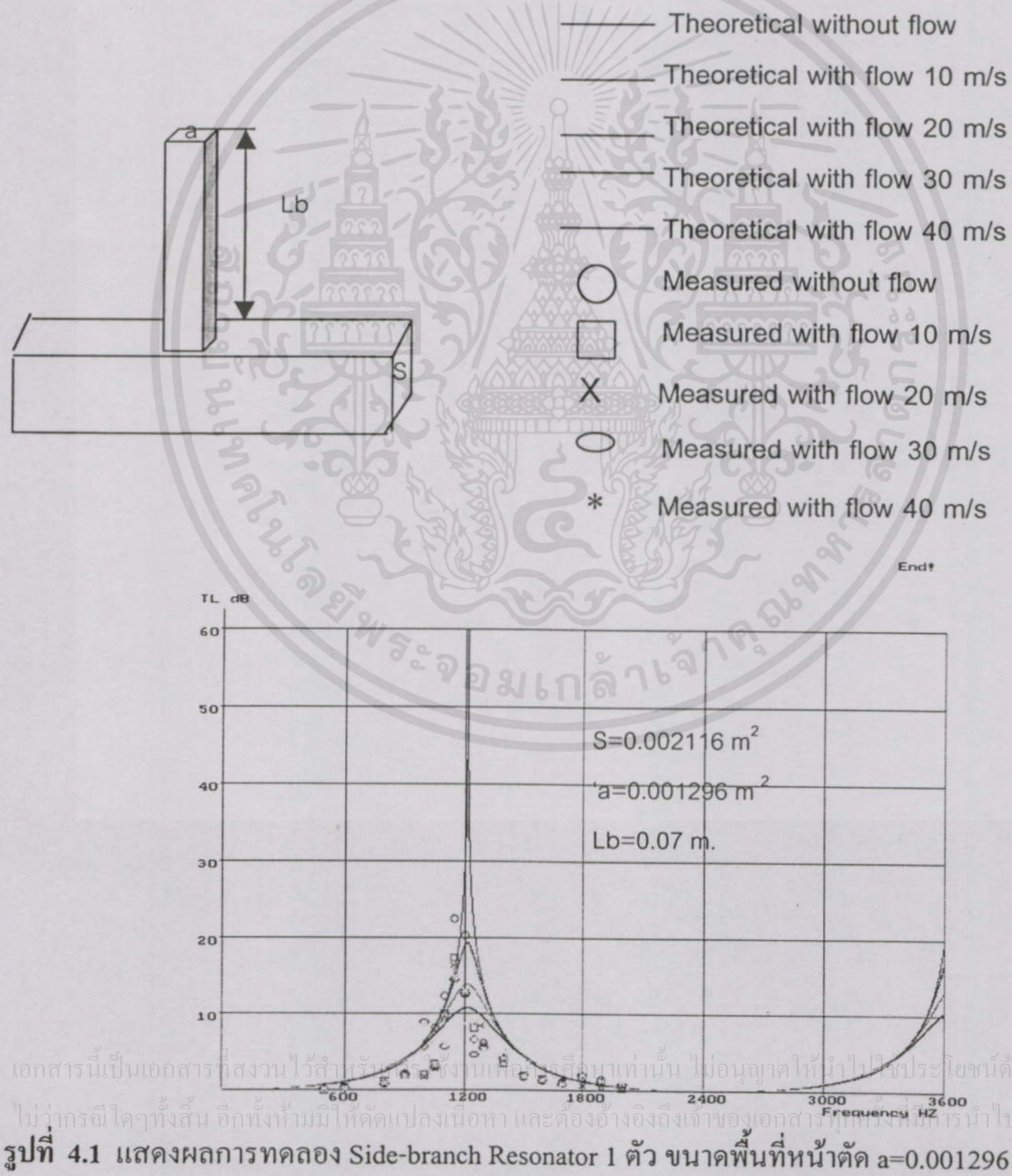
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวัดระดับความดันเสียงมากที่สุดโดยการวัด ก่อนผ่าน Side-branch Resonator และ หลังผ่าน Side-branch Resonator และบันทึกผลการทดลอง จากนั้นก็ทำการปรับเปลี่ยน ความถี่ และทำการวัดค่าดังกล่าวข้างต้น เมื่อบันทึกผลการทดลองแล้วนำผลการทดลองที่ได้ทำการปรับค่า

ความถูกต้องกับ Davis Curve จากนั้นนำผลที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว ซึ่งเรียกว่า Transmission Loss มาแสดงผลอยู่ในรูปของกราฟเพื่อสะดวกในการศึกษา

4.3 ผลการทดลอง

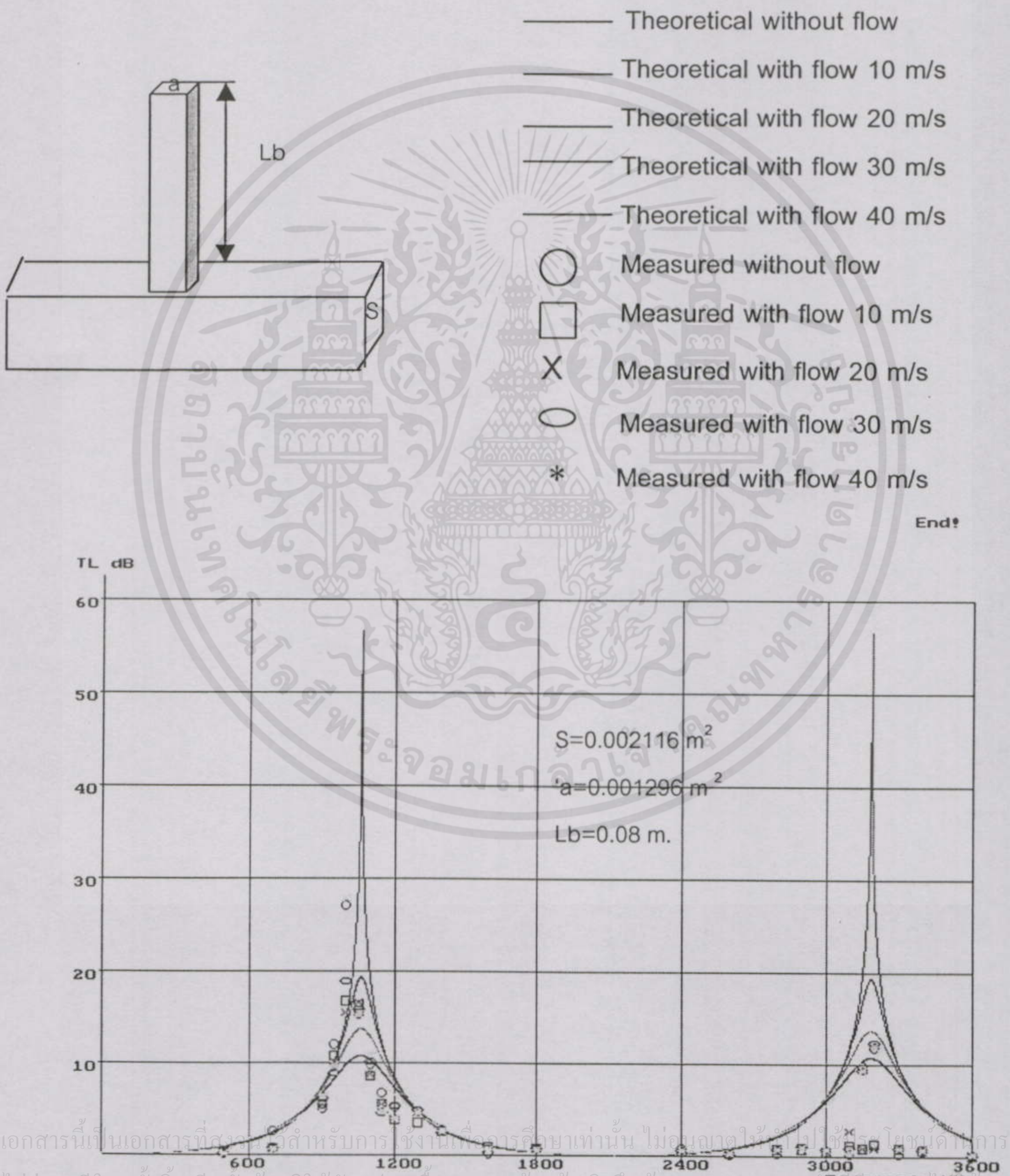
จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 รูปทรงสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.07 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 2000 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m,มีความยาว Lb=0.07m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

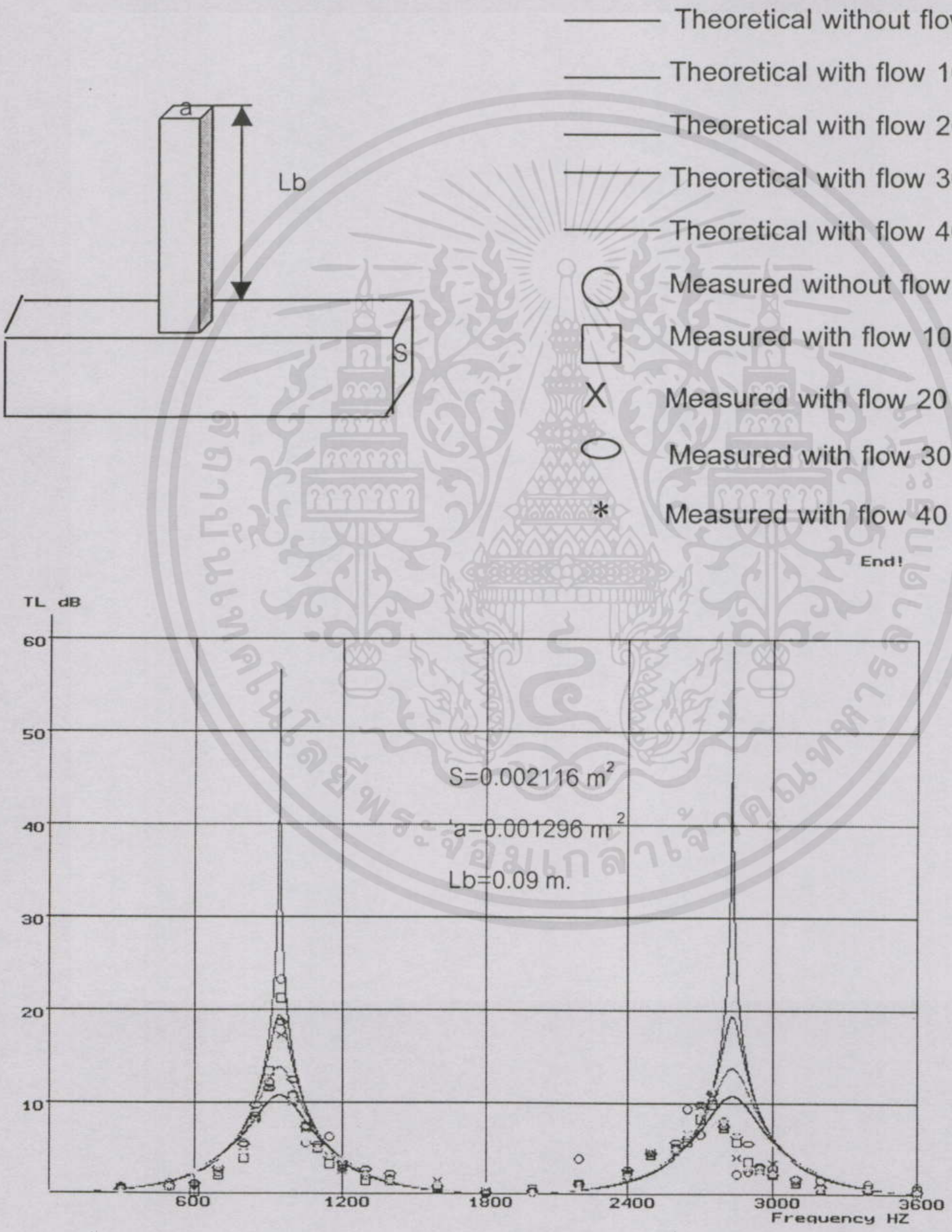
จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 รูปทรงสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.08 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2400 ~ 3600ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 mมีความยาว Lb=0.08m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 รูปทรงสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง

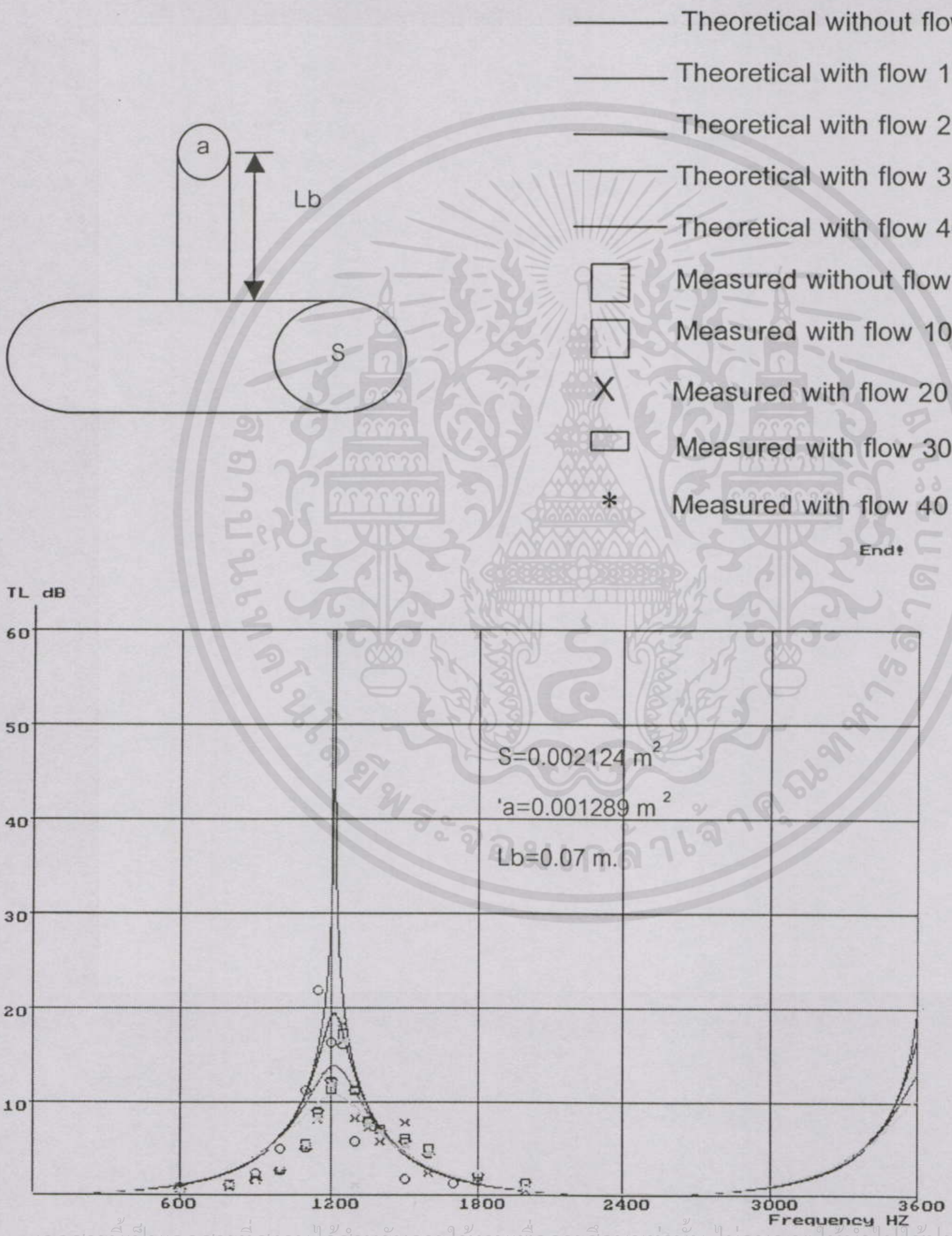


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 mมีความยาว Lb=0.09m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

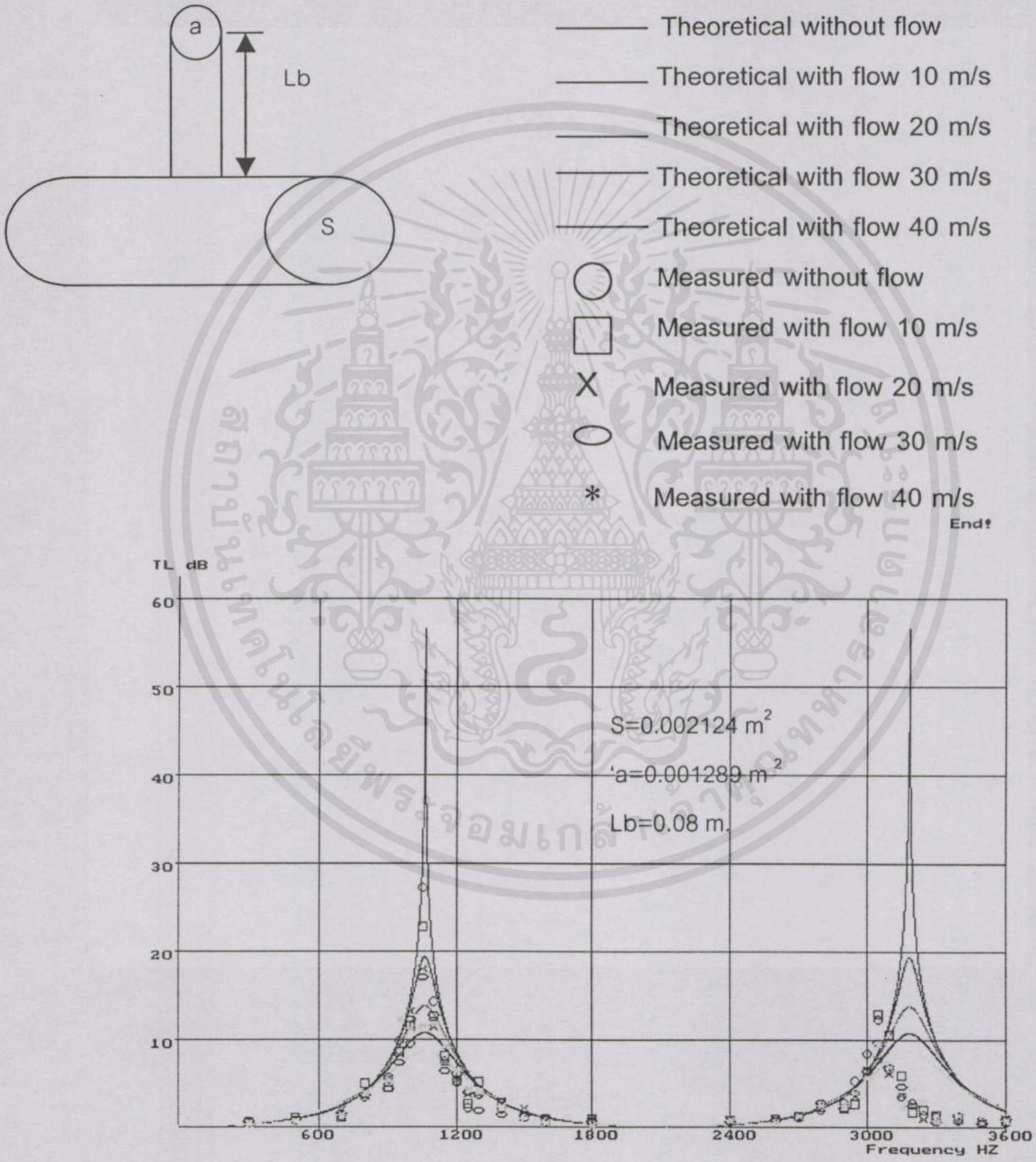
จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.07 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 2000 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m,มีความยาว Lb=0.07m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2

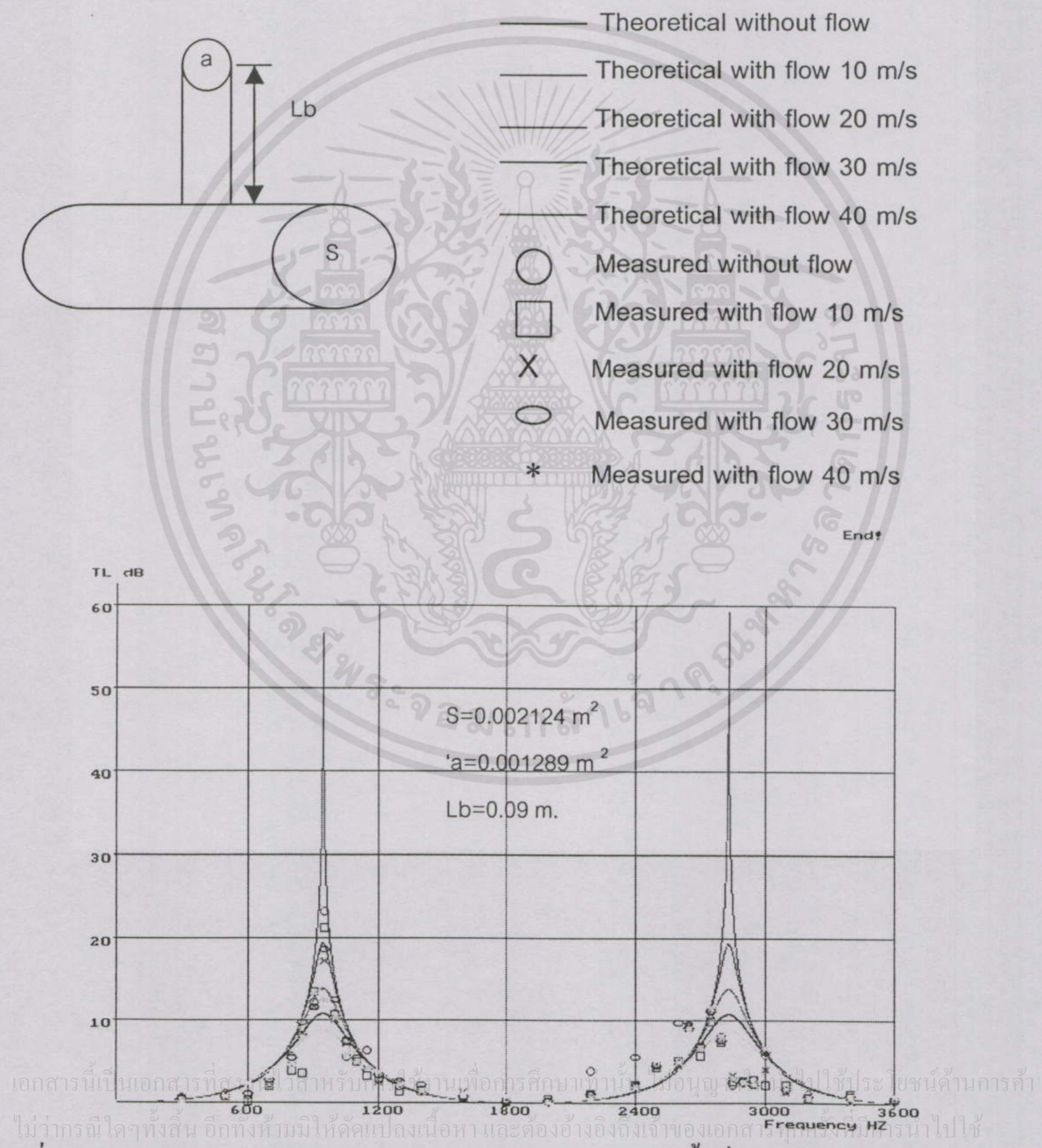
จากรูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.08 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2500 ~ 3600ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลอง Sidebranch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.08m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2

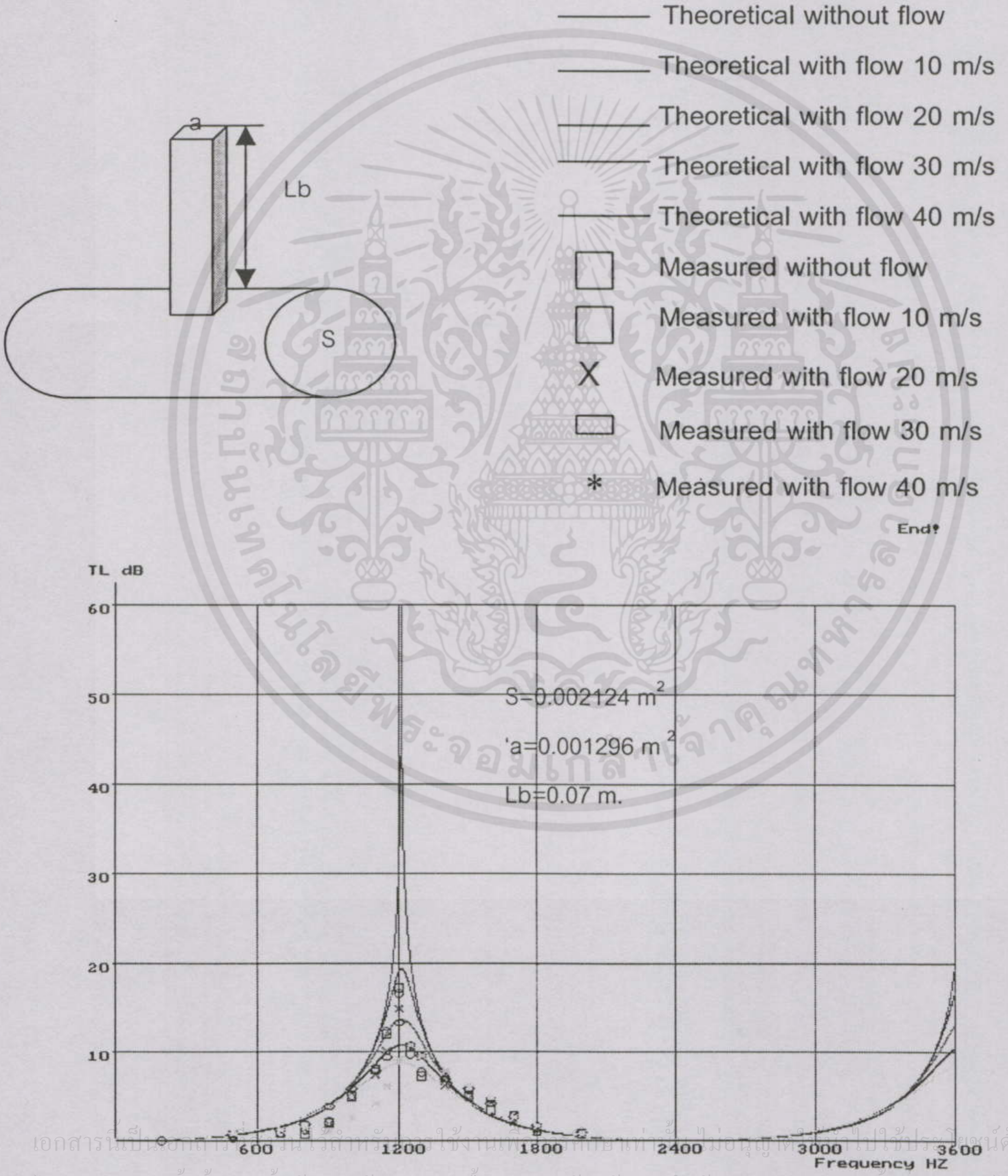
จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 mมีความยาว Lb=0.09m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงชนิดกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

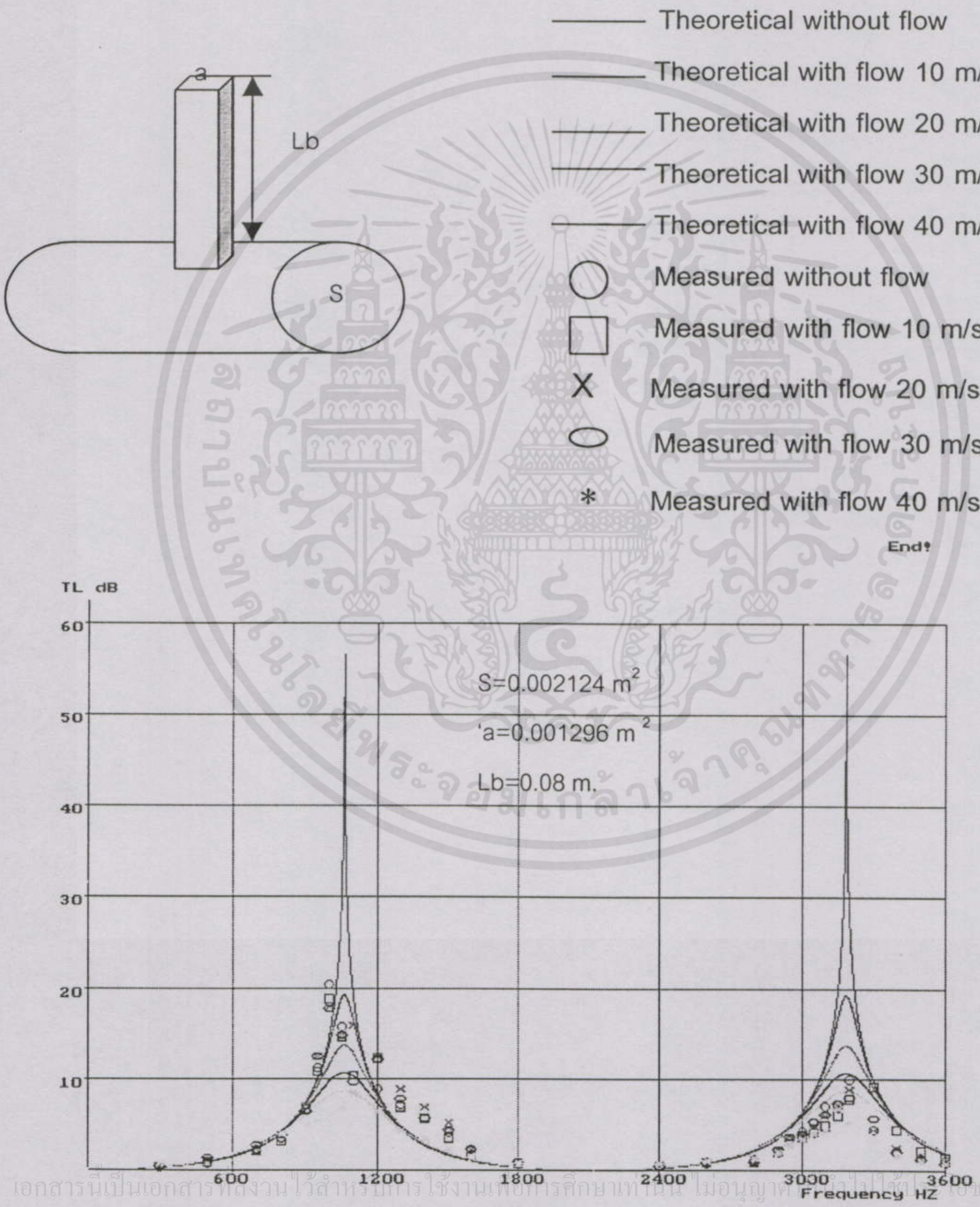
จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 ชนิดสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.07 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 2000 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40 (m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับอนุญาตสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

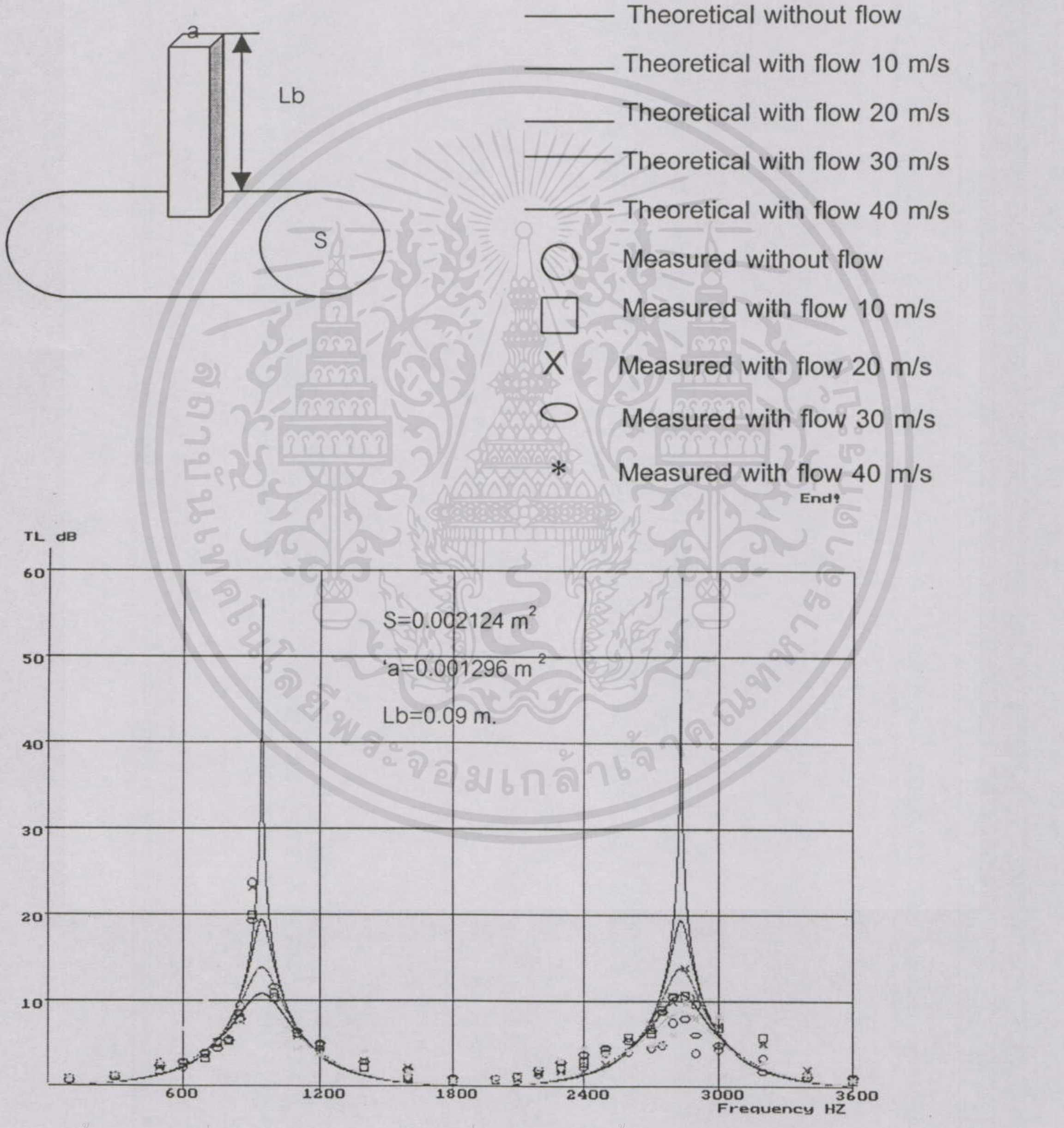
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m,มีความยาว Lb=0.07m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2

จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 ชนิดสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.08 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2500 ~ 3600ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 mมีความยาว Lb=0.08m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002124 m^2

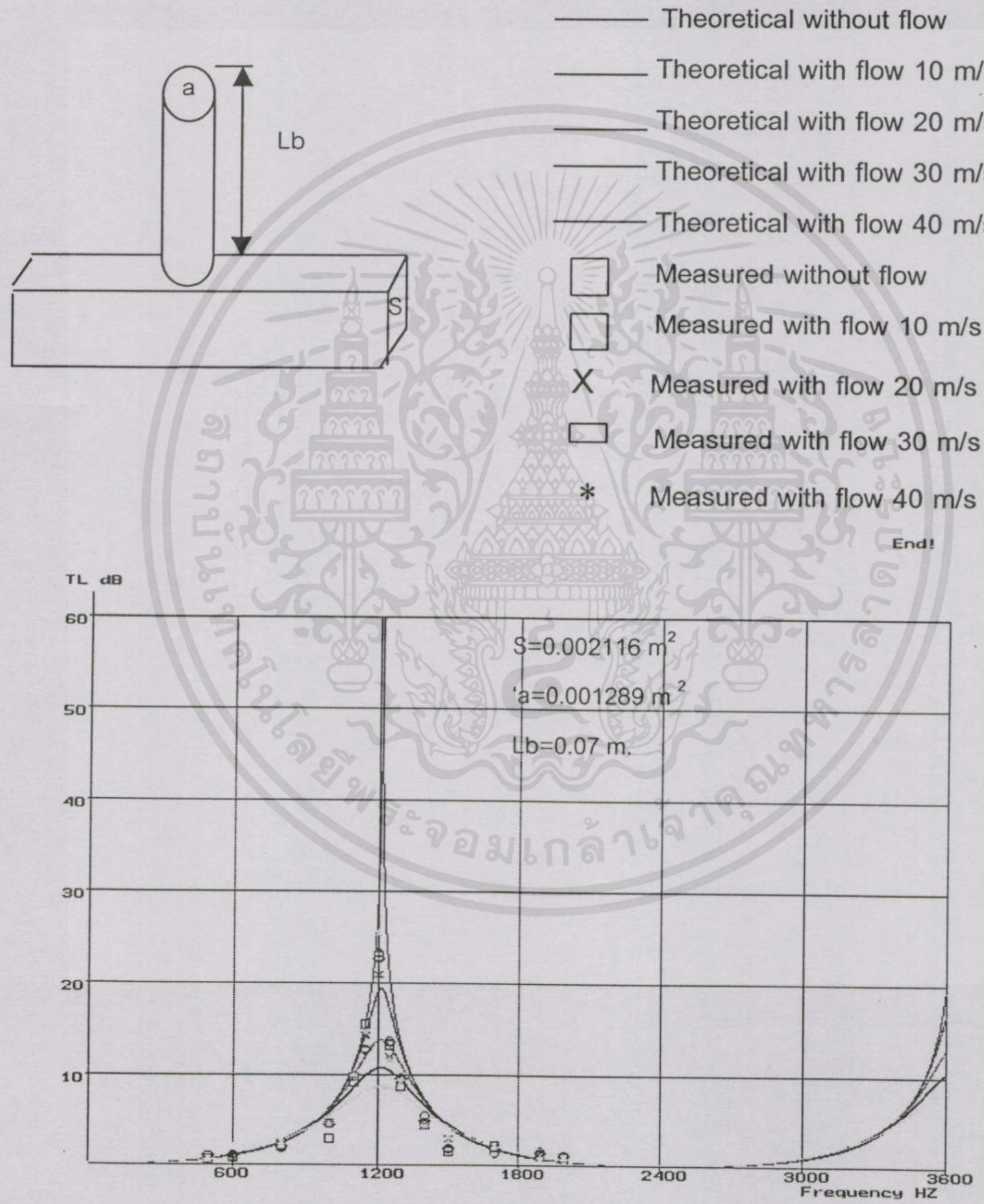
จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 ชนิดสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2300 ~ 3600 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

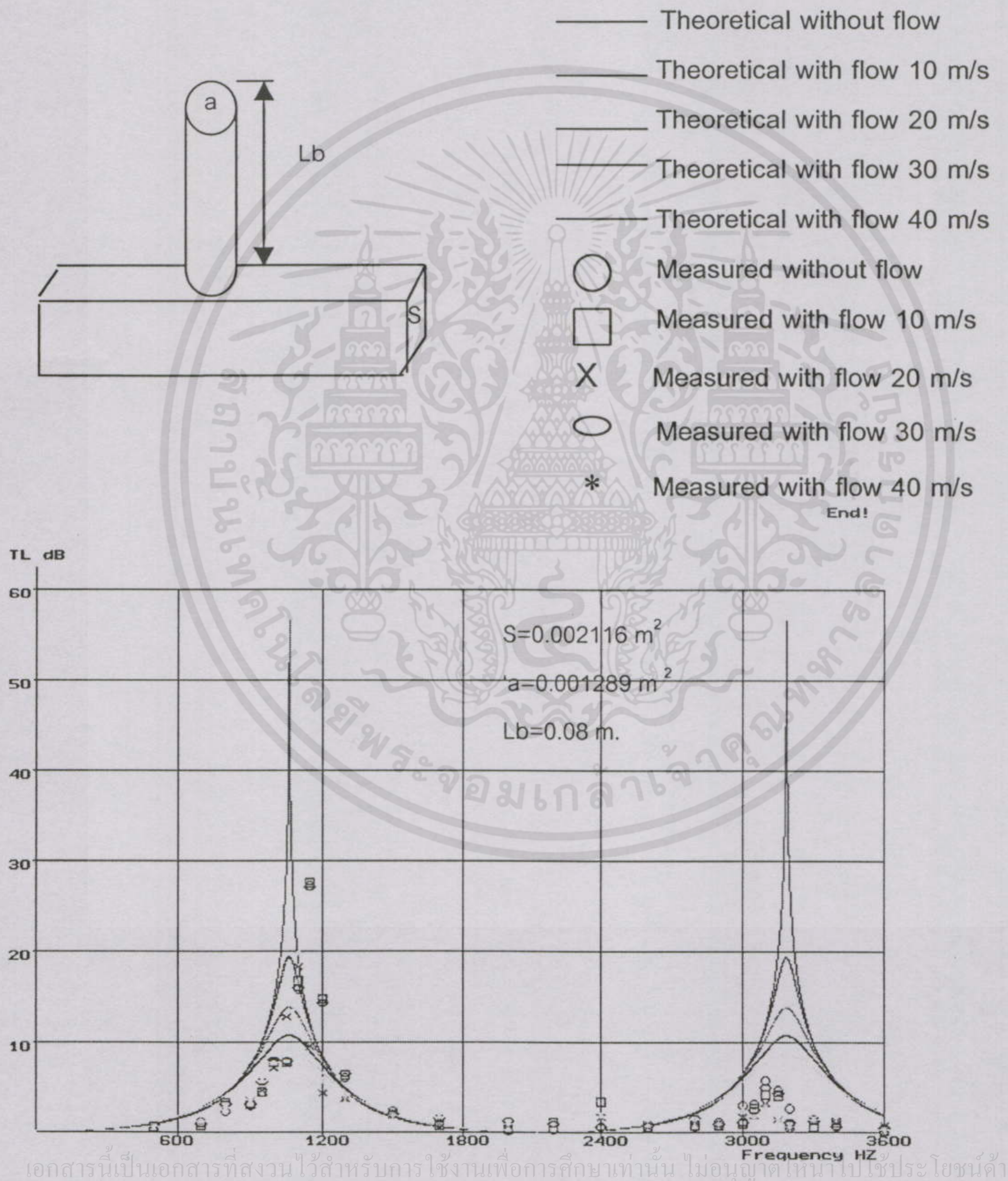
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 mมีความยาว Lb=0.09m ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.07 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 2000 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a = 0.001289 m,มีความยาว Lb=0.07m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

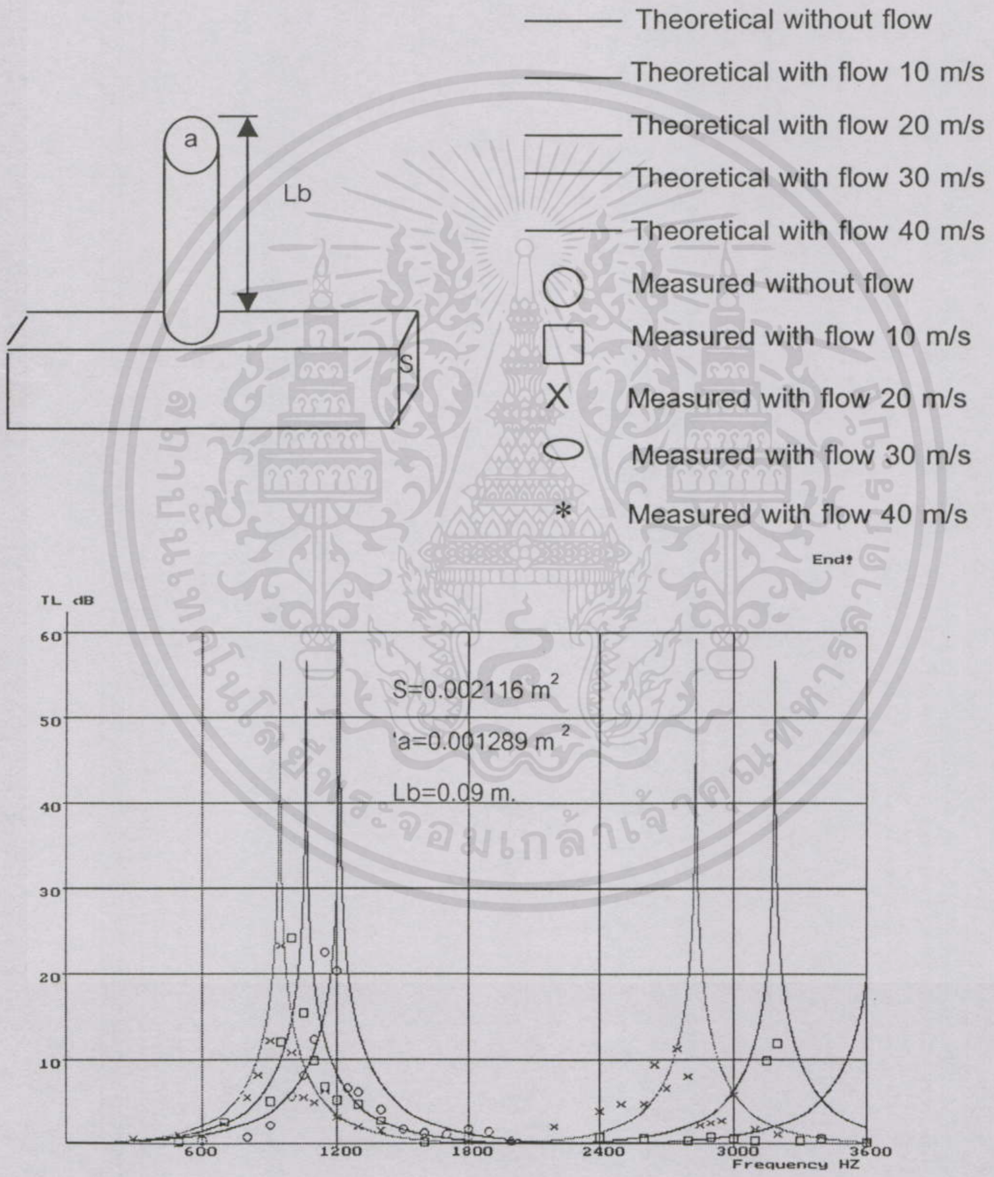
จากรูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.08 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2500 ~ 3600ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 mมีความยาว Lb=0.08m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

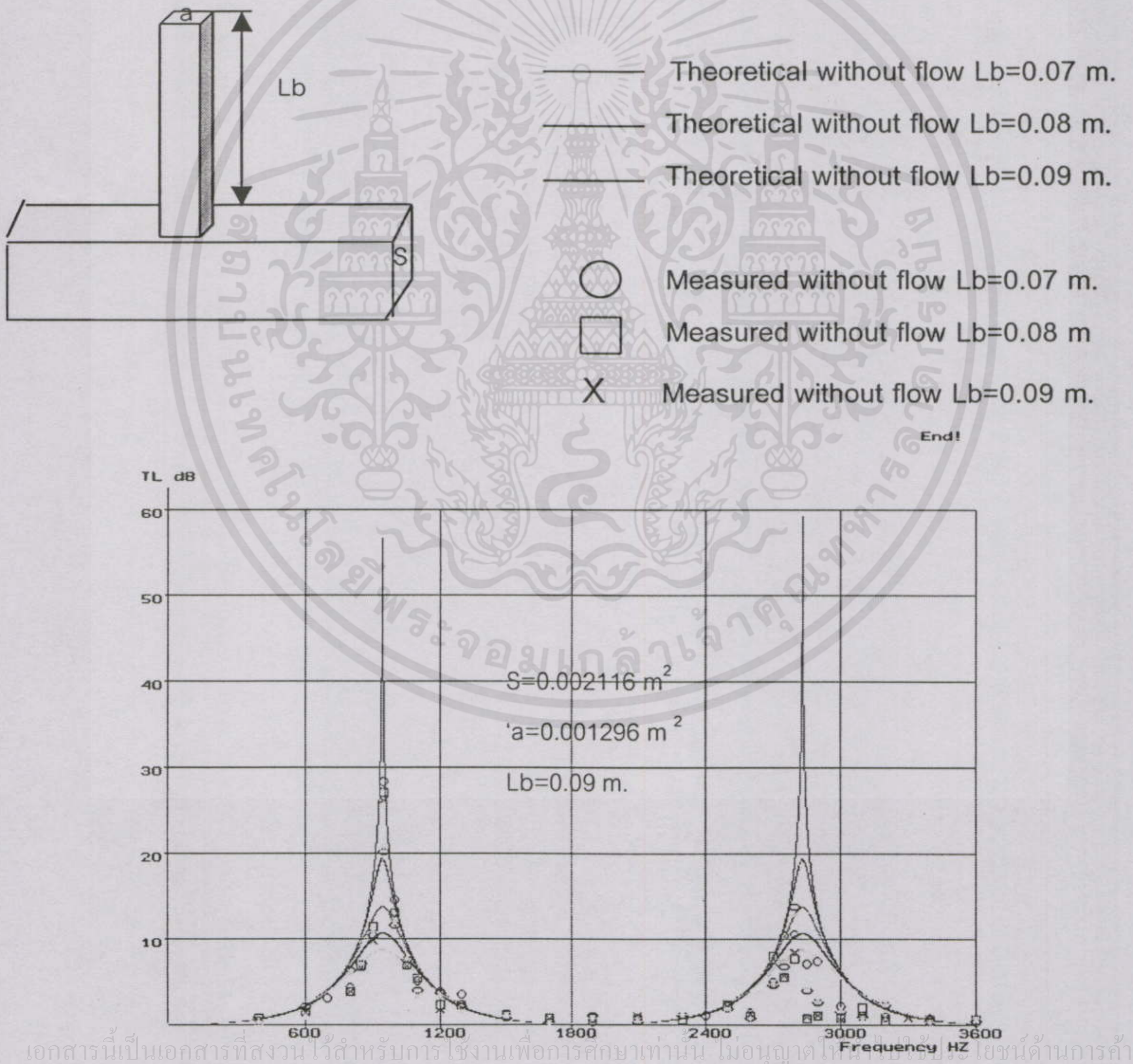
จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001286 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ~ 1800 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม และเมื่อมีความเร็วลม 10,20,30,40(m/s) Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 1 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.09m ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

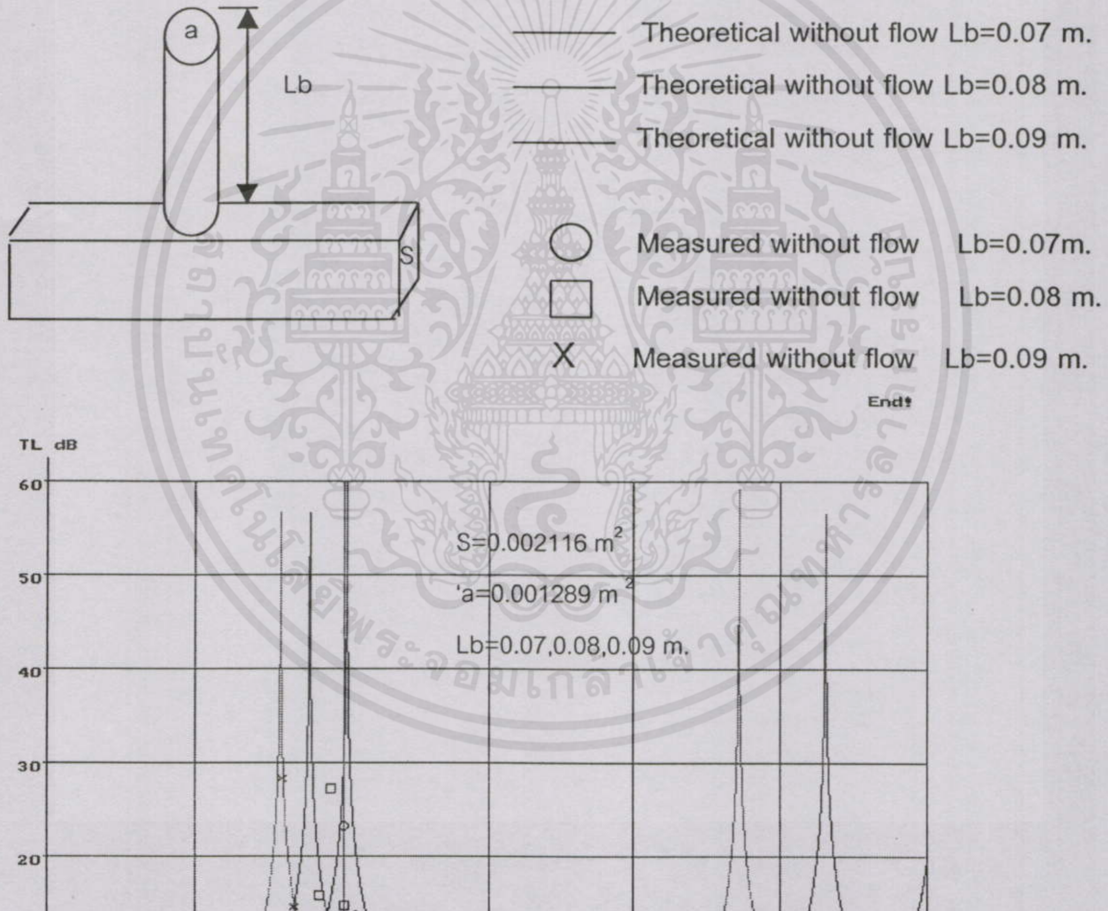
จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 รูปทรงสี่เหลี่ยม มีความยาว = 0.07,0.08,และ0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบผลของความยาว (Lb) ที่มีการเปลี่ยนแปลง ผล Lb=0.07m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 600 ~ 1800 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz และ Lb = 0.08 m.สามารถลดเสียงช่วงความถี่ 500~1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hzซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz และ Lb = 0.09 m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 500 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001296 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดสี่เหลี่ยมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

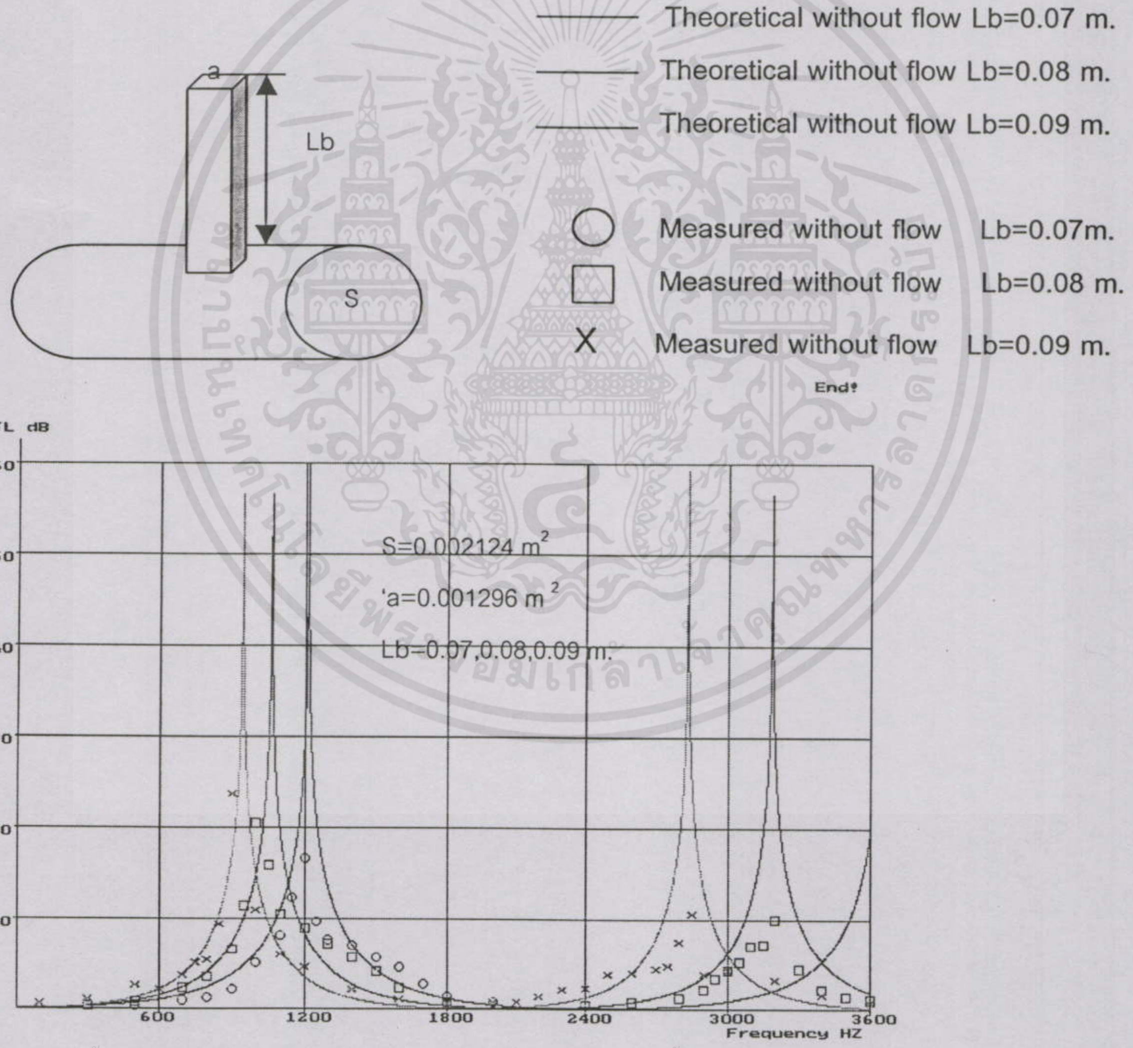
จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.07,0.08,และ0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบผลของความยาว (Lb) ที่มีการเปลี่ยนแปลง ผล Lb=0.07m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 600 ~ 1800 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz และ Lb= 0.08 m.สามารถลดเสียงช่วงความถี่ 500~1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hzซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz และ Lb = 0.09 m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 500 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้นซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

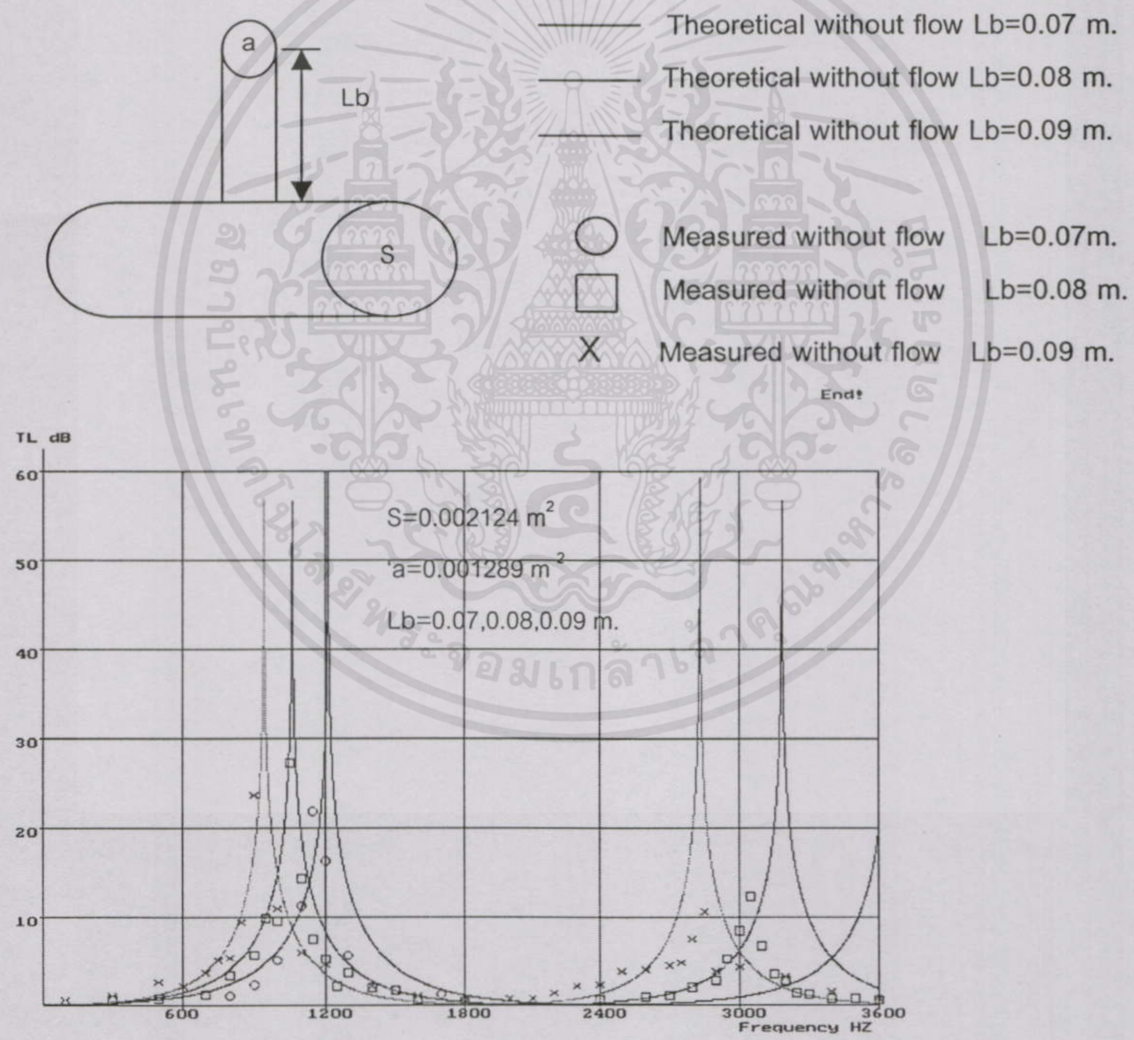
จากรูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.07,0.08,และ0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002116 m^2 จากผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบผลของความยาว (Lb) ที่มีการเปลี่ยนแปลง ผล Lb=0.07m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 600 ~ 1800 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz และ Lb= 0.08 m.สามารถลดเสียงช่วงความถี่ 500~1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hzซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz และ Lb = 0.09 m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 500 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลการทดลอง โดยใช้ Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 ชนิดกลม มีความยาว = 0.07,0.08,และ0.09 m ติดตั้งเข้าผนังท่อแบบกลมมีพื้นที่หน้าตัด 0.002124 m^2 จากผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบผลของความยาว (Lb) ที่มีการเปลี่ยนแปลง ผล Lb=0.07m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 600 ~ 1800 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1214 Hz และ Lb= 0.08 m.สามารถลดเสียงช่วงความถี่ 500~1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1000,2833 Hz และ Lb = 0.09 m. สามารถลดเสียงในช่วงความถี่ระหว่าง 500 ~ 1600 Hz และ 2300 ~ 3400 Hz ซึ่งตามทฤษฎีจะเกิดความถี่กำทอน Fr = 1033,3187 Hz สำหรับการทดลองไม่มีความเร็วลม Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่ง Transmission Loss จะต่ำลง



รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดลอง Side-branch Resonator 3 ตัว ขนาดพื้นที่หน้าตัด a=0.001289 m มีความยาว Lb=0.07m.,0.08m.และ0.09m. ชนิดกลมต่อกับท่อนำเสียงกลมขนาดพื้นที่หน้าตัด S=0.002116 m^2

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-branch Resonator พื้นที่หน้าตัด 0.001296 m^2 ชนิดสี่เหลี่ยม และชนิดกลมพื้นที่หน้าตัด 0.001289 m^2 และใช้ท่อนำเสียงแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.052 mและแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0.046m x 0.046 m เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Side-branch Resonator แบบ Single – Chamber Resonator ศึกษาว่า Side-branch Resonator แต่ละขนาดมีพฤติกรรมการลดเสียงในช่วงความถี่ Resonant ใด ซึ่งหลักการของความถี่ Resonant ที่เกิดขึ้น จาก Standing Wave ส่งผ่านเข้าไปในระบบท่อ พลังงานเสียงในระบบท่อจะส่งผ่านความถี่เดียว กับความถี่ Resonant นั้นของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-branch Resonator แต่ละขนาด ซึ่งใน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง Frequency กับสมการ Transmission loss รวมทั้งกรณีมีความเร็วลมไหลผ่าน (U=10,20,30,40 m/s หรือ M มีค่าเท่ากับ 0.028, 0.057, 0.086, 0.115) และไม่มีความเร็วลมไหลผ่าน (U= 0 หรือM = 0) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.16 จะทำการ Vary Volume, (ความยาวของ Side-branch Resonator (Lb) = 0.07,0.08 และ 0.09)

1. จากผลการทดลองเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-branch Resonator เข้ากับผนังท่อนำเสียงแบบกลม และท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม พบว่า Side-branch Resonator ที่มีปริมาตรน้อยจะสามารถลดเสียงในย่านความถี่ต่ำ ส่วน Side-branch Resonator มีปริมาตรมากจะสามารถลดเสียงในย่านความถี่สูง

2. ความยาวของSide-branch Resonatorมีผลต่อค่า Peak Frequency และค่า Transmission Loss พบว่า Side-branch length สั้นๆจะให้ค่า Peak Frequency และค่า Transmission Loss สูงกว่า Side-branch length มีความยาวมาก ซึ่งช่วงความถี่ในการลดเสียงจะกว้างกว่า Side-branch Length ที่มีความยาวมากๆ ช่วงความถี่ในการลดเสียงจะกว้างมากขึ้น

3. จากผลการทดลองใช้ท่อนำเสียงแบบกลมเปรียบกับท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม พบว่า ความสามารถในการลดเสียงสำหรับท่อนำเสียงแบบกลมจะให้ค่า Transmission Loss สอดคล้องกับทฤษฎี มากกว่าท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งเมื่อพิจารณาท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมจะเกิดการกระจายของค่า Transmission Loss ในบางช่วงไม่เป็นระเบียบ

4. จากผลการทดลองเมื่อติดตั้ง Side-branch Resonator เข้ากับผนังท่อนำเสียงแบบกลมเปรียบเทียบกับท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม พบว่าท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมจะให้ Peak Frequency สูงกว่าท่อนำเสียงแบบกลม เนื่องจากท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าท่อนำเสียงแบบกลม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดเสียงจะแตกต่างกันเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.เมื่อมีความเร็วลมเพิ่มขึ้น เริ่มจาก 0 – 40 m/s ค่า Peak Frequency จะเลื่อนไปในย่านความถี่สูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าของความสามารถในการลดเสียงต่ำลง เมื่อทำการทดลอง ต่อไปโดยเพิ่ม

ความเร็วลมมากกว่า 40 m/s คลื่นจะเกิดการแกว่งมากไม่สามารถทำการวัดค่า Peak Frequency ได้เลย

7. จากการทดลองในการวัดค่า Resonance แต่ละ Peak ขณะทำวิจัยจะเกิดการแกว่งของคลื่นทำให้ในการวัดค่าบางช่วงเกิด Error ขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ค่าของผลการทดลองบางช่วงมี Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและวิจารณ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ พฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-branch ที่ความถี่ตั้งแต่ 0ถึง 3600 Hz ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการลดเสียงรบกวน และลักษณะของอุปกรณ์เสียง จากสมการพื้นฐานของคลื่นเสียง โดยนำมาใช้ในการวิเคราะห์จากสมการ Transmission loss ซึ่งเป็นทฤษฎีหาค่าความสามารถในการลดเสียง เปรียบเทียบกับผลการทดลองในย่านความต่างๆ กรณีที่ไม่มีความเร็วลมและมีความเร็วลมไหลผ่านในระบบท่อ

การวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการเกิดเสียงรบกวนในระบบท่อที่สามารถกำหนดความถี่ของเสียงรบกวนในช่วงความถี่ได้ จากนั้นขึ้นอยู่กับสมมติฐาน และวิธีการทั่วไปของสมการในการลดเสียงแบบ Side-branch Resonator ไว้ดังนี้

1. ความดันของเสียงมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดันสัมบูรณ์เฉลี่ยในระบบและไม่ขึ้นกับเวลา
2. ท่อนำเสียงที่ใช้จะต้องมีลักษณะไม่สะท้อนกลับของคลื่น
3. ผนังของ Resonator ต้องไม่ดูดกลืน และนำพลังเสียง
4. คลื่นความดันในแนวระนาบมีการเพิ่มขึ้นภายในท่อนำเสียง
5. อิทธิพลของความหนืดโดยทั่วไปมีผลน้อยมาก
6. ผลการทดลองจะต้องปรับแก้การสะท้อนที่เกิดขึ้นจริง เพื่อความถูกต้องกับสภาวะข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว
7. อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองจะต้องแม่นยำ และผ่านการ Calibrate

จากการวิจัย พฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูงแบบ Side-branch สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ค่าการคำนวณตามทฤษฎี Transmission loss ของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Side-branch Resonator สามารถกำหนด Peak Frequency ที่เกิดขึ้นว่า Side-branch Resonator แต่ละขนาดสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่ใด

5.1.2 Side-branch Resonator ที่มีปริมาตรน้อยความสามารถในการลดเสียงในย่านความถี่ต่ำ ส่วน Side-branch Resonator มีปริมาตรมากจะสามารถลดเสียงในย่านความถี่สูง

5.1.3ถ้าSide-branch length มีความยาวมากย่านความถี่ในการลดเสียงจะแคบกว่า Side-branch length ที่สั้นกว่าแต่จะสามารถลดเสียงได้ในหลายๆย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดเสียงระหว่างท่อนำเสียงแบบกลมและท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งท่อนำเสียงแบบกลมสามารถลดเสียงได้สอดคล้องกับทฤษฎี

5.1.5 กรณีที่มีความเร็วลมไหลผ่านในระบบท่อนำเสียง เมื่อมีความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการลดเสียงจะเลื่อนไปในย่านความถี่ที่สูงขึ้น แต่ความสามารถในการลดเสียงจะลดต่ำลง

5.1.6 จากผลการทดลองค่า Transmission loss พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับค่าการคำนวณตามทฤษฎีแต่ค่าความสามารถในการลดเสียงจะต่ำกว่าเล็กน้อย

5.1.7 จากเรื่องดังกล่าวข้างต้นความสามารถในการลดเสียงของ Resonator ชนิด Side-branch จะสามารถลดเสียงรบกวนในช่วงความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถคาดการระดับเสียงที่ทำการลดลงได้เป็นไปตามทฤษฎี

5.1.8 Side-branch Resonator เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาลดเสียงในระบบท่อได้ดี และยังประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งรวมถึงประหยัดวัสดุในการออกแบบได้ด้วย

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์

5.2.1 ทำให้ทราบทฤษฎีพื้นฐานของเสียง

5.2.2 ทำให้ทราบถึงผลกระทบในการเปลี่ยนแปรงปริมาตรของ Side-branch

5.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Side-branch Resonator ว่าสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ใด เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้

5.2.4 สามารถออกแบบอุปกรณ์ลดเสียง Resonator เพื่อพัฒนาประยุกต์ในการออกแบบรูปร่างของ Resonator หลายๆ รูปแบบในอนาคตโดยคำนึงถึงความเหมาะสมกับสภาพของการลดเสียงนั้นๆ

5.2.5 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงในระบบท่อต่างๆเช่น ท่อไอเสียและท่อไอดีของเครื่องยนต์รวมถึงท่อทางเดินลมในโรงงานอุตสาหกรรม ท่อระบายอากาศ, ท่อแอร์ เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยในอนาคต

5.2.6 ควรทำศึกษาออกแบบอุปกรณ์ลดเสียง แบบSide-branch ในรูปทรงอื่นที่สามารถใช้ความเร็วลมไหลผ่านในท่อได้สูงๆรวมทั้งศึกษาในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงท่อนำเสียงหลักโดยการใช้ท่อขยายหรือท่อลดขนาด เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่มีต่อค่าการลดเสียง

5.2.7 การออกศึกษาและทดลองแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบหลายๆชั้นเพื่อหาประสิทธิภาพของการลดเสียงในย่านความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5.2.8 ออกแบบท่อนำเสียงที่สามารถปรับพื้นที่หน้าตัด และความยาวของทำนำเสียงได้ รวมทั้งสามารถปรับขนาดของอุปกรณ์ลดเสียง Resonator โดยใช้ Micro-controler

5.2.9 หาวิธีการลดเสียงรบกวนอื่นๆ เช่น วิธี Feed-back control เป็นต้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] M.O Tokhi and R.R. Leitch. **Active Noise Control**. Published in the United States by Oxford University. 1992

[2] Czarmecki. K.R., AND Davis, Don D.,Jr. **Dynamometer-Stand Investigation of the Muffler Uses in the Demonstration of Light-Airplane Noise Reduction** NACA TN1688, 1948

[3] Don d., Davis, Jr. George, l. Stevens, Jr. Dewey Moore and George M .Stokes. **Theoretical and measured attenuation of mufflers at room temperature Without flow, with comments on engine – exhaust muffler design. NACA** Technical Note.2893. 1954. Pp. 1 – 111

[4] Leo L. Beranek. **Noise Reduction**. McGraw – Hill Book Company. Co.,Inc.1960

[5] M.L.Munjal ”Velocity ratio-cum-transfer matrix method for the evaluation of a mulffler with mean flow ” Journal of sound and vibration (1975)39 (1) , 105-119

[6] R.l.Woods. **Noise Control in Mechanical** Services. Jointty Published by Sound A Attenuators limited and Sound Research laboratories limited , 1976

[7] Shuntaro Murakami, Sanni Hagi and Minoru Maeda “Acoustical Performance of Conical Side – Branch Tubes” Proc. Nat.Acad.Sci.(1919-5) .pp. 159 – 164 1980

[8] Harold W. Lord, William S. Gattey and Harod A. Evenson **Noise Control for Engineers.** McGraw – Hill Book Company. 1980

[9] E & F.N. Spon **Noise Control in Industry** Sound Research Laboratories Ltd., 1991

[10] Davis, A.H and Fleming, N. **The Attenuation Characteristics of Some Aero-**Engine Exhaust Silencers. Rep NO.N. 125 Brotosj N.P.L (RepNo.2249, A.R.C) 1936

[11] David A. Bies and Colin H. Hansen. **Engineering Noise Control**. E&FN Spon an Imprint of chapman & Hall. 1996

[12] วิทูรย์ สิมะโชคดี ,ยิ่งยง เตโชพาร .**เทคนิคการควบคุม และลดเสียงดัง** กรุงเทพมหานคร หจก.สำนักพิมพ์สิกส์เซ็นเตอร์ .2537.

และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] บุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล **“.สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz”** ‘วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542

[14] ปราโมทย์ เรืองฤทธิ์ **“.พฤติกรรมเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงชนิด Helmholtz”** ‘วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

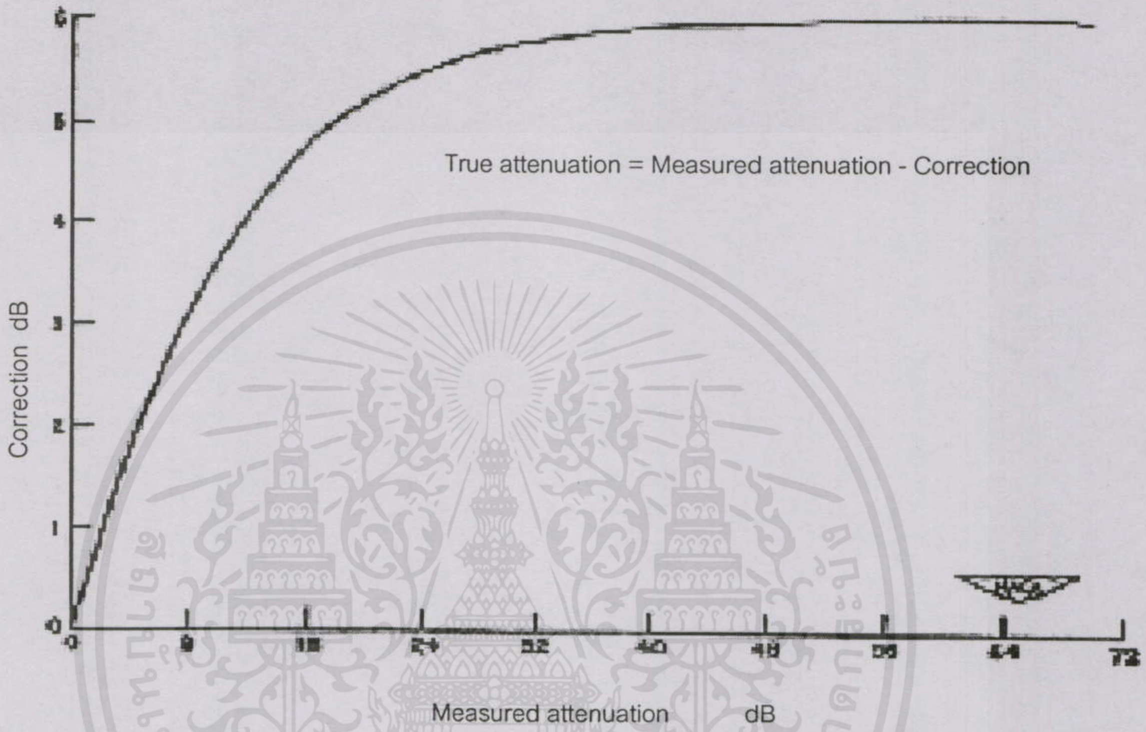
ภาคผนวก ก

ตารางตัวอย่างการคำนวณแก้ค่า Attenuation

ตารางที่ ก. 1 ค่าที่ได้จากการคำนวณการแก้ค่า ATTENUATION ที่ได้จากการวัดซึ่งคำนวณมาจาก Davis Curve

เปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับ	ค่าที่ใช้แก้ ค่าที่เพิ่มขึ้นภายในท่อไอเสีย (เดซิเบล)	ค่า attenuation จริง (เดซิเบล)	ค่า attenuation จริง + ค่าที่ใช้แก้ = ค่า attenuation ที่วัดได้ (เดซิเบล)
5	0.42	0.45	0.87
10	.83	.92	1.74
20	1.53	1.94	3.52
30	2.28	3.10	5.38
40	2.92	4.24	7.16
50	3.52	6.02	9.54
60	4.08	7.96	12.04
70	4.61	10.46	15.07
80	5.11	13.98	19.09
85	5.34	16.48	21.82
90	5.58	20.00	25.58
95	5.80	26.03	31.83
97	5.90	30.46	36.35
99	5.98	40.00	45.98
99.5	6.00	46.02	52.02
99.9	6.02	60.00	66.02
100	6.02	∞	∞

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 กราฟ Davis Curve แสดงการแก้ค่า ATTENUATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายพงษ์ศักดิ์ คำมูล เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2500 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเครื่องกล) จากวิทยาลัยครูพระนคร กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2537

ปี พ.ศ. 2522 เข้ารับราชการในตำแหน่งช่างเทคนิค 1

ปี พ.ศ. 2532 ปรับเปลี่ยนเป็นตำแหน่งนายเทคนิค 4

ปี พ.ศ. 2537 ปรับเปลี่ยนเป็นตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 5

และปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์ ระดับ 7 สังกัดภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้